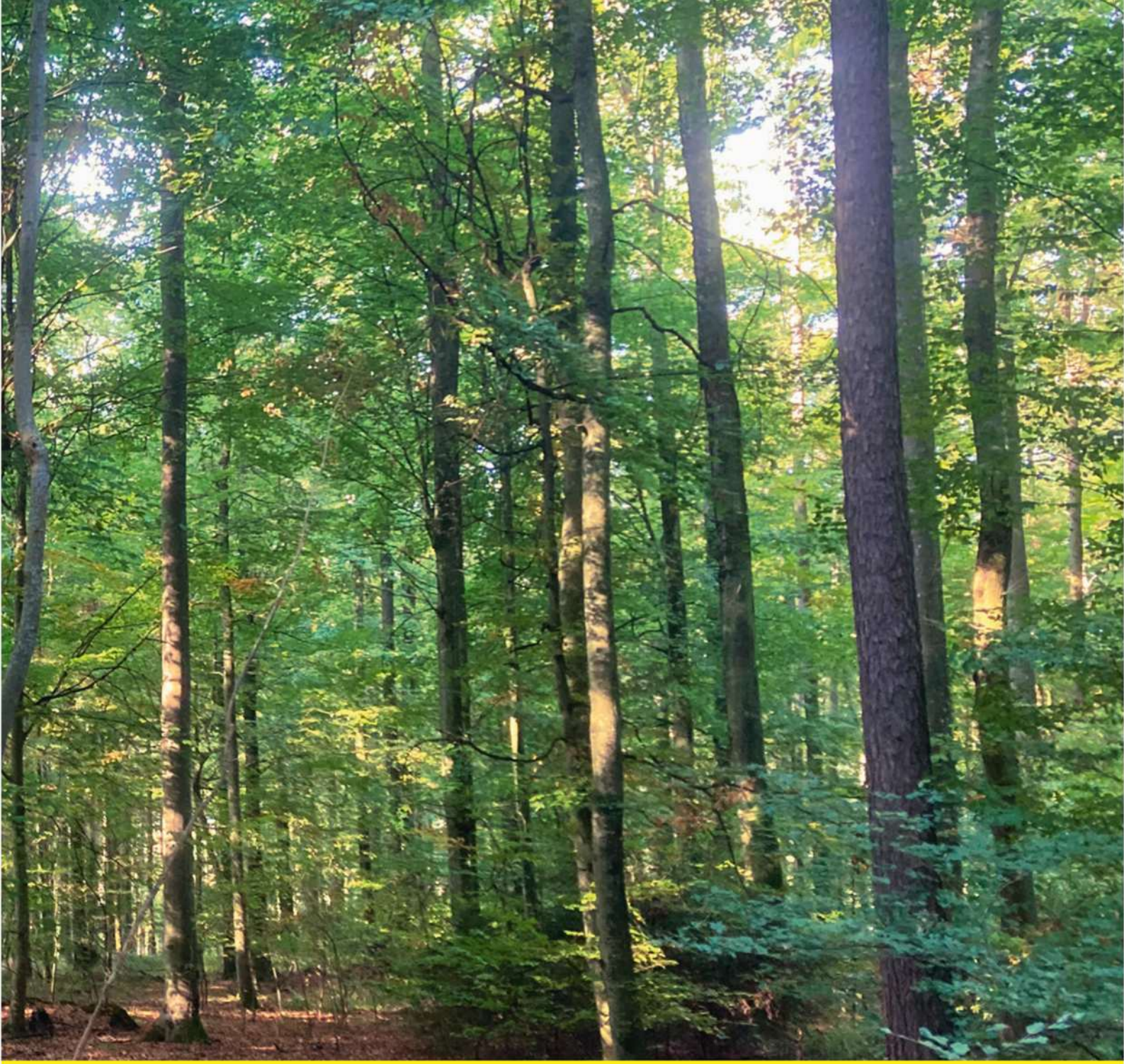


Waldzustandsbericht 2026

Baden-Württemberg
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt

Baden-Württemberg
Ministerium für Ländlichen Raum, Landwirtschaft und Heimat

Baden-Württemberg
Landesforstverwaltung

IMPRESSUM

Herausgeberin:
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)

Autorinnen und Autoren
Kapitel 1:
Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung), Dr. Heike Puhlmann, Dr. Horst Delb (alle FVA)

Kapitel 2:
Dr. Markus Kautz, Jakob Jentschke, Dr. Horst Delb (alle FVA)

Kapitel 3:
Frauke Kirschenlohr (Forst BW)

Kapitel 4:
Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung), Dr. Heike Puhlmann, Andrea Hölscher (alle FVA)

Kapitel 5:
Dr. Kerstin Näthe, Dr. Lisa Rubin, Dr. Heike Puhlmann (alle FVA), Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung)

Kapitel 6:
Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung), Eva Kranefeld, Dr. Heike Puhlmann, Andrea Hölscher (alle FVA)

Kapitel 7 und 8:
Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung), Dr. Heike Puhlmann (FVA)

Titelfoto:
Sebastian Schreiber (MLR)

Bestellung an:
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg

Tel.: (0761) 40 18 - 0
fva-bw@forst.bwl.de

Webseite:
www.fva-bw.de

ISSN: 1862-863X

Download:
Hier können Sie den Waldzustandsbericht herunterladen:
www.fva-bw.de/waldzustandserhebung
Alternativ können Sie den folgenden QR-Code scannen:

Druckprodukt mit finanziellem
Klimabeitrag
ClimatePartner.com/11384-2610-1001

VORWORT

Liebe Leserinnen,
liebe Leser,



kahle Bäume, staubig-trockener Waldboden und braune Fichtenkronen - dies ist das Bild, welches sich in diesem Sommer in vielen Wäldern gezeigt hat. In Baden-Württemberg hatten wir 35 Tage mit Temperaturen über 30 Grad und darüber hinaus nur geringe Niederschläge.

Diese extreme Witterung hinterlässt Spuren in unseren Wäldern. Viele Menschen sind von diesen Bildern sehr berührt. So auch die Forstleute und Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer, die den Wald oft bereits seit vielen Jahrzehnten aktiv bewirtschaften und in die Zukunft begleiten.

Der Waldzustandsbericht zeigt uns alljährlich, wie es um den Gesundheitszustand der Bäume steht. Nach wenigen Jahren der Erholung hat sich die mittlere Kronenverlichtung mit 28,7 Prozent wieder verschlechtert. Sie liegt damit fast wieder beim bisherigen Negativrekord des Jahres 2020. Neben den Nadelbäumen Tanne und Douglasie hat auch die Buche deutlich stärkere Blattverluste zu verzeichnen. Dahingegen hat sich die Kronenverlichtung der trockenheitstoleranteren Eichen kaum verändert.

Wir müssen davon ausgehen, dass es zukünftig häufiger Hitzesommer wie in diesem Jahr geben wird. Deshalb gilt es, unsere Aktivitäten für die Klimaanpassung der Wälder weiter voranzubringen. Die Landesregierung unterstützt die Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer mit vielfältigen Förderangeboten und einer kostenlosen Beratung.

Die Forstleute und Waldbesitzer sind sich ihrer Verantwortung bewusst. Um Schäden durch Wetterextreme und Insekten zuvorzukommen agieren sie aktiv und fördern eine baumartenreiche Waldverjüngung, um die vielfältigen Funktionen unserer Wälder zu erhalten. Damit leisten sie einen wichtigen Beitrag, für den ich sehr dankbar bin.

Stuttgart, im November 2026



Marion Gentges MdL
Ministerin für Ländlichen Raum, Landwirtschaft und Heimat

INHALT

1 ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG 5
REAKTION DER BÄUME AUF TROCKENHEIT UND HITZE 6
NADEL-/BLATTVERLUST 7
ZWEITAUFNAHME IM SEPTEMBER 8
REGIONALE VERTEILUNG 9
VERJÜNGUNGSAUFNAHME UNTER SCHIRM 10
ABGESTORBENE UND AUSGEFALLENE BÄUME 11
BORKENKÄFERENTWICKLUNG 2026 12
WALDBRANDGEFAHR 13
VERGILBUNG 14
SCHADSTUFEN 14
FRUKTIFIKATION 15
FICHTE 16
TANNE 16
KIEFER 18
DOUGLASIE 18
SONSTIGE NADELBÄUME 19
BUCHE 20
EICHE 23
BERGAHORN 23
ESCHE 24
SONSTIGE LAUBBÄUME 24

2 IPSRISK – EIN DYNAMISCHES BEFALLSRISIKOMODELL FÜR DEN BUCHDRUCKER 25
WARUM BRAUCHT ES RISIKOMODELLE? 25
WIE FUNKTIONIERT DAS MODELL IPSRISK? 25
WO SIND DIE INFORMATIONEN ABRUFBAR? 27
WELCHE VORTEILE BRINGT IPSRISK? 28
AUSBLICK 28

3 ARBEITSSICHERHEIT IN KLIMAGESCHÄDIGTEN WÄLDERN 29
GEFAHRENPOTENZIAL VON STEHENDEM ODER LIEGENDEM TOTHOLZ 29
BESONDERE RISIKEN BEI DER HOLZERNTE 30
ANPASSUNG DER ARBEITSVERFAHREN 30
KONSEQUENZEN FÜR DIE ARBEITSORGANISATION 31
FOLGERUNGEN 32

4 WITTERUNG 33
WITTERUNGSVERLAUF 34
NEUE WALDKLIMASTATION 36
BODENFEUCHTE 36
WASSERRÜCKHALT IM WALD 37
BEISPIEL FÜR WASSERRÜCKHALT: ANLEGEN VON VERSICKERUNGSGRÄBEN 38

5 STOFFEINTRÄGE UND BODENZUSTAND 40
SCHWEFELDEPOSITION – FLUCH ODER SEGEN? 40
BEDEUTUNG DER HUMUSAUFLAGE IN WÄLDERN 44

6 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING 48
METHODISCHER AUFBAU 49
NEUANLAGE EINER LEVEL II-FLÄCHE 49
INTERNATIONALE EINBINDUNG 51
UNTERSTÜTZUNG AUS DER LUFT 51

7 METHODIK DER WALDZUSTANDSERHEBUNG 56
DURCHFÜHRUNG DER WALDZUSTANDSERHEBUNG 2026 57
QUALITÄTSSICHERUNG 57
AUSWERTUNGSMETHODEN 58

8 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT 59
HITZE UND TROCKENHEIT SETZTEN DEN WÄLDERN ZU 59
IPSRISK – DYNAMISCHES BEFALLSRISIKOMODELL FÜR DEN BUCHDRUCKER 60
FERNERKUNDUNGSVERFAHREN ZUR ERFASSUNG DER BAUMVITALITÄT 60
ARBEITSSICHERHEIT IN KLIMAGESCHÄDIGTEN WÄLDERN 61
FAZIT 61

9 LITERATURVERZEICHNIS 63

ANLAGEN 65

1 ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDS-ERHEBUNG

Das Jahr 2026 war durch außergewöhnlich hohe Temperaturen und ausgeprägte Trockenheit gekennzeichnet, die weit über den Zeitraum der Waldzustandserhebung hinaus anhielten. Diese Witterungsbedingungen trafen auf Wälder, deren Vitalität infolge wiederholter Hitze- und Trockenperioden der vergangenen Jahre vielerorts bereits beeinträchtigt war. Im Verlauf des Sommers führte die anhaltend hohe klimatische Belastung zunehmend zu sichtbaren Stress- und Schadsymptomen an den Waldbäumen. Das vollständige Ausmaß der Auswirkungen lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abschließend beurteilen, da sich Folgeschäden der Trockenheit erst nach dem Austrieb und der weiteren Entwicklung der Bäume im kommenden Jahr zeigen werden.

Bereits während der Waldzustandserhebung (WZE), die von Mitte Juli bis in die zweite Augusthälfte durchgeführt wurde, war eine zunehmende Schädigung der Waldbäume zu beobachten. Zunächst waren vor allem Einzelbäume in Randlage sowie exponiert stehende Verjüngung betroffen, die erste sichtbare Anzeichen von Hitze- und Trockenstress zeigten. Dazu gehörten Welkeerscheinungen, Verfärbungen und das Einrollen der Blätter. Teilweise wurden auch grüne Blätter bereits vorzeitig abgeworfen. Insbesondere in exponierter Verjüngung traten zudem auffallende Strahlungsschäden an den Blättern auf. Mit zunehmender Dauer der Hitze und Trockenheit verstärkten sich diese Symptome und es wurden auch an älteren Bäumen eine starke Blattverfärbung und ein erhöhter Laubverlust beobachtet (Abb. 1).

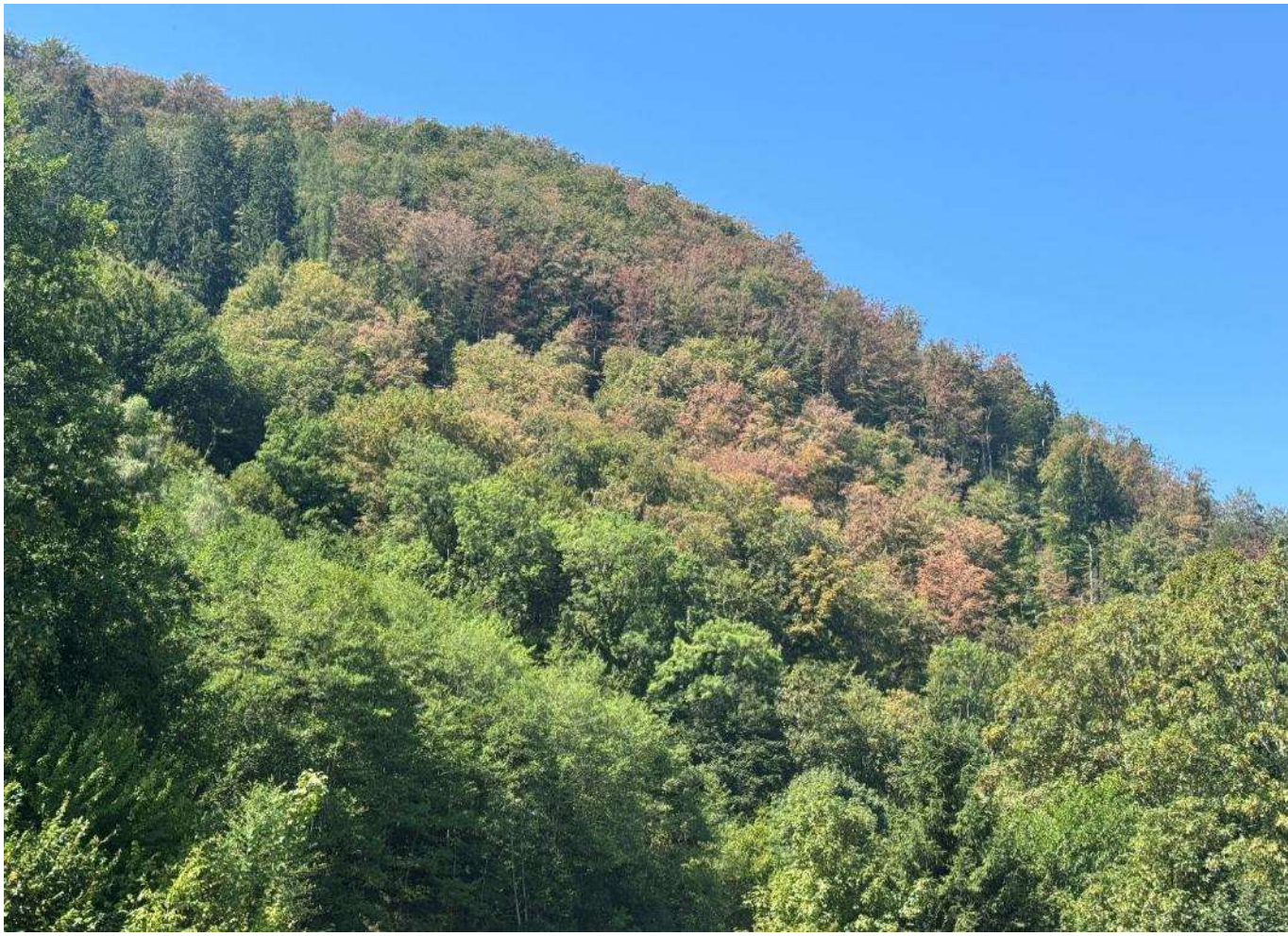


Abb. 1: *Trocknis- und Hitzeschäden an Buchen im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Foto: S. Meining).*

Akut abgestorbene Bäume traten während des Erhebungszeitraums der Waldzustandserhebung dagegen noch selten auf. Zunächst zeigten vor allem Birke, Buche und Bergahorn, aber auch weitere Laubbaumarten wie Hainbuche, Spitzahorn und Robinie deutliche Reaktionen auf den Hitze- und Trockenstress. Einige Baumarten wiesen zudem eine starke Fruktifikation auf, was den physiologischen Stress der Bäume zusätzlich erhöhte. An den im Rahmen der Waldzustandserhebung untersuchten Eichen wurden dagegen vielerorts nur geringe Trockenstresssymptome in den Baumkronen registriert. Nach Abschluss des Erhebungszeitraums verschärften sich die Symptome bei den Laubäumen ab Ende August noch erheblich.

Bei den Nadelbaumarten waren zunächst nur wenige akute Kronenschäden sichtbar. Seit dem frühen Herbst traten aber auch hier vermehrt gravierende Kronenschäden auf. Aufgrund ihres späten Auftretens konnten diese in der diesjährigen Waldzustandserhebung kaum erfasst werden. Zu den im Spätsommer zunehmend beobachteten Schäden trug auch der ansteigende Borkenkäferbefall bei. Der trockenheiße Sommer beschleunigte ihre Entwicklung, während die Widerstandsfähigkeit der durch Trockenheit und Hitze geschwächten Bäume weiter abnahm.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2026 sind daher vor dem Hintergrund des Erhebungszeitraums zu betrachten. Sie bilden den Waldzustand während einer noch andauernden und sich weiter verschärfenden Hitze- und Trockenperiode ab. Die weitere Entwicklung der Schäden im Spätsommer und Herbst kann hier nicht abgebildet werden und wird sich erst mit der Waldzustandserhebung 2027 zeigen.

Die Waldzustandserhebung wird in Baden-Württemberg seit Beginn der Erhebung Anfang der 1980er-Jahre in einem festgelegten Zeitraum von Mitte Juli bis in die zweite Augusthälfte durchgeführt. Im Jahr 2026 entwickelten sich die Folgen der außergewöhnlichen Hitze und Trockenheit jedoch bis in den Herbst hinein weiter. Zahlreiche Kronenschäden traten daher erst gegen Ende oder nach Abschluss der regulären Erhebung auf. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung bilden den Waldzustand zum Zeitpunkt der Aufnahme korrekt ab, erfassen die weitere Verschlechterung im Jahresverlauf jedoch nur teilweise. Welche unmittelbaren Folgen die außergewöhnlichen Witterungsbedingungen des Jahres 2026 tatsächlich für den Wald haben, wird sich erst mit dem Austrieb im kommenden Frühjahr und der landesweiten Waldzustandserhebung 2027 zeigen. Darüber hinaus ist bei vielen Baumarten infolge dieses Extremjahres auch mittel- bis langfristig von einer Einschränkung der Vitalität auszugehen.

Reaktion der Bäume auf Trockenheit und Hitze

Bei zunehmendem Wassermangel reagieren Bäume zunächst mit einer Einschränkung der Wasserabgabe über die Nadeln und Blätter. Über die Spaltöffnungen (Stomata) regulieren sie die Transpiration und damit einen wesentlichen Teil ihres Wasserhaushalts. Bei Trockenheit werden die Spaltöffnungen weitgehend geschlossen, wodurch die Wasserverluste begrenzt werden. Gleichzeitig wird jedoch die Aufnahme von Kohlendioxid eingeschränkt und damit die Photosynthese reduziert. Bei länger anhaltendem Trockenstress stehen dem Baum dadurch weniger Ressourcen in Form von Assimilaten für Stoffwechsel, Wachstum und Abwehrprozesse zur Verfügung.

Die Einschränkung der Transpiration vermindert gleichzeitig die Verdunstungskühlung der Nadeln und Blätter. Bei hohen Temperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung kann sich das Pflanzengewebe dadurch stärker erwärmen und unmittelbar geschädigt werden. Sichtbare Folgen sind Blattwelke sowie das Verbraunen und Absterben von Nadeln und Blättern oder einzelnen Kronenteilen. Anhaltender Trockenstress kann zudem eine vorzeitige Seneszenz und einen frühzeitigen Verlust von Nadeln und Blättern auslösen. Soweit die physiologischen Prozesse noch aufrechterhalten werden können, werden dabei mobile Nährelemente wie Stickstoff und Phosphor aus den Blättern zurückverlagert und in anderen Pflanzenorganen gespeichert. Bei einer raschen Schädigung und dem Absterben des Blattwerks ist diese Rückverlagerung dagegen nur eingeschränkt möglich, wodurch dem Baum ein großer Teil der darin gebundenen Nährstoffe verloren geht.

Nadel-/Blattverlust

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2026 zeigen, nach drei Jahren mit rückläufiger Kronenverlichtung, unter dem Einfluss der außergewöhnlichen Trockenheit und Hitze eine Verschlechterung des Kronenzustandes. Der mittlere Nadel-/Blattverlust über alle Baumarten und Altersgruppen steigt gegenüber dem Vorjahr um 2,3 Prozentpunkte auf 28,7 Prozent (Abb. 3). Damit wird die rückläufige Entwicklung der vergangenen Jahre unterbrochen. Angesichts der außergewöhnlichen Belastungssituation 2026 ist davon auszugehen, dass die zum Zeitpunkt der Erhebung festgestellte Verschlechterung das tatsächliche Ausmaß der Beeinträchtigung nur teilweise widerspiegelt.

Eine Zunahme der Kronenverlichtung ist sowohl bei den jüngeren als auch bei den älteren Bäumen festzustellen, wobei der Anstieg bei den älteren etwas stärker ausfällt. Jüngere Bäume weisen im Mittel weiterhin eine deutlich geringere Kronenverlichtung als ältere Bäume auf. In der langfristigen Entwicklung zeigen beide Altersgruppen jedoch einen weitgehend parallelen Verlauf. Im Jahr 2026 steigt der mittlere Nadel-/Blattverlust bei den bis 60-jährigen Bäumen auf 17,1 Prozent und bei den Bäumen ab 61 Jahren auf 35,5 Prozent.

Die Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste über alle Baumarten und Altersgruppen weist einen

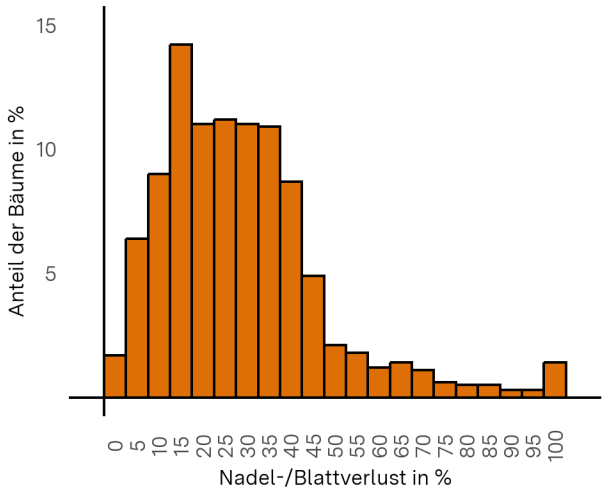


Abb. 2: *Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste aller bewerteten Bäume der Waldzustandserhebung 2026.*

Schwerpunkt im Bereich zwischen 15 und 35 Prozent auf (Abb. 2). Über die Hälfte aller untersuchten Bäume entfallen auf diesen Bereich. Das Häufigkeitsmaximum liegt bei einem Nadel-/Blattverlust von 15 Prozent. Oberhalb von 35 Prozent nimmt der Anteil der Bäume mit steigenden Verlusten dagegen deutlich ab. Die Verteilung reicht jedoch bis zu sehr hohen Verlustwerten, sodass ein Teil der Stichprobenbäume erhebliche Kronenschäden aufweist. Bei 100 Prozent Nadel-/Blattverlust ist ein erneuter Anstieg erkennbar, der den Anteil seit der letzten Erhebung abgestorbener, aber noch stehender Bäume kennzeichnet.

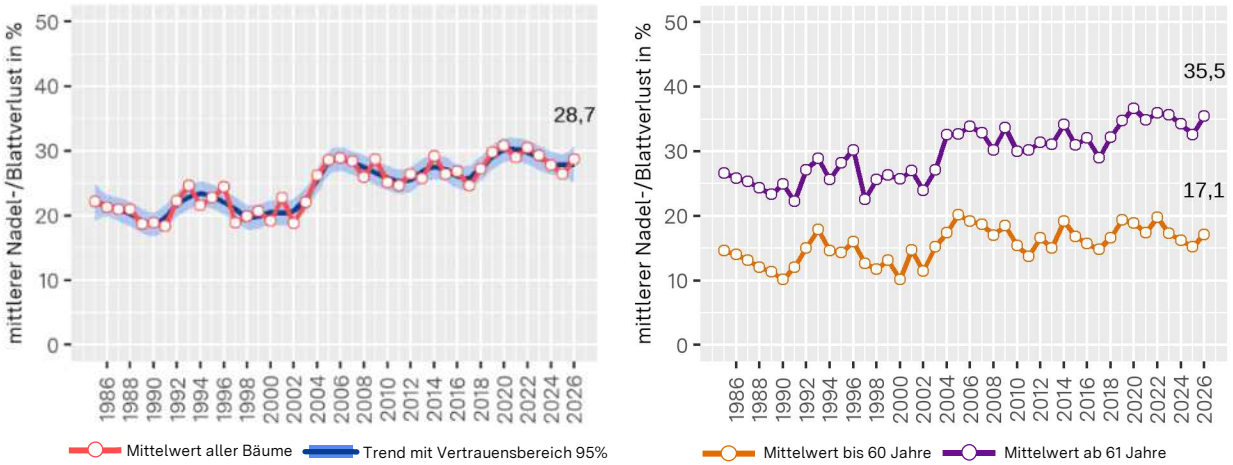


Abb. 3: *Mittlerer Nadel-/Blattverlust in den Jahren 1985 bis 2026 für alle Bäume (links) sowie für die Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ (rechts).*

Zweitaufnahme im September

Im weiteren Verlauf des Sommers wurden nach Abschluss des regulären Zeitraums der Waldzustandserhebung zunehmend Veränderungen des Kronenzustandes sichtbar. Um diese Entwicklung exemplarisch zu dokumentieren, wurde Mitte September auf den WZE-Schulungspfaden für Buche und Eiche eine Wiederholungsaufnahme durchgeführt. Auf diesen Schulungspfaden der FVA werden ausgewählte Bäume im Rahmen der jährlichen Schulung zur Waldzustandserhebung von den Aufnahmeteams gemeinsam angesprochen und bewertet (vgl. „Methodik der Waldzustandserhebung“ ab S. 56).

Die Erstaufnahme der Bäume erfolgte Mitte Juli, sodass durch die erneute Bewertung Mitte September Veränderungen des Kronenzustandes über einen Zeitraum von rund zwei Monaten erfasst werden konnten.

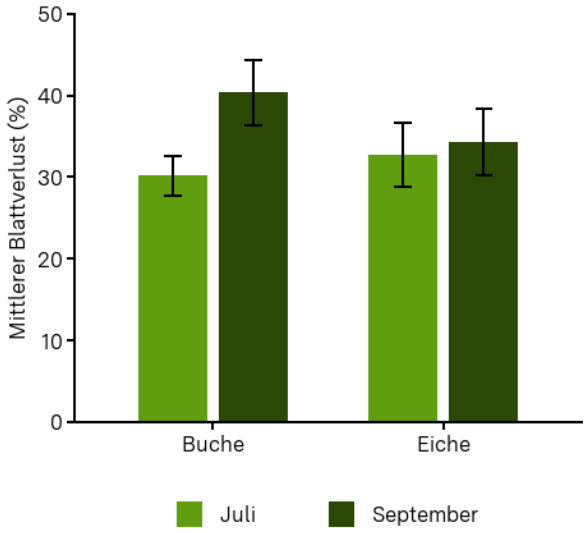


Abb. 4: *Mittlerer Blattverlust auf den WZE-Schulungspfaden Buche und Eiche bei den Erhebungen im Juli und September.*



Abb. 5: *Deutlich verbraunte und geschädigte Buchenkronen im September 2026 auf dem WZE-Schulungspfad Buche (Foto: S. Meining).*

Bei der Buche waren gegenüber der Erstaufnahme deutliche Veränderungen festzustellen. An zahlreichen Bäumen traten Mitte September Blattverbraunungen und vorzeitiger Blattfall auf (Abb. 5). Der mittlere Blattverlust der untersuchten Schulungsbäume erhöhte sich innerhalb von zwei Monaten um rund zehn Prozentpunkte (Abb. 4). Dabei zeigten sich erhebliche Unterschiede zwischen den Einzelbäumen. Während einige Buchen bis Mitte September nahezu ihre gesamte Blattmasse verloren hatten, war bei anderen weiterhin eine dicht belaubte Krone mit nur wenig verfärbtem Blattwerk festzustellen. Die Beobachtungen am Schulungspfad entsprechen dem landesweit beobachteten Bild: Im weiteren Verlauf des Sommers verschlechterte sich der Kronenzustand vieler Buchen zunehmend, wobei die einzelnen Bäume sehr unterschiedlich auf die Hitze und Trockenheit reagierten.

Im Unterschied zur Buche zeigte die Eiche bei der Wiederholungsaufnahme auf dem Schulungspfad einen weitgehend unveränderten Kronenzustand. Der mittlere Blattverlust unterschied sich zwischen Erst- und Zweitaufnahmen nur geringfügig.
Lediglich an einzelnen Eichen wurden leichte Vergilbungen oder Verbraunungen der Blätter festgestellt. Auffällig waren dagegen erhebliche Kronenbrüche an zwei Eichen. Ein Zusammenhang dieser Ereignisse mit der ausgeprägten Trockenheit des Sommers ist möglich, lässt sich ohne weitergehende Untersuchungen jedoch nicht eindeutig feststellen.

Regionale Verteilung

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen deutliche regionale Unterschiede im Kronenzustand der Waldbäume. Diese lassen sich unter anderem durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Waldbestände hinsichtlich Baumarten und Baumalter sowie durch regionale Unterschiede der Standorts- und Witterungsbedingungen erklären. Abbildung 6 zeigt den Anteil stark geschädigter Bäume mit einem Nadel-/Blattverlust von über 60 Prozent sowie abgestorbener Bäume mit 100 Prozent Nadel-/Blattverlust in den einzelnen Landkreisen. Besonders häufig treten diese in den laubholzgeprägten Regionen im Nordwesten und Norden des Landes auf. Hier machen stark geschädigte und abgestorbene Bäume mehr als 10 Prozent des untersuchten Baumbestandes aus.

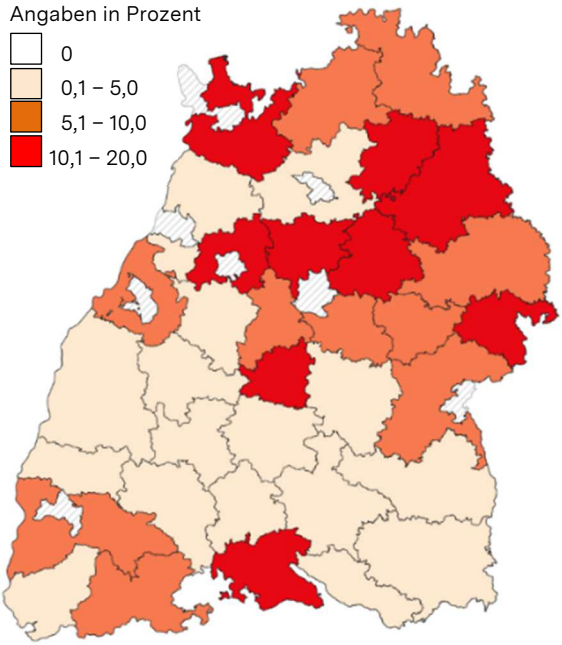


Abb. 6: *Anteil an stark geschädigten und abgestorbenen Bäumen (Schadstufen 3 und 4) in den Landkreisen. Landkreise mit weniger als 50 Bäumen in der Stichprobe wurden nicht berücksichtigt (grau gestreift).*

In weiten Teilen der Landesmitte und des Südostens ist ihr Vorkommen dagegen deutlich geringer. Einzelne Landkreise im Süden weichen von diesem großräumigen Muster ab und weisen ebenfalls erhöhte Anteile stark geschädigter bzw. abgestorbener Bäume auf.

Ein ähnliches räumliches Bild zeigt sich bei der Veränderung der mittleren Kronenverlichtung an den einzelnen Stichprobenpunkten gegenüber dem Vorjahr (Abb. 7). Bei der Buche ergibt sich in weiten Landesteilen eine Verschlechterung des Kronenzustandes. Besonders im Norden und Nordosten sowie im äußersten Südwesten treten gehäuft Aufnahmepunkte mit einer deutlichen Zunahme der Kronenverlichtung auf. Demgegenüber häufen sich insbesondere im Bereich der höheren Lagen des Schwarzwaldes Aufnahmepunkte, an denen sich der Kronenzustand zum Zeitpunkt der Aufnahmen gegenüber dem Vorjahr leicht verbessert hat. Im Gegensatz zur Buche zeigt sich bei der Eiche ein deutlich ausgeglicheneres Bild. Hier überwiegen leichte Veränderungen gegenüber dem Vorjahr, wobei sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen auftreten. Deutliche Veränderungen des Kronenzustandes sind nur an einzelnen Aufnahmepunkten festzustellen.

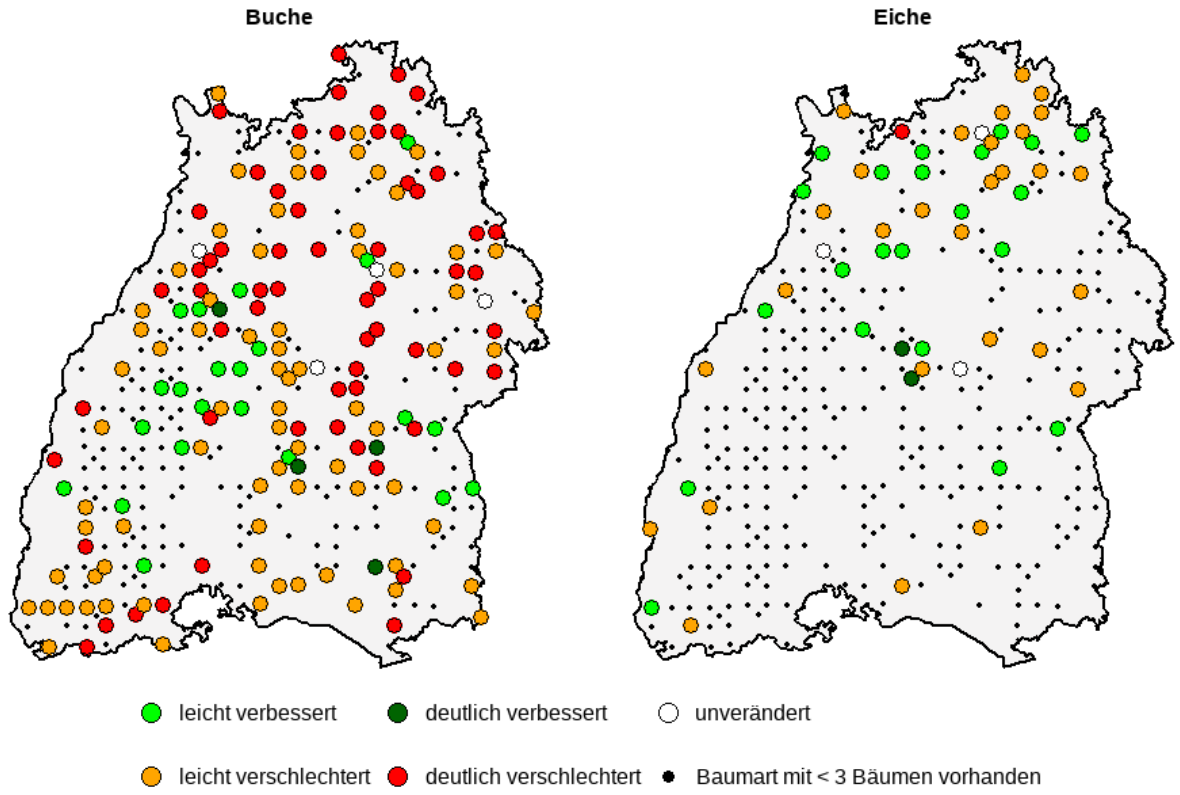


Abb. 7: *Veränderung des mittleren Blattverlusts von Buchen (links) und Eichen (rechts) gegenüber der Vorjahresaufnahme. Berücksichtigt wurden ausschließlich Bäume, die in beiden Aufnahmen erfasst wurden, sowie Aufnahmepunkte mit mindestens drei Bäumen der jeweiligen Baumart. Die Kategorien kennzeichnen eine Veränderung um mehr als 10 Prozentpunkte („deutlich"), bis zu 10 Prozentpunkten („leicht") bzw. keine Veränderung („unverändert").*

Verjüngungsaufnahme unter Schirm

Die Waldverjüngung ist von zentraler Bedeutung für die langfristige Entwicklung und Anpassungsfähigkeit der Wälder. Sie bildet die Grundlage der zukünftigen Waldbestände und kann insbesondere dort an Bedeutung gewinnen, wo ältere Bäume infolge von Trockenheit, Hitze oder anderen Störungen ausfallen. Bereits etablierte junge Bäume können entstehende Lücken rasch besetzen und zur Stabilisierung und weiteren Entwicklung der Bestände beitragen. Vor dem Hintergrund des Klimawandels stellt sich dabei zunehmend die Frage, wie die junge Baumgeneration mit ausgeprägten Hitze- und Trockenperioden zurechtkommt.

Aus diesem Grund wurde die Waldverjüngung 2026 erstmals in die Waldzustandserhebung Baden-Württembergs einbezogen. Zusätzlich zu den regulären Probebäumen wurde die unter dem Kronendach vorhandene Verjüngung an den Stichprobenpunkten der Waldzustandserhebung erfasst und gezielt auf sichtbare Trockenstresssymptome untersucht. An 217 der 318 aufgenommenen Stichprobenpunkte ist eine Verjüngung vorhanden, überwiegend in Form von Naturverjüngung. Damit weisen mehr als zwei Drittel der untersuchten Punkte eine nachwachsende Baumgeneration auf. Der Deckungsgrad der Verjüngung variiert dabei sehr stark. Das Spektrum reicht von einzelnen jungen Bäumen bis hin zu einer nahezu flächendeckenden Verjüngung. Im Mittel betrug der Deckungsgrad knapp 20 Prozent.

Die Baumartenzusammensetzung wird deutlich von der Buche bestimmt. Mit größerem Abstand folgen Fichte, Tanne und Bergahorn. Lichtbedürftige Baumarten wie Eiche, Kiefer oder Birke kommen dagegen an den Punkten der Waldzustandserhebung nur vergleichsweise selten in der Verjüngung vor. Dieses

Verteilungsmuster ist auch durch die Aufnahmesituation geprägt, da die Stichprobenpunkte überwiegend dort liegen, wo noch eine geschlossene oder teilweise geschlossene Baumschicht vorhanden ist und die Lichtverhältnisse daher insbesondere die Etablierung schattentoleranter Baumarten begünstigen.

Zum Zeitpunkt der Erhebung befand sich die Entwicklung sichtbarer Hitze- und Trockenstresssymptome vielerorts noch in einem frühen Stadium. Dennoch wurden bereits an 49 Stichprobenpunkten entsprechende Schäden in der Verjüngung festgestellt. Dies entspricht 22,6 Prozent der 217 Stichprobenpunkte, an denen Verjüngung vorhanden war. Besonders auffällig waren Blattverfärbungen an jungen Buchen und Bergahornen, die vielfach an besonders exponierten Pflanzen in Verbindung mit starker Hitze- und Sonneneinstrahlung auftraten (Abb. 8). Bei jungen Tannen wurde vor allem das Abtrocknen der diesjährigen Triebe beobachtet. Die Fichtenverjüngung zeigte zum Zeitpunkt der Erhebung dagegen selten sichtbare Trockenstresssymptome. Bei den übrigen Baumarten war aufgrund ihres geringen Vorkommens keine eindeutige Häufung von Schäden feststellbar.

Wie bei den älteren Bäumen ist auch bei der Verjüngung zu berücksichtigen, dass sich die außergewöhnliche Hitze- und Trockenperiode in diesem Jahr nach Abschluss der Aufnahmen weiter fortsetzte und die Erhebung daher nur den zu diesem Zeitpunkt sichtbaren Zustand abbildet. Die erneute Erfassung im kommenden Jahr wird zeigen, wie sich der Zustand der Verjüngung entwickelt und welche Folgewirkungen der Trockenheit 2026 erkennbar werden.



Abb. 8: *Häufig beobachtete Hitze- und Strahlungsschäden an Buchenblättern (Foto: S. Meining).*

Abgestorbene und ausgefallene Bäume

Seit der Erhebung im Vorjahr sind insgesamt 3,9 Prozent der Bäume aus der Stichprobe der Waldzustandserhebung ausgefallen. Die Gesamtausfallrate liegt damit leicht unter dem Vorjahreswert (Abb. 9). Sie setzt sich aus der Ausfallrate von 3,7 Prozent und der Mortalitätsrate von 0,2 Prozent zusammen. Die Ausfallrate umfasst Bäume, die seit der vorangegangenen Erhebung entnommen wurden, umgefallen sind oder aufgrund einer Veränderung der sozialen

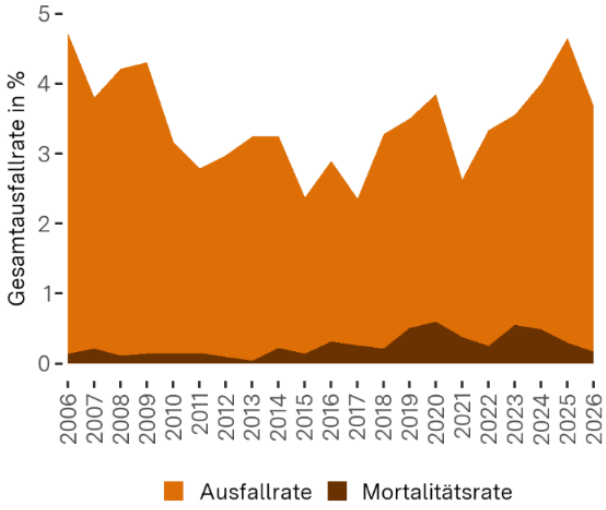


Abb. 9: *Gesamtausfallrate unterteilt in Ausfall- und Mortalitätsrate (berechnet auf dem einheit-lichen 8x8 km-Netz ab 2006).*

Stellung (Kraftsche Klasse) nicht mehr zur regulären Stichprobe gehören. Die Mortalitätsrate umfasst dagegen Bäume, die seit der letzten Erhebung abgestorben sind und zum Zeitpunkt der aktuellen Erhebung noch am Stichprobenpunkt standen.

Der Rückgang der Ausfallrate ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass 2026 deutlich weniger Fichten aus der Stichprobe entnommen wurden. Bis zum Zeitpunkt der Erhebung waren die Einschlagsmengen aufgrund von Borkenkäferschäden geringer als im Vorjahr. Bei Tanne, Douglasie und Buche ist gegenüber dem Vorjahr dagegen ein leichter Anstieg der Ausfallrate festzustellen. Auch die Mortalitätsrate ist 2026 mit 0,2 Prozent gering. Insgesamt wurden lediglich 13 Bäume erfasst, die seit der letzten Erhebung abgestorben waren und noch am Stichprobenpunkt standen.

Die niedrige Ausfall- und Mortalitätsrate im Jahr 2026 ist jedoch vor dem Hintergrund der erst im weiteren Verlauf des Sommers deutlich zunehmenden Hitze- und Trockenschäden mit Zurückhaltung zu bewerten. Erst bei der nächsten Waldzustandserhebung 2027 wird sich zeigen, wie sich die extreme Sommerwitterung 2026 auf die Ausfälle und Mortalität auswirkt. Neben den unmittelbaren Auswirkungen der Trockenheit können dabei auch zeitlich verzögert auftretende Schäden, beispielsweise durch Borkenkäferbefall an geschwächten Bäumen, eine große Rolle spielen (Abb. 10).

Borkenkäferentwicklung 2026

Infolge der Trockenjahre seit 2018 hatten sich die Populationen verschiedener Borkenkäferarten insbesondere bei Fichten und Tannen stark erhöht. Die Kombination aus hoher Ausgangspopulation und durch Trockenheit geschwächten Wirtsbäumen führte über mehrere Jahre zu umfangreichen Käferschäden. Im Jahr 2024 war die Belastung regional noch hoch, bevor sich die Situation 2025 deutlich entspannte. So sind die landesweiten Mengen eingeschlagener



Abb. 10: *Abgestorbene Fichten nach Hitze- und Trockenstress und zusätzlichem Borkenkäferbefall (Foto: S. Meining).*

Käferbäume im letzten Jahr deutlich zurückgegangen und lagen unter denen der Vorjahre (DELB et al., 2026).

Dieser rückläufige Trend schien sich zunächst auch im Jahr 2026 fortzusetzen. Im Frühjahr waren zu Beginn der Borkenkäfersaison die Ausgangsbedingungen in den Nadelwäldern günstig. Denn es gab insgesamt nur vergleichsweise wenig frisches Sturm- oder Schneebruchholz, das für Käferbruten als Ausgangspunkt für Massenvermehrungen hätte dienen können. So waren sowohl die verbuchten Käferholzmengen bei Fichte und Tanne als auch die Fangzahlen bei Borkenkäfern in der ersten Jahreshälfte noch wenig besorgniserregend. Mit zunehmender Hitze und Trockenheit nahm jedoch die Entwicklungsgeschwindigkeit der Käfer zu, während sich die Widerstandskraft der Bäume gegenüber einem Befall deutlich reduzierte. Infolgedessen änderte sich die Situation im weiteren Verlauf des Sommers und es wurden zunehmend rot verfärbte Kronen an Fichten, Tannen und Douglasien beobachtet. Diese Symptome sind entweder als eine direkte Folge der Hitze und Dürre oder, weit öfter, in Verbindung mit einem Borkenkäferbefall aufgetreten (FVA, 2026). Demzufolge stieg der dem Käfer zugeschriebene Schadholzeinschlag im August und September deutlich an. Diese Situation erhöht das Risiko, dass die Populationsdichten wieder zunehmen und sich die Borkenkäfergefahr in den nächsten Jahren erneut verschärfen wird. Vor diesem Hintergrund wird ein konsequentes und möglichst flächendeckend vorbeugendes Borkenkäfermanagement im kommenden Winterhalbjahr wieder von besonderer Bedeutung sein.

Waldbrandgefahr

In den trocken-heißen Sommermonaten stieg die Waldbrandgefahr landesweit deutlich an. Im August galt in fast allen Landesteilen die Waldbrandstufe 4 (hohe Waldbrandgefahr). In einzelnen Gebieten, unter anderem Rheinstetten, Bad Mergentheim und im Nationalpark Schwarzwald, wurde zeitweise sogar die höchste Waldbrandstufe 5 (sehr hohe Gefahr) ausgerufen.

Vor allem im August kam es in mehreren Regionen zu einzelnen Waldbränden. Größere Brände, teilweise in schwer zugänglichem Gelände, wurden in den



Abb. 11: *Das Hinweisschild „Waldbrand verhindern“ soll Waldbesucherinnen und Waldbesucher für die Waldbrandgefahr sensibilisieren und zeigt, was im Falle eines Waldbrandes zu tun ist.*

Landkreisen Ortenau, Rottweil und Mannheim registriert. Dank der bewährten Zusammenarbeit von Forst und Feuerwehr konnten die Brände jedoch schnell unter Kontrolle gebracht und größere Schäden verhindert werden.

Mit zunehmend heißen und trockenen Sommern steigt infolge des Klimawandels auch in Baden-Württemberg die Waldbrandgefahr. Die vergangenen Sommermonate haben gezeigt, wie wichtig es ist, Waldbrände durch umsichtiges Verhalten und konsequente Präventionsmaßnahmen möglichst zu verhindern, entstehende Brände frühzeitig zu erkennen und durch eine enge Zusammenarbeit der beteiligten Akteure schnell und wirksam zu bekämpfen (Abb. 11).

Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

Integriertes Waldbrandmanagement

Die Plattform „Integriertes Waldbrandmanagement Baden-Württemberg“ entwickelt Handlungsempfehlungen für die Waldbrandprävention und -bekämpfung, um Akteure aus den Bereichen Forst und Feuerwehr im Umgang mit Vegetationsbränden zu unterstützen. Dazu zählt die verstärkte Kooperation von Forst und Feuerwehr auf Landkreisebene ebenso wie die Entwicklung von lokalen Waldbrandmanagementplänen, auf deren Grundlage präventive Maßnahmen auf besonders gefährdeten Waldflächen ergriffen werden können. Es wurden Empfehlungen zur Einsatztaktik und zum Umgang mit Totholz im Wald sowie verschiedene Produkte und Aktionen zur Bewusstseinsbildung unterschiedlichster Zielgruppen entwickelt und durchgeführt.

Im Jahr 2023 wurden bereits Forst-Feuerwehr-Tandems in allen Landkreisen etabliert, die sich aus jeweils zwei Expertinnen und Experten aus Forstverwaltung und Feuerwehr zusammensetzen, um die Kooperation vor Ort zu stärken. Seit dem Jahr 2025 steht den Stadt- und Landkreisen mit WAMIN ein GIS-basiertes Waldbrandmanagement-Informationssystem zur Prävention und Vorbereitung auf Waldbrände zur Verfügung, das aktuell für die Einsatzplanung weiter ausgebaut wird.

Link zur Plattform „Integriertes Waldbrandmanagement Baden-Württemberg“:
www.fva-bw.de/waldbrandplattform

Vergilbung

Vergilbungen der Nadeln und Blätter können auf Störungen in der Nährstoffversorgung der Bäume hinweisen. Insbesondere eine unzureichende Magnesiumversorgung kann zu charakteristischen Gelbverfärbungen führen. In den 1980er- und 1990er-Jahren traten solche Symptome infolge hoher Schadstoffeinträge und der damit verbundenen Versauerung der Waldböden regional sehr häufig auf. Besonders betroffen waren immissionsbelastete Nadelwälder auf versauerungsempfindlichen Standorten, wie Teile des Schwarzwalds oder des Odenwalds.

Seit Beginn der Waldzustandserhebung ist die Vergilbungsrate deutlich zurückgegangen und liegt mittlerweile auf einem sehr niedrigen Niveau. Der langfristige Rückgang der Vergilbung steht insbesondere mit der starken Verringerung der Säureeinträge und der dadurch verminderten Belastung der Waldökosysteme in Zusammenhang. Zusätzlich haben Regenerationskalkungen auf stark versauerten Waldstandorten in vielen Gebieten Baden-Württembergs dazu beigetragen, der Bodenversauerung entgegenzuwirken und die Nährstoffverfügbarkeit zu verbessern.

Ausgeprägte Vergilbungssymptome, wie sie in früheren Jahrzehnten häufiger auftraten, spielen daher heute nur noch eine untergeordnete Rolle.

Im Jahr 2026 weisen lediglich 0,4 Prozent der untersuchten Bäume Vergilbungssymptome auf. Auch unter den ausgeprägten Hitze- und Trockenbedingungen des Jahres 2026 war während des Erhebungszeitraums keine deutliche Zunahme der Vergilbung festzustellen. Im Zusammenhang mit dem zunehmenden Trockenstress wurden dagegen häufiger Verbraunungen der Nadeln und Blätter beobachtet.

Schadstufen

Zur Bewertung des Kronenzustands werden die Parameter Nadel-/Blattverlust und Vergilbung zu fünf Schadstufen zusammengefasst (siehe auch Tab. 2 in Kapitel 7). Da Vergilbungen bereits seit einigen Jahren nur noch selten auftreten, wird die Einstufung in die Schadstufen im Wesentlichen durch den Nadel-/Blattverlust bestimmt. Die Ergebnisse der diesjährigen Erhebung zeigen eine Zunahme des Anteils deutlich geschädigter Bäume (Schadstufe 2 bis 4) auf

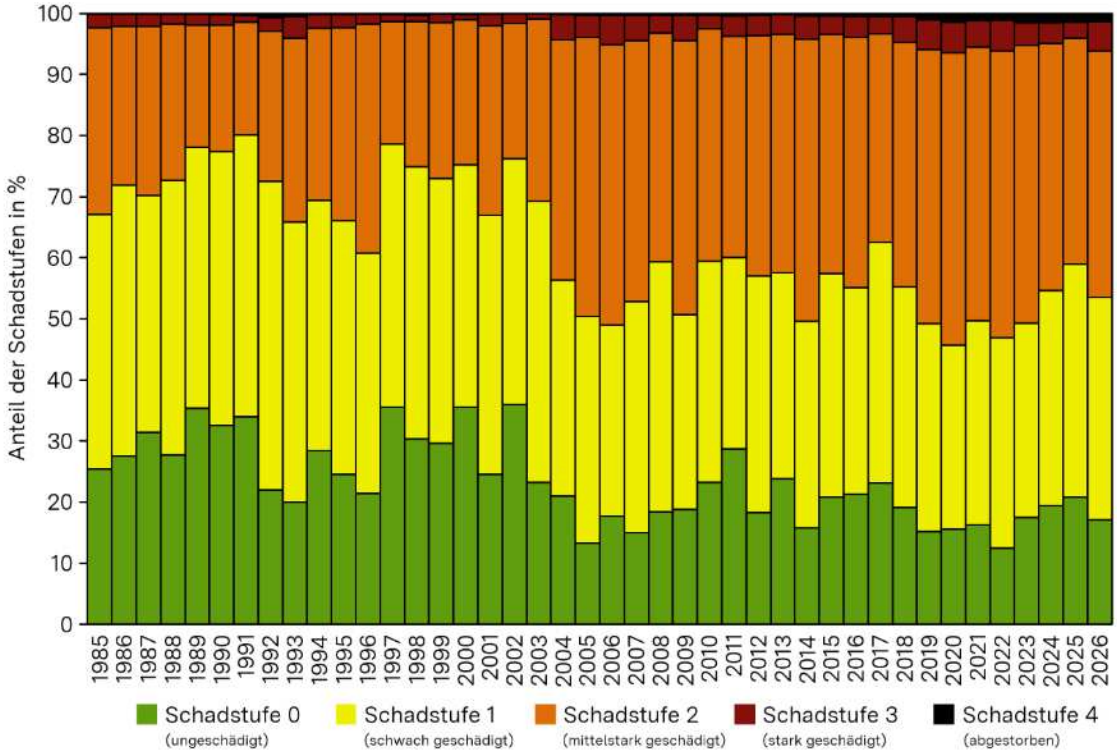


Abb. 12: *Schadstufenverteilung an den Erhebungspunkten der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2026.*

47 Prozent (Abb. 12). Damit steigt der Anteil deutlich geschädigter Bäume erstmals seit 2022 wieder an. Auffällig ist insbesondere die Zunahme der stark geschädigten Bäume. Ihr Anteil erhöht sich gegenüber dem Vorjahr von 3 auf 5 Prozent. Gleichzeitig verringert sich der Anteil ungeschädigter Bäume (Schadstufe 0) auf 17 Prozent. Der Anteil schwach geschädigter Bäume (Schadstufe 1) bleibt mit 36 Prozent weitgehend unverändert.

Die langfristige Entwicklung zeigt seit Beginn der 2000er-Jahre eine deutliche Verschiebung hin zu höheren Schadstufen. Einen markanten Anstieg gab es nach dem Trocken- und Hitzejahr 2003. Seither liegt der Anteil deutlich geschädigter Bäume trotz zwischenzeitlicher Schwankungen überwiegend auf einem höheren Niveau als in den ersten beiden Jahrzehnten der Zeitreihe. Diese Entwicklung spiegelt die zunehmende Belastung der Wälder durch ungünstige klimatische Bedingungen wider.

Fruktifikation

Eine starke Fruktifikation stellt für die Waldbäume eine erhebliche physiologische Beanspruchung dar. Die Ausbildung von Blüten, Früchten und Samen erfordert die Bereitstellung großer Mengen an Kohlenstoff und Nährstoffen. In Jahren mit intensiver Fruchtbildung, sogenannten Mastjahren, wird daher ein erheblicher Teil der verfügbaren Ressourcen in die generative Entwicklung investiert. Dies kann zulasten des vegetativen Wachstums der Bäume gehen und sich unter anderem in einem geringeren Trieblängenzuwachs sowie einer verminderten Blatt- oder Nadelmasse äußern. Bei der Beurteilung des Kronenzustandes ist die Fruktifikation daher als möglicher Einflussfaktor zu berücksichtigen.

Für die Auswertungen der Fruktifikationsintensität werden ausschließlich Bäume berücksichtigt, die ein Mindestalter von 50 Jahren erreicht haben. Dadurch wird sichergestellt, dass nur grundsätzlich reproduktionsfähige Individuen in die Analyse einbezogen werden.

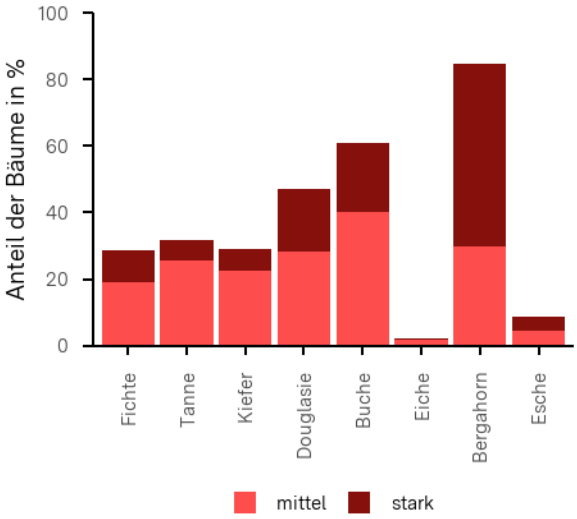


Abb. 13: *Anteil der Bäume mit mittlerer und starker Fruktifikationsintensität im Jahr 2026. Nur Bäume im blühfähigen Alter (ab 50 Jahren).*

Im Jahr 2026 ist insbesondere bei Bergahorn, Buche und Douglasie eine ausgeprägte Fruktifikation zu beobachten (Abb. 13). Beim Bergahorn weisen mehr als 80 Prozent der untersuchten Bäume einen mittleren oder starken Fruchtbehang auf. Bei der Buche trifft dies auf mehr als 60 Prozent und bei der Douglasie auf mehr als 45 Prozent der Bäume zu. Bei Eiche und Esche ist die Fruktifikation in diesem Jahr dagegen nur gering ausgeprägt.

Fichte

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2026 zeigen bei der Fichte gegenüber dem Vorjahr insgesamt nur eine geringe Veränderung des Kronenzustandes. Nach dem deutlichen Rückgang der Kronenverlichtung im vergangenen Jahr verringert sich der mittlere Nadelverlust 2026 nochmals leicht um 0,7 Prozentpunkte auf 26,2 Prozent (Abb. 15). Zwischen den beiden Altersgruppen zeigt sich dabei eine gegenläufige Entwicklung. Während der mittlere Nadelverlust bei den älteren Fichten zurückgeht, nimmt die Kronenverlichtung bei den jüngeren Bäumen dieses Jahr zu. Der Anteil deutlich geschädigter Fichten liegt bei 41 Prozent (Abb. 16). Weitere 41 Prozent sind schwach geschädigt, während 18 Prozent der untersuchten Fichten keine Schädigung aufweisen.

Die Ergebnisse zeigen zum Zeitpunkt der Erhebung noch keine deutliche Reaktion der Fichte auf die ausgeprägte Hitze und Trockenheit des Sommers 2026. Sichtbare Trockenschäden an den Kronen traten während des Erhebungszeitraums vergleichsweise selten auf. Im weiteren Verlauf des Sommers und bis in den Herbst wurden jedoch vielerorts vermehrt geschwächte und abgestorbene Fichten beobachtet. Diese Entwicklung ist vielfach auf das Zusammenwirken von Hitze- und Trockenstress mit einem zunehmenden Borkenkäferbefall durch Buchdrucker *(Ips typographus)* und/oder Kupferstecher *(Pityogenes chalcographus)* zurückzuführen.

Tanne

Der Kronenzustand der Tanne hat sich gegenüber dem Vorjahr erneut leicht verschlechtert. Nachdem der mittlere Nadelverlust bereits 2025 angestiegen war, erhöht er sich in diesem Jahr um weitere 0,6 Prozentpunkte auf 25,3 Prozent (Abb. 15). Während bei den älteren Tannen eine weitere Zunahme der Kronenverlichtung festzustellen ist, bleibt der Kronenzustand der jüngeren Bäume weitgehend unverändert.

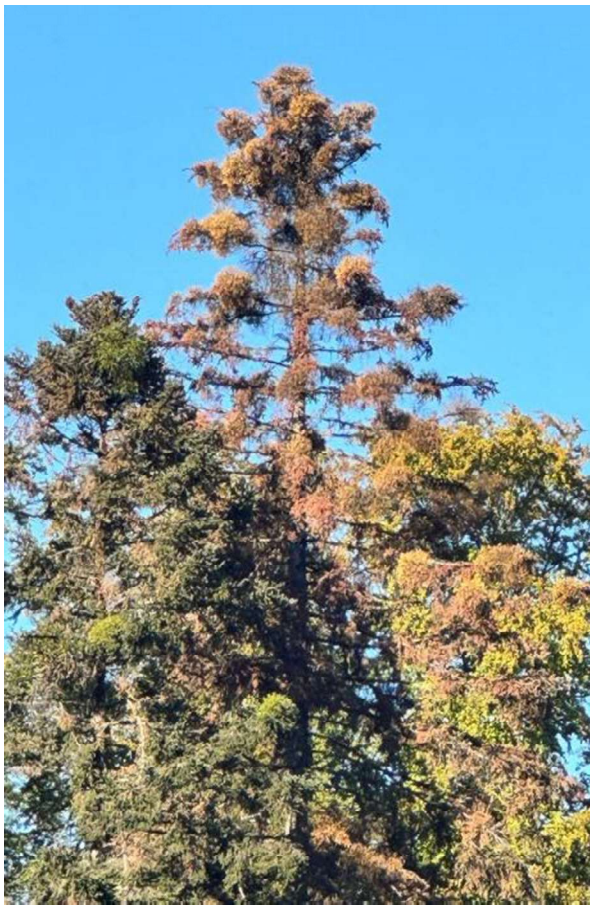


Abb. 14: *Abgestorbene Tanne mit starkem Mistelbefall (Foto: S. Meining).*

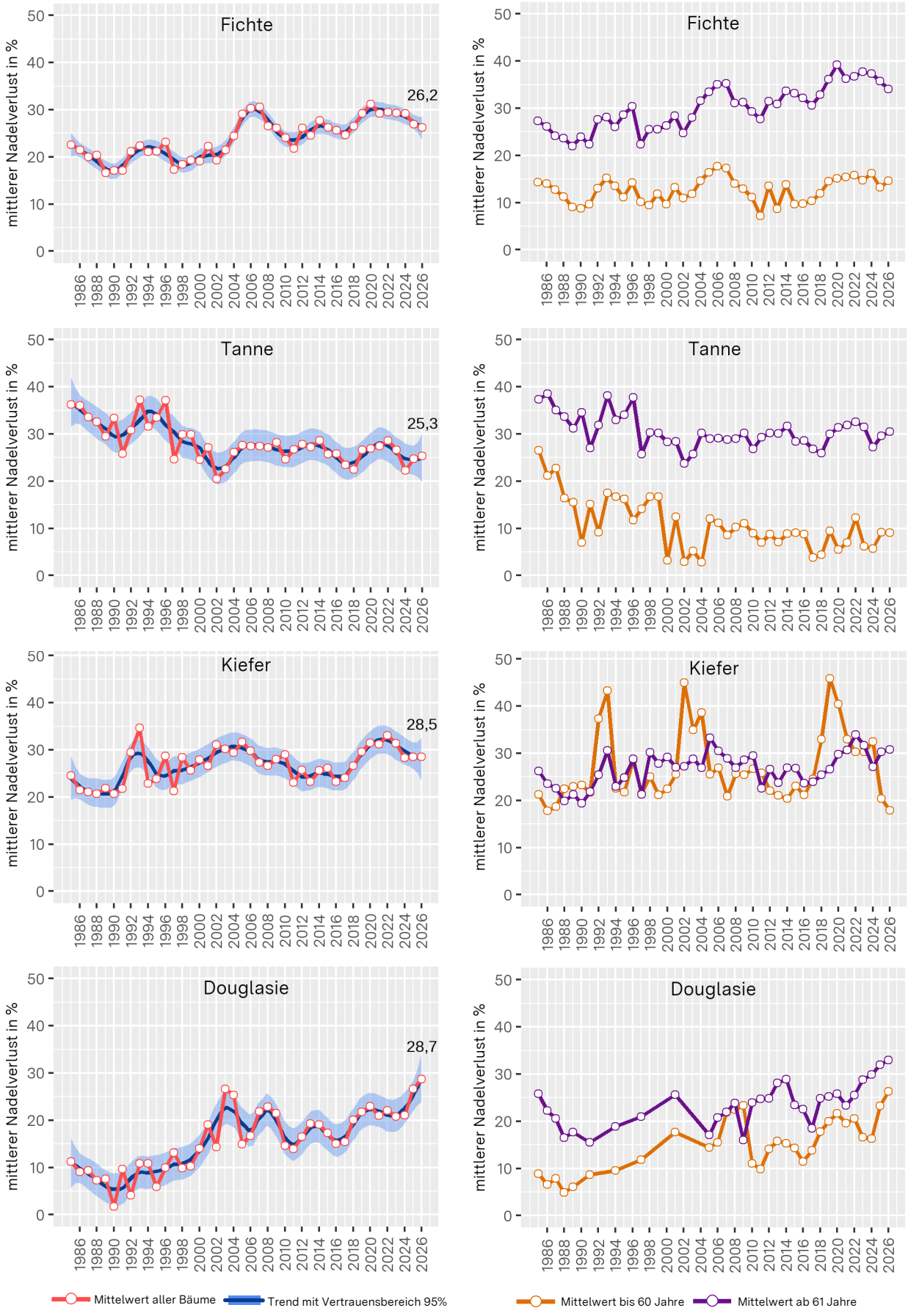


Abb. 15: *Mittlerer Nadelverlust der Jahre 1985 bis 2026 der Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer und Douglasie. Links: alle Bäume, rechts: Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“.*

Insgesamt sind 40 Prozent der Tannen deutlich geschädigt und 35 Prozent schwach geschädigt (Abb. 16). Mit einem Anteil von 25 Prozent ungeschädigter Bäume zeigt die Tanne gleichzeitig den höchsten Wert unter den untersuchten Nadelbaumarten.

Die Tanne gilt aufgrund ihres tiefreichenden Wurzelsystems als trockenheitstolerant und kann Bodenwasser aus größeren Tiefen erschließen als beispielsweise die Fichte. Dennoch haben die vergangenen Trockenjahre gezeigt, dass auch Tannen bei anhaltendem Wassermangel erheblich geschwächt werden können. Dies kann die Anfälligkeit gegenüber verschiedenen Tannenborkenkäfern erhöhen, deren Befall infolge der Trockenjahre 2018 bis 2020 zu erheblichen Schäden führte. Auch der Befall durch die Tannenmistel *(Viscum album ssp. abietis)* verstärkt den Trockenstress, da die Mistel dem Wirtsbaum kontinuierlich Wasser entzieht und damit insbesondere während längerer Trockenperioden den Wasserhaushalt der Tannen zusätzlich belastet (Abb. 14).

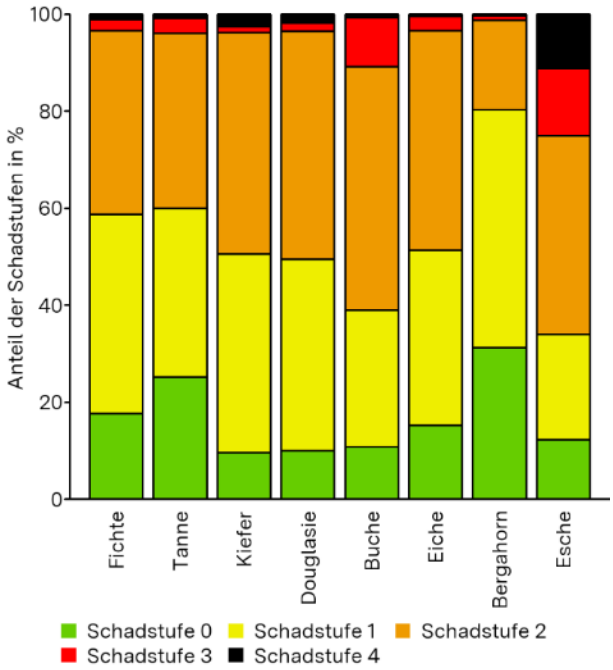


Abb. 16: *Anteil der Schadstufen für die Hauptbaumarten im Jahr 2026. Die Schadstufen 2 bis 4 werden zu den deutlich geschädigten Bäumen zusammengefasst.*

Kiefer

Die Kiefer zeigt trotz der ausgeprägten Hitze und Trockenheit gegenüber dem Vorjahr insgesamt keine Verschlechterung im Kronenzustand. Der mittlere Nadelverlust liegt unverändert bei 28,5 Prozent (Abb. 15). Zwischen den Altersgruppen zeigt sich jedoch eine gegenläufige Entwicklung: Der Kronenzustand der jüngeren Kiefern verbessert sich, während der mittlere Nadelverlust bei den älteren Bäumen zunimmt. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ist die Entwicklung bei den jüngeren Kiefern jedoch vorsichtig zu bewerten.

Insgesamt werden 49 Prozent der untersuchten Kiefern als deutlich geschädigt eingestuft. Weitere 41 Prozent weisen schwache Schäden auf, während lediglich 10 Prozent ungeschädigt sind (Abb. 16). Ein Schadensschwerpunkt der Kiefer liegt weiterhin auf den sandig-kiesigen Standorten der Oberrheinebene. Die dortigen Kiefernbestände sind aufgrund der geringen Wasserspeicherkapazität der Böden in Verbindung mit hohen Temperaturen und ausgeprägter Sommertrockenheit besonders starkem Trockenstress ausgesetzt. Entsprechend ist in diesem Gebiet insbesondere seit den Trockenjahren ab 2018 eine erhöhte Mortalität der Kiefer zu beobachten.

Zusätzlich wird der Wasserhaushalt vieler Kiefern durch den Befall mit Kiefernmistel *(Viscum album ssp. austriacum)* belastet, die insbesondere in der Rheinebene stark verbreitet ist. Die durch Hitze und Wassermangel geschwächten Kiefern sind zudem anfällig gegenüber weiteren Schadorganismen. Von besonderer Bedeutung ist das Diplodia-Triebsterben, das auch bei der diesjährigen Erhebung wiederholt an Kiefern festgestellt wurde. Es wird durch den Pilz *Sphaeropsis sapinea* verursacht, wobei der Erreger zunächst vor allem junge Triebe schädigt. Daneben sind bis in den Herbst regional vermehrt Kiefern unter dem Zusammenwirken von Hitze- und Dürrestress sowie Kiefernprachtkäferbefall abgestorben.

Douglasie

Der Kronenzustand der Douglasie hat sich in diesem Jahr weiter verschlechtert. Der mittlere Nadelverlust steigt gegenüber dem Vorjahr um 2,1 Prozentpunkte auf 28,7 Prozent (Abb. 15). Damit wird der Höchststand der bisherigen Zeitreihe aus dem Jahr 2025 nochmals überschritten. Die Zunahme der Kronenverlichtung betrifft sowohl jüngere als auch ältere



Abb. 17: *Rotverfärbte Douglasien im Spätsommer 2026 (Foto: S. Meining).*

Douglasien. Insgesamt sind 51 Prozent der untersuchten Douglasien deutlich geschädigt, 39 Prozent schwach geschädigt und lediglich 10 Prozent ungeschädigt (Abb. 16).

Neben der ausgeprägten Hitze und Trockenheit haben verschiedene weitere Einflussfaktoren zum erhöhten Schadniveau beigetragen. Hierzu zählen insbesondere die Rußige Douglasienschütte und der Befall durch die aus Nordamerika stammende Douglasien-Gallmücke. Die Rußige Douglasienschütte wird durch den Pilz *Phaeocryptopus gaeumannii* verursacht und schädigt die älteren Nadeljahrgänge der Bäume. Bei stärkerem Befall fallen die geschädigten Nadeln vorzeitig ab, wodurch es zu einer deutlichen Auflichtung der Kronen kommen kann. Die Douglasien-Gallmücke *(Contarinia pseudotsugae)* befällt dagegen die Nadeln des aktuellen Nadeljahrgangs. Die Larven entwickeln sich innerhalb der Nadeln und verursachen eine charakteristische Verfärbung und Schädigung, die ebenfalls zum vorzeitigen Nadelverlust beitragen können. Zusätzlich war in diesem Jahr eine starke Fruktifikation der Douglasie zu beobachten, die bei der Bewertung der diesjährigen Kronenverlichtung ebenfalls zu berücksichtigen ist.

Im Spätsommer und zu Herbstbeginn haben sich die Kronen von zahlreichen Douglasien vielerorts besorgniserregend rot verfärbt. Dies betraf zunächst oftmals nur die oberen Kronenbereiche, mit zunehmender Dauer wurden aber auch komplett abgestorbene Baumkronen festgestellt (Abb. 17). Diese Schäden wurden wesentlich durch den Hitze- und Dürrestress ausgelöst und wie in vergangenen Dürrejahren durch Borkenkäferbefall, etwa durch Kupferstecher oder Furchenflügeligen Fichtenborkenkäfer, verstärkt (FVA, 2026).

Sonstige Nadelbäume

Die Gruppe der sonstigen Nadelbäume wird überwiegend von Europäischer und Japanischer Lärche gebildet. Daneben sind in deutlich geringerer Anzahl einzelne Nordmanntannen und Schwarzkiefern sowie Thuja und Weymouth-Kiefern in der Stichprobe vertreten. Der mittlere Nadelverlust liegt bei 27,6 Prozent und damit 0,1 Prozentpunkte unter dem Vorjahreswert (Abb. 18). Damit bleibt der Kronenzustand der sonstigen Nadelbaumarten im vierten Jahr in Folge weitgehend stabil.

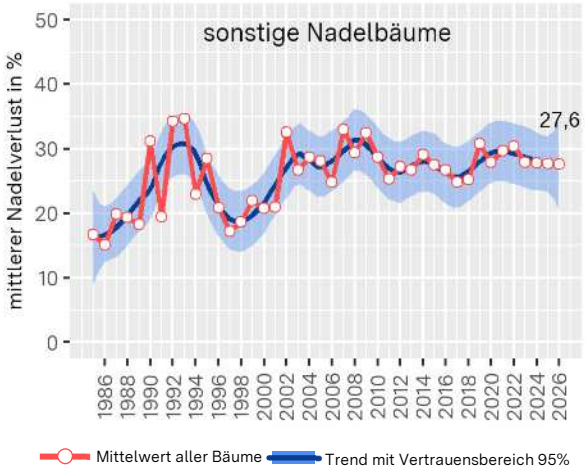


Abb. 18: *Mittlerer Nadelverlust der Jahre 1985 bis 2026 in der Gruppe der sonstigen Nadelbäume.*

Buche

Der Kronenzustand der Buche hat sich in diesem Jahr deutlich verschlechtert. Nach dem Rückgang der Kronenverlichtung im Vorjahr steigt der mittlere Blattverlust der Buchen um 7,2 Prozentpunkte auf 34,9 Prozent (Abb. 20). Insgesamt sind 61 Prozent der untersuchten Buchen deutlich geschädigt, 28 Prozent schwach geschädigt und lediglich 11 Prozent ungeschädigt (Abb. 16). Auffällig ist insbesondere der mit 10 Prozent hohe Anteil stark geschädigter Buchen (Schadstufe 3). Nur bei der Esche ist der Anteil stark geschädigter Bäume noch höher.

Die ausgeprägte Hitze und Trockenheit des Sommers 2026 stellte für die Buche eine erhebliche Belastung dar. Bereits früh im Sommer wurde an zahlreichen Probebäumen der Waldzustandserhebung eine ausgeprägte Schiffchenbildung der Blätter beobachtet. Diese Reaktion tritt bei Trockenheit und hoher Strahlungsbelastung auf. Dabei wölben sich die Blatthälften entlang der Mittelrippe nach oben und die Blattfläche nimmt eine rinnen- bzw. schiffchenförmige Stellung ein, sodass die direkte Strahlungsbelastung der Blätter verringert wird (Abb. 17). Diese Reaktion kann die Belastung der Blätter zwar verringern, bot angesichts der anhaltenden Trockenheit und außergewöhnlich hohen Temperaturen im Sommer 2026 jedoch nur begrenzten Schutz.

Im Verlauf des Sommers zeigten insbesondere ältere und großkronige Buchen deutliche Symptome von Trockenstress. Aufgrund ihrer ausgedehnten Kronen und der langen Transportwege muss das Wasser



Abb. 19: *Schiffchenbildung an Buchenblättern als Reaktion auf hohe Strahlungsbelastung (Foto: S. Meining).*

über große Distanzen bis in die oberen Kronenbereiche transportiert werden. Bei anhaltender Dürre ist die Wasserversorgung vor allem in der Oberkrone zunehmend eingeschränkt. Gleichzeitig sind die Blätter dort einer besonders hohen Sonneneinstrahlung und Erwärmung ausgesetzt, wodurch zusätzlich Strahlungs- und Hitzeschäden entstehen können. Entsprechend traten trockenheits- und hitzebedingte Schäden häufig zunächst in den oberen Kronenbereichen auf. Blätter welkten, verbraunten und fielen zum Teil vorzeitig ab. Diese Schäden nahmen im Spätsommer weiter zu, wie sich auch bei der Mitte September durchgeführten Zweiterhebung auf dem Buchen-Schulungspfad der Waldzustandserhebung zeigte (vgl. S. 8).

Die intensive Sonneneinstrahlung kann bei der Buche jedoch nicht nur die Blätter, sondern auch den Bast und die Wachstumsschicht unter der Rinde massiv schädigen. Aufgrund ihrer im Vergleich zu anderen Baumarten dünnen und glatten Rinde sind Buchen gegenüber einer starken Erwärmung der Stammoberfläche empfindlich. Besonders gefährdet sind Stämme, die durch die Entnahme oder den Ausfall benachbarter Bäume freigestellt werden und plötzlich einer stärkeren Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Wenn nach einem verfrühten Abwurf im Sommer das schützende Blattwerk fehlt, sind auch Äste stark betroffen. In der Folge können Rindenschäden und Risse entstehen, die wiederum Eintrittspforten für holz- und rindenbesiedelnde Pilze darstellen. Dadurch entstehende Fäulen können in Buchenbeständen erhebliche Herausforderungen für die Arbeits- und Verkehrssicherheit bedeuten. Zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung wurden an den begutachteten Probebäumen zwar vereinzelt entsprechende Stammschäden festgestellt, aufgrund der im weiteren Jahresverlauf aufgetretenen Dürre- und Hitzestressschäden ist jedoch in den kommenden Jahren mit einer wesentlichen Zunahme zu rechnen.

Zusätzlich war in diesem Jahr bei den älteren Buchen eine ausgeprägte Fruktifikation zu beobachten. Mehr als 60 Prozent der Buchen im blühfähigen Alter wiesen einen mittleren oder starken Fruchtbehang auf. Die Ausbildung von Bucheckern erfordert zusätzliche Kohlenstoff- und Nährstoffressourcen und stellt damit eine weitere Belastung der ohnehin durch Hitze- und Trockenstress geschwächten Altbuchen dar. Dies kann insbesondere die Bildung und Einlagerung von Reservestoffen beeinträchtigen, die für den Austrieb und die Regeneration im kommenden Frühjahr von Bedeutung sind.

Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

Hitzestress in Altbuchen – Folgen für Kronengesundheit und Arbeitssicherheit

Die zunehmende Häufung von Hitzeperioden und Trockenjahren hinterlässt deutliche Spuren an alten Buchenbeständen. Besonders sonnenexponierte Kronenbereiche sind durch eingeschränkte Transpirationsleistung gefährdet, da die natürliche Kühlung des Baumes bei Wassermangel abnimmt. Die Folge können Überhitzungen des Pflanzengewebes sowie langfristige Zell- und Gewebeschädigungen sein.

Im Projekt werden Temperaturbelastungen im kambialnahen Kronenbereich alter Buchen unter natürlichen Standortbedingungen untersucht. Ergänzende histologische Untersuchungen geben Aufschluss darüber, wie sich Hitzestress auf Holzbildung, Gewebestrukturen und die Vitalität der Bäume auswirkt. Die Ergebnisse sollen helfen, die Folgen klimabedingter Belastungen für alte Buchen besser zu bewerten.

Die gewonnenen Erkenntnisse unterstützen Revierleitende und Waldbesitzende bei der Einschätzung von Kronenzustand und Gefährdungspotenzial. Insbesondere vitale, strukturstabile Baumkronen mit geringem Anteil an Totholz und Fäule sind für die Sicherheit bei der Waldbewirtschaftung von großer Bedeutung. Gleichzeitig trägt der Erhalt gesunder Bäume zur Stabilität und Zukunftsfähigkeit der Wälder bei.

Bearbeitung: Dr. J. Grüner, Abteilung Waldschutz, FVA Baden-Württemberg

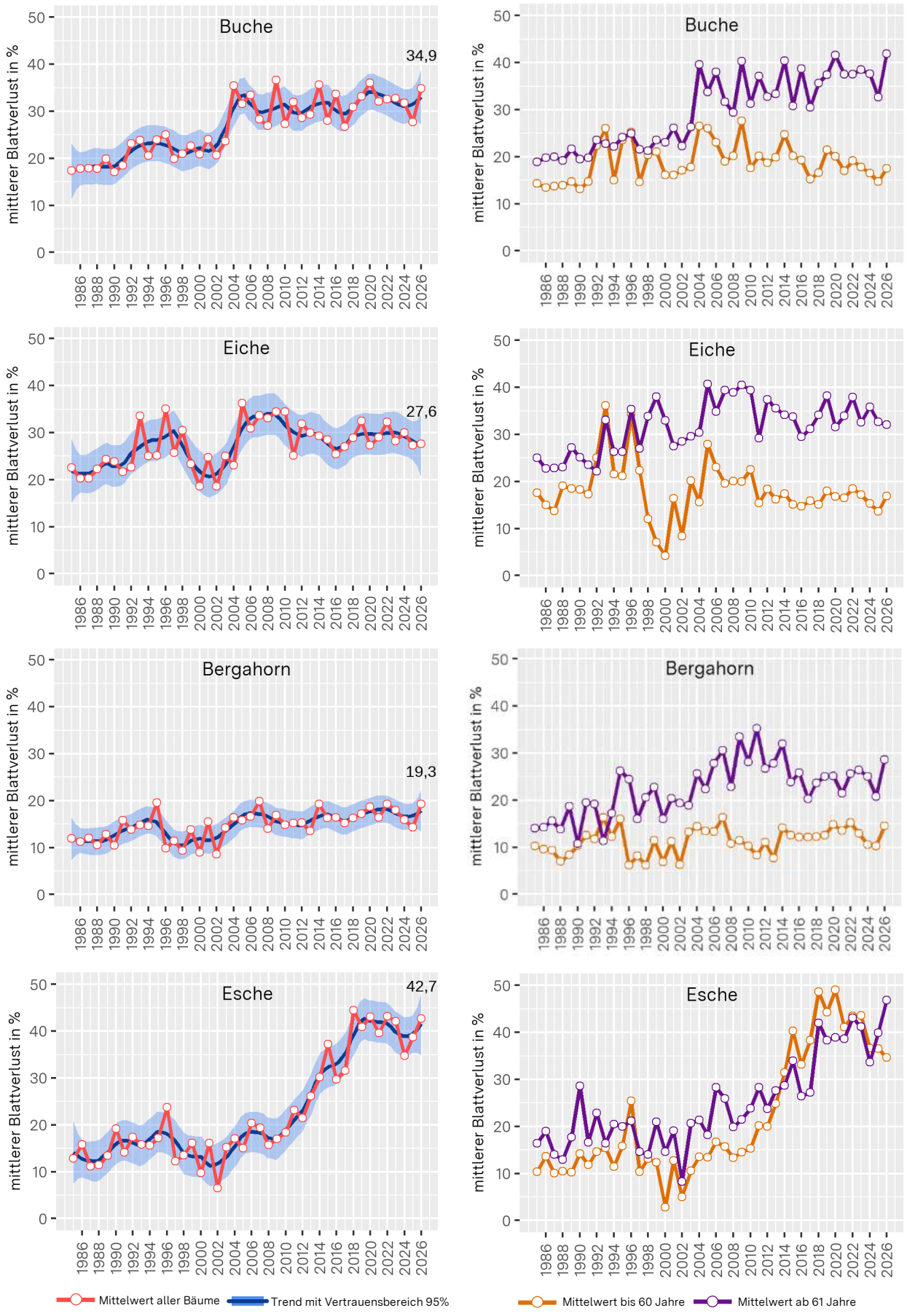


Abb. 20: *Mittlerer Blattverlust der Jahre 1985 bis 2026 der Baumarten Buche, Eiche, Bergahorn und Esche. Links: alle Bäume, rechts: Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“.*

Eiche

Bei der Eiche zeigen sich in diesem Jahr trotz der ausgeprägten Hitze und Trockenheit nur geringe Veränderungen im Kronenzustand. Der mittlere Blattverlust steigt um 0,3 Prozentpunkte auf 27,6 Prozent (Abb. 20). Während sich der Kronenzustand der jüngeren Eichen verschlechtert, bleibt er bei den älteren Bäumen nahezu unverändert. Insgesamt sind 49 Prozent der untersuchten Eichen deutlich geschädigt, 36 Prozent schwach geschädigt und 15 Prozent ungeschädigt (Abb. 16).

Im Vergleich zu vielen anderen Baumarten zeigten die Eichen in diesem Jahr im Allgemeinen weniger akute Trockenstresssymptome in den Kronen. Doch gibt es vom Dickungs- bis zum Baumholzalter in vielen Landesteilen Beispiele, wo auch bei dieser Baumart seit Frühherbst vorzeitiger Laubfall, Herbstverfärbung oder bereits abgetrocknete Blätter beobachtet werden mussten. Regional auffällig war zudem ein Auftreten des Eichenprozessionsspinners *(Thaumetopoea processionea)*, insbesondere im Osten und Nordosten des Landes. Die Raupen dieses Nachtfalters ernähren sich von Eichenblättern und können erhebliche Fraßschäden verursachen (Abb. 21). Daneben können die Brennhaare der Raupen Haut- und Atemwegsreizungen sowie allergische Reaktionen hervorrufen und stellen somit eine gesundheitliche Gefährdung für Menschen und Tiere dar. Insgesamt schwach ausgeprägt waren Mehltaubefall und Fruktifikation. Beide Faktoren stellen damit in diesem Jahr nur eine geringe zusätzliche Belastung für den Kronenzustand der Eichen dar.

Trotz der bislang insgesamt über das Land vergleichsweise geringen sichtbaren Trockenstresssymptome können sich Folgen der ausgeprägten Trockenheit 2026 bei der Eiche zeitlich verzögert zeigen. Dies gilt insbesondere, wenn infolge des Wassermangels und der dadurch begrenzten Photosynthese die Einlagerung von Kohlenstoffreserven eingeschränkt wird. Daher wird auch hier die Entwicklung des Austriebs im kommenden Frühjahr von besonderer Bedeutung sein. Zudem sind durch Trockenheit und Blattfraß geschwächte Eichen in den Folgejahren anfälliger gegenüber sekundären Schadorganismen wie dem Zweipunktigen Eichenprachtkäfer *(Agrilus biguttatus)*, der nach den letzten Dürrejahren regional vor allem vorgeschädigte Eichen befallen hat.

Bergahorn

Nach drei Jahren mit rückläufigen Blattverlusten hat sich der Kronenzustand des Bergahorns dieses Jahr deutlich verschlechtert. Der mittlere Blattverlust steigt gegenüber dem Vorjahr um 5,0 Prozentpunkte



Abb. 21: *Raupen des Eichenprozessionsspinners (Thaumetopoea processionea) an einer Eichenknospe (Foto: FVA BW/Wonsack).*

auf 19,3 Prozent (Abb. 20). Die Zunahme betrifft sowohl jüngere als auch ältere Bäume, wobei die Verschlechterung bei den älteren Bergahornen etwas stärker ausfällt. Insgesamt sind 20 Prozent der untersuchten Bäume deutlich geschädigt, 49 Prozent schwach geschädigt und 31 Prozent ungeschädigt (Abb. 16). Der im Vergleich zu anderen Baumarten geringere Schädigungsgrad ist auf den hohen Anteil jüngerer Bergahorne in der Stichprobe zurückzuführen.

Im Verlauf des Sommers reagierte der Bergahorn deutlich auf die anhaltende Hitze und Trockenheit. Insbesondere bei älteren Bäumen wurden häufig Trockenstresssymptome wie Welke und vorzeitiges Verbraunen der Blätter beobachtet. Mit fortschreitender Trockenheit verstärkten sich diese Schäden. Eine zusätzliche physiologische Belastung stellte die starke Fruktifikation dar. Mehr als 80 Prozent der Bergahorne im blühfähigen Alter wiesen einen mittleren oder starken Fruchtbehang auf.

Esche

Der Kronenzustand der Esche hat sich in diesem Jahr deutlich verschlechtert. Der mittlere Blattverlust steigt gegenüber dem Vorjahr um 4,0 Prozentpunkte auf 42,7 Prozent und liegt damit auf einem sehr hohen Niveau (Abb. 20). Während sich der Kronenzustand der jüngeren Eschen leicht verbessert, nimmt die Kronenverlichtung bei den älteren Bäumen deutlich zu. Insgesamt sind 66 Prozent der untersuchten Eschen deutlich geschädigt, 22 Prozent schwach geschädigt und lediglich 12 Prozent ungeschädigt (Abb. 16). Besonders auffällig sind die hohen Anteile stark geschädigter und abgestorbener Bäume.
14 Prozent der Eschen sind stark geschädigt, weitere 11 Prozent sind abgestorben und stehen noch am Stichprobenpunkt.

Der schlechte Kronenzustand der Esche ist wesentlich durch das seit Jahren landesweit verbreitete Eschentriebsterben geprägt. Der pilzliche Erreger *(Hymenoscyphus fraxineus)* befällt Eschen unterschiedlicher Altersstufen und führt zu Blattwelke, Rindennekrosen sowie zum Absterben von Trieben und Ästen. Wiederholte Infektionen können eine fortschreitende Kronenverlichtung und schließlich das Absterben des Baumes zur Folge haben. Zusätzlich können Stammfußnekrosen entstehen, die das Holz im unteren Stammbereich schädigen und die Stand- und Bruchsicherheit erheblich beeinträchtigen.

Im Jahr 2026 kam die außergewöhnliche Hitze und Trockenheit als weitere Belastung hinzu. Die ohnehin durch das Eschentriebsterben geschwächten Bäume waren zugleich ausgeprägtem Trockenstress ausgesetzt. Im Verlauf des Sommers wurden insbesondere bei älteren Eschen Blattwelke und Blattverfärbung sowie vorzeitiger Blattverlust beobachtet. Das Zusammenwirken von Eschentriebsterben und Trockenstress hat insbesondere bei bereits vorgeschädigten Eschen die Vitalität weiter vermindert. Gleichzeitig hemmte die trocken-heiße Witterung die Sporenbildung und Neuinfektion durch den Erreger, wodurch der aktuelle Infektionsdruck in diesem Jahr geringer ausfiel.

Sonstige Laubbäume

Unter den sonstigen Laubbäumen werden verschiedene Laubbaumarten mit geringen Stichprobenanteilen zusammengefasst. Am häufigsten ist die Hainbuche vertreten, gefolgt von Roteiche, Spitzahorn, Linde und Kirsche. Der Kronenzustand dieser Baumartengruppe hat sich in diesem Jahr im Mittel erneut verschlechtert. Besonders an Hainbuche und Spitzahorn wurden deutliche Stresssymptome im Zusammenhang mit der trocken-heißen Witterung festgestellt. Der mittlere Blattverlust steigt gegenüber dem Vorjahr um 2,6 Prozentpunkte auf durchschnittlich 24,7 Prozent (Abb. 22).

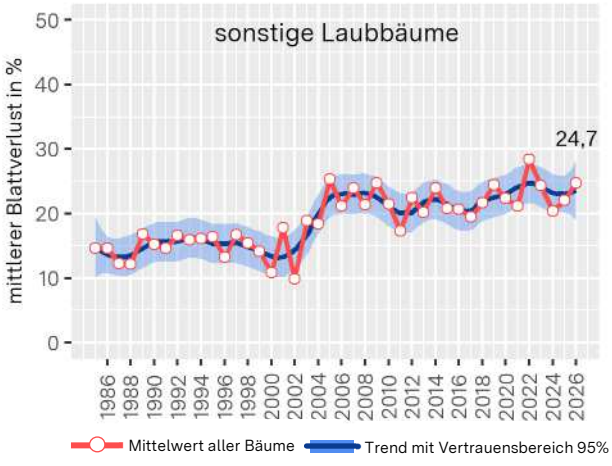


Abb. 22: *Mittlerer Blattverlust der Jahre 1985 bis 2026 in der Gruppe der sonstigen Laubbäume.*

2 IPSRISK – EIN DYNAMISCHES BEFALLS–RISIKOMODELL FÜR DEN BUCHDRUCKER

Buchdrucker sind die bedeutendste biotische Schadursache in Fichtenwäldern und können bei Massenvermehrungen großflächig Bestände zum Absterben bringen. Eine besondere Herausforderung im Buchdruckermanagement ist die schnelle Entwicklungsgeschwindigkeit vom Ei zum ausflugsfähigen Käfer. Bei günstigen, warmen Bedingungen geschieht dies innerhalb von nur sechs Wochen (Abb. 23). Danach können die Käfer dieser neuen Generation erneut Fichten befallen. Es ist zu erwarten, dass sich die Entwicklungsgeschwindigkeit und somit die Generationenanzahl pro Jahr durch den Klimawandel erhöht und damit das Befallsrisiko in Zukunft weiter steigen wird. Das gilt insbesondere für höhere Lagen, wo das Ausbreitungspotenzial der Käfer bisher vor allem durch die geringeren Temperaturen begrenzt war.

Um das aktuelle Buchdruckerrisiko einzuschätzen, konnten bislang lediglich Phänologiemodelle (PHENIPS-Clim, KAUTZ et al., 2025) und Monitoring-Daten (Pheromonfallen) genutzt werden. Diese Instrumente bilden zwar die Entwicklung der Käfer und ihre Schwärmaktivität gut ab, geben aber keine direkte Auskunft über das aktuelle Befallsrisiko. Ein neues Befallsrisikomodell (IpsRisk) bringt diese und weitere Risikokomponenten nun zusammen und verknüpft sie in einem innovativen digitalen Tool, welches flächendeckend von allen Waldbesitzenden angewendet werden kann. Entwickelt wurde IpsRisk an der FVA Baden-Württemberg, Abt. Waldschutz, mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Ländlichen Raum, Landwirtschaft und Heimat (MLR) des Landes Baden-Württemberg.

Warum braucht es Risikomodelle?

Nur die rechtzeitige Entfernung von Befallsbäumen (d. h. Sanierung) vor dem Ausflug der Käferbruten kann die Befallsausbreitung verhindern. Vor diesem Hintergrund braucht es präzise Warndienste für die Forstpraxis, die den Waldbewirtschaftenden helfen, Frischbefall früher zu erkennen und rechtzeitig geeignete Managementmaßnahmen treffen zu können.

Wie funktioniert das Modell IpsRisk?

Die Grundlage für das berechnete Befallsrisiko bilden fünf verschiedene Teilmodelle, die sowohl käfer- als auch fichtenbezogene Risikofaktoren berücksichtigen (Abb. 24). Parametrisiert und validiert wurde IpsRisk anhand umfangreicher, räumlich verteilter Befallsdaten aus zahlreichen Untersuchungsflächen aus dem Zeitraum von 2003 bis 2020.

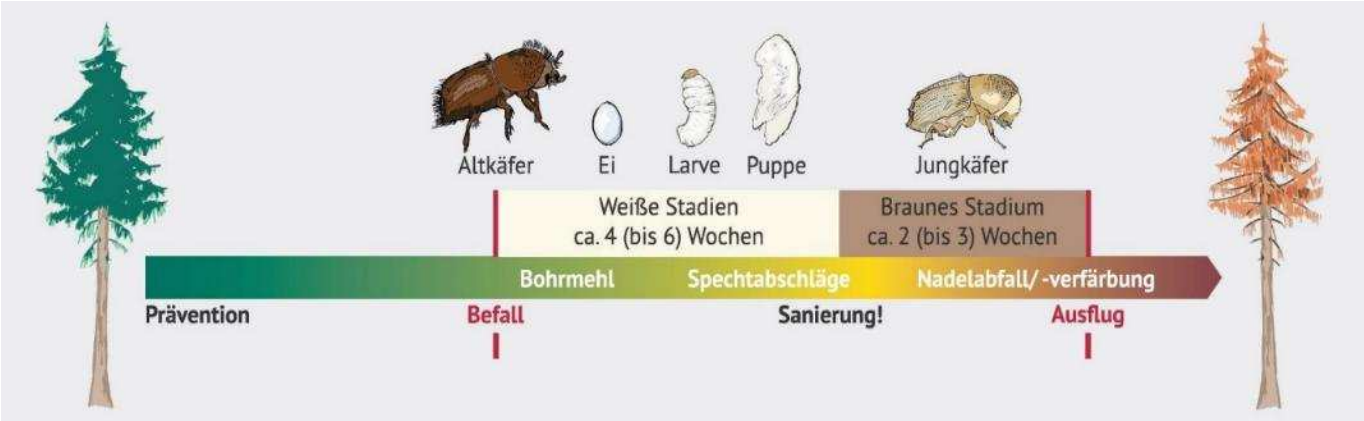


Abb. 23: *Zeitlicher Ablauf beim Buchdruckerbefall. Maßnahmen, die die Ausbreitung von Frischbefall verhindern sollen, sind nur in dem kurzen Zeitraum zwischen Befall und Ausflug wirksam.*

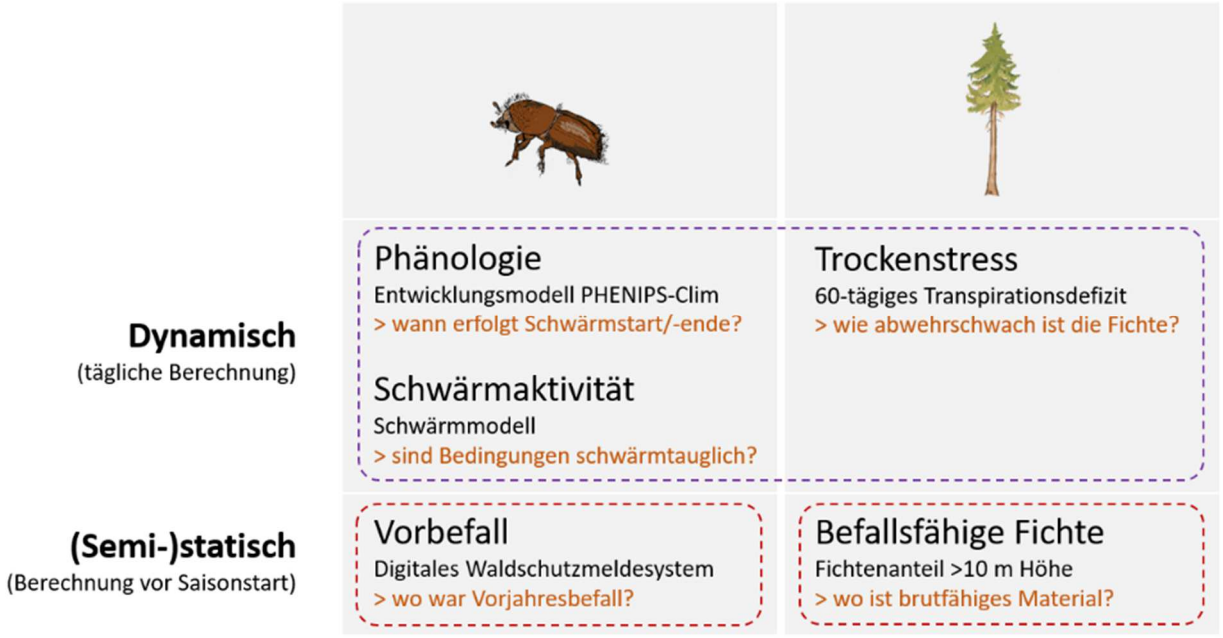


Abb. 24: *Die Teilmodelle von IpsRisk umfassen für jede 250 m-Rasterzelle relevante käfer- und fichtenbezogene Risikofaktoren in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung. Als Modelloutput werden die Grundrisiken (rot umrandet) "Vorbefall" (Käfer) und "Befallsfähige Fichte" (Bestand) direkt ausgegeben sowie das dynamische Risiko (violett umrandet) bestehend aus den drei Komponenten "Phänologie", "Schwärmaktivität" und "Trockenstress" der Fichten berechnet.*

Der Modelloutput besteht aus zwei (semi-)statischen Layern und einem dynamischen Layer, die jeweils flächendeckend mit einer räumlichen Auflösung von 250 m berechnet werden. Die beiden (semi-)statischen Layer zeigen Grundrisiken, welche zum Beginn der Saison berechnet werden und sich dann während der Saison nicht mehr ändern. Sie basieren auf Informationen zu vorjährigen Befallsflächen (Käfer) bzw. dem Anteil befallsfähiger Fichten (Bestand). Die Grundrisiken stellen die wichtigsten Faktoren des Befallsrisikos dar. Deshalb sollten Flächen mit einem hohen Grundrisiko bei Befallskontrollen immer priorisiert werden.

Den innovativen Kern von IpsRisk bildet jedoch die Berechnung und Darstellung des tagesaktuellen, dynamischen Befallsrisikos (Abb. 25). Dieses wird maßgeblich durch die aktuellen Witterungsbedingungen (Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung) gesteuert und besteht aus drei unabhängigen Teilmodellen, aus denen multiplikativ ein Gesamtrisikoindex berechnet wird:

- Phänologie: Mit PHENIPS-Clim wird das aktuelle Aktivitätspotenzial des Käfers bestimmt, d.h. vor bzw. nach Schwärmbeginn, Diapausebeginn oder Schwärmende.
- Schwärmaktivität: Diese wird anhand der täglichen Maximaltemperatur, der Globalstrahlung, sowie des aktuellen Tags im Jahr quantifiziert. Das zugrundeliegende Modell wurde unter Verwendung von automatischen Buchdruckerfallen an der FVA entwickelt.
- Trockenstress der Fichte: Um die Abwehrfähigkeit der Fichte zu berücksichtigen, wird das 60-tägige kumulative Transpirationsdefizit berechnet. Dieses summiert das täglich auftretende Defizit zwischen der potenziellen und der tatsächlichen Verdunstung über die vergangenen 60 Tage auf.

Der Gesamtrisikoindex wird täglich aktualisiert und mit siebentägiger Prognose in vier Risikostufen (kein, gering, mittel und hoch) ausgegeben (Abb. 25).

Wo sind die Informationen abrufbar?

Als aktuelles, dynamisches Befallsrisiko wird immer das maximale Risiko der vergangenen sieben Tage ausgegeben. So wird zum Beispiel sichergestellt, dass kurzfristige Höhepunkte (einzelner Tag mit hohem Risiko) nicht übersehen werden. Darüber hinaus kann das dynamische Befallsrisiko mit zusätzlichen Layern kombiniert werden, beispielsweise mit einer siebentägigen Prognose oder dem käfer- bzw. bestandesseitigen Grundrisiko.

Die einzelnen Layer werden täglich an der FVA berechnet und stehen danach im InFoGIS (für LFV und ForstBW) und im öffentlich zugänglichen Geoportal Baden-Württemberg zur Verfügung. Der Dienst ist im Geoportal über die Suche nach „IpsRisk“ im Reiter „Karten“ einfach auffindbar. Zudem wird wöchentlich eine aktuelle Karte des dynamischen Befallsrisikos auf der Borkenkäfer-Plattform der FVA (siehe Kasten) bereitgestellt. Dort finden sich auch weiterführende Informationen zu Monitoringdaten, zum PHENIPS-Clim-Modelloutput sowie daraus abgeleitete Handlungsempfehlungen für das Borkenkäfermanagement.

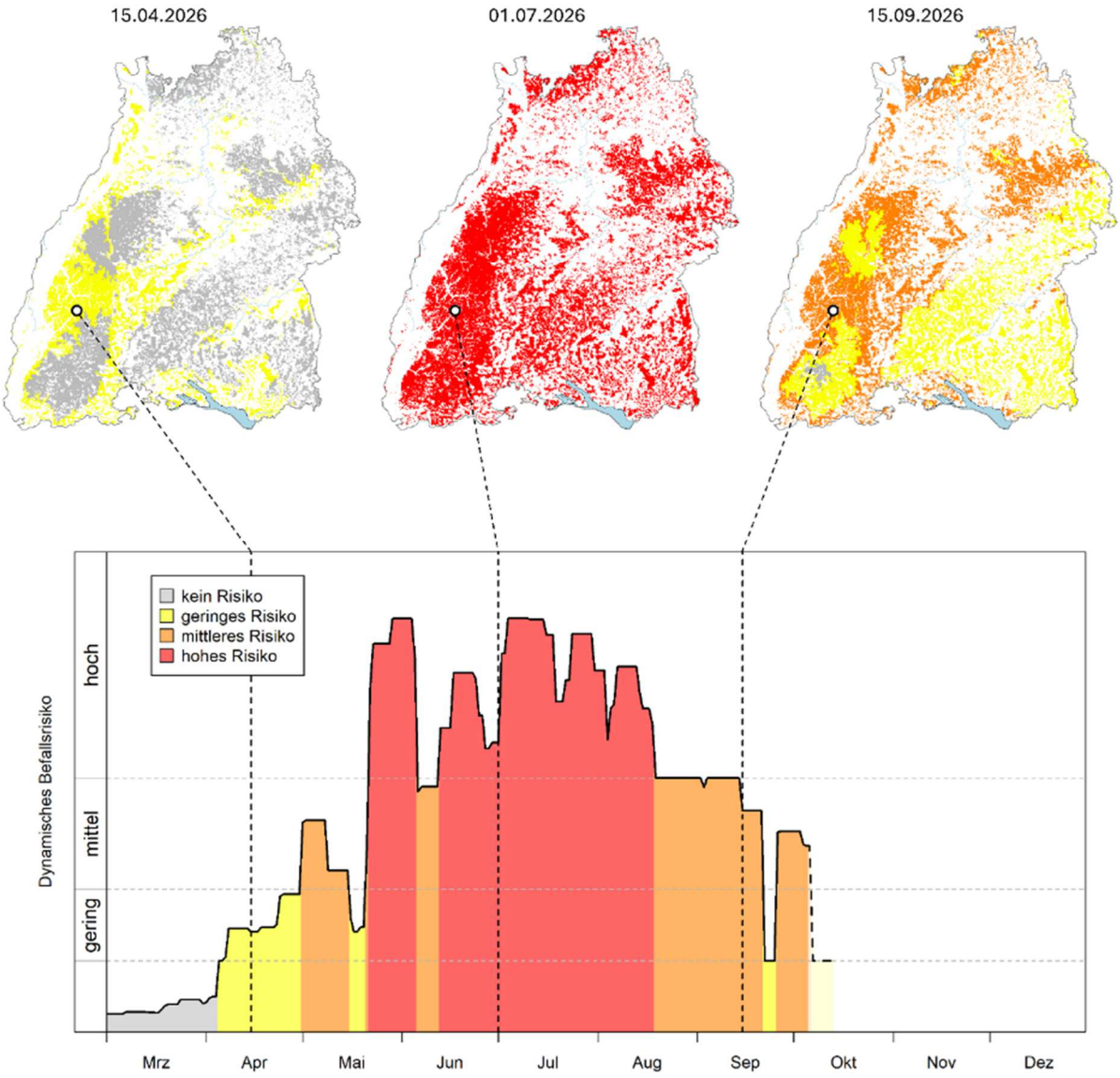


Abb. 25: *Das dynamische Befallsrisiko in 2026: Die Karten oben zeigen das Risiko landesweit für drei ausgewählte Zeitpunkte (kurz nach dem Schwärmstart in einigen Regionen am 15. April, während einer Hitzeperiode am 01. Juli und zum Ende der Schwärmsaison am 15. September). Eine Risikostufe wird nur für Flächen mit >10 % befallsfähiger Fichten angezeigt, die übrigen Bereiche sind weiß gefärbt. Das Diagramm unten zeigt das Risiko im Jahresverlauf bis zum 6. Oktober 2026 plus 7-Tage-Vorhersage für einen ausgewählten Standort (in den Karten markiert).*

Ergänzend zur Kartendarstellung können Risikodiagramme für ausgewählte Standorte abgerufen werden, welche die zeitliche Entwicklung des Befallsrisikos im aktuellen Jahr darstellen (Abb. 25 unten). Generell lässt sich IpsRisk als Web Map Service (WMS) einfach in verschiedene weitere Anwendungen einbinden, beispielsweise in gängige Geoinformationssysteme (GIS) oder in webbasierte Kartenanwendungen.

Welche Vorteile bringt IpsRisk?

Da Frischbefall zuverlässig nur terrestrisch, beispielsweise anhand von Bohrmehl, erkannt werden kann, sind Befallskontrollen mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Die von IpsRisk bereitgestellten Layer bilden eine tagesaktuelle Grundlage, um diese Kontrollen besser zu planen und mithilfe der siebentägigen Prognose vorausschauend auszurichten. Die Befallssuche kann somit effizienter gestaltet werden, indem Bestände mit erhöhtem Risiko bei den Kontrollen priorisiert werden.

Allerdings ist es wichtig zu beachten, dass IpsRisk zwar das Risiko eines Befalls berechnet, einen tatsächlichen Befall jedoch nicht exakt vorhersagen kann. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass auch in Beständen mit geringem modelliertem Befallsrisiko frischer Käferbefall auftreten kann, wenngleich mit geringerer Wahrscheinlichkeit. Deshalb sollten Bestände mit geringem Risiko nicht gänzlich aus den Kontrollen ausgelassen werden, wenn sie einen hohen Fichtenanteil aufweisen. Bei begrenzten Ressourcen kann die Kontrollhäufigkeit auf diesen Flächen jedoch reduziert und der Schwerpunkt auf Bestände mit erhöhtem Befallsrisiko gelegt werden.

Ausblick

Während IpsRisk in Baden-Württemberg bereits seit Beginn 2025 zur Verfügung steht, soll das Tool ab der Saison 2027 auch auf Rheinland-Pfalz und das Saarland erweitert werden. Zusätzlich ist geplant, IpsRisk in weitere forstliche Informationssysteme in Baden-Württemberg einzubinden, wie z. B. in die WaldExpert-App oder das Waldportal, sowie die FieldMaps-Umgebungen von LFV und ForstBW. Dadurch soll IpsRisk noch stärker in die forstliche Praxis integriert werden und künftig auch direkt im Wald bei der Planung und Durchführung von Befallskontrollen zur Verfügung stehen.

Neben diesen Erweiterungen des Anwendungsspektrums wird an der FVA derzeit auch an technischen Weiterentwicklungen gearbeitet, um die Modellgüte weiter zu verbessern. So können beispielsweise mit jedem Jahr zusätzliche Befallsdaten in die Modellierung einfließen und die Datengrundlage kontinuierlich erweitern. Zudem sollen in Zukunft auch unterjährige Befallsdaten (ggf. ergänzt durch automatisiert erkannten Sturmwurf bzw. Befall aus Satellitendaten) die Genauigkeit des dynamischen Risikos in IpsRisk weiter erhöhen. Ebenso ist geplant, das Modell als R-Paket für die individuelle Anwendung verfügbar zu machen. Die entsprechende Datengrundlage vorausgesetzt, ist es dadurch unter anderem möglich, IpsRisk für beliebige Gebiete oder Klima-szenarien zu berechnen.

Weiterführende Informationen

zum Befallsrisikomodell IpsRisk

FVA Borkenkäfer-Plattform

www.fva-bw.de/befallsrisiko

Beitrag Waldwissen

www.waldwissen.net/borkenkaefer-modelle

Geoportal Baden-Württemberg

www.geoportal-bw.de/#/(sidenav:search-results/IpsRisk)

3 ARBEITSSICHERHEIT IN KLIMA-GESCHÄDIGTEN WÄLDERN

Die Arbeit im Wald zählt seit jeher zu den gefährlichsten Tätigkeiten. Die Folgen des Klimawandels haben die Risiken für die Beschäftigten im Wald in den vergangenen Jahren noch deutlich verschärft. Insbesondere die Schäden durch Sturmereignisse, Trockenschäden, Borkenkäferbefall oder Pilze wie beim Eschentriebsterben führen zu einer deutlichen Zunahme von Gefahren bei der Holzernte und auch bei anderen Waldarbeiten. Neben den großflächigen Schäden an Nadelbäumen, vor allem Fichte, Tanne und Kiefer, zeigen mittlerweile auch zahlreiche Laubbaumarten Vitalitätseinbußen und Ausfälle. Dies führt zu einem steigenden Anteil an liegendem und stehendem Totholz. Während Totholz aus naturschutzfachlicher Sicht eine wichtige ökologische Funktion erfüllt, erhöht es gleichzeitig die Risiken für die im Wald tätigen Personen erheblich.

Gefahrenpotenzial von stehendem oder liegendem Totholz

Besonders kritisch ist das stehende Totholz. Durch fortschreitende Zersetzungsprozesse verlieren Stämme, Kronenteile und Äste ihre Stabilität. Die Bruchfestigkeit des Holzes nimmt ab, ohne das dies äußerlich immer erkennbar ist. Bereits leichte Windbewegungen, Schnee- oder Eislasten auf Ästen und Kronen, Auftau- und Aufweichvorgänge im Boden (z. B. nach langanhaltendem Regen) sowie geringe Erschütterungen, etwa durch das Fällen von Nachbarbäumen, können dazu führen, dass Stammteile oder Äste aus dem Kronenbereich unvermittelt abbrechen.

Gerade bei Laubbäumen können abgestorbene Starkäste über längere Zeit in den Kronen hängen bleiben und sich plötzlich lösen. Damit stellen sie eine erhebliche Gefahr für alle dar, die in geschädigten Beständen arbeiten (Abb. 26). Erschwert wird die Situation dadurch, dass sich die Gefahrenquelle häufig außerhalb des unmittelbaren Sichtfeldes der Beschäftigten befindet und im belaubten Zustand zusätzlich durch das Blätterdach verdeckt wird.



Abb. 26: *Begutachtung einer stark geschädigten Buche vor der Holzernte (Foto: Forstliches Bildungszentrum Königsbronn).*

Auch liegendes Totholz erhöht die Unfallgefahr. Umgestürzte Bäume, Wurzelteller und unter Spannung stehende Stämme können sich bei der Bearbeitung unkontrolliert bewegen und dadurch zu erheblichen Verletzungen führen. Selbst abgebrochene Äste auf dem Boden können die Zahl der Sturz- und Stolperunfälle erhöhen. Diese Unfallursache macht bei den ForstBW-Unfällen der Forstwirte einen Anteil von 20 bis 30 Prozent aus.

Besondere Risiken bei der Holzernte

Die Holzernte in klimageschädigten Beständen stellt daher besondere Anforderungen an die Arbeitsplanung und die Wahl der geeigneten Verfahren und Geräte. Häufig treten mehrere Gefahrenquellen gleichzeitig auf, wodurch sich das Gefährdungspotenzial erheblich erhöht. Zu den typischen Gefahren gehören:

- abgestorbene oder anbrüchige Kronenteile,
- instabile Stämme (morsch oder faul),
- geschädigte oder unzureichend verankerte Wurzeln,
- unter Spannung stehende Stämme durch angeschobene oder hängengebliebene Bäume,
- erhöhte Gefahr durch Windwurf und Windbruch.

Vor allem die motormanuelle Holzernte ist in geschädigten Beständen mit erheblichen Risiken verbunden und stößt unter den erschwerten Bedingungen häufig an ihre sicherheitstechnischen Grenzen.

Anpassung der Arbeitsverfahren

Vor diesem Hintergrund gewinnt die konsequente Anpassung der Arbeitsverfahren zunehmend an Bedeutung. Grundsätzlich gilt: Je größer der Abstand zwischen Menschen und Gefahrenquelle, desto höher ist die Arbeitssicherheit.

Wo es die Bestandes- und Geländeverhältnisse zulassen, sollten daher bevorzugt mechanisierte Holzernteverfahren eingesetzt werden. Moderne Harvester bieten den Beschäftigten eine geschützte Fahrerkabine und ermöglichen die Fällung und Aufarbeitung von Bäumen aus sicherer Entfernung. Insbesondere in Beständen mit hohem Totholzanteil kann dadurch das Risiko, durch herabfallende Äste oder instabile Baumteile verletzt zu werden, deutlich reduziert werden.

In Bereichen, in denen eine vollständige Mechanisierung nicht möglich oder nicht wirtschaftlich ist, kommen zunehmend technische Unterstützungsverfahren zum Einsatz. Ziel ist es dabei, die Bäume



Abb. 27: *Funkferngesteuerter Fällkeil zum sicheren Umwerfen von Bäumen (Foto: Forstliches Bildungszentrum Königsbronn).*

erschütterungsfrei zu Fall zu bringen oder sich beim Fällvorgang außerhalb des Gefahrenbereiches aufzuhalten. Erschütterungen in Beständen mit geschädigten Stämmen oder Kronenteilen können zum unkontrollierten Umkippen der Stämme oder Herabfallen von Ästen führen. Erschütterungsärmere Arbeitsweisen leisten daher einen wichtigen Beitrag zur Risikominderung.

Bewährt haben sich dabei insbesondere

- seilunterstützte motormanuelle Fällverfahren, bei denen der Baum bereits vor Beginn der Fällarbeiten mit dem Seil gesichert wird und aus sicherer Entfernung umgezogen werden kann,
- Totholzkralle, mit der das Seil in ausreichender Höhe am Stamm angebracht und fixiert werden kann. Dadurch muss man in dem Moment, in dem das Seil angezogen wird, nicht unter dem Baum stehen, sondern an einem sicheren Ort (wichtig, da es in diesem Moment zu einer Erschütterung des Baumes kommt),
- funkferngesteuerter Fällkeil, der das erschütterungsfreie Umdrücken kritischer Bäume ermöglicht (Abb. 27); die Forstwirte halten sich dabei während des Fällvorgangs in der sicheren Rückweiche auf.

Darüber hinaus gewinnen motormanuelle Arbeitsverfahren an Bedeutung, bei denen die eigentliche Aufarbeitung des Holzes bewusst aus dem Gefahrenbereich heraus verlagert wird. Ein Beispiel hierfür ist das „Rohkrone-Rohschaft-Verfahren“. Dabei wird der Baum nach der Fällung zunächst nur grob entastet bzw. in einen transportfähigen Zustand gebracht. Anschließend wird der Rohschaft mit der Rohkrone mit maschineller Unterstützung in einen zuvor festgelegten sicheren Arbeitsbereich verbracht. Die weitere Aufarbeitung erfolgt erst dort. Dadurch wird die Aufenthaltsdauer der Beschäftigten unter geschädigten Kronen und in Bereichen mit hoher Totholzgefährdung deutlich verkürzt. Insbesondere in stark geschädigten Laubholzbeständen kann dieses Verfahren einen wichtigen Beitrag zur Verringerung des Unfallrisikos leisten.

Konsequenzen für die Arbeitsorganisation

Neben technischen Lösungen gewinnt die Arbeitsorganisation an Bedeutung. Eine sorgfältige Gefährdungsbeurteilung vor Beginn der Arbeiten ist insbesondere in Schadflächen unverzichtbar. Hierbei müssen Totholzanteile, Kronenzustände, Windverhältnisse und potenzielle Gefahrenbereiche systematisch erfasst werden. Schadbäume sollten markiert und georeferenziert werden (Abb. 28). Für die sichere Holzernte ist fachkundiges und unterwiesenes Personal eine wichtige Voraussetzung.

In einzelnen Beständen kann die Gefährdung so hoch sein, dass auf motormanuelle Arbeiten vollständig verzichtet werden muss. In solchen Fällen sind alternative Verfahren oder gegebenenfalls auch der

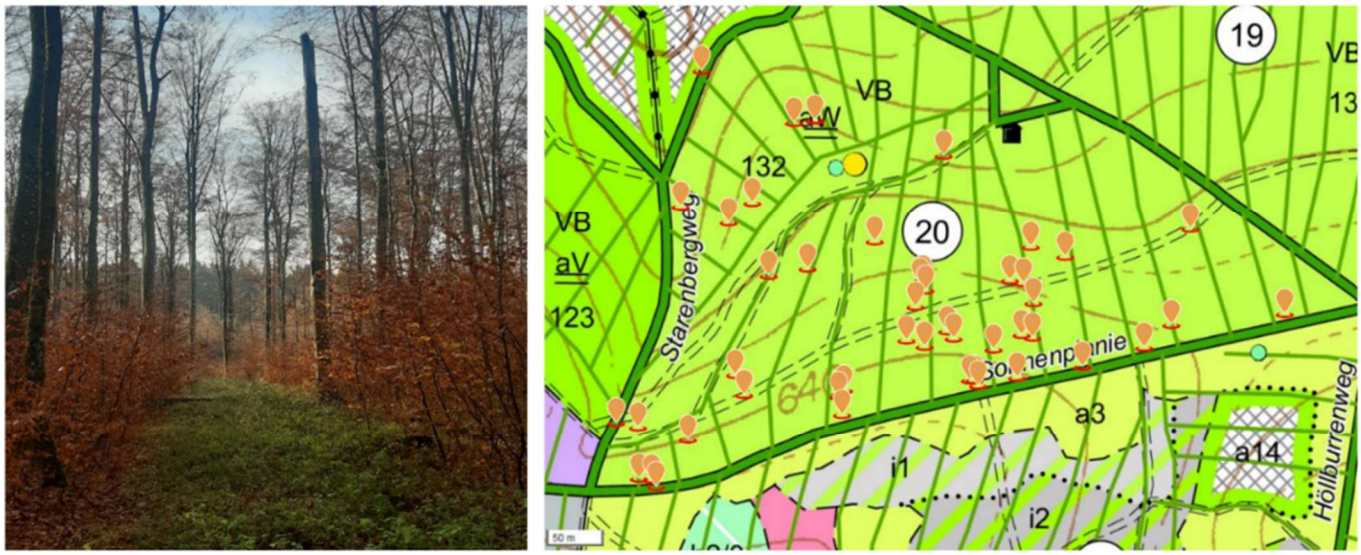


Abb. 28: *Kennzeichnung (links) und Kartierung (rechts) von stark geschädigten Bäumen vor der Holzernte (Foto: Forstliches Bildungszentrum Königsbronn).*

Verzicht auf eine Nutzung oder auf eine Bearbeitung wie Jungbestandspflege, Kultursicherung oder Vorbau zu prüfen. Die Sicherheit der Beschäftigten hat dabei stets Vorrang vor wirtschaftlichen oder waldbaulichen Erwägungen.

Folgerungen

Die Anpassung der Wälder an den Klimawandel verändert auch die Anforderungen an die Arbeitssicherheit in der Forstwirtschaft. Mit der Zunahme von Trocken- und Folgeschäden steigt der Anteil von stehendem und liegendem Totholz und damit das Risiko für Waldarbeiterinnen und Waldarbeiter. Besonders die Gefahr durch herabfallende Äste und Kronenteile in geschädigten Laubholzbeständen stellt eine zunehmende Herausforderung dar. Mechanisierte Holzernteverfahren, integrierte Verfahren wie das „Rohschaft-Rohkrone-Verfahren“, seilunterstützte motormanuelle Fällungen sowie der Einsatz funkferngesteuerter Fällkeile ermöglichen es, diese Risiken zu reduzieren und den notwendigen Sicherheitsabstand zur Gefahrenquelle zu vergrößern. Die konsequente Weiterentwicklung und Anwendung solcher Verfahren wird künftig eine zentrale Voraussetzung für eine sichere Waldarbeit in den vom Klimawandel geprägten Wäldern Baden-Württembergs sein.

Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

Einsatz von Akku-Geräten in der Jungbestandspflege

In den vergangenen Jahren haben sich viele Wälder verjüngt – teilweise planmäßig, häufig aufgrund von Kalamitäten. Damit stehen umfangreiche Arbeiten im Bereich der Kultursicherung und Pflege an. Diese motormanuellen Tätigkeiten setzen die arbeitende Person nicht nur physischen Belastungen aus, sondern, je nach Gerät, auch Abgasen, Vibrationen und Lärm, was auf Dauer zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen kann. Mittlerweile sind für diese anspruchsvollen Aufgaben unterschied-liche akkubetriebene Arbeitsgeräte für verschiedene Einsatzbereiche verfügbar.

Untersuchungen der FVA in der Jungbestandspflege vergleichen Akku-Geräte verschiedener Hersteller hinsichtlich ihrer Produktivität und ihres Einsatzspektrums. Zudem werden die Schall- und Vibrationsbelastungen für ganztägige Einsätze ermittelt. Ergänzend wird ein Motion-Capture-System eingesetzt, um die Körperhaltung und Bewegungen der arbeitenden Person kontinuierlich und in Echtzeit zu erfassen und damit die ergonomischen Auswirkungen zu bewerten. Die bei praktischen Feldversuchen gewonnenen Erkenntnisse sollen Forstbetriebe bei der Auswahl geeigneter Geräte für den jeweiligen Einsatzzweck unterstützen, mit dem Ziel, ein möglichst effizientes und pflegliches, vor allen Dingen aber auch wenig belastendes Arbeiten in der Jungbestandspflege zu ermöglichen.

Aktuelle Informationen zum Projekt finden sich unter:
www.fva-bw.de/akku-geraete

4 WITTERUNG

Die Witterung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Vitalität und den Kronenzustand der Waldbäume. Insbesondere die Niederschlagsverteilung, die Bodenwasserverfügbarkeit sowie die Temperaturen während der Vegetationszeit bestimmen die Stressbelastung der Bäume und beeinflussen damit unmittelbar deren physiologische Prozesse. Die ausgeprägte Trockenheit und Hitze im Verlauf des Frühjahrs und Sommers 2026 stellten für die Wälder Baden-Württembergs eine außergewöhnlich hohe Belastung dar. Hohe Temperaturen führten zu erhöhten Verdunstungsraten der Waldbäume und damit zu einem früh einsetzenden und raschen Rückgang der Bodenwasservorräte.

Gleichzeitig blieben ausreichende Niederschläge über längere Zeiträume weitgehend aus, sodass die Wasservorräte des Bodens nicht in ausreichendem Maß aufgefüllt werden konnten. Das Zusammenwirken von Hitze und Wassermangel verschärfte die Situation und setzte die Wälder unter erheblichen Stress. Die außergewöhnliche Witterung des Jahres 2026 traf zudem vielerorts auf Waldbestände, die bereits durch frühere Trockenjahre deutlich geschwächt waren. Insbesondere der „Jahrhundertsommer“ 2003 sowie die ausgeprägten Dürrejahre 2018 bis 2020 und das erneut sehr heiße und trockene Jahr 2022 hatten den Wasserhaushalt und die Vitalität der Wälder nachhaltig beeinträchtigt. Die extreme Witterung des Jahres 2026 verschärfte somit eine bereits seit Jahren angespannte Situation, deren Auswirkungen erst in den Folgejahren in vollem Umfang sichtbar werden.

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.

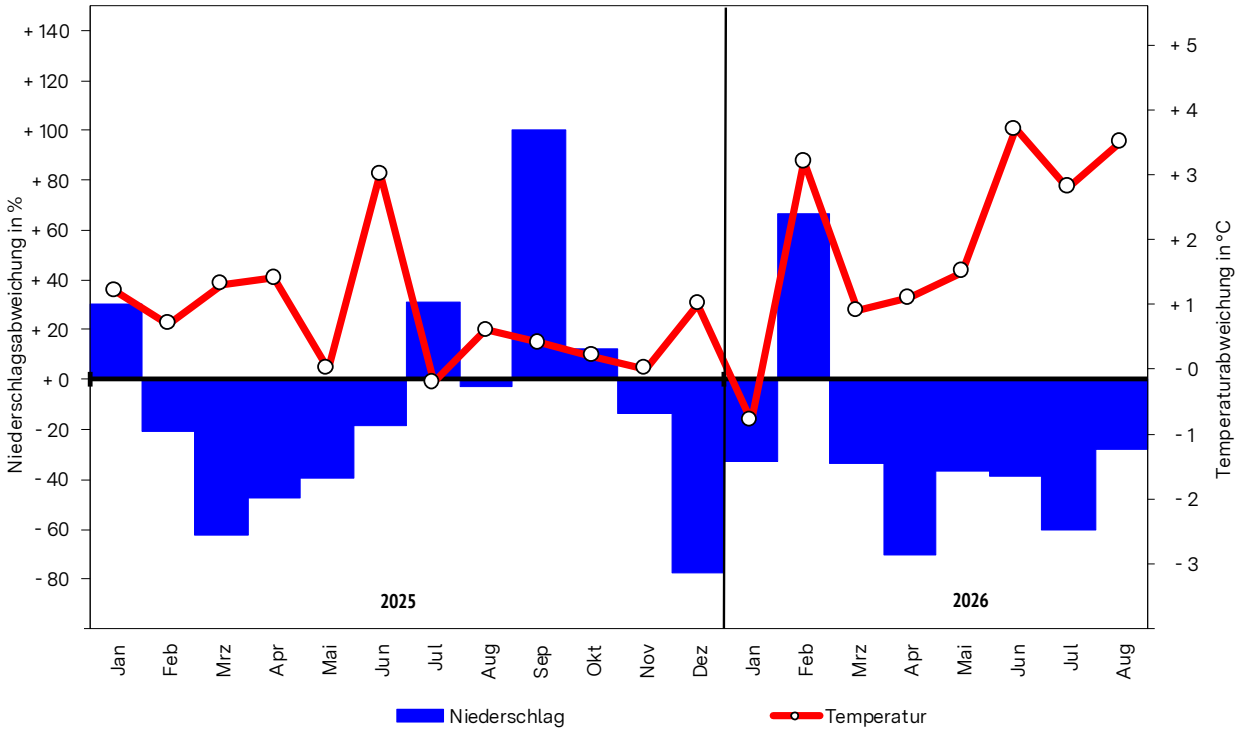


Abb. 29: *Niederschlags- und Temperaturabweichung vom Mittel der Referenzperiode (1991 bis 2020) für Baden-Württemberg (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst, DWD).*

Witterungsverlauf

Die Witterung in Baden-Württemberg war von Februar bis einschließlich August 2026 insgesamt überdurchschnittlich warm und sonnenscheinreich. Lediglich im Januar lag die Durchschnittstemperatur knapp 1 °C unter dem langjährigen Referenzwert (Abb. 29). In allen folgenden Monaten lagen die Temperaturen hingegen teilweise deutlich über dem langjährigen Mittel. Besonders auffällig waren die Temperaturabweichungen im Februar, Juni und August, deren Monatsmittel den Referenzwert jeweils um mehr als 3 °C überstiegen.

Bereits Ende Mai wurden vor allem in der Oberrheinebene hochsommerliche Temperaturen erreicht. Im weiteren Verlauf war die Witterung durch langanhaltende und wiederkehrende Hitzeperioden geprägt. Am 27. Juni wurde in Waghäusel-Kirrlach mit 41,4 °C ein neuer Temperaturhöchstwert für Baden-Württemberg gemessen. Auch in den folgenden Monaten setzte sich die außergewöhnlich warme Witterung fort. In den Sommermonaten Juni, Juli und August lagen die Temperaturen landesweit deutlich über den langjährigen Referenzwerten (Abb. 31). Insgesamt war der Sommer 2026 in Baden-Württemberg der wärmste seit Beginn der flächendeckenden Aufzeichnungen im Jahr 1881 (DWD, 2026).

Außergewöhnlich war neben den maximal erreichten Temperaturen auch die Häufigkeit heißer Tage, an denen die Höchsttemperatur mindestens 30 °C erreicht. In Freiburg im Breisgau wurden bis Ende August 52 heiße Tage registriert; das langjährige Mittel liegt bei 19 Tagen (Abb. 30). Und selbst im höher gelegenen Freudenstadt wurde diese Temperaturschwelle an 17 Tagen erreicht oder überschritten. Üblicherweise sind dort im Mittel lediglich zwei heiße Tage im Jahr zu verzeichnen.

Die Niederschlagsentwicklung vor und während der Vegetationsperiode 2026 war durch deutliche zeitliche Unterschiede geprägt. Der vergleichsweise niederschlagsreiche Herbst 2025 sowie überdurchschnittliche Niederschlagsmengen im Februar 2026 sorgten zunächst für eine günstige Ausgangssituation für die Wälder Baden-Württembergs. Zu Beginn der Vegetationsperiode waren die Bodenwasserspeicher vielerorts gut gefüllt und damit eine ausreichende Wasserversorgung der Waldbäume gewährleistet.

Ab März änderte sich die Situation jedoch grundlegend. Von März bis einschließlich August lagen die monatlichen Niederschlagsmengen durchgehend unter den langjährigen Referenzwerten. Besonders ausgeprägt war das Niederschlagsdefizit in den Monaten

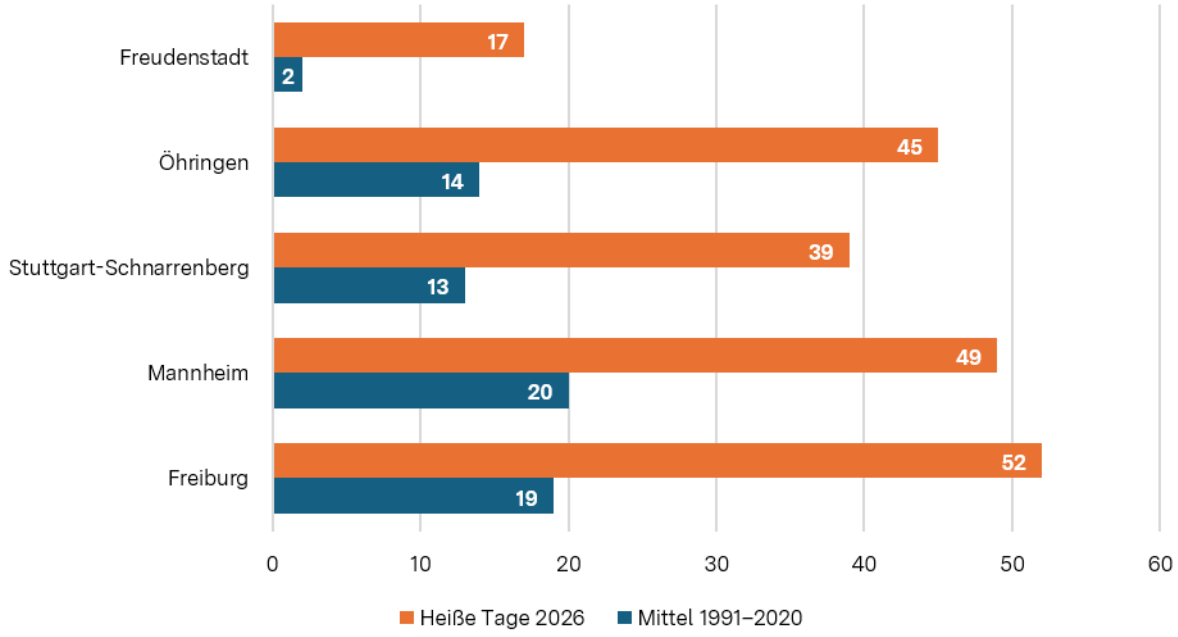


Abb. 30: *Anzahl heißer Tage (≥ 30 °C) im Jahr 2026 (Stand: 31. August 2026) ausgewählter Klimastationen in Baden-Württemberg im Vergleich zum langjährigen Mittel (1991 bis 2020) (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst, DWD).*

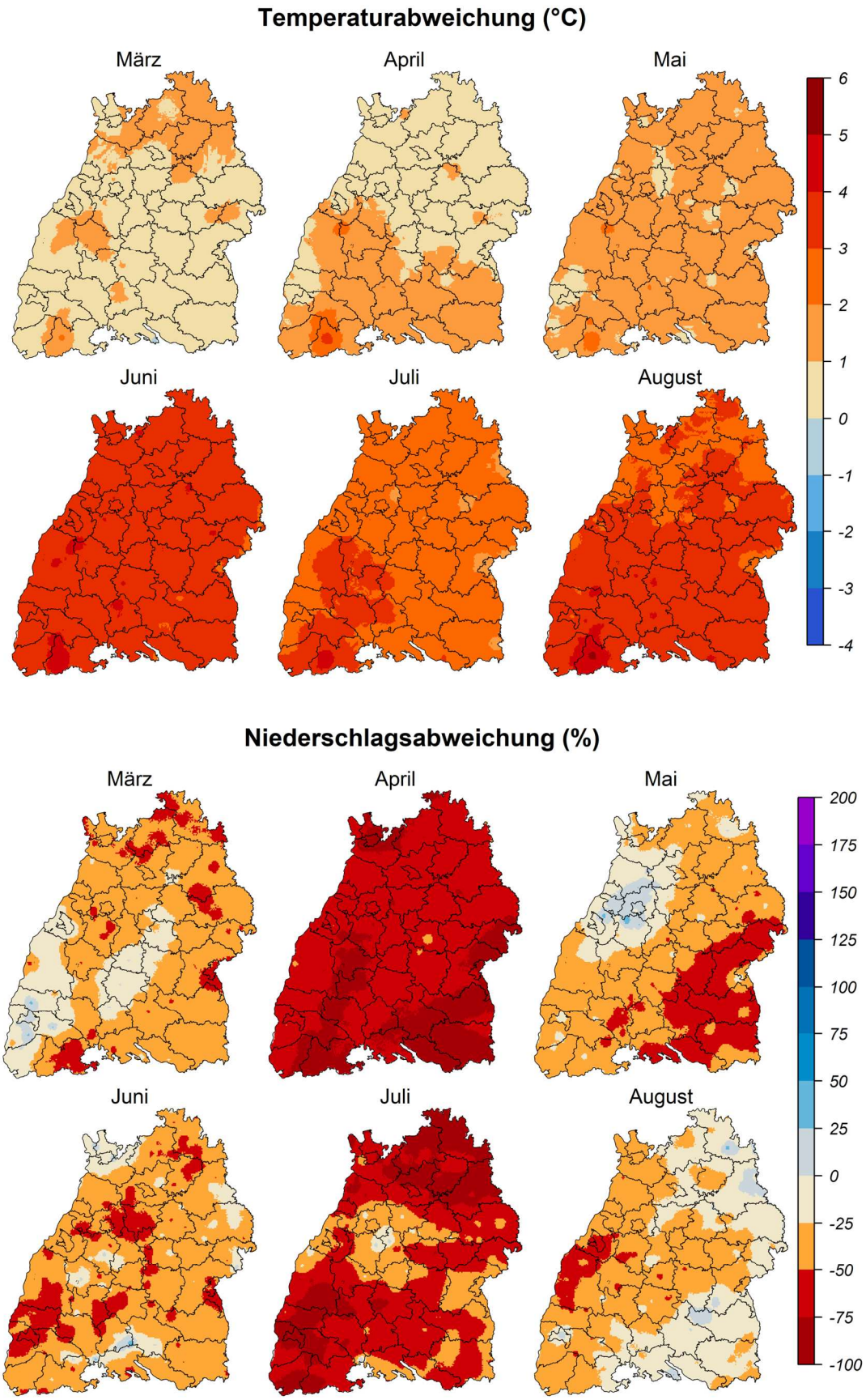


Abb. 31: *Regionale Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) der Monate März bis August 2026 vom Mittel der Referenzperiode (1991 bis 2020) für Baden-Württemberg (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst, DWD).*



Abb. 32: *Mit Blättern und Zweigen bedeckter Forstweg nach einem Hagelschauer bei Grabenstetten (Landkreis Reutlingen) am 20. Juli 2026 (Foto: M. Rüttiger).*

April und Juli, in denen landesweit jeweils weniger als die Hälfte der üblichen Niederschlagsmenge fiel. Die insgesamt trockene Sommerwitterung wurde regional von einzelnen Starkregen- und Unwetterereignissen unterbrochen. Diese brachten lokal hohe Niederschlagsmengen und verursachten teilweise erhebliche Schäden (Abb. 32). Aufgrund ihrer räumlich begrenzten Ausdehnung konnten sie das in weiten Teilen Baden-Württembergs bestehende Niederschlagsdefizit jedoch nicht ausgleichen. Hinzu kommt, dass bei Starkregen ein erheblicher Teil des Niederschlags oft oberflächlich abfließt, sodass nur ein begrenzter Anteil in den Waldboden infiltriert und für die Vegetation verfügbar ist.

Neue Waldklimastation

Der Kaiserstuhl zählt aufgrund seiner klimatischen Bedingungen zu den sonnenreichsten Regionen Deutschlands. Da für den Kaiserstuhl bislang keine kontinuierlich erhobenen Messdaten zum Bodenwasserhaushalt vorlagen, wurde auf dem Versuchsgelände der FVA im Liliental bei Ihringen im März 2026 eine neue Messfläche eingerichtet. Das Messkonzept umfasst sowohl eine meteorologische Freilandstation auf einer Höhe von etwa 340 m ü. NN als auch eine Messstation in einem benachbarten Kiefernbestand.

An beiden Messstationen werden meteorologische und bodenhydrologische Parameter kontinuierlich erfasst. Dazu gehören Niederschlag, relative Luftfeuchte, Lufttemperatur und Luftdruck sowie Bodentemperatur, Bodenfeuchte und Matrixpotential. Die Bodenmessungen erfolgen im lössgeprägten Mineralboden in 15, 30, 60 und 120 cm Tiefe. An der Freilandstation werden zusätzlich Globalstrahlung, Windrichtung und Windgeschwindigkeit gemessen, während im Kiefernbestand der Bestandesniederschlag bestimmt wird.

Bodenfeuchte

Eine ausreichende Bodenfeuchte ist eine wesentliche Voraussetzung für die Wasserversorgung der Waldbäume und gewinnt insbesondere während längerer Trockenperioden an Bedeutung. Mit den kontinuierlichen Bodenfeuchtemessungen auf den Intensivmessflächen der FVA Baden-Württemberg lässt sich verfolgen, wie sich die Wasserversorgung im Jahresverlauf verändert und wie stark einzelne Jahre vom langjährigen Zustand abweichen. Abbildung 33 zeigt beispielhaft die Entwicklung des pflanzenverfügbaren Wassers in 60 cm Bodentiefe auf der Level II-Fläche Ochsenhausen bis zum Stichtag 1. September 2026. Die Messungen erfolgen im Hauptwurzelraum des dortigen Buchenbestands und bilden damit einen für die Wasserversorgung der Bäume besonders relevanten Bodenbereich ab. Die farbigen Bereiche kennzeichnen die Schwankungsbreiten der Jahre 2010 bis 2025, die rote Linie den Verlauf im Jahr 2026.

Während des Winters und zu Beginn des Frühjahrs bewegte sich die Bodenfeuchte zunächst überwiegend im Bereich des langjährigen Mittelwerts. Einzelne Niederschlagsphasen führten im Februar und April sogar zu einem vorübergehenden deutlichen Anstieg des Bodenwassersgehalts. Ab Ende April änderte sich die Situation jedoch grundlegend. Die Bodenwasservorräte gingen rasch zurück und lagen bereits Anfang Mai deutlich unter den für diese Jahreszeit üblichen Werten. Im weiteren Verlauf war der Boden so trocken wie noch nie seit Beginn der Messreihe im Jahr 2010. Ab Juli sank das pflanzenverfügbare Wasser zeitweise auf weniger als 20 Prozent der nutzbaren Feldkapazität (nFK) und damit in den Bereich „sehr trocken“. Dieser ausgeprägte Wassermangel hielt bis in den August an. Einzelne Niederschlagsereignisse sorgten zwar kurzfristig für eine leichte Wiederbefeuchtung des Bodens, eine nachhaltige Auffüllung der Bodenwasservorräte in 60 cm Bodentiefe blieb jedoch aus. Zum Stichtag Anfang September lag die Bodenfeuchte trotz zwischenzeitlicher Niederschläge immer noch weit unter dem langjährigen Niveau.

Wasserrückhalt im Wald

Vor dem Hintergrund zunehmender Witterungsextreme gewinnt der dezentrale Wasserrückhalt in Wäldern an Bedeutung. Ziel entsprechender Maßnahmen ist es, Niederschlagswasser möglichst lange in der Fläche zu halten, den oberflächlichen Abfluss zu reduzieren und die Versickerung in den Waldboden zu fördern. Insbesondere bei Starkregenereignissen kann dadurch der schnelle Abfluss von Wasser gebremst und das Risiko von Bodenerosion sowie von Abflussspitzen verringert werden.

Gleichzeitig kann eine verbesserte Infiltration dazu beitragen, die Bodenwasservorräte aufzufüllen und Wasser länger im Waldökosystem verfügbar zu halten. Dies kann die Wasserversorgung der Waldbäume in Trockenphasen verbessern und damit deren Trockenstress reduzieren. Eine hohe Infiltrations- und Speicherfähigkeit der Waldböden ist daher ein wichtiger Bestandteil der Anpassung von Wäldern an ein zunehmend durch Trockenheit, Hitze und Starkregen geprägtes Klima.

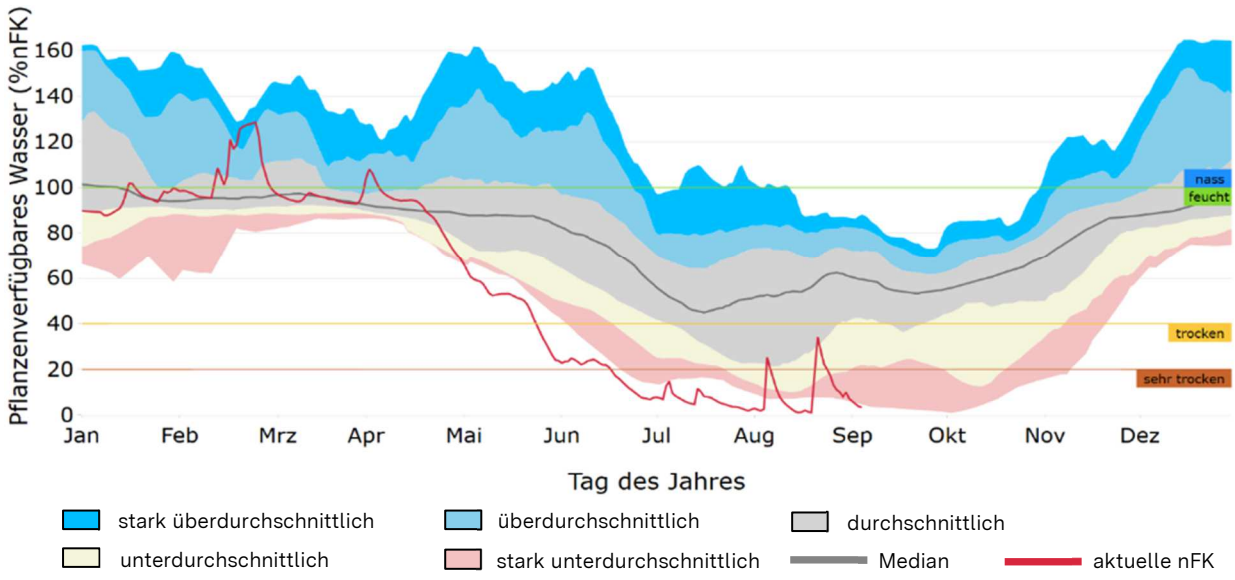


Abb. 33: *Entwicklung des pflanzenverfügbaren Wassers in 60 cm Bodentiefe auf der Level II-Fläche Ochsenhausen (Buche) im Jahr 2026 bis zum 1. September (rote Linie) im Vergleich zur langjährigen Verteilung der Jahre 2010 bis 2025.*

Darüber hinaus können Maßnahmen zum Wasserrückhalt zusätzliche ökologische Funktionen erfüllen. Temporäre oder dauerhaft wasserführende Strukturen schaffen beispielsweise wertvolle Kleinlebensräume und können insbesondere Arten fördern, die für ihre Entwicklung auf Feuchtbiotope und Kleingewässer angewiesen sind.

Beispiel für Wasserrückhalt: Anlegen von Versickerungsgräben

Versickerungsgräben werden idealerweise talseitig im spitzen Winkel an Forstwege angelegt und leiten abfließendes Wasser von Wegen oder Wegeseitengräben in angrenzende Waldbestände oder in Versickerungsmulden (Abb. 34). Dadurch wird der Oberflächenabfluss entlang der Wege unterbrochen und das Wasser wieder in die Fläche geleitet. Dort kann es verzögert abfließen und in den Waldboden versickern. Dies erhöht lokal die Bodenfeuchte und kann zur Grundwasserneubildung beitragen.

Für die Wirksamkeit der Versickerungsgräben ist eine möglichst gute Infiltration über Grabensohle und Grabenflanken entscheidend. Eine raue und bewachsene Oberfläche sowie eingetragenes Streumaterial bremsen die Fließgeschwindigkeit zusätzlich und begünstigen den Wasserrückhalt. Die Gräben sollten so angelegt werden, dass das Wasser möglichst breitflächig und ohne die Entstehung neuer Erosionsrinnen in den Bestand abgegeben wird.

Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

Dezentraler Wasserrückhalt

Die FVA Baden-Württemberg hat im Rahmen des Projekts „Dezentraler Wasserrückhalt“ mittlerweile zahlreiche Maßnahmen, die zu einer Verbesserung des Wasserrückhalts im Wald geeignet sind, erarbeitet und in übersichtlichen, praxistauglichen Steckbriefen zusammengefasst. Diese können auf der Webseite der FVA heruntergeladen werden. Zusätzlich finden vielfältige Informationsveranstaltungen, Schulungen und Beratungsangebote im Wald statt.

Link zum Projekt:
www.fva-bw.de/wasserspeicher-wald

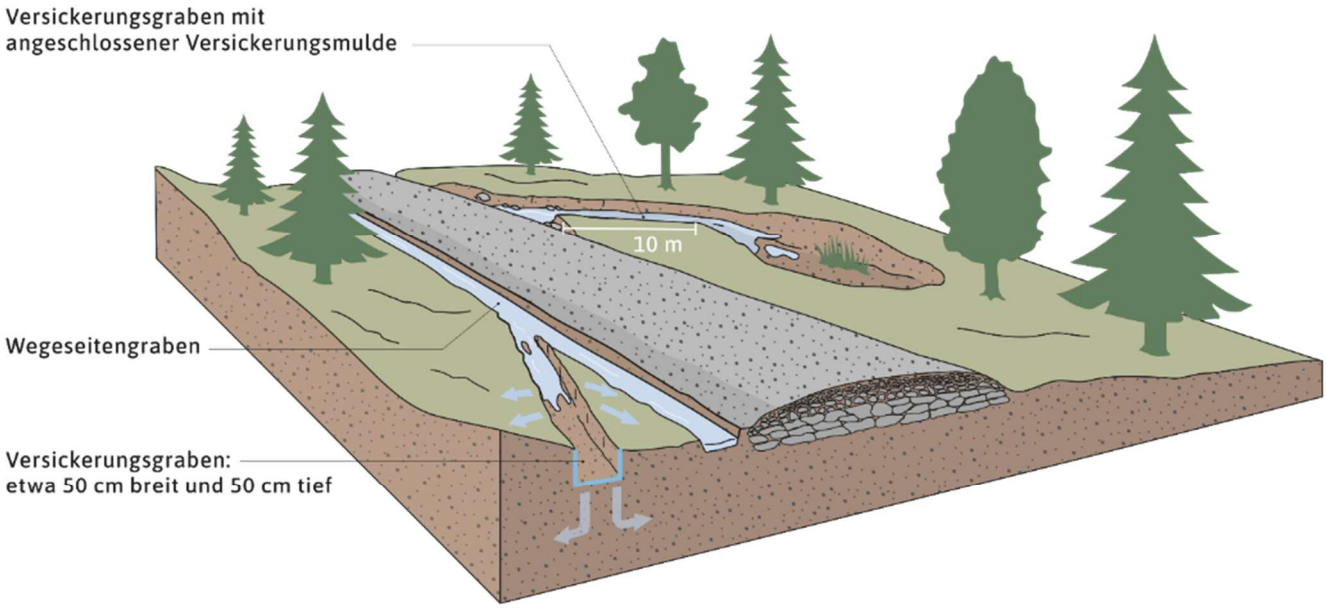


Abb. 34: *Schematische Darstellung von Versickerungsgräben zur Ableitung von Wasser aus dem Wegeseitengraben in den Waldbestand, teilweise mit angeschlossener Versickerungsmulde (Quelle: FVA, Grafik: B612).*

Der Klimaatlas der LUBW

Klimawandel in Baden-Württemberg auf einen Blick – der Klimaatlas der LUBW macht es möglich

Der Klimaatlas BW bündelt relevante Daten zum Klimawandel in Baden-Württemberg – zu bereits eingetretenen und künftigen Klimaveränderungen sowie deren Folgen. Mit interaktiven Kartenviewern, Zeitreihen und Hintergrundinformationen gibt er einen Überblick für das Land, die Naturräume und Kommunen.

Bereits heute sind die Folgen des Klimawandels spürbar. Anhand langjähriger Zeitreihen lässt sich im Themenfeld „Klima der Vergangenheit“ nachvollziehen, wie sich Temperatur, Niederschlag und weitere Kenngrößen seit 1961 entwickelt haben. Das Handlungsfeld „Wald“ bietet zudem weitere Informationen, etwa zu Trockenperioden, saisonalen Niederschlägen, Hitzewellen oder Veränderungen der klimatischen Vegetationsperiode.

Im Themenfeld „Klima der Zukunft“ werden die zukünftigen Entwicklungen, basierend auf Klimamodellen, dargestellt. Der Klimaatlas enthält Informationen unter anderem zum weiteren Temperaturanstieg, zu veränderten Niederschlagsmustern sowie zur Zunahme von Extremereignissen wie Hitze, Trockenperioden und Starkregen.

Über 1000 Klimaprofile geben kompakte Informationen zu bisherigen und zukünftigen klimatischen Entwicklungen für Land, Naturräume, Kreise und Gemeinden. Die räumlich hoch aufgelöste Klimaanalyse bildet die Grundlage für die landesweite Planungshinweiskarte Hitze sowie die Klimaanalysekarte, mit welchen Planungsprozesse und Maßnahmen der Klimaanpassung unterstützt werden können.

Der Klimaatlas der Landesanstalt für Umwelt (LUBW):
https://www.klimaatlas-bw.de/klimaatlasbw

5 STOFFEINTRÄGE UND BODENZUSTAND

Mit dem Depositionsmessnetz der FVA werden die mit dem Niederschlag in die Wälder eingetragenen Stoffe an verschiedenen Waldstandorten in Baden-Württemberg kontinuierlich erfasst. Erste Messungen reichen bis Anfang der 1980er-Jahre zurück. Die langjährigen Messreihen ermöglichen es, Veränderungen der atmosphärischen Stoffeinträge über mehrere Jahrzehnte zu verfolgen und deren Bedeutung für den Stoffhaushalt der Waldökosysteme zu bewerten. Ergänzend liefert die Bodenzustandserhebung (BZE) Informationen über den chemischen und physikalischen Zustand der Waldböden. Die wiederholten landesweiten Erhebungen ermöglichen es, langfristige Veränderungen der Bodeneigenschaften zu erkennen und die Entwicklung des Bodenzustands zu bewerten.

Die Bedeutung der atmosphärischen Deposition für die Waldökosysteme hat sich in den vergangenen Jahrzehnten grundlegend verändert. Während über lange Zeit hohe Einträge versauernd wirkender Luftschadstoffe die Entwicklung der Waldböden prägten, sind insbesondere die Schwefeleinträge infolge der Maßnahmen zur Luftreinhaltung deutlich zurückgegangen. Die Folgen der früheren hohen Säureeinträge wirken jedoch bis heute im Boden nach. Vielerorts sind die Waldböden noch immer über das natürliche Maß hinaus versauert. Anders als die Säureeinträge sind die atmosphärischen Stickstoffeinträge weiterhin hoch. Überhöhte Stickstoffeinträge tragen zur Bodenversauerung und Eutrophierung der Waldökosysteme bei und können langfristig zu Nährstoffungleichgewichten führen. Gleichzeitig verändern sie die Konkurrenzverhältnisse der Bodenvegetation und begünstigen stickstoffliebende Pflanzenarten. Wird mehr Stickstoff eingetragen, als von der Vegetation und im Boden aufgenommen werden kann, besteht zudem die Gefahr, dass Nitrat mit dem Sickerwasser ausgewaschen wird und bis in das Grundwasser gelangt.

Schwefeleinträge – Fluch oder Segen?

Vor dem Hintergrund der hohen Schwefeleinträge in den 1970er- und 1980er-Jahren wird Schwefel (S) häufig als Schadstoff und damit als „Fluch“ der atmosphärischen Deposition betrachtet. Gleichzeitig ist Schwefel als essentieller Pflanzennährstoff ein „Segen“ für die Pflanzenernährung und hierbei von ähnlicher Bedeutung wie Magnesium und Phosphor. Eine entscheidende Rolle spielt Schwefel bei der Synthese von schwefelhaltigen Aminosäuren und Proteinen, der Bildung von Chlorophyll, der Stickstoffverwertung und für die Resistenz gegenüber Trockenheit, Pathogenen und Insekten.

Eintragspfade für Schwefel
Schwefel gelangt hauptsächlich über die Gesteinsverwitterung und die atmosphärische Deposition in den Waldbestand bzw. -boden. Auch mit dem Streufall wird Schwefel in den Boden eingetragen. Auf Ebene des Gesamtbestandes ist dieser Eintragspfad aber dem internen Nährstoffkreislauf zuzuordnen.

Aus anstehendem Gestein und Mineralien wird Schwefel über physikalische, chemische und biologische Verwitterungsprozesse freigesetzt. Besonders schwefelhaltige Ausgangsgesteine stammen aus dem Ober- und Mittelkeuper sowie dem Mittleren Muschelkalk und enthalten die schwefelreichen Mineralien Gips oder Pyrit (LGRB, 2023).

Der atmosphärisch eingebrachte Schwefel stammt primär aus Industrie und Verkehr und gelangt über nasse und trockene Deposition in die Waldökosysteme. Durch die zunehmende Industrialisierung und die damit verbundenen Verbrennungsprozesse waren die Schwefelemissionen (als Schwefeldioxid SO_2) vor allem in den 1970er- und frühen 1980er-Jahren stark erhöht, was unter anderem zu einer Absenkung des pH-Werts im Niederschlag geführt hat. Dieser „Saure Regen“ hatte, abhängig von Windrichtung und Niederschlagsverhältnissen, massive Auswirkungen auf die Vegetation und die Böden in Waldökosystemen. Durch den weiträumigen Transport von SO_2 waren Regionen auch abseits der Emissionsquellen und in Kammlagen betroffen. Besonders empfindlich reagierten Nadelmonokulturen auf basenarmen Ausgangsgesteinen.

Angesichts des Ausmaßes der Luftverschmutzung und ihrer ökologischen Folgen wurde 1979 mit der Genfer Luftreinhaltekonvention ein internationales Abkommen zur grenzüberschreitenden Bekämpfung der Luftverschmutzung geschlossen. In den folgen-

den Jahren wurden darauf aufbauend konkrete Minderungsziele für Schwefelemissionen vereinbart. Dazu gehörten unter anderem die Einführung von Rauchgasentschwefelungsanlagen und die Umstellung auf schwefelarme bzw. schwefelfreie Kraftstoffe. In Deutschland konnten die SO_2-Emissionen dadurch von 5,5 Millionen Tonnen im Jahr 1990 auf 0,22 Millionen Tonnen im Jahr 2023 gesenkt werden, was einem Rückgang von rund 96 Prozent entspricht (UBA 2026).

Erfassung der Schwefeleinträge in den Wäldern Baden-Württembergs

In Baden-Württemberg wird der Schwefeleintrag mit dem Niederschlag auf den 15 Depositionsmessstandorten mit je einer Freiland- und ein bis zwei Flächen im Waldbestand (Fichte oder Buche) mittels sogenannter Totalisatoren erfasst (vgl. S. 50). Auf den Buchenflächen wird neben dem Kronendurchlass noch zusätzlich der Stammabfluss berücksichtigt, da dieser aufgrund der glatten Buchenrinde einen relevanten Anteil am Bestandesniederschlag ausmachen kann.

Zum Depositionsmessnetz der FVA gehören sechs Standorte, die in das Level II-Monitoring des ICP Forests eingebunden sind (vgl. S. 51). An diesen sechs Level II-Flächen wird seit 2011 auch der Stoffeintrag mit dem Streufall erhoben. Zum Streufall gehören neben herabgefallenen Laubblättern und Nadeln auch Zweige, Rinde, Borke, Früchte, Samen und Blütenreste.

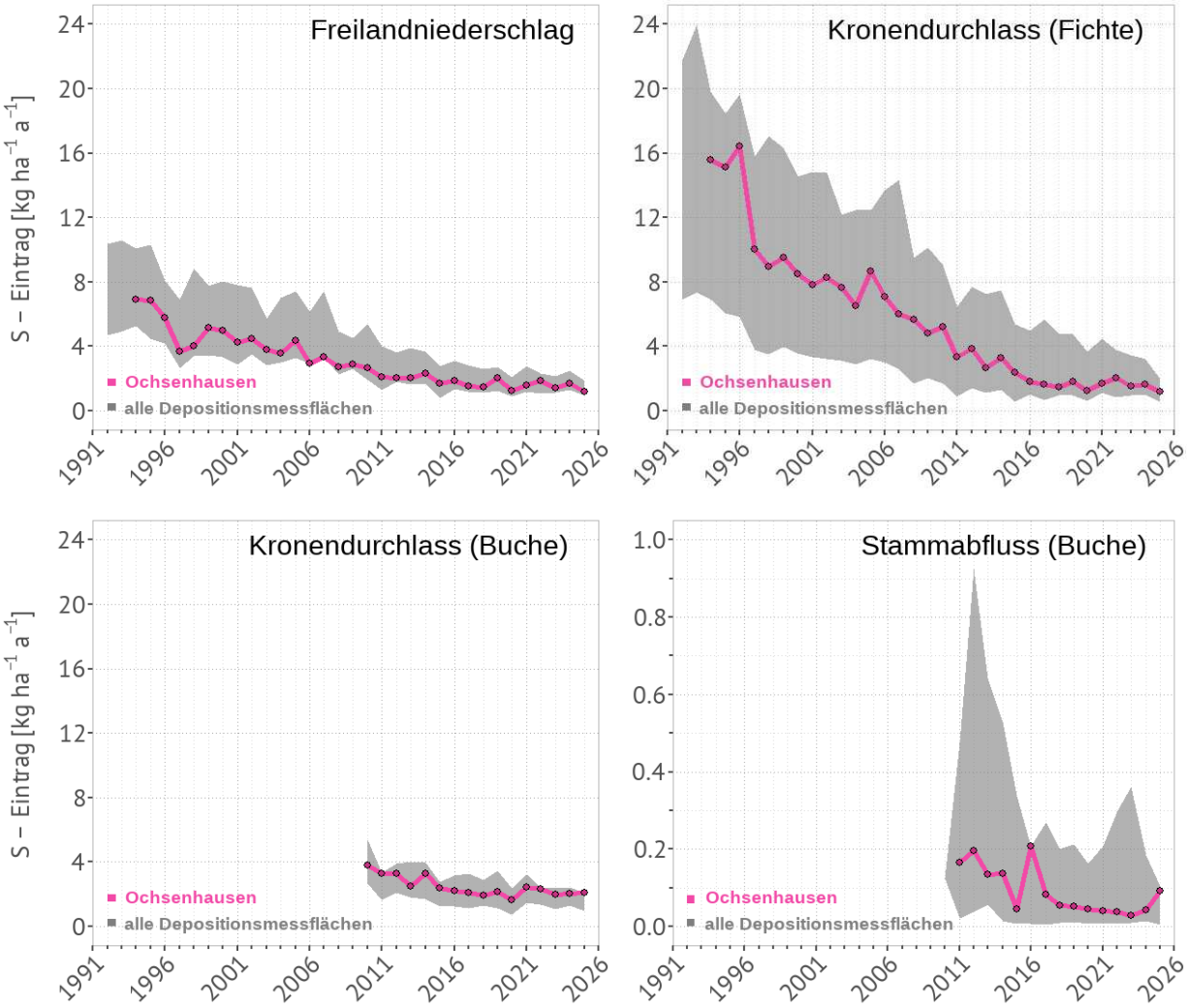


Abb. 35: *Jährliche Schwefeleinträge (kg S ha^{-1} a^{-1}) in Freilandniederschlag, Kronendurchlass (Fichte, Buche) und Stammabfluss (Buche) von 1992 bzw. 2010 bis 2025; grau: Schwankungsbreite aller Standorte im Depositionsmessnetz; rot: Fläche Ochsenhausen. Hinweis: Zur besseren Darstellung wurde für den Stammabfluss (Buche) eine andere y-Achsenskalierung gewählt.*

Entwicklung der Schwefeleinträge mit dem Niederschlag

Seit Beginn der Messreihen zeigen alle Standorte in Baden-Württemberg einen kontinuierlichen Rückgang der Schwefeleinträge mit dem Niederschlag, angegeben in Kilogramm pro Hektar und Jahr (kg ha^{-1} a^{-1}) (Abb. 35). Dieser Trend spiegelt den Erfolg der Luftreinhaltemaßnahmen wider, die zu einer deutlichen Reduzierung der SO_2-Emissionen geführt haben. Abbildung 35 zeigt die Bandbreite der Depositionsmessflächen in Baden-Württemberg (graue Fläche) und exemplarisch den Verlauf für den Standort Ochsenhausen (rote Linie).

Im Freilandniederschlag in Ochsenhausen sanken die jährlichen Schwefeleinträge von 6,9 kg ha^{-1} a^{-1} im Jahr 1994 auf 1,2 kg ha^{-1} a^{-1} in 2025 (Abb. 35). Dies entspricht einer Gesamtreduktion von etwa 83 Prozent und stimmt mit dem landesweiten Trend überein.

Im Kronendurchlass der Fichten in Ochsenhausen lagen die Anfangswerte Mitte der 1990er-Jahre bei etwa 15,7 kg ha^{-1} a^{-1} und waren damit etwa doppelt so hoch wie im Freilandniederschlag (Abb. 35). Zurückzuführen ist das auf den Auskämmeffekt, bei dem die Akkumulation von aerosolgebundenem Sulfat durch die dichte Kronenstruktur der Fichten, den hohen Blattflächenindex und die raue Oberflächenbeschaffenheit der Fichtennadeln begünstigt wird. Bis 2025 reduzierte sich der Schwefeleintrag im Kronendurchlass der Fichten in Ochsenhausen um etwa 92 Prozent auf 1,2 kg ha^{-1} a^{-1} und nähert sich seit Mitte der 2010er-Jahre dem Freilandniveau an. Zusätzliche Schwefeleinträge aus dem Kronenraum verlieren demnach an Bedeutung, was auch auf das teilweise Absterben von Fichten auf der Messfläche zurückzuführen ist.

Messdaten zum Kronendurchlass in Buchenbeständen liegen erst seit 2010 vor. Aussagen zur Entwicklung während der Phase stark rückläufiger Schwefeleinträge sind daher nicht möglich. Zwischen 2010 und 2025 gingen die Schwefeleinträge jedoch auch auf den Buchenflächen weiter zurück. So sanken die Einträge in Ochsenhausen von 3,8 auf 2,1 kg ha^{-1} a^{-1} (Abb. 35), was einer Reduktion von etwa 45 Prozent entspricht. Im Vergleich dazu lag der Schwefeleintrag mit dem Kronendurchlass im Fichtenbestand in Ochsenhausen im Jahr 2010 etwa doppelt so hoch (5,2 kg ha^{-1} a^{-1}). Die geringere Partikelakkumulation in Buchenbeständen lässt sich auf den kleineren Blattflächenindex und die glatteren Blattoberflächen zurückführen.

Der Schwefeleintrag über den Stammabfluss im Buchenbestand von Ochsenhausen zeigt ebenfalls eine abnehmende Tendenz, die jedoch weniger stark ausgeprägt ist als beim Kronendurchlass. Mit Werten zwischen 0,16 kg ha^{-1} a^{-1} im Jahr 2011 und lediglich 0,09 kg ha^{-1} a^{-1} im Jahr 2025 trägt der Stammabfluss nur etwa 0,8 bis 2,0 Prozent zum gesamten Schwefeleintrag über den Niederschlag bei.

Schwefeleinträge über den Streufall

Die jährlichen Schwefeleinträge über den Streufall variieren stark zwischen den Jahren und liegen auf allen Flächen im Bereich von 1,0 bis 14,0 kg ha^{-1} a^{-1} (Abb. 36). Im Gegensatz zum Schwefeleintrag mit dem Niederschlag zeigen die Streufalleinträge keinen eindeutigen zeitlichen Trend. Die interannuellen Unterschiede werden sowohl auf den Fichten- als auch auf den Buchenflächen hauptsächlich durch Witterungsbedingungen, biologische Störungen und Mastzyklen bestimmt. Besonders trocken-warme Witterungsperioden, Insektenbefall oder Sturmereignisse können die Streufallmenge und damit den Schwefeleintrag verändern. Entscheidend ist dabei, ob vermehrt oder vorzeitig Blätter und Nadeln abgeworfen werden oder die lebende oberirdische Biomasse reduziert wird.

So führte beispielsweise das Trockenjahr 2018 mit darauffolgendem Borkenkäferbefall an den Fichten im Jahr 2019 zu einem verstärkten Abwurf grüner Nadeln. Mit der erhöhten Streufallmenge stieg im Fichtenbestand in Ochsenhausen der Eintrag von Schwefel von 4,3 kg ha^{-1} a^{-1} im Jahr 2018 auf 6,7 kg ha^{-1} a^{-1} im Jahr 2019, was einer Zunahme um etwa 57 Prozent entspricht (Abb. 36).

Anhaltende Trockenperioden können den Streufall langfristig jedoch auch verringern, da Fichten oftmals kürzere Nadeln und Triebe ausbilden (HESSE et al., 2024). So sank der Schwefeleintrag über die Fichtennadelstreu in Ochsenhausen von 2019 bis 2022 kontinuierlich (Abb. 36), vermutlich infolge des über mehrere Jahre anhaltenden Trockenstresses.

Buchen weisen im Umgang mit Trockenheit andere Strategien auf als Fichten und reduzieren den Wasserverbrauch weniger stark. Dadurch können Kohlenstoffaufnahme, Baumwachstum und Streufallmenge

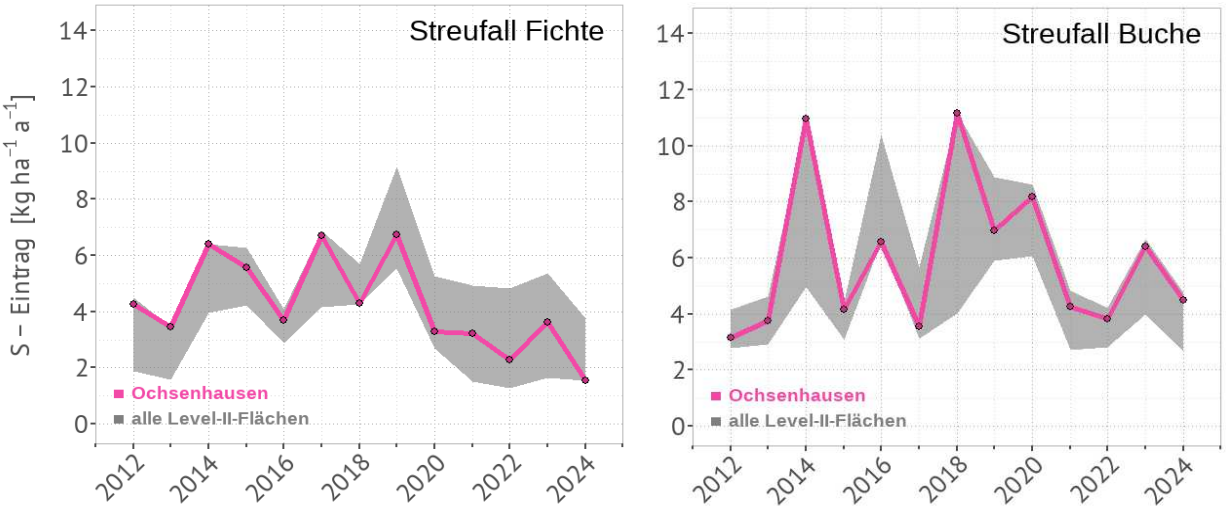


Abb. 36: *Jährliche Schwefeleinträge (kg ha^{-1} a^{-1}) mit dem Streufall im Fichten- und Buchenbestand von 2011 bis 2024; grau: Schwankungsbreite aller Level II-Flächen; rot: Fläche Ochsenhausen.*

über einen längeren Zeitraum konstant gehalten werden (HESSE et al., 2024). Bei Buchen ist vielmehr die Samenproduktion in Mastjahren der steuernde Faktor für die hohe interannuelle Variabilität der Streufalleinträge. So sind auf dem Buchenplot in Ochsenhausen in den ausgeprägten Mastjahren 2011, 2014, 2016, 2018 und 2020 mehrheitlich überdurchschnittlich hohe Schwefeleinträge von mehr als 6 kg ha^{-1} a^{-1} zu verzeichnen (Abb. 36). Da die verschiedenen Streufraktionen (Laub/Nadeln, Äste/Zweige, Früchte usw.) in den Streumessungen der FVA nicht getrennt erfasst werden, lässt sich jedoch nicht eindeutig bestimmen, welche Fraktionen in welchem Umfang zu den beobachteten Schwefeleinträgen beitragen.

Über alle Monitoringflächen hinweg zeigen die Buchenplots im Zeitraum 2011 bis 2024 mit durchschnittlich 5,1 kg ha^{-1} a^{-1} tendenziell höhere Schwefeleinträge mit dem Streufall als die Fichtenplots mit 3,8 kg ha^{-1} a^{-1} (Abb. 36). Dieses Muster spiegelt sich auch in Ochsenhausen wider. Die Baumartenunterschiede lassen sich, zusätzlich zu den Mastzyklen und den physiologischen Anpassungen an Trockenperioden, durch zwei weitere Faktoren erklären:

(1) Laubbäume sind durch einen starken saisonalen Blattabwurf geprägt, während Fichtennadeln kontinuierlich über mehrere Jahre verteilt abfallen und sie teilweise bis zu zwölf Jahre am Baum verbleiben können (NIINEMETS und LUKJANOVA 2003).

(2) Buchenblätter weisen mit 1,1 bis 2,1 mg g^{-1} deutlich höhere Schwefelkonzentrationen auf als Fichtennadeln mit 0,7 bis 1,2 mg g^{-1} (RAUTIO et al., 2020).

Gesamtbetrachtung

Durch die erfolgreiche Luftreinhaltung sind die atmosphärischen Schwefeleinträge inzwischen so stark zurückgegangen, dass sich das Verhältnis zwischen den Einträgen mit dem Niederschlag und der Streu deutlich verändert hat. Bis Ende des 20. Jahrhunderts dominierten in Waldökosystemen die Schwefeleinträge mit dem Niederschlag mit einem Verhältnis von etwa 8:1 gegenüber den Einträgen mit der Streu (HANEKLAUS et al., 2003). Aktuell liegt das Verhältnis auf den betrachteten Monitoringflächen in Baden-Württemberg bei etwa 1:2. Während die Schwefeleinträge mit dem Niederschlag seit 2011 auf durchschnittlich rund 2,4 kg ha^{-1} a^{-1} zurückgegangen sind, betragen die Einträge über die Streu im Mittel knapp 5 kg ha^{-1} a^{-1}.

Mit dem Rückgang der atmosphärischen Schwefeleinträge hat sich Schwefel von einem Überschusselement zu einem potenziell limitierenden Nährelement entwickelt. Die Schwefelversorgung der Bäume ist inzwischen vielerorts gering und liegt teilweise bereits im Mangelbereich (ZETHOF et al., 2024; GÖTTLEIN und OLLECK 2025). Die Grenzwerte wurden jedoch in Zeiten deutlich höherer Schwefelverfügbarkeit abgeleitet. Es ist zu prüfen, inwiefern diese unter heutigen Bedingungen noch aussagekräftig

sind. Hinzukommt, dass ein niedriger Schwefelgehalt der Blätter und Nadeln nicht zwangsläufig bedeutet, dass das Baumwachstum bereits durch Schwefel limitiert wird. Besonders auf Standorten mit geringem geogenem Schwefelgehalt kann die stark verringerte atmosphärische Zufuhr jedoch langfristig das Risiko einer unzureichenden Schwefelversorgung der Waldbäume erhöhen (TALKNER et al., 2010; ZETHOF et al., 2024).

Bei geringen Schwefeleinträgen über die atmosphärische Deposition sowie aus der Gesteinsverwitterung gewinnt der interne Schwefelkreislauf zunehmend an Bedeutung für die Versorgung der Waldökosysteme. Dieser umfasst neben dem Schwefel, der über die Streu in den Boden gelangt, auch die im Boden vorhandenen Schwefelvorräte. Ein Teil des über Jahrzehnte im Boden akkumulierten Schwefels kann durch Mineralisierung und andere Mobilisierungsprozesse freigesetzt und anschließend mit dem Sickerwasser ausgetragen werden. Übersteigen diese Austräge die heutigen Schwefeleinträge, kann sich der Boden von einer Schwefelsenke zunehmend zu einer Schwefelquelle entwickeln (GÖTTLEIN et al., 2026). Gleichzeitig kann ein erheblicher Anteil des historisch eingetragenen Schwefels weiterhin in der organischen Bodensubstanz gebunden und damit langfristig Teil des internen Schwefelkreislaufs bleiben (ZETHOF et al., 2024), vor allem in sauren Böden und bei Anwesenheit von Eisen- und Aluminiumoxiden. Wie lange diese historischen Schwefelvorräte noch als Puffer für die Schwefelversorgung der Pflanzen wirken können, ist derzeit jedoch unklar. Für die zukünftige Schwefelversorgung der Wälder ist daher entscheidend, wie schnell die organischen und mineralischen Schwefelvorräte umgesetzt werden und in welchem Umfang sie den Pflanzen weiterhin zur Verfügung stehen. Neben der Auswaschung kann auch der Entzug von Schwefel mit der Biomasse zur weiteren Verknappung beitragen.

Eine zusätzliche Bedeutung erhält die Schwefelversorgung durch ihre enge Kopplung an den Stickstoffhaushalt. Aufnahme und Stoffwechsel von Stickstoff und Schwefel sind in der Pflanzenernährung eng miteinander verknüpft (GÖTTLEIN und MELLERT, 2019). Eine unzureichende Schwefelversorgung kann daher die effiziente Nutzung von Stickstoff beeinträchtigen, selbst wenn ausreichend Stickstoff im Boden vorhanden ist (OLLECK und GÖTTLEIN, 2025). Die Entwicklung der Schwefelversorgung ist somit nicht isoliert zu betrachten, sondern kann auch die Stickstoffnutzung und damit die gesamte Nährstoffversorgung der Bäume beeinflussen.

Bedeutung der Humusauflage in Wäldern

Als Humusauflagen werden die organischen Auflagehorizonte bezeichnet, die den Mineralboden bedecken. Sie übernehmen in Wäldern eine Reihe zentraler Funktionen. Neben der Speicherung und dem Umsatz organischer Substanz sowie der Bereitstellung von Nährstoffen spielt die Humusauflage eine wichtige Rolle für den Wasserhaushalt, indem sie Niederschläge aufnimmt, speichert und zeitlich verzögert an den Mineralboden abgibt. Darüber hinaus schützt sie den Boden vor Erosion und bietet zahlreichen Organismen einen Lebensraum. Als biologisch aktivster Teil des Waldbodens ist sie von zentraler Bedeutung für die Stoffkreisläufe und die Funktionsfähigkeit des Waldökosystems.

Gleichzeitig unterliegen Humusauflagen einer hohen Dynamik. Als Schnittstelle zwischen der oberirdischen Vegetation und dem Mineralboden reagieren sie besonders empfindlich auf Veränderungen der klimatischen Bedingungen, wie steigende Temperatur und zunehmende Trockenheit. Darüber hinaus werden sie maßgeblich von der Baumartenzusammensetzung, der Bewirtschaftungsintensität, atmosphärischen Stoffeinträgen sowie Störungen beeinflusst, etwa durch Kronen- und Bestandeslücken infolge von Borkenkäferbefall.

Humusauflagen können aus bis zu drei organischen Horizonten bestehen. Abhängig vom Vorhandensein sowie der Mächtigkeit dieser Horizonte werden sie unterschiedlichen Humusformen zugeordnet (Abb. 37). Die Haupthumusformen Mull, Moder und Rohhumus können zusätzlich in verschiedene Unterformen unterteilt werden. Von Mull über Moder bis hin zum Rohhumus nehmen die biologische Aktivität und die Umsatzgeschwindigkeit der organischen Substanz in der Humusauflage ab. Daher sind Mullhumusformen häufig durch neutrale bis schwach saure pH-Werte gekennzeichnet, während Rohhumusformen vor allem auf stark versauerten Standorten auftreten. Mit der Humusform verändert sich auch der Humusvorrat bzw. die Humusmasse (t/ha). Diese nimmt von Mull über Moder bis hin zum Rohhumus zu.



Abb. 37: *Die Haupthumusformen Mull, Moder und Rohhumus. Während Mull (links) nur eine geringe organische Auflage aufweist, ist bei Moder (Mitte) und insbesondere bei Rohhumus (rechts) ein deutlich ausgeprägter Auflagehorizont erkennbar (Fotos: H. Buberl).*

Zustand der Humusauflagen

Die Ergebnisse der aktuellen Bodenzustandserhebung (BZE 3) in Baden-Württemberg zeigen, dass an 61 Prozent der Inventurpunkte Mullhumusformen (L-Mull und F-Mull) vorkommen (Abb. 38). Moderhumusformen folgen an zweiter Stelle. Rohhumus tritt dagegen nur an drei Prozent der BZE-Standorte auf. Deutliche Unterschiede werden sichtbar, wenn die Verteilung der Humusformen nach Bestandestypen (Laub-, Misch-, Nadelbestände) betrachtet wird. Während in reinen Laubbeständen an 88 Prozent der Standorte Mullhumusformen vorkommen, dominieren in Nadelbeständen mit über 57 Prozent Moderhumusformen.

Auch das Ausgangsgestein und damit die Bodenentwicklung haben einen Einfluss auf die Ausbildung der Humusform. Auf Standorten mit karbonatischem Ausgangsgestein dominieren Mullhumusformen (78 Prozent), während Standorte auf silikatischem Ausgangsgestein überwiegend durch Moderhumusformen geprägt sind (48 Prozent).

Die Eigenschaften und Funktionen der Humusauflage variieren in Abhängigkeit von Humusform und Standort. Humusauflagen stellen nicht nur zusätzlichen Wurzelraum bereit, sondern übernehmen auch eine zentrale Funktion im Nährstoffkreislauf von Wäldern und als Nährstoffspeicher. Durch Streu und anderes abgestorbenes Pflanzenmaterial (z. B. Totholz und abgestorbene Wurzeln) gelangen Nährstoffe zurück in den Boden. Dort werden sie durch biologische Umsetzungsprozesse mineralisiert und so der Vegetation wieder verfügbar gemacht. Je nährstoffärmer die Mineralböden sind, desto größer ist die Bedeutung der Humusauflage für die langfristige Nährstoffversorgung der Bäume.

Die Ergebnisse der BZE 3 verdeutlichen diesen Zusammenhang am Beispiel des essenziellen Pflanzennährstoffs Phosphor. Abbildung 39 zeigt, dass mit abnehmendem Phosphorvorrat des Mineralbodens der relative Anteil des in der Humusauflage gespeicherten pflanzenverfügbaren Phosphors zunimmt.

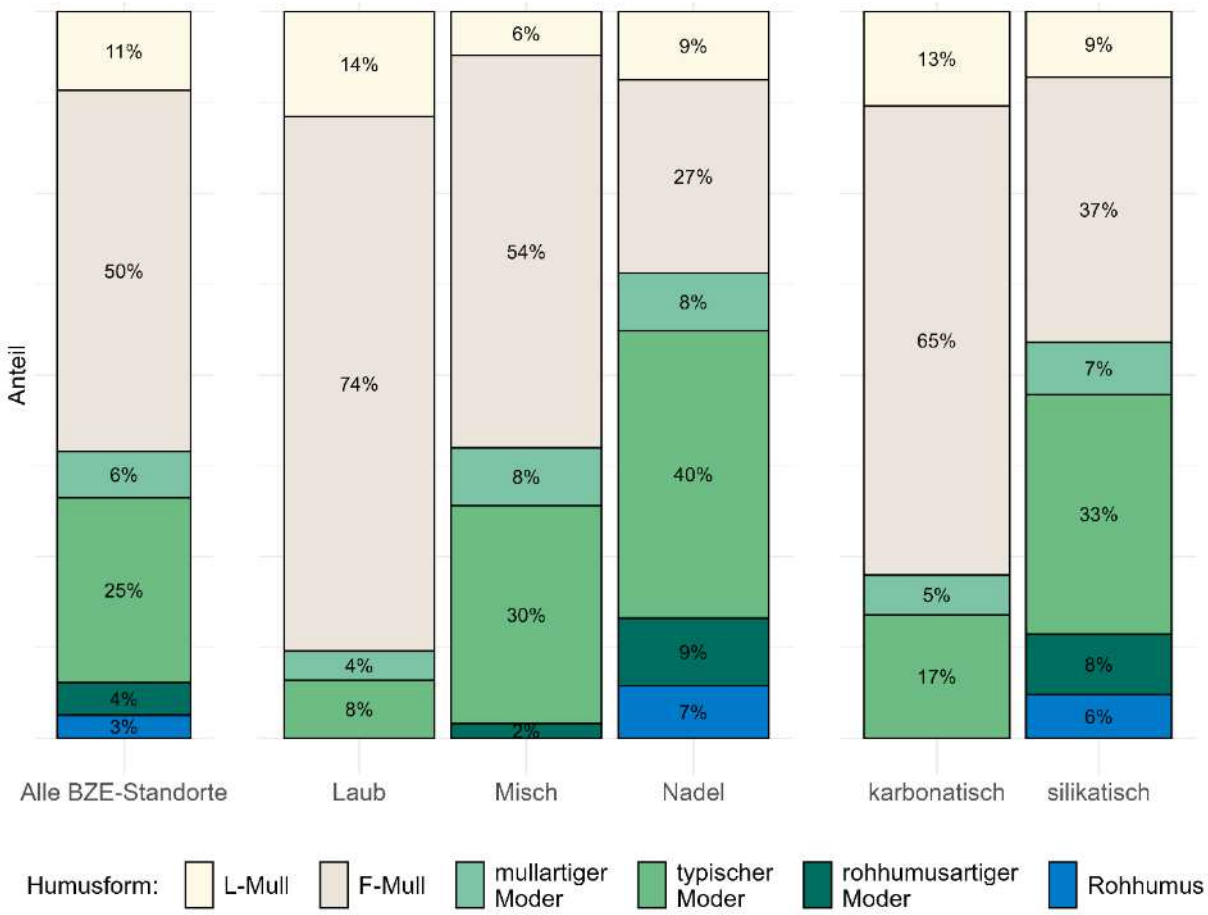


Abb. 38: *Verteilung der Humusformen an den BZE-Standorten in Baden-Württemberg aufgeteilt nach Bestandestypen und Ausgangsgestein.*

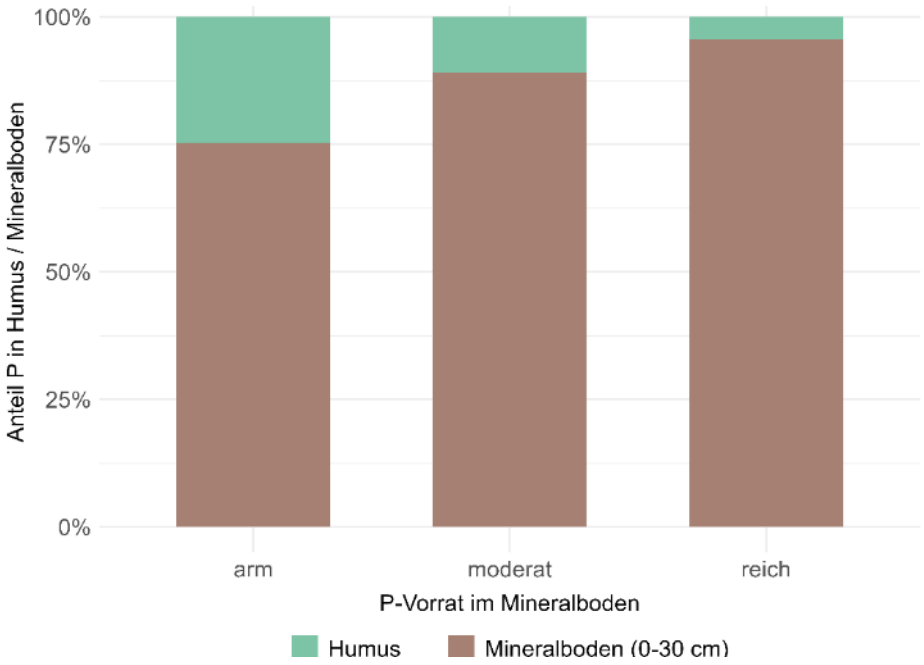


Abb. 39: *Relative Anteile des in der Humusauflage und im Mineralboden gespeicherten pflanzenverfügbaren Phosphors in Abhängigkeit vom Phosphorgehalt des Mineralbodens (alle BZE-Standorte in Baden-Württemberg).*

Auf phosphorreichen Standorten ist dagegen nur ein vergleichsweise geringer Anteil des pflanzenverfügbaren Phosphors in der Humusauflage gespeichert. Je geringer also die Phosphorvorräte im Mineralboden sind, desto stärker ist die Nährstoffversorgung der Waldbäume auf die Humusauflage angewiesen. Für eine langfristige Sicherung der Standortqualität sind jedoch nährstoffreiche Mineralböden der deutlich stabilere und damit anzustrebende Zustand. Im Gegensatz zu Mineralböden reagieren Humusauflagen sehr empfindlich auf Umweltveränderungen.

Klimawandelbedingte Temperaturanstiege, zunehmende Trockenheit sowie Kalamitäten mit großflächigen Bestandeslücken können ihren Abbau zusätzlich beschleunigen, wodurch wichtige Nährstoff- und Kohlenstoffvorräte verloren gehen.

Vor diesem Hintergrund gewinnen Maßnahmen zum Erhalt der Humusauflage und zur langfristigen Sicherung der Nährstoffvorräte im Mineralboden unter den Bedingungen des Klimawandels zunehmend an Bedeutung.

Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

Bodenhilfsstoffe und Düngemittel für den Einsatz in Forstkulturen

Die Witterungsextreme der vergangenen Jahre haben in vielen Waldbeständen zu erheblichen Schäden geführt. Für die Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen und den gezielten Waldumbau ist es vielfach notwendig, geeignete Baumarten aktiv durch Pflanzung einzubringen, wenn eine ausreichende Naturverjüngung klimaangepasster Baumarten nicht vorhanden ist oder sich nicht ausreichend etabliert. Besonders auf größeren Kulturflächen können starke Temperaturschwankungen, intensive Sonneneinstrahlung und Bodentrockenheit den Anwuchserfolg gefährden.

Neben Bewässerungsmaßnahmen können Bodenhilfsstoffe eine alternative oder ergänzende Möglichkeit bieten, um trockenheitsbedingte Ausfälle in Forstkulturen zu reduzieren. Ihre Wirkung beruht im Wesentlichen auf zwei Ansätzen: der Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens sowie der Optimierung der Nährstoffversorgung und damit der Förderung der Trockenheitstoleranz der Kulturpflanzen.

Vor diesem Hintergrund hat sich die FVA Baden-Württemberg intensiv mit dem Einsatz von Bodenhilfsstoffen in Forstkulturen befasst und verschiedene Produkte und deren Wirkungsweisen untersucht.

Dabei wurden unter anderem die Auswirkungen auf die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit sowie mögliche ökologische Risiken betrachtet. Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse wurden Empfehlungen für einen sachgerechten und zielgerichteten Einsatz in Forstkulturen erarbeitet.

Die Broschüre „Bodenhilfsstoffe und Düngemittel für den Einsatz in Forstkulturen“ auf der Website der FVA:
www.fva-bw.de/bodenhilfsstoffe

6 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

In Baden-Württemberg werden Daten zum Zustand und zur Entwicklung der Wälder seit mehr als 40 Jahren systematisch erhoben. Das Forstliche Umweltmonitoring bildet hierfür die zentrale Grundlage. Es wurde im Lauf der Zeit kontinuierlich weiterentwickelt und an neue Fragestellungen und Anforderungen angepasst. Die langjährigen Zeitreihen ermöglichen es, Veränderungen in den Waldökosystemen frühzeitig zu erkennen, ihre zeitliche Entwicklung zu verfolgen und mögliche Ursachen zu untersuchen. Damit liefert das Forstliche Umweltmonitoring wichtige Grundlagen für die Bewertung des aktuellen Waldzustands und die Beurteilung langfristiger Entwicklungen der Wälder in Baden-Württemberg.

Die Bedeutung einer langfristigen und umfassenden Beobachtung der Waldökosysteme nimmt vor dem Hintergrund des Klimawandels weiter zu. Steigende Temperaturen und Veränderungen im Wasserhaushalt wirken sich unmittelbar auf die Wachstumsbedingungen der Waldbäume aus. Gleichzeitig können extreme Witterungsereignisse wie ausgeprägte Hitze-



Kronenzustand

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



Bodenzustand

Erhebung des chemischen und physikalischen Bodenzustands und dessen Veränderung



Phänologie

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



Witterung

Erfassung meteorologischer Größen (u. a. Temperatur und Niederschlag)



Zuwachs

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



Deposition

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



Ozon

Untersuchung von Ozonschäden und Blattprobenahmen an LESS-Flächen



Biodiversität

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



Ernährung

Untersuchung der Versorgung der Bäume mit Nährelementen und deren Relation zueinander



Sickerwasser

Untersuchung der Speicher- und Auswaschungsprozesse, Folgewirkungen für die Hydrosphäre



Bodengase

Untersuchung der Gasbestandteile im Boden zur Bilanzierung der Treibhausgase im Wald

Abb. 40: *Untersuchungsbereiche des Forstlichen Umweltmonitorings.*

und Trockenperioden, Stürme oder Starkregen erhebliche Schäden verursachen und die Vitalität der Wälder beeinträchtigen. Darüber hinaus beeinflussen veränderte klimatische Bedingungen auch das Auftreten und die Entwicklung biotischer Schadorganismen. Hierzu zählen beispielsweise verschiedene Borkenkäferarten sowie blattfressende Insekten. Insbesondere bei Borkenkäfern kann eine durch Trockenstress verminderte Vitalität und Abwehrfähigkeit der Wirtsbäume das Befallsrisiko deutlich erhöhen.

Neben den klimatischen Veränderungen wirken weitere, teilweise langfristige Belastungen auf die Waldökosysteme. Viele Waldstandorte in Baden-Württemberg sind nach wie vor durch die Spätfolgen langjähriger Säureeinträge sowie durch erhöhte Stickstoffeinträge belastet. Diese können den chemischen Bodenzustand, die Nährstoffverfügbarkeit und die natürlichen Stoffkreisläufe verändern und damit die Wachstumsbedingungen der Waldbäume beeinträchtigen.

Zur Erfassung dieser unterschiedlichen Einflussgrößen und ihre Wirkungen auf die Wälder werden im Forstlichen Umweltmonitoring verschiedene, miteinander verknüpfte Untersuchungsbereiche betrachtet (Abb. 40). Ein Schwerpunkt liegt auf dem Waldbestand selbst. Hier werden unter anderem Kronenzustand, Phänologie, Zuwachs, Ozonbelastung und Ernährung in unterschiedlicher Intensität untersucht. Ergänzend werden wesentliche Eigenschaften des Waldstandortes sowie Stoffflüsse und weitere Umweltfaktoren erfasst. Dazu gehören Bodenzustand, Witterung, Deposition, Biodiversität, Sickerwasser und Bodengase. Die gemeinsame Betrachtung dieser Untersuchungsbereiche ermöglicht es, Veränderungen langfristig zu verfolgen und Zusammenhänge zwischen Waldzustand, Standort und Umwelteinflüssen zu analysieren.

Methodischer Aufbau

Das Forstliche Umweltmonitoring verbindet zwei sich ergänzende Untersuchungsebenen. Während Rasterstichproben flächenrepräsentative Aussagen zum Zustand der Wälder in Baden-Württemberg ermöglichen, dienen ausgewählte Versuchsflächen der intensiven Untersuchung von Prozessen und Zusammenhängen innerhalb der Waldökosysteme.

Das Forstliche Umweltmonitoring liefert seit über 40 Jahren belastbare Daten zum Zustand und zur Entwicklung der Wälder. Die verschiedenen Messnetze, Rasterstichproben und Versuchsflächen bilden eine langfristige Datengrundlage für themenspezifische Auswertungen in zahlreichen Forschungs- und Arbeitsbereichen. Die Daten dienen unter anderem als wichtige Grundlage für Untersuchungen zum Stoffhaushalt sowie zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldökosysteme.

Die Rasterstichproben bilden die Grundlage für flächenrepräsentative Aussagen zum Zustand der Wälder Baden-Württembergs. Hierfür werden systematische Stichprobennetze über die Landesfläche gelegt, bei dem jeder Schnittpunkt im Wald als Aufnahmepunkt angelegt wird. Zu den Rasterstichproben zählen die Waldzustandserhebung (WZE), die Bodenzustandserhebung (BZE) und die Immissionsökologische Waldernährungsinventur (IWE). Seit dem Jahr 2005 basieren die verschiedenen Erhebungen auf einem einheitlichen 8x8 km-Netz, ergänzt durch ein europäisches 16x16 km-Netz (Level I) (Abb. 41).

Die zweite Untersuchungsebene umfasst ausgewählte Versuchsflächen, auf denen wesentliche Prozesse und Stoffflüsse innerhalb der Waldökosysteme intensiv untersucht werden. Diese Flächen dienen der detaillierten Analyse von Wechselwirkungen zwischen verschiedenen abiotischen und biotischen Faktoren. Dabei werden zahlreiche Umweltparameter mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung erhoben und deren Einfluss auf das Waldökosystem bewertet. Zu den Versuchsflächen zählen die Flächen des Intensiven Ökosystemmonitorings (Level II), die Waldklimastationen, die Depositionsflächen und die Dauerbeobachtungsflächen Kronenzustand (Abb. 41).

Neuanlage einer Level II-Fläche

Im Verlauf des letzten Jahres wurde eine neue Versuchsfläche des Intensiven Ökosystemmonitorings (Level II) in einem Buchenbestand sowie einer angrenzenden Freilandfläche eingerichtet. Der Standort befindet sich im südwestlichen Bereich der Schwä-

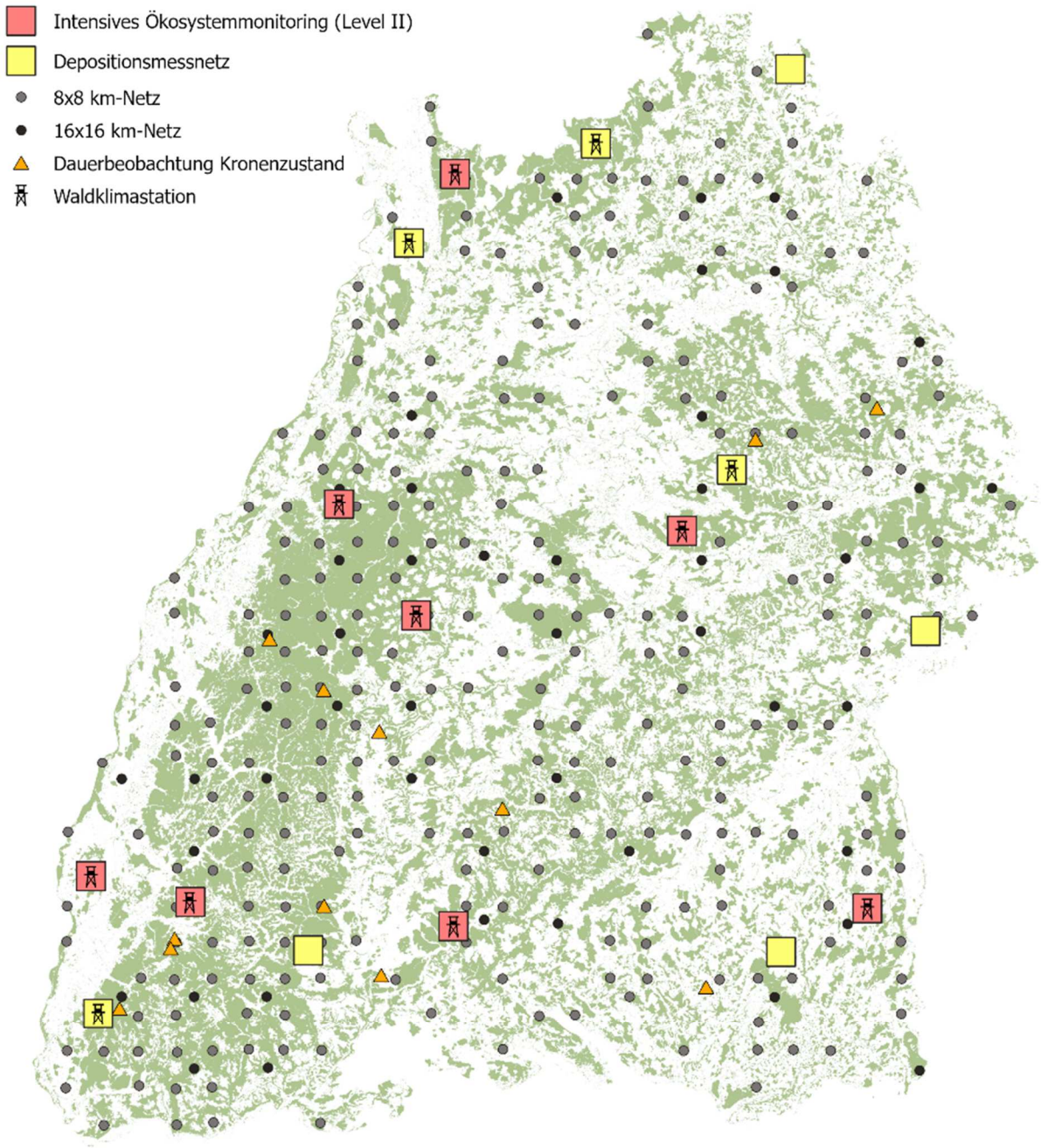


Abb. 41: *Räumliche Lage der Rasterstichproben des 16x16 km- bzw. 8x8 km-Netzes und der Versuchsflächen des Intensiven Ökosystemmonitorings, des Depositionsmessnetzes, der Dauerbeobachtungsflächen Kronenzustand sowie der Waldklimastationen.*

bischen Alb bei Möhringen (Tuttlingen) auf einer Höhe von etwa 820 m ü. NN. Der untersuchte Buchenbestand ist im Mittel etwa 90 Jahren alt (Abb. 42).

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge beträgt 933 mm, die Jahresmitteltemperatur 8,2° C (DWD, Referenzperiode 1991 bis 2020). Der vorherrschende Bodentyp ist eine Terra Fusca-Rendzina, die sich aus Jurakalk entwickelt hat. Das karbonatische Ausgangsgestein ist auch die Besonderheit der neuen Intensivmessfläche: Die bislang untersuchten Intensivmessflächen FVA befinden sich ausschließlich auf silikatischen bzw. sauren Standorten. Mit der Einrichtung der Messfläche auf einem karbonatischen Standort ist künftig erstmals ein direkter Vergleich der bodenhydrologischen und standörtlichen Prozesse zwischen karbonatischen und silikatischen Standorten möglich.



Abb. 42: *Neu eingerichtete Versuchsfläche des Intensiven Ökosystemmonitorings (Level II-Fläche) in Möhringen (Tuttlingen) (Foto: FVA BW/Hölscher).*

Internationale Einbindung

Das Forstliche Umweltmonitoring ist sowohl in nationale als auch in internationale Monitoringprogramme eingebunden. Von den Rasterstichproben sind die 52 Stichprobenpunkte des 16x16 km-Netzes Teil des europäischen Level I-Messnetzes. Auf der Ebene des Intensiven Ökosystemmonitorings sind sieben Versuchsflächenstandorte in Baden-Württemberg in das europäische Level II-Messnetz eingebunden.

Die auf diesen Flächen erhobenen Daten fließen in das internationale Monitoringprogramm ICP Forests (International Co-operative Programm on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests) ein und werden regelmäßig für nationale und internationale Forschungs- und Auswertungsprojekte genutzt.

Unterstützung aus der Luft

Die FVA Baden-Württemberg untersucht im Rahmen des Projekts „Unterstützung der klimaresilienten Waldbewirtschaftung mittels sensorgestützter Vitalitätserfassung“ (kurz „WaldVital“) das Potenzial unterschiedlicher mobiler Sensorik zur Erfassung der Vitalität des Waldes. Das Projekt wird durch die Baden-Württemberg-Stiftung gefördert und in Kooperation mit der Universität Freiburg und dem Steinbeis Institut durchgeführt. Der Schwerpunkt liegt in der Erstellung eines automatisierten Erfassungs- und Auswertungskonzepts für die aufgenommenen Daten und die Prüfung, inwieweit die entwickelten Verfahren perspektivisch genutzt werden können, um Zusatzinformationen für die Waldzustandserhebung bereitzustellen.

Im Projekt werden sowohl Altbestände als auch Wiederbewaldungsflächen untersucht. Die vorherrschenden Baumarten der Altbestände sind Rotbuchen,

Tannen und Fichten. Die Baumarten auf den Wiederbewaldungsflächen sind Kirschen, Traubeneichen und Douglasien. In allen Untersuchungsgebieten wurden gutachterliche Referenzdaten nach (bzw. auf den Wiederbewaldungsflächen angelehnt an) den Vorgaben der Waldzustandserhebung (WZE) erhoben. Zeitnah zu diesen terrestrischen Aufnahmen wurden Befliegungen mit zwei Drohnen durchgeführt. Hierfür wurden ein für Forschungszwecke vorbehaltener Zweiwellenlängen-Laserscanner des Fraunhofer Instituts für physikalische Messtechnik (IPM) sowie zwei kommerzielle Multispektralkameras eingesetzt.

Erste Ergebnisse des Laserscannings von Altbeständen

Der Laserscanner nimmt Daten in zwei Wellenlängen auf, zum einen im grünen Spektralbereich und zum anderen im Infrarotbereich. Für jede Wellenlänge wird pro Flug eine Punktwolke erzeugt, aus welcher ein dreidimensionaler Vegetationsindex, der "Green Normalized Difference Vegetation Index" (GNDVI) berechnet wird. Mit diesem Wert lässt sich dreidimensional darstellen, in welchen Kronenabschnitten der einzelne Baum vital oder geschädigt ist (Abb. 43). Neben dieser datenbasierten Darstellung geschädigter Kronenbereiche wurde untersucht, inwieweit sich die im Rahmen der terrestrischen Waldzustandserhebung erhobenen Schadstufen anhand des GNDVI voneinander trennen lassen. Hierfür wurden die Verteilungen der Indexwerte von je drei Bäumen pro Klasse mit Hilfe der Jeffries-Matusita-Distanz miteinander verglichen. Nimmt die berechnete Distanz der Verteilungen einen Wert größer 1 an, gelten die Daten als unterscheidbar. In den bisher vorliegenden Auswertungen wurde dieser Schwellenwert mit dem eingesetzten Scanner nicht erreicht. Der GNDVI aus den Laserdaten ist also allein nicht ausreichend, um die terrestrisch erhobenen Schadstufen der WZE für den Einzelbaum abzuleiten. Deswegen werden die Auswertungen aktuell um Informationen zur Kronendichte ergänzt, welche zusätzlich Rückschlüsse auf den Nadel-/Blattverlust ermöglichen könnten.

Ergebnisse des Laserscannings auf Wiederbewaldungsflächen

Auf den Wiederbewaldungsflächen wurden die mittels Laserscanning gewonnenen Daten genutzt, um anhand der Höheninformation den Ausfall der gepflanzten Bäume zu erfassen und räumlich darzustellen. Hierfür wurden eine automatisierte Einzelbaumerkennung durchgeführt und entlang der Pflanzreihen vorhandene Lücken zwischen den erkannten Bäumen ermittelt.

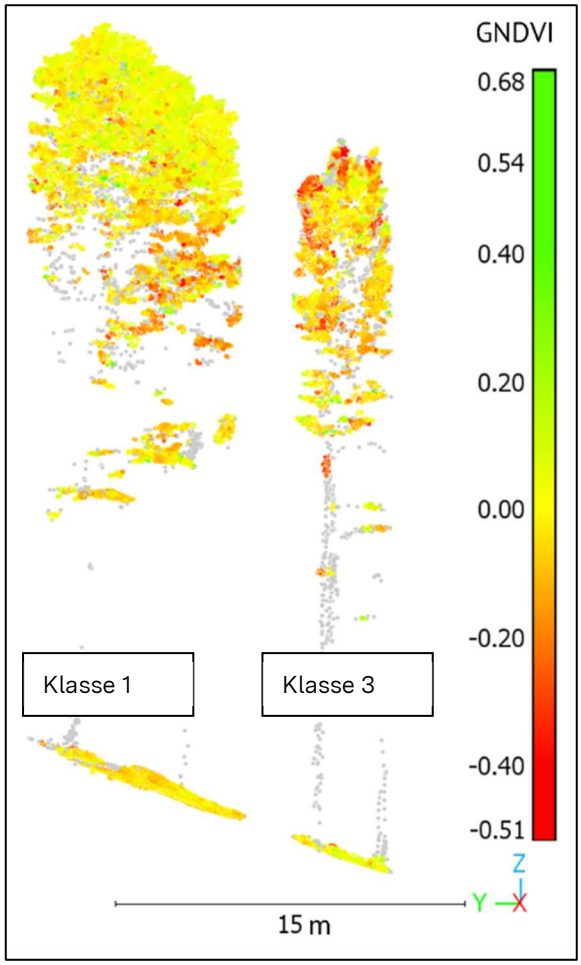


Abb. 43: *Punktwolke für einen Hangausschnitt im Untersuchungsgebiet Conventwald. Links: Buche der Schadstufe 1 (schwach geschädigt), rechts: Buche der Schadstufe 3 (stark geschädigt). Grüne Punkte zeigen einen höheren, rote Punkte einen niedrigeren GNDVI; für die grauen Punkte konnte kein Index berechnet werden.*

Die kartierten Informationen geben einen schnellen Überblick über die Kronengröße der einzelnen Bäume und können als Entscheidungshilfe für notwendige Maßnahmen dienen (Abb. 44). Besonders hilfreich ist dieses Verfahren auf Flächen, die aufgrund von dichter und hoher Begleitvegetation nur schwer oder gar nicht begehbar sind. Einschränkungen bestehen in Bereichen unterhalb von Überhältern, die aufgrund sehr geringer Punktdichte nur schwer einsehbar sind. Mit einem konventionellen Laserscanner ließe sich die Punktdichte durch die Aufnahme mehrerer Returns pro gesendetem Signal erhöhen.

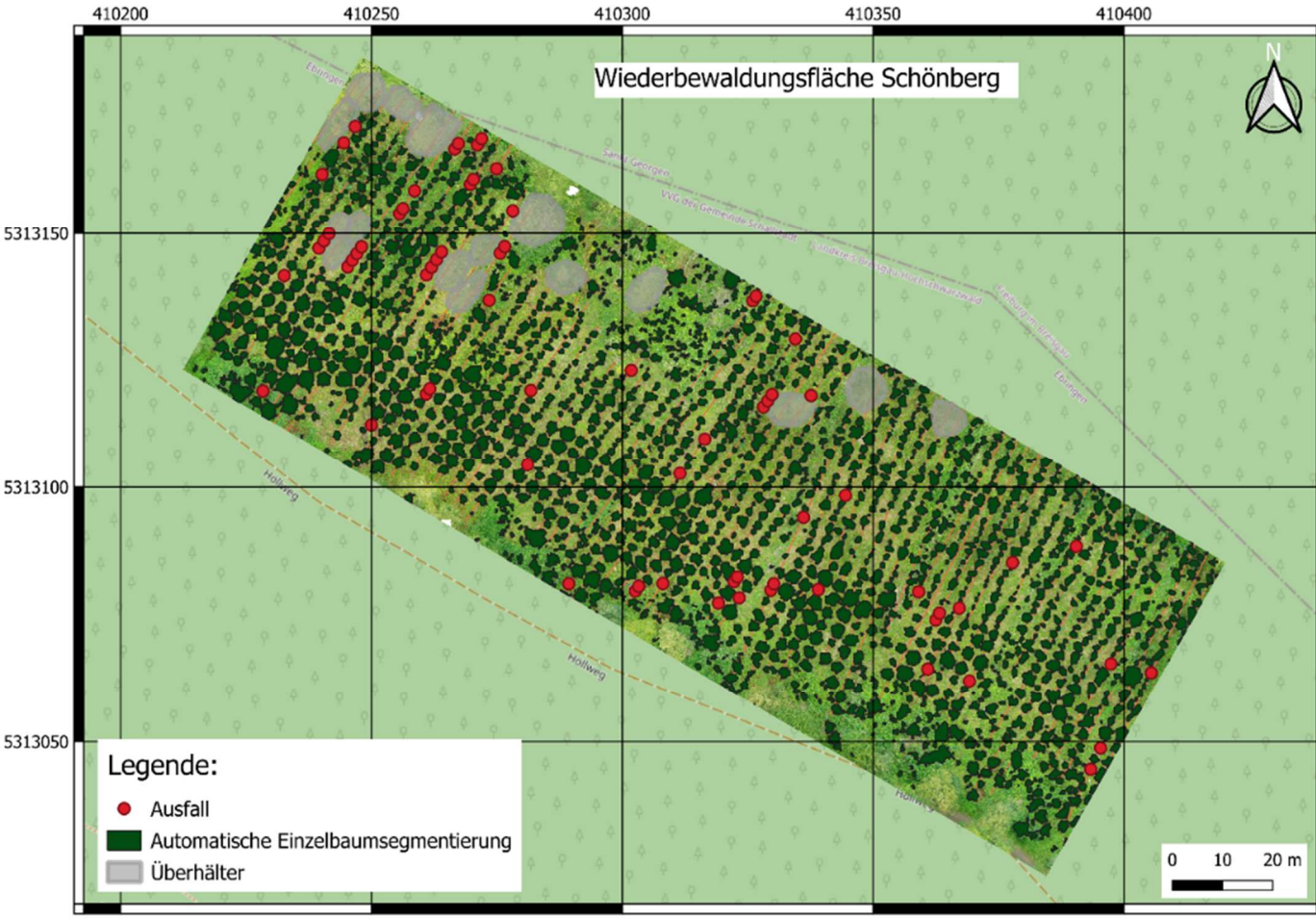


Abb. 44: *Ausfallkarte einer Wiederbewaldungsfläche am Schönberg. Dunkelgrün: gepflanzte Baumreihen, hellgrün: Hintergrundbild einer RGB-Kamera, rote Punkte: detektierte Lücken, graue Felder: Überhälter. Kartenhintergrund erstellt mit Open Street Map Vector Tiles.*

Ergebnisse von Multispektralkameras in Altbeständen

Im Projekt wurden neben dem Laserscanner auch zwei handelsübliche Multispektralkameras getestet. Neben der Micasense Rededge-MX wurde auch das (kostenintensivere) Nachfolgemodell Altum-PT eingesetzt, welches eine höhere geometrische Auflösung besitzt.

Aus den fünf Farbkanälen der zwei Multispektralkameras (Blau, Grün, Rot, Red Edge und Nahes Infrarot) werden für die gesamte Fläche zehn verschiedene Vegetationsindizes abgeleitet, welche Aussagen über die Vitalität von Bäumen ermöglichen. Mittels manuell abgegrenzter Baumkronen (Abb. 45) wurden für jede Baumkrone jeweils Mittelwert, Median, Standardabweichung und 5%-Perzentil der Pixelwerte der Indizes berechnet. Mit diesem Datensatz pro Baum wurde erneut analysiert, wie gut sich die Schadstufen anhand der Indizes voneinander trennen lassen.

Der Vergleich der beiden Kameras zeigt, dass eine höhere räumliche Auflösung zu deutlich besseren Ergebnissen der Trennbarkeit der Indexwerte in Bezug auf die bekannten WZE-Schadstufen führt. In Tabelle 1 sind die Jeffries-Matusita-Distanzen zwischen den Schadstufen 1 (schwach geschädigt) und 3 (stark geschädigt) sowie zwischen den Schadstufen 2 (mittelstark geschädigt) und 4 (abgestorben) gelistet. Es ist ersichtlich, dass je nach Kamera und Schadstufenvergleich unterschiedliche Indizes zur Unterscheidung der Schadstufen genutzt werden können. Mit der RedEdge-MX lassen sich die Schadstufen 1 und 3 anhand des Leaf Chlorophyll Index (LCI) und des RedEdge Normalized Difference Vegetation Index (RENDVI) unterscheiden. Bei der höher auflösenden Altum-PT eignen sich zudem Blue-NDVI (BNDVI), Green-NDVI (GNDVI) und NDVI. Für die Unterscheidung der Schadstufen 2 und 4 sind andere Informationen relevant und der Green Leaf Index (GLI) gewinnt an Bedeutung.

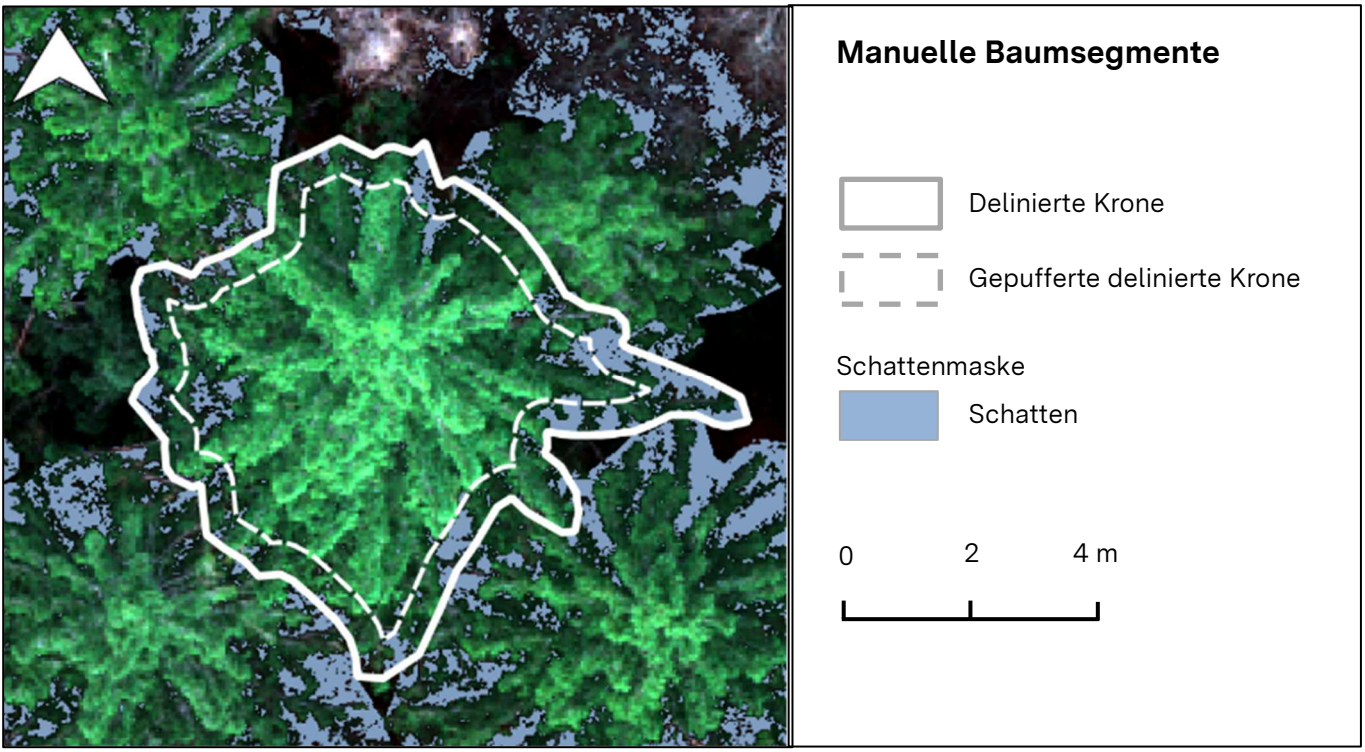


Abb. 45: *Manuelle Abgrenzung einer Fichtenkrone zur Vorprozessierung der Multispektraldaten. Dargestellt ist die RGB-Ansicht des Orthofotos. Graublau: überlagerte Schattenmaske, weiße Linie: markierte Umrandung (Delinierung) der Krone mit gestricheltem Puffer nach innen.*

Aufgrund des kleinen Datensatzes und der großen Ähnlichkeit benachbarter Schadstufen konnten benachbarte Schadstufen nicht eindeutig getrennt werden. Auch wenn die Menge an Referenzdaten in diesem Projekt nicht für das Training eines Modells zur Bestimmung der Schadstufe ausreicht, lassen die Ergebnisse der Trennbarkeitstests erwarten, dass eine hinreichend genaue Differenzierung der Schadstufen mit einem entsprechend ausreichend großen Datensatz möglich wäre.

Tab. 1: *Jeffries-Matusita-Distanzen (Werte zwischen 0 und 2) zur Trennbarkeit der Schadstufen 1 und 3 bzw. 2 und 4 mit verschiedenen Vegetationsindizes, berechnet aus Aufnahmen der Multispektralkameras RedEdge-MX und Altum-PT. Rote Werte: nicht trennbar, gelbe Werte: schlecht trennbar, grüne Werte: gut trennbar. Datengrundlage ist ein Datensatz aus Fichten der Kronenzustandserhebung 2025 im Conventwald und bei Enzklösterle. Die Schadstufe 0 war im Datensatz durch nur einen Baum vertreten und wurde nicht ausgewertet.*

Unterschiedene Schadstufen	Kamera	Vegetationsindex									
		BNDVI	CVI	DVI	GLI	GNDVI	LCI	NDVI	OSAVI	RENDVI	RVI
1 und 3	RedEdge-MX	0,4	0,8	0,9	0,7	0,5	2,0	0,3	0,2	2,0	0,4
	Altum-PT	1,8	1,6	1,1	1,1	1,8	1,8	1,7	0,8	1,7	0,9
2 und 4	RedEdge-MX	1,1	1,2	1,7	2,0	1,4	1,3	1,4	2,0	0,9	2,0
	Altum-PT	2,0	2,0	1,2	2,0	2,0	1,9	2,0	1,3	1,8	1,3

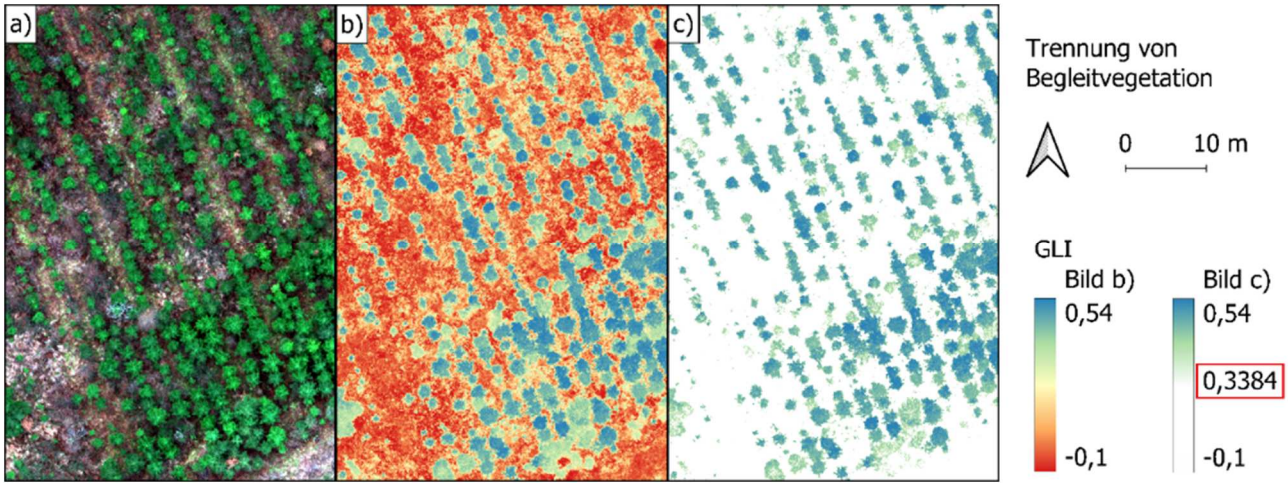


Abb. 46: *Orthofotos einer Douglasienpflanzung bei Oberried im Februar 2026. a) Abbildung der Fläche in Echtfarben, b) eingefärbt nach GLI, c) eingefärbt nach GLI und abgeschnitten beim berechneten Schwellenwert.*

Ergebnisse von Multispektralkameras auf Wiederbewaldungsflächen

Während die Auswertung der Laserdaten auf Lagegenauigkeit und Einzelbaumerkennung ausgerichtet ist, wurde mit den Multispektraldaten ergänzend eine Auswertung mit Vegetationsindizes vorgenommen. Ziel war es, anhand spektraler Informationen, die gepflanzten Bäume von der Begleitvegetation abzugrenzen. Erste Ergebnisse zeigen eindeutige Unterschiede zwischen den gepflanzten Bäumen und der Begleitvegetation, welche mittels eines automatisiert bestimmbaren Schwellenwerts getrennt werden können. Die in Abbildung 46 dargestellten Ergebnisse basieren auf Daten einer Befliegung im Februar 2026 über einer Douglasienpflanzung bei Oberried und zeigen den Green Leaf Index (GLI), der für grüne Vegetation höhere Werten aufweist. In Abbildung 46b ist eine deutliche Trennung zwischen niedrigen (rot) und hohen GLI-Werten (blau) sichtbar. Die zweigipflige Verteilung ermöglicht es, automatisiert einen Schwellenwert zwischen den beiden Maxima zu bestimmen und die Pixelwerte somit der Begleitvegetation bzw. den Bäumen zuzuordnen. Abbildung 46c zeigt die so extrahierten Bäume ohne Begleitvegetation. Mit diesem Ergebnis lässt sich einfach einsehen, ob und in welchen Bereichen der Fläche Maßnahmen notwendig sind. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es ohne Referenzdaten auskommt, da lediglich das Vorhandensein der Bäume erfasst und keine Bewertung ihrer Vitalität vorgenommen wird.

7 METHODIK DER WALDZUSTANDS-ERHEBUNG

Mit der Waldzustandserhebung (WZE) wird der Vitalitätszustand der Wälder in Baden-Württemberg jährlich erfasst und bewertet. Zentrale Beurteilungskriterien sind die Kronenverlichtung und die Vergilbung der Bäume, die als Indikatoren für die Vitalität dienen. Beide Merkmale werden in Fünf-Prozent-Stufen von null bis 100 Prozent erfasst und anschließend zu fünf Schadstufen verrechnet (Tab. 2). Ergänzend werden weitere Eigenschaften aufgenommen, die die Vitalität beeinflussen können. Hierzu zählen insbesondere durch Pilze oder Insekten verursachte Schäden an Krone und Stamm sowie Beeinträchtigungen infolge von Witterungseinflüssen oder Nährstoffmangel. Darüber hinaus wird die Intensität der Fruktifikation erfasst, da eine starke Fruchtbildung das Erscheinungsbild der Krone und damit die Beurteilung des Kronenzustands beeinflussen kann.

Die Datenerhebung erfolgt auf einem systematisch angelegten Stichprobennetz mit Rasterweiten von 8x8 km bzw. 16x16 km. An jedem Erhebungspunkt werden 24 Bäume untersucht. Dafür werden vom Stichprobenmittelpunkt aus in den vier Himmelsrichtungen jeweils in 25 Metern Entfernung die sechs nächstgelegenen, herrschenden Bäume (Kraftsche Klasse 1 bis 3) ausgewählt und markiert (Abb. 47).

Die Begutachtung der Baumkronen erfolgt vom Boden aus mithilfe von Ferngläsern im Zwei-Personen-Verfahren. Sind im Vorjahr erfasste Bäume nicht mehr vorhanden, werden sie durch benachbarte Bäume ersetzt. Stehen am Erhebungspunkt nicht mehr genügend geeignete Bäume zur Verfügung, wird die Aufnahme ausgesetzt, bis wieder eine ausreichende Anzahl vorhanden ist.

Erstmals wurde in diesem Jahr auch die Verjüngung unter Schirm an den Aufnahmepunkten der Waldzustandserhebung untersucht. Dabei wurden die vorkommenden Baumarten der Verjüngung differenziert nach Höhenklassen erfasst. Ein besonderer Fokus liegt auf der Beobachtung von Trockenschäden, da diese die Entwicklung und Etablierung junger Bäume maßgeblich beeinflussen können. Die Verjüngung bildet die Grundlage für die zukünftige Zusammensetzung und Stabilität der Waldbestände. Ihr Zustand

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-/Blatt-verlustklasse	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	**Warnstufe**
Schadstufe 2:	mittelstark geschädigt	**deutlich geschädigt**
Schadstufe 3:	stark geschädigt	
Schadstufe 4:	abgestorben	

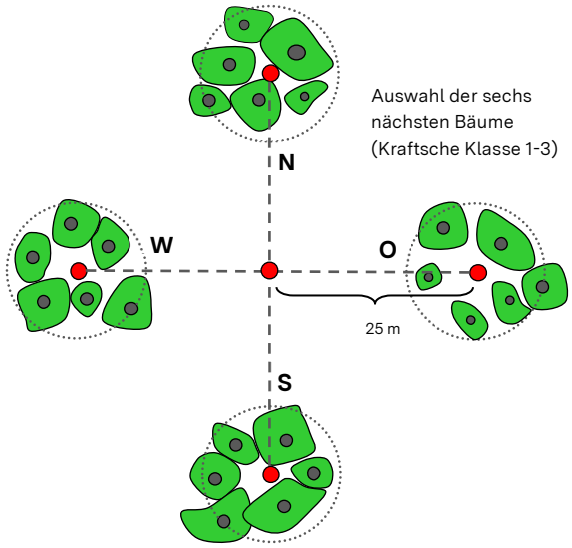


Abb. 47: *Schematischer Aufbau eines Stichprobenpunktes der Waldzustandserhebung.*

Tab. 3: *Anzahl untersuchter Probebäume der Waldzustandserhebung 2026 und prozentuale Anteile nach Baumarten.*

Baumart	bis 60 Jahre	ab 61 Jahre	Gesamt	Anteil %
Fichte	960	1.410	2.370	31,1
Tanne	218	682	900	11,8
Kiefer	56	257	313	4,1
Douglasie	109	61	170	2,2
sonstige Nadelbäume	38	113	151	2,0
Buche	571	1.416	1.987	26,1
Eiche	189	442	631	8,3
Bergahorn	200	104	304	4,0
Esche	70	133	203	2,7
sonstige Laubbäume	400	197	597	7,8
Summe	**2.811**	**4.815**	**7.626**	**100,0**

liefert daher wichtige Informationen über die Anpassungsfähigkeit der Wälder an sich verändernde Umwelt- und Klimabedingungen.

Durchführung der Waldzustandserhebung 2026

Die diesjährige Waldzustandserhebung wurde im Zeitraum vom 17. Juli bis 17. August 2026 an 318 Stichprobenpunkten durchgeführt. Gegenüber dem Vorjahr wurden acht zuvor ruhende Punkte wieder in die Erhebung integriert. Gleichzeitig mussten während der Geländearbeiten sechs Stichprobenpunkte aufgrund von Störungen im Bestand vorübergehend ausgesetzt werden. Derzeit ruht die Aufnahme an insgesamt 21 Stichprobenpunkten, da dort keine ausreichende Anzahl geeigneter Probebäume zur Verfügung steht.

Im Rahmen der Waldzustandserhebung 2026 wurden insgesamt 7.626 Bäume untersucht (Tab. 3). Entsprechend ihrer landesweiten Bedeutung stellen Fichte und Buche die häufigsten Baumarten in der Stichprobe dar. Mit deutlichem Abstand folgen Tanne, Eiche (Stiel- und Traubeneiche), Kiefer, Bergahorn, Esche und Douglasie.



Abb. 48: *Schulung der Aufnahmeteams vor der Waldzustandserhebung 2026 auf den Schulungspfaden der FVA (Foto: FVA BW/Kawano).*

Da das Alter einen wesentlichen Einfluss auf den Kronenzustand ausübt, werden die Probebäume in die Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ eingeteilt. Rund ein Drittel der erfassten Bäume gehört der jüngeren Altersgruppe an, während knapp zwei Drittel älter als 60 Jahre sind (Tab. 3). Bei Douglasie, Bergahorn und den sonstigen Laubbäumen überwiegen die jüngeren Individuen. Demgegenüber weisen Kiefer, Tanne sowie die sonstigen Nadelbäume einen besonders hohen Anteil älterer Bäume auf.

Qualitätssicherung

Zur Sicherstellung einer hohen und über die Jahre gleichbleibenden Datenqualität werden bei der Waldzustandserhebung vielfältige Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchgeführt. Hierzu zählt insbesondere ein jährlich auf Bundesebene stattfindender Abstimmungskurs der Inventurleitungen, der eine

bundesweit einheitliche Bewertung des Kronenzustandes gewährleitstet. Im Anschluss werden die Aufnahmeteams in Baden-Württemberg vor Beginn der Erhebungen auf speziell eingerichteten Schulungspfaden der FVA intensiv geschult (Abb. 48). Die Qualität der Aufnahmen wird darüber hinaus durch eine fachliche Begleitung während der Geländearbeiten sowie durch stichprobenartige Kontrollaufnahmen sichergestellt.

Ein weiterer Schwerpunkt der Qualitätssicherung liegt auf der internationalen Harmonisierung der Erhebungen. Hierzu finden regelmäßig Abstimmungskurse im Rahmen des europäischen Waldmonitorings statt, um eine einheitliche Bewertung des Kronenzustandes über Ländergrenzen hinweg zu gewährleisten. Im Jahr 2025 wurde zudem ein Foto-Vergleichstest zur Waldzustandserhebung durchgeführt, an dem sowohl die deutschen Bundesländer als auch zahlreiche europäische Staaten teilnahmen. Die Ergebnisse bestätigen die hohe Qualität und Vergleichbarkeit der Waldzustandserhebung sowohl in Baden-Württemberg als auch im übrigen Bundesgebiet.

Auswertungsmethoden

Die Waldzustandserhebung basiert auf einem landesweiten Stichprobenverfahren mit zufällig ausgewählten Probebäumen. Durch die Rasterdichte des 8x8 km- bzw. 16x16 km-Netzes wird eine repräsentative räumliche Abdeckung der Waldfläche Baden-Württembergs erreicht. Durch den hohen Stichprobenumfang sind Auswertungen für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Douglasie, Buche, Eiche, Bergahorn und Esche mit statistisch vertretbaren Fehlertoleranzen möglich. Baumarten mit geringen Anteilen werden in den Gruppen „sonstige Nadelbäume“ bzw. „sonstige Laubbäume“ zusammengefasst. Die Mittelwerte der Kronenverlichtung der einzelnen Jahre werden als Punkte dargestellt Die langfristige zeitliche Entwicklung wird zusätzlich durch eine LOESS-Glättungslinie mit einem 95%-Konfidenzband aufgezeigt. Das Konfidenzband kennzeichnet den Bereich, innerhalb dessen der wahre Trendverlauf mit hoher Wahrscheinlichkeit liegt.

Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

Im Dialog zu neuen Angeboten für Waldbesitzende (Projekt DIANA)

Der aktuelle Zustand der Wälder verdeutlicht den massiven Anpassungsdruck durch den Klimawandel. In Kombination mit einer starken Fragmentierung des Privatwaldes stößt das bestehende Instrumentarium der Waldpolitik hier oft an seine Grenzen. Im Projekt DIANA wurden in drei Teilprojekten neue Ansätze erprobt, um die Handlungsfähigkeit von Waldbesitzenden zu stärken und eine nachhaltige Bewirtschaftung im Kleinprivatwald zu fördern.

Die Schwerpunkte lagen auf der Stärkung der Handlungsbereitschaft von Waldbesitzenden, der Entwicklung gemeinschaftlicher Bewirtschaftungsmodelle sowie einem sektorübergreifenden und regionalen Engagement für den Wald. Im ersten Teilprojekt standen eine zielgruppenoffene Kommunikation sowie der Austausch unter Waldbesitzenden im Fokus. Im zweiten Teilprojekt wurden anhand von Pilotregionen Modelle zur gemeinschaftlichen Bewirtschaftung entwickelt, die als Blaupausen für zukünftige Initiativen dienen können. Das dritte Teilprojekt erprobte lokale Maßnahmen, um praktikable Lösungen für schwer erreichbare oder „herrenlose“ Flächen zu finden.

Das Projekt wird von der Professur für Forst- und Umweltpolitik der Universität Freiburg koordiniert und in Zusammenarbeit mit der unique land use GmbH und der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg durchgeführt.

Detaillierte Informationen und Ergebnisse finden Sie auf der Projektwebsite:
https://diana-waldstrategie.de/

8 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Die Wälder in Baden-Württemberg waren im Jahr 2026 einer außergewöhnlich starken Belastung durch Hitze und Trockenheit ausgesetzt. Hohe Temperaturen und anhaltender Niederschlagsmangel prägten die Witterung bis weit über den Zeitraum der Waldzustandserhebung hinaus. Während der regulären Aufnahmen von Mitte Juli bis in die zweite Augusthälfte befand sich die Schadentwicklung der Wälder vielerorts noch in einer frühen Phase. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung bilden daher den Waldzustand während einer noch anhaltenden und sich weiter verschärfenden Belastungssituation ab. Schäden, die sich erst im Spätsommer oder Herbst entwickelten, sind darin nur teilweise erfasst und werden sich in ihrem vollen Ausmaß erst bei der Waldzustandserhebung 2027 zeigen.

Hitze und Trockenheit setzten den Wäldern zu

Zunächst reagierten vor allem Laubbäume sichtbar auf die trocken-heiße Witterung. Besonders an Buche, Bergahorn und Birke, aber auch an anderen Laubbaumarten wurden Welke, eingerollte Blätter, Blattverbraunungen und vorzeitiger Blattfall beobachtet. Anfangs waren vor allem exponierte Einzelbäume und Waldränder betroffen. Mit zunehmender Dauer der Trockenheit verstärkten sich die Schäden. Besonders deutlich zeigte sich diese Entwicklung bei der Buche. Vor allem in den oberen, stark sonnenexponierten Kronenbereichen wurden im Verlauf des Sommers zunehmend Trocken- und Strahlungsschäden beobachtet. Eine weitere Belastung stellte die starke Fruktifikation dar. Mehr als 60 Prozent der Buchen im blühfähigen Alter wiesen einen mittleren oder starken Fruchtbehang auf. Die untersuchten Eichen zeigten während der Erhebung überwiegend nur geringe sichtbare Trockenstresssymptome. Im weiteren Verlauf des Sommers und des Frühherbstes wurden aber auch bei der Eiche in vielen Landesteilen Trocken- und Hitzeschäden beobachtet. Im Vergleich zu anderen Jahren trat Mehltau in diesem Jahr nur selten auf, regional wurden jedoch stärkere Fraßschäden durch den Eichenprozessionsspinner festgestellt. Beim Bergahorn verschlechterte sich der Kronenzustand deutlich. Insbesondere ältere Bäume zeigten zunehmende Schäden in den Kronen. Gleichzeitig fruktifizierten die Bäume sehr stark. Bei der Esche kam die Trockenheit als zusätzliche Belastung zum bereits landesweit verbreiteten Eschentriebsterben hinzu. Besonders ältere Eschen wiesen einen stark geschädigten Kronenzustand auf.

Bei den Nadelbaumarten waren während der Waldzustandserhebung zunächst nur wenige akute Kronenschäden sichtbar. Im weiteren Verlauf des Sommers und insbesondere seit dem Frühherbst änderte sich das Schadbild jedoch deutlich. Vielerorts wurden starke Kronenverfärbungen und erhebliche Schäden beobachtet. Ein erheblicher Teil der bei den Bäumen festgestellten Schäden trat erst nach Abschluss der regulären Erhebung auf und ist daher in den Ergebnissen der Waldzustandserhebung 2026 nur eingeschränkt enthalten. Die anhaltende Trockenheit schwächte die Widerstandsfähigkeit der Bäume zunehmend, während sich gleichzeitig die Bedingungen für die Entwicklung der Borkenkäfer verbesserten. So war der Borkenkäferbefall in der ersten Jahreshälfte noch gering. Im Spätsommer und Frühherbst wurden jedoch vielerorts geschwächte und abgestorbene Fichten beobachtet, häufig in Verbindung mit Buchdrucker und Kupferstecher. Bei der Tanne war bereits während des Erhebungszeitraums eine weitere leichte Verschlechterung des Kronenzustands festzustellen. Der Befall durch die Tannenmistel verschärft den Trockenstress der Bäume. Im weiteren Verlauf des Sommers und nach Abschluss der Waldzustandserhebung nahmen die Schäden an geschwächten Tannen weiter zu. Dabei wurde auch zunehmend Befall durch verschiedene Tannenborkenkäfer beobachtet. Bei der Kiefer traten stärkere Schäden vor allem auf den trockenen Sand- und Kiesstandorten der Oberrheinebene auf, wo seit vielen Jahren eine erhöhte Mortalität beobachtet wird. Mistelbefall, Pilzerkrankungen und Prachtkäfer stellen dort weitere Belastungsfaktoren dar. Bei der Douglasie nahm die Kronenverlichtung 2026 ebenfalls weiter zu. Neben Hitze und Trockenheit beeinträchtigten die Rußige Douglasienschütte und die Douglasien-Gallmücke die Vitalität zusätzlich. Im Spätsommer wurden zudem vermehrt Douglasien mit rot verfärbten oder abgestorbenen Kronen beobachtet.

Auch in der Waldverjüngung unter Schirm, die 2026 erstmals im Rahmen der Waldzustandserhebung

untersucht wurde, traten an zahlreichen Stichprobenpunkten Schäden auf. An mehr als zwei Drittel der untersuchten Punkte war Verjüngung vorhanden, besonders häufig Buche und weitere Laubbaumarten. Die festgestellten Schäden waren überwiegend durch intensive Sonneneinstrahlung verursacht und äußerten sich vor allem in Blattverbraunungen. Die Wiederholungsaufnahme im Jahr 2027 wird zeigen, wie sich die Verjüngung nach der außergewöhnlichen Hitze und Trockenheit des Jahres 2026 entwickelt. Die kontinuierliche Fortführung der Schaderhebung in der Waldverjüngung liefert damit wichtige Informationen über die Vitalität der nächsten Waldgeneration.

IpsRisk – dynamisches Befallsrisikomodell für den Buchdrucker

Der Buchdrucker ist der bedeutendste biotische Schadfaktor in Fichtenwäldern. Hohe Temperaturen beschleunigen seine Entwicklung und können die Ausbildung mehrerer Generationen innerhalb eines Jahres begünstigen. Gleichzeitig erhöht Trockenstress die Anfälligkeit der Fichten. Um Befallskontrollen gezielter planen und gefährdete Bestände frühzeitig identifizieren zu können, wurde an der FVA Baden-Württemberg das dynamische Befallsrisikomodell IpsRisk entwickelt.

Das Modell verknüpft fünf käfer- und fichtenbezogene Risikofaktoren. Zwei Grundrisiken berücksichtigen den vorjährigen Befall sowie den Anteil befallsfähiger Fichten und bleiben während der Saison unverändert. Das dynamische Befallsrisiko wird hingegen täglich aktualisiert und setzt sich aus der phänologischen Entwicklung und Schwärmaktivität des Buchdruckers sowie dem Trockenstress der Fichte zusammen. Die Berechnung erfolgt flächendeckend in einer räumlichen Auflösung von 250 m. Das Ergebnis wird in vier Risikostufen von „kein“ bis „hoch“ kartografisch dargestellt und durch eine siebentägige Prognose ergänzt.

Die Risikokarten stehen unter anderem im öffentlich zugänglichen Geoportal Baden-Württemberg sowie auf der Borkenkäfer-Plattform der FVA zur Verfügung. IpsRisk ermöglicht es, Befallskontrollen räumlich und zeitlich gezielter auszurichten und Bestände mit erhöhtem Risiko zu priorisieren. Bei begrenzten Ressourcen können die Kontrollen damit gezielt auf Flächen mit hohem Befallsrisiko konzentriert und die Kontrollhäufigkeit in Bereichen mit geringem Risiko deutlich reduziert werden. Das Modell berechnet jedoch „nur“ das Risiko für einen Befall und sagt damit nicht zwangsläufig einen tatsächlich eintretenden Befall voraus. Daher sollten auch Flächen, für die das Modell nur ein geringes Risiko schätzt, nicht gänzlich von den Kontrollen ausgenommen werden. Künftig soll IpsRisk auch für Rheinland-Pfalz und das Saarland bereitgestellt, in zusätzliche forstliche Anwendungen integriert und technisch weiterentwickelt werden.

Fernerkundungsverfahren zur Erfassung der Baumvitalität

Das FVA-Projekt „WaldVital“ untersucht, inwieweit mobile Sensorik dazu beitragen kann, den Waldzustand künftig effizienter und räumlich repräsentativer zu erfassen. Dazu werden Drohnenbefliegungen mit Laserscannern und Multispektralkameras mit zeitnah erhobenen terrestrischen Referenzdaten der Waldzustandserhebung verglichen. Erste Ergebnisse zeigen, dass insbesondere hochaufgelöste Multispektraldaten vielversprechende Ansätze für die automatisierte Erfassung von Vitalitätsmerkmalen bieten. Verschiedene Vegetationsindizes ermöglichen eine teilweise Unterscheidung von Bäumen mit unterschiedlichen Schadstufen; eine höhere räumliche Auflösung verbessert dabei die Ergebnisse. Auch Laserscans liefern wertvolle Informationen zur Kronenstruktur und ermöglichen auf Wiederbewaldungsflächen die automatisierte Erfassung von Einzelbäumen und Ausfällen.

Eine zuverlässige und differenzierte Bestimmung der in der terrestrischen Waldzustandserhebung angesprochenen Schadstufen ist mit den untersuchten Verfahren derzeit jedoch noch nicht möglich. Insbesondere die fein abgestufte Erfassung des Nadel- und Blattverlusts sowie die Ansprache konkreter Schadursachen erfordern weiterhin die fachliche Beurteilung im Gelände. Die Stärke der Fernerkundung liegt daher aktuell vor allem in ihrer ergänzenden Funktion: Sie kann räumlich hochaufgelöste Informationen liefern, deutlich mehr Baumkronen erfassen und damit zusätzliche Einblicke in die Entwicklung des Waldzustands ermöglichen. Perspektivisch könnten solche Daten auch dazu beitragen, Zeitreihen auf größerer Fläche aufzubauen und forstliche Entscheidungen zu unterstützen.

Für eine mögliche Einbindung in die WZE sind jedoch neben der weiteren methodischen Entwicklung auch der technische und organisatorische Aufwand, geeignete Befliegungsbedingungen, Genehmigungen, Datenspeicherung und ausreichende personelle Kapazitäten zu berücksichtigen. Fernerkundung kann die terrestrische Waldzustandserhebung daher derzeit nicht ersetzen, bietet aber ein erhebliches Potenzial als ergänzendes Werkzeug für Monitoring, Orientierung und forstliche Praxis.

Arbeitssicherheit in klimageschädigten Wäldern

Die Folgen des Klimawandels erhöhen die Risiken bei der Waldarbeit erheblich. Trockenheit, Sturm, Borkenkäferbefall und Pilzerkrankungen gehen mit einem zunehmenden Anteil geschädigter und abgestorbener Bäume einher. Besonders stehendes Totholz stellt eine große Gefahr dar, da Stämme, Äste und Kronenteile mit fortschreitender Zersetzung an Stabilität verlieren und unvermittelt brechen können. Auch liegendes Totholz, unter Spannung stehende Stämme und Wurzelteller sowie herumliegende Äste erhöhen das Unfallrisiko.

Insbesondere die motormanuelle Holzernte stößt in stark geschädigten Beständen zunehmend an sicherheitstechnische Grenzen. Wo es die Verhältnisse zulassen, sollten mechanisierte Verfahren eingesetzt werden. Harvester ermöglichen die Fällung und Aufarbeitung aus einer geschützten Fahrerkabine. Bei motormanuellen Arbeiten muss der Abstand zwischen den Beschäftigten und der Gefahrenquelle möglichst groß gehalten werden. Seilunterstützte Fällverfahren, Totholzkrallen und funkferngesteuerte Fällkeile können dazu beitragen, den Aufenthalt im Gefahrenbereich zu vermeiden oder zu verkürzen. Arbeitsverfahren wie das Rohkrone-Rohschaft-Verfahren verlagern zudem die weitere Aufarbeitung aus gefährdeten Beständen in sichere Arbeitsbereiche.

Eine zentrale Voraussetzung bleibt die sorgfältige Gefährdungsbeurteilung vor Beginn der Arbeiten. Totholz, instabile Kronen und Stämme sowie weitere Gefahrenbereiche müssen erkannt und bei der Arbeitsplanung berücksichtigt werden. Ist das Risiko zu hoch, muss auf motormanuelle Arbeiten oder gegebenenfalls gänzlich auf eine Bearbeitung verzichtet werden. Mit zunehmenden klimabedingten Waldschäden werden angepasste Arbeitsverfahren und eine konsequente Sicherheitsplanung daher immer wichtiger.

Fazit

Das Jahr 2026 stellt nach den ausgeprägten Hitze- und Trockenjahren wie 2003 und 2018 einen weiteren Einschnitt für den Zustand der Wälder in Baden-Württemberg dar. Die außergewöhnliche Witterung traf vielerorts auf bereits geschwächte Wälder und beeinträchtigte auch die Waldverjüngung. Das Ausmaß der Schäden und ihre längerfristigen Folgen werden sich jedoch erst im weiteren Verlauf, insbesondere mit dem Austrieb der Bäume und der Waldzustandserhebung 2027, zeigen.

Kurzfristig muss es darum gehen, die Widerstandsfähigkeit der bereits geschwächten Wälder zu erhalten und zusätzliche Belastungen möglichst zu vermeiden. Der Waldschutz gegenüber Borkenkäfern bleibt dabei von besonderer Bedeutung. Die Entwicklung des Jahres 2026 zeigt, wie rasch sich die Situation verändern kann, wenn Trockenstress und günstige Entwicklungsbedingungen für Borkenkäfer zusammentreffen. Gleichzeitig sollten waldbauliche Eingriffe die aktuelle Belastungssituation berücksichtigen. Insbesondere bei stark geschwächten Beständen kann eine abrupte Freistellung die Belastung durch hohe Strahlung und Verdunstung zusätzlich erhöhen. Maßnahmen sind deshalb stärker als bisher im Zusammenhang mit dem Zustand des einzelnen Bestandes und den standörtlichen Bedingungen zu planen. Auch bei der Wiederbewaldung entstandener Kalamitätsflächen gilt es zusätzliche Belastungen für die junge Waldgeneration möglichst zu begrenzen und geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Anwuchsbedingungen zu prüfen.

Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Wasserhaushalt der Wälder zu. Wo Niederschlagswasser schnell über Wege, Gräben und andere künstlich verstärkte Abflusswege aus dem Bestand abgeführt wird, bestehen Möglichkeiten, Wasser länger in der Fläche zu halten und für Boden und Vegetation verfügbar zu machen. Der dezentrale Wasserrückhalt kann deshalb einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung leisten. Die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt mit 27 beteiligten Gemeinden in Baden-Württemberg zeigen zugleich, dass hierfür unterschiedliche

Maßnahmen auf der Fläche miteinander kombiniert werden können. Entscheidend ist, die Maßnahmen standortangepasst zu planen und insbesondere dort anzusetzen, wo sie tatsächlich zu einer Verbesserung des Wasserhaushalts beitragen können. Wasserrückhalt kann die Folgen ausgeprägter Dürreperioden nicht verhindern, er kann aber dazu beitragen, die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegenüber Trockenstress zu erhöhen. Neben der Verbesserung des Wasserhaushalts bleibt auch die langfristige Sicherung der Nährstoffversorgung und der Bodenfruchtbarkeit eine wichtige Voraussetzung für vitale und anpassungsfähige Wälder.

Langfristig reicht es jedoch nicht aus, die bestehenden Wälder gegen die Folgen einzelner Extremereignisse zu schützen. Für die zukünftige Waldentwicklung wird nicht allein das Auftreten einzelner Extremjahre wie 2026 entscheidend sein, sondern zunehmend deren Häufigkeit und zeitliche Abfolge. Von besonderer Bedeutung wird sein, ob den Wäldern zwischen ausgeprägten Belastungsjahren ausreichend Zeit zur Regeneration bleibt. Langfristig müssen die Wälder aber strukturell an veränderte klimatische Bedingungen angepasst werden. Der Waldumbau und die Entwicklung standortgerechter, strukturreicher und anpassungsfähiger Mischbestände bleiben deshalb eine zentrale Aufgabe. Eine standortangepasste Naturverjüngung kann dabei einen wichtigen Beitrag leisten. Gleichzeitig stellt sich die Frage, wie sich die Eignung heute prägender Baumarten unter den veränderten Klimabedingungen langfristig entwickelt und welche Baumarten unter den sich verändernden Bedingungen langfristig ausreichend angepasst sind.

Auch für das Monitoring ergeben sich daraus neue Anforderungen. Die Waldzustandserhebung ermöglicht durch ihren seit Jahrzehnten einheitlichen Aufnahmezeitraum eine langfristige Vergleichbarkeit des Waldzustands. Die weitere Schadensentwicklung im Spätsommer 2026 konnte sie jedoch nur eingeschränkt abbilden. Ergänzende Verfahren, beispielsweise durch Fernerkundung, könnten künftig dazu beitragen, solche Entwicklungen auch zwischen den regulären Erhebungen zeitnaher und räumlich umfassender zu beobachten, ohne die bestehende Zeitreihe der Waldzustandserhebung zu verändern. Zudem muss auch die Waldverjüngung stärker als bisher in das Monitoring integriert und kontinuierlich im Rahmen der Waldzustandserhebung beobachtet werden.

Nur wenn bekannt ist, wie sowohl die bestehenden Bestände als auch die nachwachsende Waldgeneration auf wiederkehrende Hitze- und Trockenperioden reagieren, können Anpassungsmaßnahmen gezielt weiterentwickelt werden. Prognosemodelle zur kurz- bis langfristigen Bewertung von Risiken werden hierbei künftig eine zentrale Rolle einnehmen. Mit IpsRisk steht zudem bereits ein Instrument zur Verfügung, um beim Borkenkäfermanagement begrenzte Kontrollkapazitäten gezielter einzusetzen. Angesichts der zunehmenden Dynamik klimabedingter Schäden wird es insgesamt wichtiger, unterschiedliche Monitoringansätze und Prognosemodelle miteinander zu verknüpfen und kritische Entwicklungen möglichst früh zu erkennen.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung und des ergänzenden Monitorings bilden eine wichtige Grundlage, um die Anpassung der Wälder an den Klimawandel weiter voranzubringen. Die Waldstrategie 2050 gibt hierfür den strategischen Rahmen vor. Entscheidend wird sein, die Erkenntnisse aus dem Monitoring konsequent in die waldbauliche Praxis zu übertragen und Maßnahmen zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Wälder weiterzuentwickeln. Die Erfahrungen aus dem Jahr 2026 verdeutlichen, dass die Anpassung an zunehmende Hitze und Trockenheit eine langfristige Aufgabe ist, die angesichts der sich überlagernden Belastungen weiter an Dringlichkeit gewinnt.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Delb, H., Burger, M., Grüner, J., Kautz, M., Lusebrink, I., Wonsack, D., Wußler, J. (2026): Waldschutzsituation 2025/2026 in Baden-Württemberg. AFZ-DerWald 9/2026, S. 16-20.

DWD (2026): https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_archiv_2026_node.html. Deutscher Wetterdienst (Stand: 12.10.2026).

FVA (2026): Ein Rekordsommer und seine Folgen. Borkenkäfer-Newsletter SüdWest 03/2026, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. 6 S.

Göttlein, A., Mellert, K. H. (2019): Ableitung von Schwefel-Stickstoff-Relationen für wichtige mitteleuropäische Baumarten aus dem Wertebereich normaler Ernährung und deren Veränderung von BZE I nach BZE II. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 189, 11/12. doi: 10.23765/afjz0002032.

Göttlein, A., Olleck, M. (2025): Reduced Sulfur Availability has an Impact on N-Nutrition of Norway Spruce (Picea abies) and European Beech (Fagus sylvatica). Journal of Plant Nutrition and Soil Science 188, S. 913-916. doi: 10.1002/jpln.70020.

Göttlein, A., Weis, W., Raspe, S. (2026): Changes in emission regime for nitrogen and sulfur in Germany and its impact on a spruce forest measured over a period of 35 years. Journal of Environmental Quality 55: e70147. doi: 10.1002/jeq2.70147.

Haneklaus, S, Bloem, E., Schnug, E. (2003): The global sulphur cycle and its links to plant environment. Chapter 1. In: Abrol, Y. P., Ahmed, A. (Hrsg.) Sulphur in Plants, S. 1-28. Kluwer Academic Publishers. ISBN 1-4020-1247-0.

Hesse, B. D., Hikino, K., Gebhardt, T., Buchhart, C., Dervishi, V., Goisser, M., Pretzsch, H., Häberle, K.-H., Grams, T. E. E. (2024): Acclimation of mature spruce and beech to five years of repeated summer drought – The role of stomatal conductance and leaf area adjustment for water use. Science of the Total Environment 951, 175805. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175805.

Kautz, M., Jentschke, J., Hofmann, S. (2025): PHENIPS-Clim und IpsRisk: Neue Modelle zur Borkenkäfer-Risikoabschätzung. Waldschutz-Info 02/2025, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 9 S.

LGRB (2023): Schwefel. Geogene Grundgehalte für Schwefel. Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 9 – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau. URL: https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/geologie/geogene-grundgehalte-hintergrundwerte-den-petrogeochemischen-einheiten-baden-wuerttemberg/schwefel.

Niinemets, Ü., Lukjanova, A. (2003): Total foliar area and average leaf age may be more strongly associated with branching frequency than with leaf longevity in temperate conifers. New Phytologist 158, S. 75-89. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00712.x.

Olleck, M., Göttlein, A. (2025): Schwefel und Stickstoff – Eine komplexe Beziehung in der Waldernährung. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 194. doi: 10.23765/afjz0002105.

Rautio, P., Fürst, A., Stefan, K., Raitio, H., Bartels, U. (2020): Part XII: Sampling and Analysis of Needles and Leaves. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Version 2020-4. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.). Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 16 S. + Annex. URL: https://www.icp-forests.net/manual.

Talkner, U., Krämer, I., Hölscher, D., Beese, F. O. (2010): Deposition and canopy exchange processes in central-German beech forest differing in tree species diversity. Plant and Soil 336, S. 405-420. doi: 10.1007/s11104-010-0491-2.

UBA (2026): Schwefeldioxid-Emissionen. URL: https://www.uba.de/n15708de (Stand: 25.06.2026).

Zethof, J.H.T., Julich, S., Feger, K.-H., Julich, D. (2024): Legacy effect of 25 years reduced atmospheric sulphur deposition on spruce tree nutrition. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 187, S. 834-843. doi: 10.1002/jpln.202400097.

ANLAGEN

Anlage 1:
Baumarten nach Altersgruppen der Waldzustandserhebung 2026

Baumart	wissenschaftlicher Name	Bäume <61 Jahre	Bäume >60 Jahre	Bäume insgesamt
Fichte	*Picea abies*	960	1.410	2.370
Buche	*Fagus sylvatica*	571	1.416	1.987
Tanne	*Abies alba*	218	682	900
Eiche	*Quercus spp.*	189	442	631
Kiefer	*Pinus sylvestris*	56	257	313
Bergahorn	*Acer pseudoplatanus*	200	104	304
Esche	*Fraxinus excelsior*	70	133	203
Douglasie	*Pseudotsuga menziesii*	109	61	170
Lärche	*Larix spp.*	30	109	139
Hainbuche	*Carpinus betulus*	65	42	107
Roteiche	*Quercus rubra*	74	8	82
Spitzahorn	*Acer platanoides*	36	26	62
Linde	*Tilia spp.*	29	26	55
Vogel-Kirsche	*Prunus avium*	33	17	50
Schwarzerle	*Alnus glutinosa*	25	16	41
Vogelbeere	*Sorbus aucuparia*	33	6	39
Birke	*Betula spp.*	30	6	36
Robinie	*Robina pseudoacacia*	23	8	31
Pappel	*Populus hybrides*	1	18	19
Edelkastanie	*Castanea sativa*	11	5	16
Bergulme	*Ulmus glabra*	9	6	15
Feldahorn	*Acer campestre*	5	8	13
Weide	*Salix spp.*	10	0	10
Weißerle	*Alnus incana*	6	0	6
Nordmannstanne	*Abies nordmanniana*	5	0	5
Walnuss	*Juglans regia*	3	2	5
Schwarzkiefer	*Pinus nigra*	0	4	4
Aspe/Zitterpappel	*Populus tremula*	2	1	3
Eschenahorn	*Acer negundo*	3	0	3
Elsbeere	*Sorbus torminalis*	0	2	2
Lebensbaum	*Thuja spp.*	2	0	2
Blauglockenbaum	*Paulownia tomentosa*	1	0	1
Schwarzpappel	*Populus nigra*	1	0	1
Weymouthskiefer	*Pinus strobus*	1	0	1
Gesamt		**2.811**	**4.815**	**7.626**

Anlage 2:
Aufnahmedichte der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2026

Jahr	Rasternetz	Anzahl Aufnahmepunkte	Anzahl Probebäume
1985	4x4 km*[1]	1.874	41.102
1986	4x4 km*[1]	1.923	42.166
1987	8x8 km*[2]	784	17.025
1988	8x8 km*[2]	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
2025	8x8 km	316	7.582
2026	8x8 km	318	7.626

*[1] Flächen-/ Punkt- und Traufaufnahme *[2] Schwarzwald verdichtet auf 4x4 km

Anlage 3:
Schadstufenanteile in Prozent von 1985 bis 2026

Jahr	Schadstufe					
	0 un-geschädigt	1 schwach geschädigt	2 mittelstark geschädigt	3 stark geschädigt	4 ab-gestorben	2 bis 4 deutlich geschädigt
1985	25	42	31	2	0	33
1986	28	44	26	2	0	28
1987	32	38	28	2	0	30
1988	28	44	26	2	0	28
1989	35	43	20	2	0	22
1990	33	44	21	2	0	23
1991	34	47	18	1	0	19
1992	22	50	25	2	1	28
1993	20	45	30	4	1	35
1994	28	42	28	2	0	30
1995	25	41	32	2	0	34
1996	21	39	38	2	0	40
1997	36	43	20	1	0	21
1998	30	45	24	1	0	25
1999	30	44	25	1	0	26
2000	36	39	24	1	0	25
2001	25	42	31	2	0	33
2002	36	40	22	2	0	24
2003	23	46	30	1	0	31
2004	21	35	40	4	0	44
2005	13	37	46	4	0	50
2006	18	31	46	5	0	51
2007	15	38	43	4	0	47
2008	18	42	37	3	0	40
2009	19	32	45	4	0	49
2010	23	36	39	2	0	41
2011	29	31	36	3	1	40
2012	18	39	40	3	0	43
2013	24	34	39	3	0	42
2014	16	34	46	4	1	51
2015	21	37	38	3	1	42
2016	21	34	41	3	1	45
2017	23	39	34	3	1	38
2018	19	36	40	4	1	45
2019	15	34	45	5	1	51
2020	16	30	47	5	2	54
2021	16	33	46	4	1	51
2022	13	34	47	5	1	53
2023	18	32	44	4	2	50
2024	19	35	41	3	2	46
2025	21	37	37	3	2	42
2026	17	36	41	5	1	47

Anlage 4:
Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2026 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%-Konfidenz-intervall (+/-)	Anteil Bäume der Schadstufe 3 und 4	Verhältnis Baumart Nh:Lh [%]	Verhältnis Alter bis 60: ab 61 [%]	mittleres Probebaum-alter
Alb-Donau-Kreis	168	k.A.	69	33,9	2,37	5,7	40:60	20:80	97
Baden-Baden	48	k.A.	k.A.	32	5	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Biberach	306	9	67	25,0	1,90	3,5	71:29	59:41	57
Bodenseekreis	96	k.A.	77	28	3	4	29:71	36:64	75
Böblingen	168	9	60	24,7	3,14	5,4	20:80	39:61	96
Breisgau-Hochschwarzwald	336	5	51	24	2	6	58:42	45:55	77
Calw	264	2	50	19,1	2,00	1,5	59:41	47:53	76
Emmendingen	192	k.A.	57	29,0	2,00	2,4	51:49	21:79	89
Enzkreis	192	k.A.	88	47,2	2,94	19,3	7:93	0:100	112
Esslingen	96	k.A.	76	35,2	3,02	8,3	20:80	19:81	86
Freiburg im Breisgau	24	k.A.	k.A.	24	7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Freudenstadt	384	1	53	26,2	1,88	3,9	80:20	22:78	106
Göppingen	120	k.A.	76	33,0	2,98	7,5	63:37	20:80	81
Heidelberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heidenheim	120	9	88	30,3	3,73	k.A.	44:56	45:55	81
Heilbronn	96	k.A.	69	29,3	3,03	10,8	1:99	25:75	86
Heilbronn-Stadt	24	k.A.	k.A.	50	8	4	k.A.	k.A.	k.A.
Hohenlohekreis	144	36	70	31,5	3,69	k.A.	10:90	63:37	56
Karlsruhe	264	18	66	24,2	2,15	10,4	33:67	54:46	68
Karlsruhe-Stadt	24	k.A.	k.A.	30	4	4	k.A.	k.A.	k.A.
Konstanz	96	k.A.	78	38,3	3,29	k.A.	32:68	4:96	111
Lörrach	240	7	59	27,4	2,21	10,6	33:67	40:60	81
Ludwigsburg	72	k.A.	77	41,0	5,74	4,5	24:76	3:97	91
Main-Tauber-Kreis	216	11	80	32,9	2,22	12,5	17:83	25:75	86
Mannheim	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neckar-Odenwald-Kreis	240	28	83	36,4	2,48	7,4	20:80	27:73	95
Ortenaukreis	552	14	50	21,7	1,34	k.A.	65:35	53:47	71
Ostalbkreis	288	13	79	32,3	2,19	9,4	58:42	31:69	77
Pforzheim	24	k.A.	k.A.	19	7	3	k.A.	k.A.	k.A.
Rastatt	192	10	56	25,6	2,62	8,3	68:32	35:65	101
Ravensburg	336	8	48	20,5	1,52	k.A.	75:25	74:26	44
Rems-Murr-Kreis	168	5	77	32,3	3,66	5,2	60:40	34:66	84
Reutlingen	192	7	85	31,8	2,17	2,9	32:68	31:69	84
Rhein-Neckar-Kreis	216	34	69	33,4	2,79	12,5	31:69	37:63	84
Rottweil	216	5	54	26,3	2,24	3,1	83:17	28:72	86
Schwäbisch Hall	168	20	88	36,3	3,19	12,5	35:65	30:70	92
Schwarzwald-Baar-Kreis	264	9	58	28,6	1,88	3,2	94:6	22:78	102
Sigmaringen	288	9	70	25,3	1,46	12,5	90:10	51:49	64
Stuttgart	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tübingen	144	20	70	34,5	3,49	3,8	43:57	35:65	89
Tuttlingen	168	k.A.	57	27,7	1,75	1,0	77:23	28:72	86
Ulm	24	k.A.	k.A.	31	9	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Waldshut	264	13	57	31,5	2,53	11,1	57:43	30:70	98
Zollernalbkreis	192	2	78	27,9	2,38	0,7	34:66	49:51	65

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