



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

WALDZUSTANDSBERICHT

2021



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LÄNDLICHEN RAUM
UND VERBRAUCHERSCHUTZ

IMPRESSUM

Herausgeberin:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)

Autor/-innen:

Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung)

Dr. Heike Puhlmann (FVA)

Roland Hoch (FVA)

Andrea Hölscher (FVA)

Kapitel 2:

Simon Trust (FVA)

Dr. Nicole Augustin (University of Edinburgh, Großbritannien)

Dr. Heike Puhlmann (FVA)

Kapitel 4:

Dr. Markus Kautz

Felicitas Sander

Dr. Horst Delb (alle FVA)

Kapitel 6:

Dr. Christian Bluhm

Dr. Peter Hartmann

Dr. Heike Puhlmann (alle FVA)

Titelfoto:

Stefan Meining

Motiv: Vorbergzone des Schwarzwaldes bei Emmendingen

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:



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

VORWORT



Liebe Leserinnen und Leser,

der Gesundheitszustand unserer Wälder wird seit 1985 kontinuierlich beobachtet. Der Waldzustandsbericht stellt damit eine unverzichtbare Datenquelle zum Verständnis der Auswirkungen von Umwelteinflüssen und des Klimawandels auf die Wälder dar. In diesem Jahr ist dieser Bericht um eine wichtige Komponente mit Blick auf die Waldböden erweitert worden. Denn diese dienen nicht nur den Bäumen als Wasserspeicher, sie stellen auch wichtige Lebensräume für viele Tiere dar.

Das Projekt „Biodiversität von Waldböden: Bodenfauna“ als Teil des Sonderprogramms zur Stärkung der Biologischen Vielfalt des Landes untersucht systematisch wichtige Einflussgrößen auf die Artenvielfalt im Waldboden. Diese Untersuchungen dienen als Basis für ein langfristiges Monitoring, aus dem wertvolle Erkenntnisse für die forstliche Praxis gewonnen werden können. So konnte erstmalig landesweit die hohe Artenvielfalt der auf und in den Waldböden lebenden Tiere nachgewiesen werden.

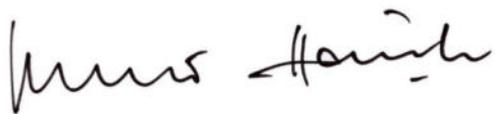
Die feuchte Witterung im Jahr 2021 hat unsere Wälder aufatmen lassen. Nach drei besonders heißen und trockenen Jahren fielen im Jahr 2021 glücklicherweise wieder deutlich mehr Niederschläge. Die Waldböden konnten durch den niederschlagsreichen Sommer wieder bis in tiefere Bodenschichten mit Wasser aufgefüllt werden. So stand den Bäumen wieder ausreichend überlebensnotwendiges Wasser zur Verfügung.

Das Jahr 2020 hat den bisherigen Tiefpunkt seit Beginn der Waldzustandserhebung in Baden-Württemberg gebildet. Im Jahr 2021 hat sich die mittlere Kronenverlichtung aller Waldbäume leicht um 1,6 Prozent auf 26,6 Prozent verbessert. Jedoch sind nach wie vor 42 Prozent der Waldfläche in unserem Land deutlich geschädigt – nach 46 Prozent im Jahr 2020.

Dieser insgesamt positive Trend konnte sowohl bei den Laubbaumarten Buche, Esche und Bergahorn oder auch bei den Nadelholzarten Fichte, Kiefer und Douglasie festgestellt werden. Der Zustand der Tanne und der Lärche sowie der Eichen hat sich dagegen leicht verschlechtert.

Die in der Gesamtschau erkennbaren leichten Entspannungssignale dürfen nicht dazu verleiten, sich zurückzulehnen und alleine auf die Selbstheilungskräfte der Wälder zu vertrauen. Die notwendigen Handlungsfelder und Ziele, um unsere Wälder auf die Zukunft vorzubereiten, sind in der Waldstrategie für Baden-Württemberg erarbeitet. Wir müssen aber auch als Gesellschaft alle Anstrengungen unternehmen, um der weiteren Klimaerwärmung entgegen zu wirken. Nun heißt es, diese Aufgaben gemeinsam anzupacken: Nur so können wir „das Blatt wenden“ und die Wälder und die Waldwirtschaft bestmöglich auf die Zukunft vorbereiten.

Stuttgart, im November 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Peter Hauk'.

Peter Hauk MdL

Minister für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz

INHALT

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG | 5 |
| | NADEL-/BLATTVERLUST | 6 |
| | VERGILBUNG | 7 |
| | SCHADSTUFEN | 7 |
| | MORTALITÄT | 8 |
| | AUSGEFALLENE BÄUME | 10 |
| | FRUKTIFIKATION | 10 |
| | FICHTE | 10 |
| | TANNE | 12 |
| | KIEFER | 13 |
| | LÄRCHE | 14 |
| | DOUGLASIE | 14 |
| | BUCHE | 15 |
| | EICHE | 16 |
| | BERGAHORN | 17 |
| | ESCHE | 17 |
| 2 | EINFLÜSSE VON STANDORT UND WITTERUNG AUF DIE KRONENVERLICHTUNG | 18 |
| | EINFLÜSSE AUF DIE BAUMARTEN | 20 |
| | SCHLUSSFOLGERUNG | 21 |
| 3 | WITTERUNG | 22 |
| | TEMPERATUR UND NIEDERSCHLAG | 22 |
| 4 | BORKENKÄFERMONITORING IN BADEN-WÜRTTEMBERG | 25 |
| | WAS, WIE UND WO WIRD BEOBACHTET? | 25 |
| | ÜBERWACHUNG DER SCHWÄRMAKTIVITÄT | 26 |
| | ÜBERWACHUNG DER BRUTENTWICKLUNG | 27 |
| | WALDSCHUTZ-KOOPERATION MIT RHEINLAND-PFALZ | 28 |
| | ERGEBNISSE DER MONITORINGSAISON 2021 | 28 |
| | WO SIND DIE INFORMATIONEN ABRUFBAR? | 29 |
| 5 | STOFFEINTRÄGE | 30 |
| | SÄUREEINTRÄGE | 30 |
| | STICKSTOFF | 30 |
| | NÄHRSTOFFKATIONEN | 31 |
| | OZON | 32 |
| 6 | DIE BODENFAUNA IN DEN WÄLDERN BADEN-WÜRTTEMBERGS | 34 |
| | LEBENSRAUM BODEN | 34 |
| | BODENFAUNAMONITORING | 34 |
| | UNTERSUCHTE ARTENGRUPPEN | 36 |
| | EINFLUSS NATÜRLICHER UMWELTGRADIENTEN | 36 |
| | WIRKUNG VON BODENSCHUTZKALKUNGEN | 37 |
| | EINFLÜSSE DER WALDBEWIRTSCHAFTUNG | 37 |
| | FOLGERUNGEN | 38 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7 | DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING | 40 |
| | METHODISCHER AUFBAU | 40 |
| | INTERNATIONALE EINBINDUNG | 41 |
| | WALDZUSTANDSERHEBUNG | 42 |
| | DURCHFÜHRUNG DER WALDZUSTANDSERHEBUNG 2021 | 42 |
| | AUSWERTUNGSMETHODEN | 43 |
| | MONITORING IM (KLIMA-)WANDEL | 43 |
| 8 | ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT | 45 |
| | KÜHL-FEUCHTE WITTERUNG SORGT FÜR ENTSPANNUNG | 45 |
| | BORKENKÄFERMONITORING WURDE INTENSIVIERT | 46 |
| | INVENTUR DER BODENFAUNA IN DEN WÄLDERN BADEN-WÜRTTEMBERGS | 46 |
| | FAZIT | 47 |
| 9 | LITERATURVERZEICHNIS | 49 |
| | ANLAGEN | 51 |

1 ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG

Der Zustand der Wälder in Baden-Württemberg hat sich aufgrund des insgesamt günstigeren Witterungsverlaufs im Jahr 2021 leicht erholt. Vergleichsweise hohe Niederschlagsmengen vor allem zu Beginn der Vegetationszeit und das Ausbleiben anhaltender Trockenperioden während des Sommers sorgten für gute Wachstumsbedingungen und vielerorts einen abnehmenden Schädlingsdruck. Jedoch bleiben der Schädigungsgrad der Wälder und der Schädlingsdruck nach den außerordentlichen Belastungen durch die sehr trockenen und heißen Jahre 2018 bis 2020 nach wie vor auf hohem Niveau.

Nachdem die Schäden durch Borkenkäfer in den letzten Jahren massiv angestiegen waren, ist aktuell ein Rückgang der Schadholzmengen zu verzeichnen. Aufgrund der zeitweilig kühl-feuchten Witterung war die Vermehrungsdynamik der Käfer dieses Jahr spürbar gedrosselt und zudem die Abwehrbereitschaft der Bäume erhöht. Dennoch führte die sehr hohe Ausgangspopulation regional zu einem weiterhin überdurchschnittlich hohen Borkenkäferbefall von Fichten und Tannen.

Die hohen Belastungen durch Trockenstress der letzten Jahre sind auch in den Baumkronen vieler Laubbäume, wie Buche und Eiche, immer noch zu erkennen (Abb. 1). vielerorts weisen die Bäume noch zahlreiche Dürreschäden, wie z. B. abgestorbene Starkäste oder Rindenschäden, auf. Oftmals ist aber ein Wiederaustrieb in der Unterkrone zu beobachten, der durch die guten Wuchsbedingungen in diesem Jahr deutlich gestärkt wurde. Gleichzeitig begünstigte die im Sommer 2021 phasenweise feuchte Witterung aber das gehäufte Auftreten zahlreicher pilzlicher Erreger.

Neben der guten Wasserversorgung der Wälder wirkt sich auch die geringe Fruktifikationstätigkeit in diesem Jahr positiv auf die Vitalität der Wälder aus. Zudem blieben größere Winterstürme und überregional bedeutsamer Schneebruch weitgehend aus. Stärkere Schäden an frisch ausgetriebenen Nadeln und Blättern durch auftretende Spätfröste, wie sie zuletzt im Vorjahr großflächig zu beobachten waren, wurden in diesem Frühjahr ebenfalls nur lokal festgestellt.



Abb. 1: Deutlich durch Trockenheit geschädigte Buchenkronen (Foto: S. Meining)

Die Waldzustandserhebung untersucht den Kronenzustand der Waldbäume. Dazu werden auf einem systematisch angelegten Stichprobennetz Probebäume ausgewählt und dauerhaft markiert. Im Jahr 2021 wurden so 305 Stichprobenpunkte mit insgesamt 7.226 Bäumen in Baden-Württemberg untersucht (siehe auch Kapitel „Forstliches Umweltmonitoring“ S. 40).

Erste Untersuchungen zum landesweiten Waldzustand wurden in Baden-Württemberg Anfang der 1980er Jahre aufgenommen, nachdem erhöhte Schädigungen der Wälder vor allem auf stark immissionsbelasteten Standorten des Schwarzwaldes und Odenwaldes aufgetreten waren. Besonders betroffen waren damals Nadelbaumbestände auf exponierten Standorten, die mit ihrer ganzjährigen Benadelung einer hohen Schadstoffbelastung ausgesetzt waren. Die Folge waren regional hohe Kronenverlichtungsraten und Vergilbungssymptome sowie eine erhöhte Mortalitätsrate in betroffenen Waldbeständen auf.

Nadel-/Blattverlust

Nach drei Jahren stetiger Erhöhung verringert sich die mittlere Kronenverlichtung der Wälder Baden-Württembergs im Jahr 2021 leicht um 1,6 Prozentpunkte. Mit 26,6 Prozent bleibt die mittlere Kronenverlichtung jedoch vergleichsweise hoch (Abb. 2). In der bisherigen Zeitreihe der Waldzustandserhebung seit 1985 wurden lediglich in den Jahren 2006, 2019 und 2020 höhere Verlustwerte festgestellt.

Erst nach drastischer Reduktion der Luftschadstoffe gingen die Waldschäden zurück. Seit Anfang der 2000er Jahre sind erste Auswirkungen des Klimawandels im Zustand des Waldes zu erkennen. Milde Winter, zunehmende Sommertemperaturen und häufiger auftretende Dürreperioden führten zu einem zunehmenden Schädigungsgrad der Wälder. Im Gegensatz zur immissionsbedingten Belastung beschränken sich die Waldschäden nun nicht mehr auf stark versauerte, kristalline Standorte der Mittelgebirge, sondern treten landesweit auch auf besser versorgten Standorten der tieferen Lagen auf.

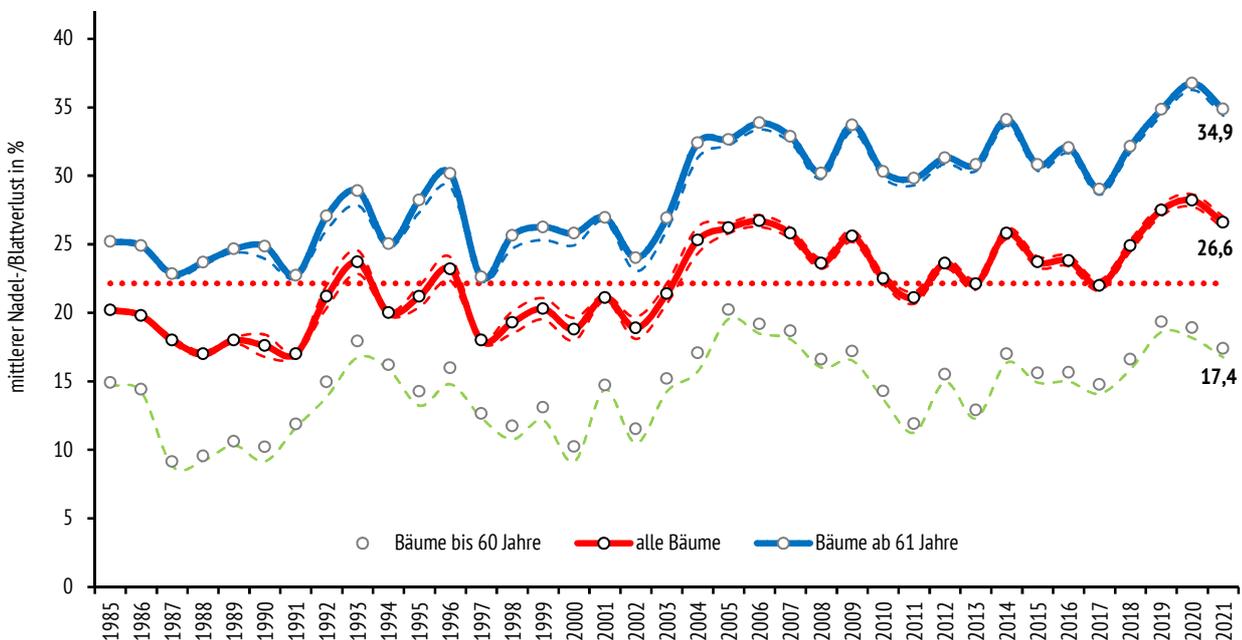


Abb. 2: Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlusts aller Bäume sowie der Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“. Die gepunktete Linie stellt das langjährige Mittel des Nadel-/Blattverlusts aller Bäume dar. Die gestrichelten Linien geben den jeweiligen Vertrauensbereich von 95 Prozent an.

Bezogen auf das langjährige Mittel der Kronenverlichtung zeigt sich in den letzten 15 bis 20 Jahren eine deutliche Zunahme des Schadgeschehens. Während in den Jahren vor 2003 die mittlere Kronenverlichtung der Wälder Baden-Württembergs überwiegend unterhalb des langjährigen Mittels lag, sind die Werte seither meist deutlich darüber. Insbesondere nach den Trockenjahren 2003 und 2018 ist ein deutlicher Anstieg der Waldschäden zu beobachten.

Die Kronenverlichtung wird stark vom Alter der Bäume beeinflusst. Während jüngere Bäume oftmals vitaler sind und eine geringe Kronenverlichtung aufweisen, sind bei älteren Bäumen in der Regel größere Schädigungen in der Baumkrone sichtbar. Die zeitliche Entwicklung zeigt jedoch einen weitgehend parallelen Verlauf der mittleren Kronenverlichtung der Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ (Abb. 2).

Vergilbung

Die Vergilbung von Nadeln und Blättern spielt seit etwa 15 Jahren nur noch eine untergeordnete Rolle. Die Waldzustandserhebung 2021 beobachtet lediglich auf 1,7 Prozent der Waldfläche akute Vergilbungssymptome (Abb. 3).

Vergilbungserscheinungen der Blattorgane werden häufig durch akuten Mangel an dem Nährelement Magnesium verursacht, welcher in aller Regel eine Folge der Bodenversauerung durch den Sauren Regen ist. In den letzten Jahrzehnten ist der Säureeintrag in Form von Schwefel- und Stickstoffverbindungen dank einer effektiven Luftreinhaltepolitik zwar merklich zurückgegangen. Dies sollte jedoch nicht darüber hinwegtäu-

schen, dass weiterhin viele Waldböden in Baden-Württemberg durch die jahrelangen hohen Säureeinträge erheblich belastet und die Bodenvorräte an essentiellen Pflanzennährstoffen im Vergleich zur natürlichen standörtlichen Ausstattung stark reduziert sind.

Eine vollständige Regeneration der teilweise bis weit in den Unterboden versauerten Waldböden kann Jahrzehnte andauern und bedarf weiterer Maßnahmen. Verschiedene forstliche Maßnahmen, wie z. B. die Bodenschutzkalkung stark anthropogen versauerter Standorte oder der Waldumbau in Richtung laubholzbetonter Mischbestände, können zu einer Verbesserung der Bodenqualität und somit zu einer günstigeren Nährstoffversorgung der Wälder beitragen. Gleichzeitig muss alles dafür getan werden, eine weitere Bodenversauerung zu verhindern. Hierfür müssen die landesweit immer noch deutlich zu hohen Stickstoffeinträge aus Verkehr und Landwirtschaft massiv reduziert werden.

Schadstufen

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021 zeigen eine leichte Abnahme der deutlich geschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg. Insgesamt 42 Prozent der Waldfläche sind derzeit deutlich geschädigt (Schadstufen 2 bis 4), das sind vier Prozentpunkte weniger als noch im letzten Jahr (Abb. 4). Allerdings bleibt die ungeschädigte Waldfläche (Schadstufe 0) mit 21 Prozent nahezu unverändert auf vergleichsweise niedrigem Niveau. Auf 37 Prozent erhöht hat sich demgegenüber der Anteil der schwach geschädigten Waldfläche (Schadstufe 1).

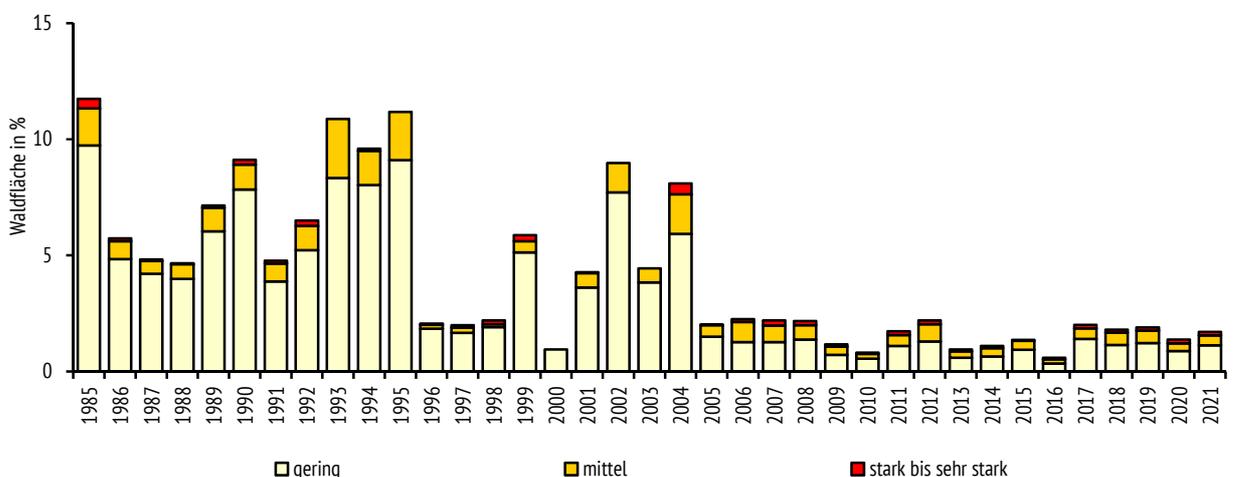


Abb. 3: Anteil der vergilbten Waldfläche in Baden-Württemberg getrennt nach den Erhebungsstufen gering, mittel und stark bis sehr stark vergilbt.

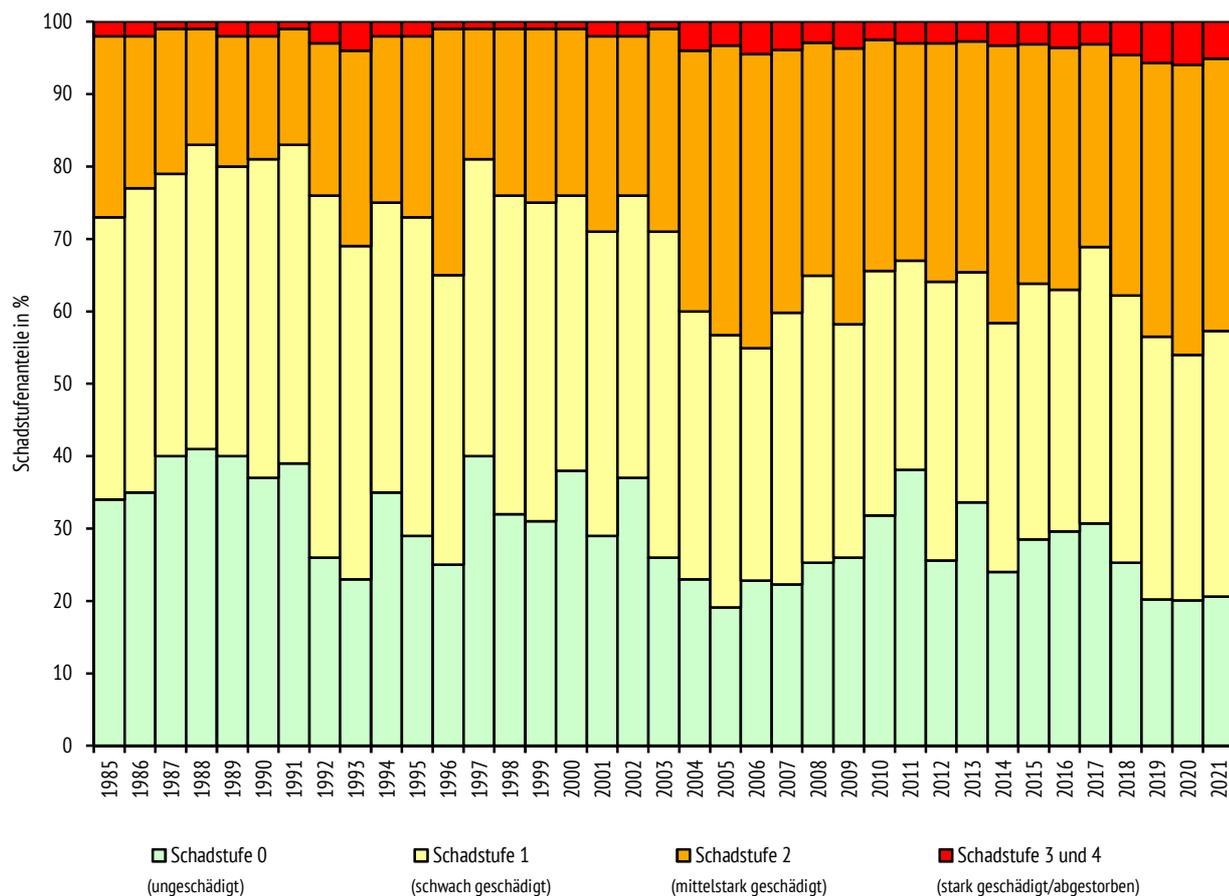


Abb. 4: Schadstufenverteilung der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2021.

Die Klassifizierung in Schadstufen erfolgt über die Kombination der Parameter „Nadel-/Blattverlust“ und „Vergilbung“ (Tab. 2, S. 42). Sie gibt damit einen schnellen und zusammenfassenden Überblick über das Schädgeschehen und die Entwicklung des aktuellen Waldzustandes.

In Abbildung 5 ist der Anteil der deutlich geschädigten Bäume getrennt nach den Altersgruppen bis „60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ für die Landkreise in Baden-Württemberg dargestellt. Aus statistischen Gründen werden die Ergebnisse nur für Landkreise mit mehr als 50 aufgenommenen Bäumen gezeigt. Insbesondere bei der jüngeren Altersgruppe können die Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobe für viele Landkreise nicht gesondert dargestellt werden. Auch ist zu beachten, dass der statistische Fehlerrahmen (Vertrauensbereich) für Landkreise mit vergleichsweise wenigen Probestämmen besonders hoch ist (vergleiche hierzu Anlage 4).

Der Anteil deutlich geschädigter Bäume ist in der Altersgruppe bis 60 Jahre landesweit vergleichsweise gering. Leicht erhöhte Schädigungsgrade finden sich in Teilen des südlichen

Schwarzwaldes. Dagegen ist bei den älteren Bäumen der Anteil an deutlich geschädigten Bäumen in den Landkreisen sichtlich erhöht. Einzelne Schädenschwerpunkte sind sowohl im Schwarzwald, im südlichen Neckarland, auf der Schwäbischen Alb sowie im nordöstlichen Landesteil von Baden-Württemberg zu erkennen. Während der Waldzustand im Schwarzwald maßgeblich von den Baumarten Fichte und Tanne geprägt wird, haben in den Landkreisen des Neckarlandes bzw. der Schwäbischen Alb meist die Laubbaumarten Buche und Eiche einen größeren Einfluss auf die mittlere Kronenverlichtung des Waldes.

Mortalität

Nachdem in den letzten beiden Jahren die Mortalitätsrate in den Wäldern Baden-Württembergs vor allem infolge der extremen Trockenheit und des massiven Borkenkäferbefalls stark angestiegen war, wurden in diesem Jahr etwas weniger neu abgestorbene Bäume in den Wäldern festgestellt. Mit 0,42 Prozent liegt die aktuelle Mortalitätsrate allerdings

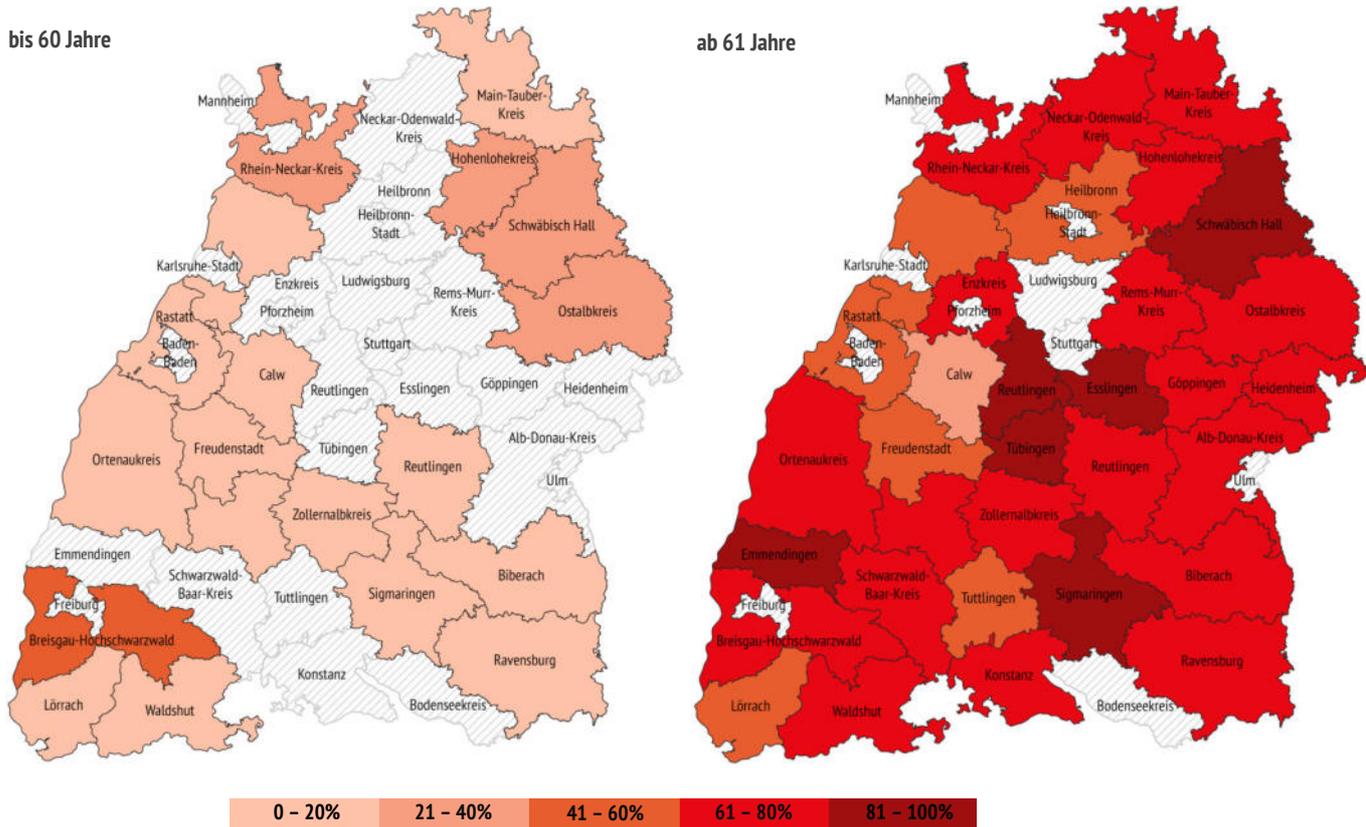


Abb. 5: Prozentualer Anteil deutlich geschädigter Bäume je Landkreis nach den Altersstufen „bis 60 Jahre“ (links) und „ab 61 Jahre“ (rechts). Grau gestreifte Markierung: keine Angabe für Landkreise mit weniger als 50 Bäumen in der Stichprobe der Waldzustandserhebung.

weiterhin über dem langjährigen mittleren Niveau (Abb. 6). Vor allem die Schädigungen durch Fichten- und Tannenborkenkäfer führten 2021 zu einer erhöhten Mortalität.

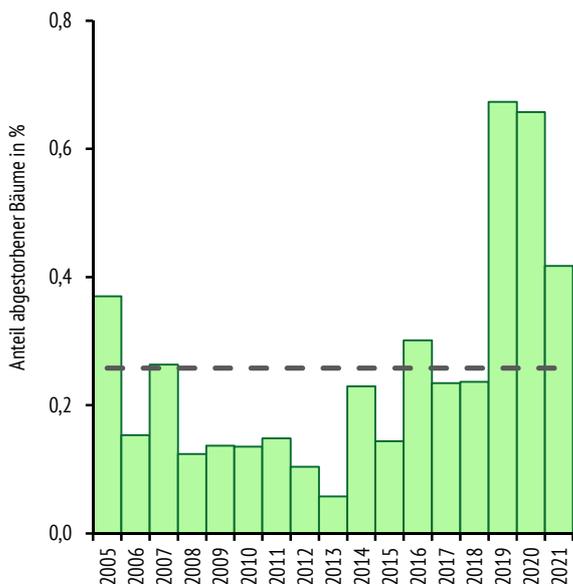


Abb. 6: Entwicklung der Mortalitätsrate im Vergleich zum langjährigen Mittel (berechnet auf dem einheitlichen 8x8 km-Netz seit 2005).

Vielerorts wurde im Verlauf des Sommers frischer Käferbefall in Nadelbaumbeständen beobachtet, wenngleich das Ausmaß geringer ausfiel als in den vorangegangenen Jahren. Zudem brachte das weitere Fortschreiten des Eschentriebsterbens sowie Folgeschäden aus den letzten Dürre Jahren, wie sekundärer Pilzbefall oder weitreichende Wurzelschädigungen, zahlreicher Bäume zum Absterben.

Die Mortalitätsrate berechnet sich aus den Bäumen, die in diesem Jahr abgestorben sind und noch auf den Stichprobepunkten der Waldzustandserhebung stehen. Zusammen mit den bereits länger abgestorbenen Bäumen stellen sie das gesamte stehende Totholz dar. Auf den Erhebungspunkten der Waldzustandserhebung beträgt der Totholzanteil in der herrschenden Bestandesschicht aktuell 1,3 Prozent.

Ausgefallene Bäume

Neben dem stehenden Totholz werden bei der Waldzustandserhebung auch alle Bäume erfasst, die seit der letzten Erhebung aus dem Wald entfernt wurden. Dabei werden ausgefallene Bäume nach Möglichkeit durch unmittelbar benachbarte Bäume am Stichprobenpunkt ersetzt, so dass eine ununterbrochene Aufnahme des betroffenen Stichprobenpunktes gewährleistet ist.

Für das Jahr 2021 ergibt sich eine gegenüber den Vorjahren leicht verringerte Ausfallrate von 2,7 Prozent. Neben der ordentlichen forstlichen Nutzung wurden auch im aktuellen Jahr viele außerplanmäßige Kalamitätshiebe aufgrund von biotischen bzw. abiotischen Ursachen durchgeführt. So kann die frühzeitige Entnahme frisch befallener Fichten und Tannen Borkenkäferkalamitäten aktiv eindämmen, weil damit die weitere Ausbreitung und Vermehrung der Käfer stark herabgesetzt wird. Des Weiteren werden aufgrund des Eschentriebsterbens auch immer noch viele Eschen entnommen. Zudem mussten in diesem Jahr zahlreiche Bäume mit Trockenschäden wegen Bruchgefahr, insbesondere im Rahmen der Verkehrsicherungspflicht, gefällt werden.

Fruktifikation

Nach der sehr starken Fruchtbildung der Waldbäume im vergangenen Jahr ist 2021 bei den Hauptbaumarten kein bzw. nur ein geringer Fruchtbehang zu erkennen (Abb. 7). Insbesondere die Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Tanne, die im letzten Jahr sehr viele Fruchtstände aufwiesen, legten dieses Jahr eine weitgehende „Fruchtpause“ ein. Lediglich bei einigen

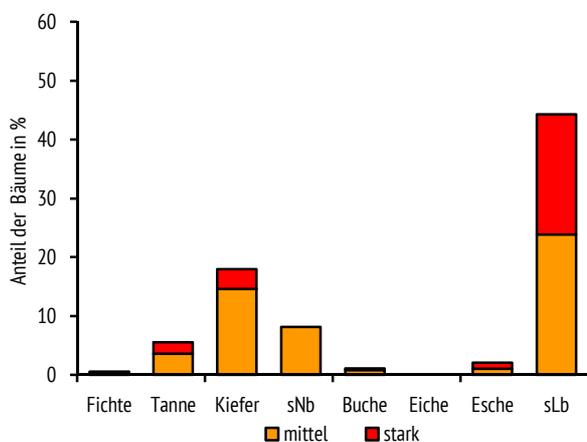


Abb. 7: Fruktifikationsintensität der Baumarten im Jahr 2021. Nur Bäume im blühfähigen Alter (>49 Jahre).

weniger häufig vorkommenden Laubbaumarten, wie Bergahorn, Linde oder Hainbuche, wurde in diesem Sommer eine stärkere Fruktifikation festgestellt.

Eine starke Fruchtbildung bedeutet für die Bäume immer eine hohe physiologische Belastung. Große Mengen an Nährstoff- und Energiereserven der Bäume werden für die Ausbildung der Früchte wie Bucheckern, Eicheln und Zapfen benötigt. Häufig wird in Jahren starker Fruchtbildung das vegetative Wachstum zugunsten der Fruchtbildung reduziert, was oftmals eine Verringerung der Blattmasse, eine schlechtere Seitenverzweigung oder geringeren Zuwachs bedeutet. Dieser Effekt ist besonders bei der Buche auffällig, die in Jahren mit starker Fruktifikation, wie z. B. im Jahr 2020, regelmäßig eine deutlich erhöhte Kronenverlichtung aufweist.

Fichte

Der Kronenzustand der Fichte hat sich im Jahr 2021 gegenüber dem Vorjahr leicht um 1,1 Prozentpunkte verbessert. Der mittlere Nadelverlust bleibt jedoch mit 24,7 Prozent weiterhin sehr hoch (Abb. 8). Insgesamt gelten wie bereits im Vorjahr 40 Prozent der Fichtenfläche als deutlich geschädigt. 37 Prozent sind schwach geschädigt und lediglich 23 Prozent ungeschädigt (Abb. 9).

Die letzten Jahre haben gezeigt, wie anfällig die Fichte mittlerweile bis in die Hochlagen gegenüber Wassermangel und Borkenkäferbefall ist. Länger anhaltende Dürreperioden wie in den letzten Jahren verursachen bei der Fichte schnell Trockenstress, da sie mit ihrem eher flachen Wurzelwerk oftmals nicht an noch wasserführende, tiefere Bodenschichten gelangt. Kurztriebigkeit und vorzeitiger Nadelabwurf sind die Folge. Zudem begünstigt eine warm-trockene Witterung die Ausbreitung von verschiedenen Borkenkäferarten. Die Käfer entwickeln sich schneller und können so mit einer größeren Populationsdichte die Fichten leicht besiedeln, deren Abwehrreaktion (Harzfluss) aufgrund von Trockenstress zusätzlich geschwächt ist.

Trotz der sehr starken Verbreitung der Fichtenborkenkäfer (Buchdrucker und Kupferstecher) in den letzten Jahren führte die phasenweise kühl-feuchte Witterung im Jahr 2021 in Kombination mit einem effektiven Borkenkäfer-Management zu einer spürbar rückläufigen Schadholzmenge. Die Entwicklung der Borkenkäfer wurde insbesondere durch den kühlen Frühling

und dem daraus resultierenden späten Schwärmbeginn verzögert. In vielen Regionen konnten sich maximal zwei Käfergenerationen entwickeln. Zudem konnte vielerorts durch rechtzeitige Entnahme frisch befallener Fichten eine noch stärkere Ausbreitung der Borkenkäfer verhindert werden. Von Borkenkäfer befallene Fichten lassen sich unter anderem an auftretendem Harzfluss, Bohrmehl am Stammfuß, Spechtabschlägen

oder im späteren Zeitpunkt an beginnendem Rindenfall und einer sich verfärbenden Baumkrone erkennen. Um die Populationsdichte der Borkenkäfer für das kommende Jahr weiter zu reduzieren, ist es auch in diesem Jahr entscheidend, die mit Jungkäfern besetzten Überwinterungsbäume ausfindig zu machen und möglichst rasch aus den Waldbeständen zu entfernen.

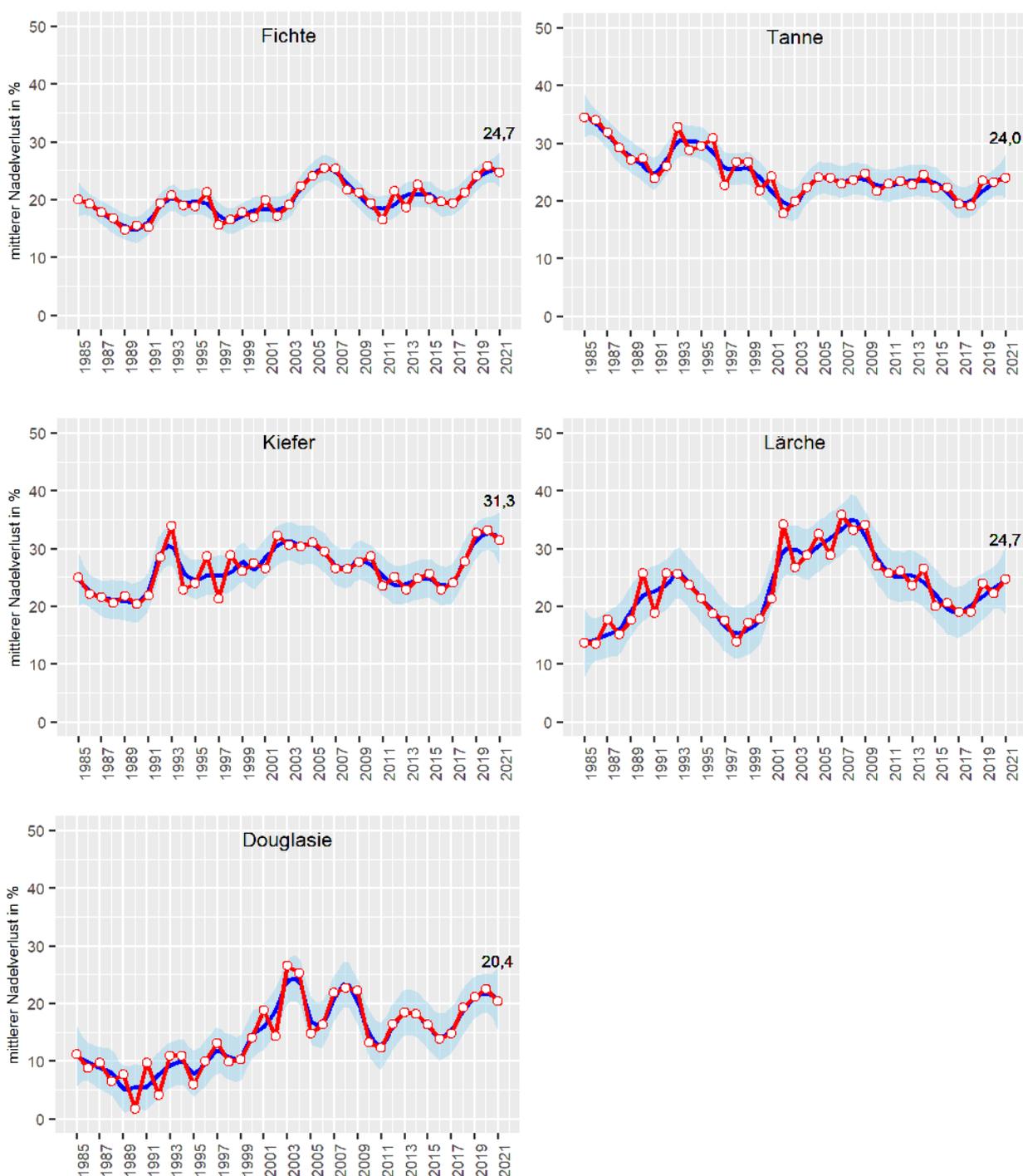


Abb. 8: Mittlerer Nadelverlust der Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie (rote Linie). Die blaue Linie gibt das geglättete Mittel, die hellblaue Fläche den Vertrauensbereich von 95 Prozent an.

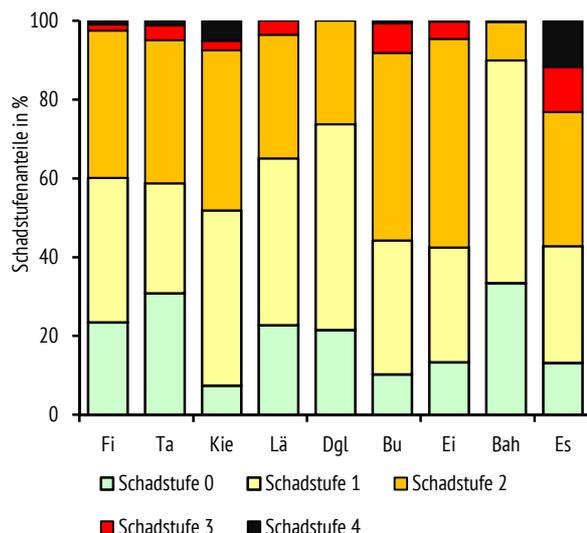


Abb. 9: Anteile der Schadstufen für die Baumarten Fichte (Fi), Tanne (Ta), Kiefer (Kie), Lärche (Lä), Douglasie (Dgl), Buche (Bu), Eiche (Ei), Bergahorn (Bah) und Esche (Es).

Tanne

Der Zustand der Tanne hat sich im aktuellen Jahr leicht verschlechtert. Der mittlere Nadelverlust erhöht sich um 0,8 Prozentpunkte auf 24,0 Prozent (Abb. 8). Insgesamt sind 41 Prozent der Tannenflächen in Baden-Württemberg deutlich geschädigt. 28 Prozent gelten als schwach geschädigt und 31 Prozent als ungeschädigt (Abb. 9).

Aufgrund ihres tieferreichenden Wurzelwerkes ist es der Tanne im Allgemeinen möglich, länger anhaltende Trockenperioden besser zu überstehen, als dies beispielsweise die Fichte vermag. Der extreme Trockenstress der Jahre 2018 bis 2020 stellte allerdings auch für die Tannen eine enorme Belastung dar, die sich unter anderem in einem Anstieg der Kronenverlichtung bemerkbar machte. Zudem nahm in den letzten Jahren auch bei der Baumart Tanne der Befall durch verschiedene Borkenkäferarten zu. Im Gegensatz zur Fichte zeigt sich in diesem Jahr bei der Tanne noch keine wesentliche Entspannung der Befallssituation. Während des Sommers 2021 wurden noch zahlreiche Tannen von verschiedenen Tannenborkenkäfern, wie dem Krummzähnigen oder dem Kleinen Tannenborkenkäfer, befallen, infolgedessen sich die Baumkronen auffällig rot verfärbten.

Im zeitlichen Verlauf der Kronenverlichtung wird der erhöhte immissionsbedingte Schädigungsgrad der Tannen zu Beginn der Aufnahmeperiode sichtbar. Hoher Nadelverlust, starke Vergilbung und absterbende Bäume waren zu dieser Zeit das prägende Erscheinungsbild von Tannenbeständen. Erst durch eine drastische Reduktion der Luftschadstoffe, insbesondere des Schwefeldioxids, konnte sich der Kronenzustand der Tannen wieder erholen. Zunehmend belastend wirkt sich aktuell aber die hohe Parasitierungsrate durch die Tannenmistel (*Viscum album ssp. abietis*) aus.

Nach einer starken Zunahme der Mistelverbreitung in den letzten 15 Jahren sind derzeit 22 Prozent aller Tannen der Waldzustandserhebung mit Misteln befallen (Abb. 10). Besonders verbreitet sind Tannenmisteln im mittleren und nördlichen Schwarzwald und im Fränkisch-Schwäbischen Wald. Dagegen sind die höheren Lagen des südlichen Schwarzwaldes bisher weniger besiedelt. Im Zuge einer weiteren Klimaerwärmung ist jedoch von einer zukünftig weiter fortschreitenden vertikalen und horizontalen Ausbreitung der wärmeliebenden Art auszugehen.

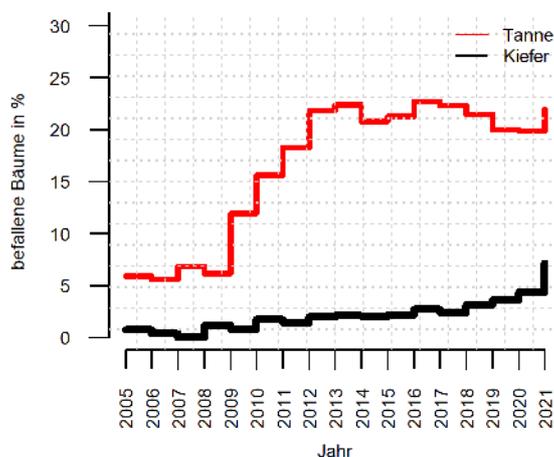


Abb. 10: Anteil der von Mistel befallenen Tannen und Kiefern der Waldzustandserhebung (berechnet auf dem einheitlichen 8x8 km-Netz seit 2005).



Abb. 11: Starker Mistelbefall an einer Pappel (links), einzelner Mistelzweig an einer Tanne (rechts) (Fotos: S. Meining).

Die Mistel lebt halbparsitisch in der Krone oder am Stamm der Bäume (Abb. 11). Mit ihren Senkerwurzeln, die bis in das Kambium der Wirtspflanze reichen, entzieht sie dem Baum Wasser und darin gelöste Nährstoffe. Insbesondere in ausgeprägten Dürrejahren führt dies zu erhöhtem Trockenstress und damit zu einem Vitalitätsverlust der Wirtsbäume. Die immergrüne Mistel betreibt Fotosynthese und produziert eigene organische Substanzen für das Pflanzenwachstum. Da die Mistel ihre Spaltöffnungen später schließt als ihre Wirtspflanze, kann dies bei starkem Befall und gleichzeitigem Trockenstress die Wasserregulation der Bäume stark beeinflussen (FISCHER 1983). Verschiedene Vogelarten sind für die Verbreitung der Mistel wichtig. Sie fressen die weißen Beeren und scheiden die darin enthaltenen Samen wieder aus. In der Baumkrone, an Ästen oder am Stamm können die Samen keimen und im zweiten Jahr mit ihren Senkerwurzeln in das Innere der Wirtspflanze eindringen. Misteln wachsen sehr langsam und es dauert mehrere Jahre, bis sie ihre typische runde Form erreicht haben. Einmal etabliert, können sie auf einem Baum jedoch mehrere Jahrzehnte überleben. Misteln kommen in Baden-Württemberg häufig an Tannen, Kiefern und verschiedenen Laubbälzern, wie Pappeln und Weiden sowie oftmals auch an Apfelbäumen vor.

Kiefer

Der mittlere Nadelverlust der Kiefer hat sich im aktuellen Jahr um 1,1 Prozentpunkte auf 31,3 Prozent verringert (Abb. 8). Damit ist nach vier Jahren kontinuierlicher Verschlechterung erstmals wieder eine leichte Verbesserung des Kronenzustandes der Kiefern zu beobachten. Insgesamt gelten 48 Prozent der Kiefernflächen in Baden-Württemberg als deutlich geschädigt. Der Anteil an stehend abgestorbenen Bäumen ist dabei mit fünf Prozent sehr hoch. 45 Prozent der Kiefernfläche sind als schwach geschädigt klassifiziert und lediglich sieben Prozent gelten als ungeschädigt (Abb. 9).

Insbesondere auf trockenen, sandig-kiesigen Standorten des Oberrheinischen Tieflandes zeichnet sich seit einigen Jahren ein deutlicher Schadensschwerpunkt der Kiefern ab (Abb. 12). Obwohl die Kiefer als eher trockentolerant gilt, fällt sie auf diesen Standorten an der Grenze ihres ökologischen Verbreitungsgebietes infolge von veränderten Standortbedingungen zum Teil flächig aus. Massiver Mistelbefall verstärkt den Trockenstress der Kiefern in der Oberrheinebene zusätzlich. Schadensverstärkend kann sich bei Trockenstress zudem der pilzliche Erreger des Diplodia-Triebsterbens auswirken, der die jungen Kiefertriebe befällt und zum Absterben bringt. An einzelnen vorgeschädigten Kiefern treten außerdem holzbrütende Schadinsekten wie Borken-, Pracht- und Bockkäfer auf.



Abb. 12: Deutlich geschädigter Kiefernbestand mit starkem Mistelbefall im Hardtwald bei Schwetzingen (Foto: M. Burger).

Lärche

Der Kronenzustand der Lärche (Europäische und Japanische Lärche) hat sich im Jahr 2021 etwas verschlechtert. Der mittlere Nadelverlust erhöht sich um 2,5 Prozentpunkte auf 24,7 Prozent (Abb. 8). Insgesamt gelten 35 Prozent der Lärchenfläche als deutlich geschädigt. Den größten Anteil mit 42 Prozent nehmen die schwach geschädigten Lärchen ein, 23 Prozent sind ungeschädigt (Abb. 9).

Als typische Gebirgsbaumart ist die Lärche nur schlecht an wärmere und trockenere Standorte angepasst. Vor allem ältere Lärchen zeigen infolge des Wassermangels der letzten Jahre zum Teil deutliche Vitalitätseinbußen. Oftmals bilden sich nur sehr schütterere Baumkronen mit viel Trockenreisig und spärlich austreibenden Knospen aus. In Nebel- und Feuchtlagen trat dieses Jahr lokal begrenzt die Lärchenschütte auf, ein pilzlicher Erreger, der zu einem Verbraunen und Absterben der Lärchenadeln führt. Zudem wurde in den vergangenen Jahren ein vermehrter Befall durch den Lärchenborkenkäfer beobachtet.

Douglasie

Ähnlich wie die Fichte zeigt auch die Douglasie im Jahr 2021 eine leichte Verbesserung des Kronenzustandes, nachdem in den letzten Jahren ein Anstieg der Kronenschäden beobachtet worden war. Aktuell verringert sich der mittlere Nadelverlust der Douglasien um 2,1 Prozentpunkte auf 20,4 Prozent (Abb. 8). Insgesamt gelten 26 Prozent der Douglasienfläche in Baden-Württemberg als deutlich geschädigt. Über die Hälfte der Douglasienfläche, nämlich 52 Prozent, ist als schwach geschädigt und 22 Prozent als ungeschädigt eingestuft (Abb. 9). Das vergleichsweise niedrige Schadniveau gegenüber den anderen Nadelbaumarten ist auf das im Durchschnitt deutlich geringere Baumalter der Douglasien in den Wäldern Baden-Württembergs zurückzuführen.

Die phasenweise kühl-feuchte Witterung des Jahres 2021 wirkt sich positiv auf die Vitalität der Douglasien aus. Mit weniger Hitze- und Trockenstress verringert sich bei steigender Widerstandsfähigkeit aktuell der Befall durch verschiedene Schwächeschädlinge, wie den pilzlichen Erreger des Diplodia-Triebsterbens oder verschiedene Borkenkäferarten.

Regional weiterhin von Bedeutung bleibt dagegen das Auftreten der Rußigen Douglasienschütte, die vor allem in Jungbeständen eine deutliche Schädigung der Bäume hervorrufen kann. Zudem ist seit einigen Jahren eine Zunahme der aus Nordamerika stammenden invasiven Douglasien-Gallmücke zu beobachten.

Buche

Nachdem die Buchen im Vorjahr stark durch Trockenstress und intensive Fruktifikation belastet waren, zeigt sich dieses Jahr eine Verbesserung des Kronenzustandes. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 3,8 Prozentpunkte auf 31,4 Prozent (Abb. 14). Jedoch sind immer noch 56 Prozent der Buchenflächen als deutlich geschädigt einzustufen. 34 Prozent sind schwach geschädigt und lediglich 10 Prozent der Buchenwälder gelten als ungeschädigt (Abb. 9).

Nach drei Jahren mit extremen sommerlichen Dürrephasen hat die Buche im Jahr 2021 von dem ausreichenden Wasserangebot

während der Vegetationsphase profitiert. Im Gegensatz zum Vorjahr war zudem eine sehr geringe Blüh- und Fruchtintensität zu beobachten, was zusätzlich zu einer Entlastung der Buchen führte, da alle verfügbaren Ressourcen dem vegetativen Wachstum der Bäume zur Verfügung standen. Im Vergleich aller Baumarten ist der Zusammenhang zwischen Fruchtbehang und Kronenzustand bei der Buche besonders auffallend. In Jahren mit starker Fruktifikation bildet die Buche deutlich lichtere Baumkronen aus, mit weniger Blattmasse, kleineren Blättern und eingeschränkter Seitenverzweigung.

Die hohe Belastung aus den vergangenen drei Jahren, mit anhaltendem Trockenstress und starker Fruktifikation, ist in vielen Buchenkronen weiterhin zu sehen. Geschädigte Buchen zeigen häufig abgestorbene Kronenpartien mit vielen trockenen Starkästen, durch Sonnenbrand aufgeplatzte Rinde und/oder zahlreiche Astabbrüche. Rindenschädigende und holzersetzende Pilzarten können sich in der Folge in den geschwächten Bäumen ausbreiten und eine zusätzliche Destabilisierung der Buchen bewirken, was die Verkehrs- und Arbeitssicherheit in den betroffenen Beständen stark gefährdet.



Abb. 13: Vertrocknete Blätter an Buche im Sommer 2021. Zweigprobe der Versuchsfläche Conventwald (Foto: S. Meining)

Trotz der im Allgemeinen ausgesprochen guten Wasserversorgung der Wälder wurden in diesem Jahr in einzelnen Buchenbeständen auch eindeutige akute Trockenstresssymptome in den Baumkronen festgestellt. Neben dem Zusammenrollen der Buchenblätter im äußeren Kronenbereich zur Verringerung der Transpiration wurde im Verlauf des Sommers vor allem auf flachgründigen, nährstoffarmen Standorten das Absterben einzelner Kronenpartien beobachtet. Dabei trockneten die Blätter ganzer Buchenäste vom äußeren Rand ab, ohne Beteiligung pilzlicher oder tierischer Pathogene (Abb. 13). Dies könnte auf anhaltende Trockenschäden im Wurzelbereich der betroffenen Buchen hindeuten, die trotz ausreichend gefüllter Bodenspeicher ihren Wasserbedarf nicht decken konnten. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass die Mykorrhizierung, also die Symbiose zwischen Pilz und Baum, in den langanhaltenden Trockenphasen der letzten Jahre in Mitleidenschaft gezogen wurde und somit die Nährstoffaufnahme der Bäume insbesondere auf flachgründigen und ärmeren Standorten derzeit eingeschränkt sein kann.

Eiche

Nach deutlicher Erholung im letzten Jahr hat sich der Kronenzustand der Eichen in diesem Jahr leicht verschlechtert. Der mittlere Blattverlust erhöht sich um 1,9 Prozentpunkte auf 30,4 Prozent (Abb. 14). Als deutlich geschädigt gelten 57 Prozent der Eichenflächen in Baden-Württemberg. Dagegen sind 30 Prozent schwach geschädigt und 13 Prozent ungeschädigt (Abb. 9).

Regional wurden leicht erhöhte Schäden durch verschiedene blattfressende Schmetterlingsraupen festgestellt. Hierzu gehören Raupen des Frostspanners, des Eichenwicklers oder des Schwammspinners, deren Fraß deutliche Vitalitätseinbußen hervorrufen kann. Mittlerweile im Wald etabliert hat sich zudem der Eichenprozessionsspinner, dessen Brennhaare unter anderem auf der Haut allergische Reaktionen auslösen können. Eichen sind in der Lage, nach deutlichem Blattfraß im Frühjahr noch einmal auszutreiben und durch den sogenannten Regene-

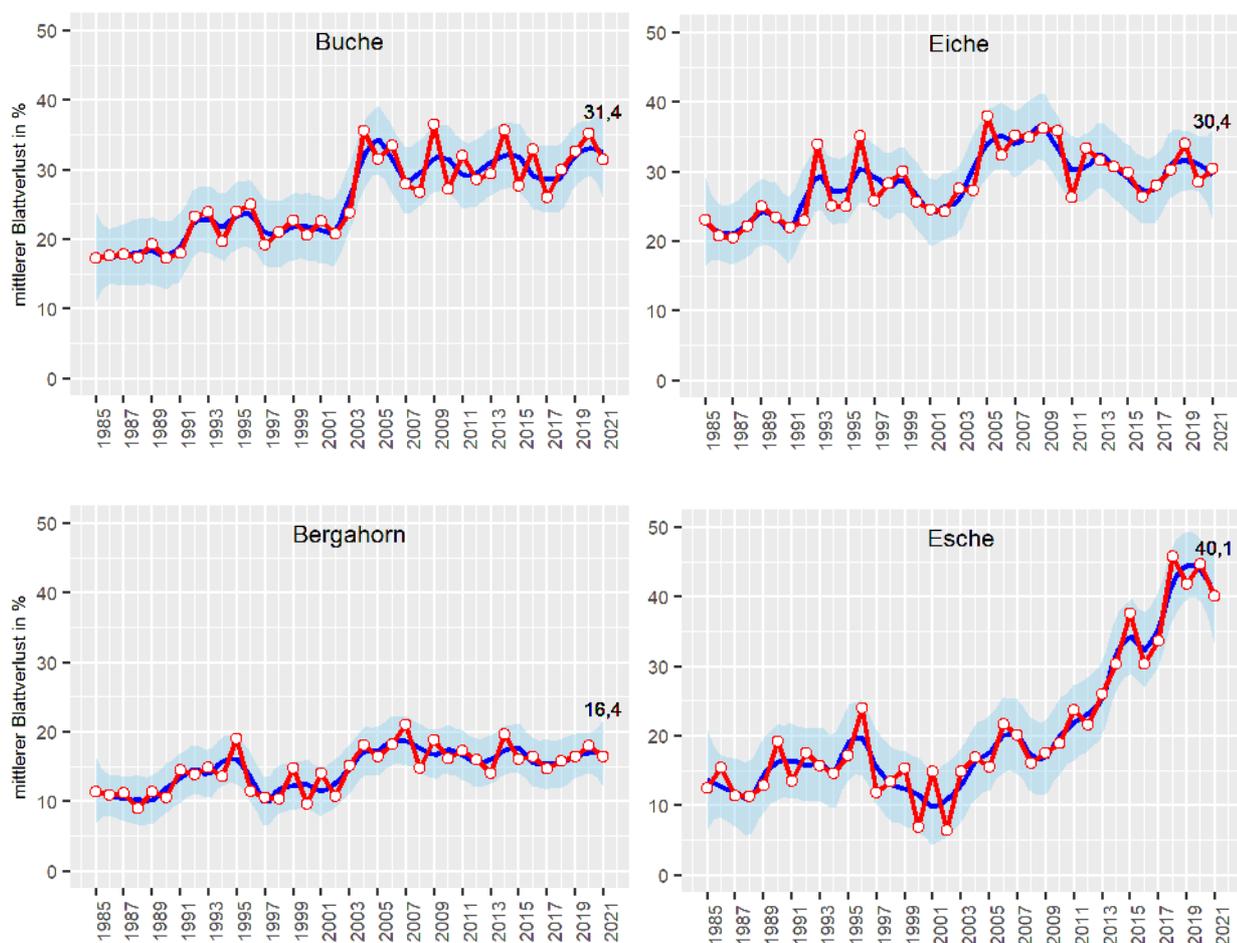


Abb. 14: Mittlerer Blattverlust der Baumarten Buche, Eiche, Bergahorn und Esche (rote Linie). Die blaue Linie gibt das geglättete Mittel, die hellblaue Fläche den Vertrauensbereich von 95 Prozent an.



Abb. 15: Eichenmehltau an den Blättern einer jungen Eiche (Foto: J. Grüner).

rationstrieb kann oftmals die fehlende Blattmasse ausgeglichen werden. Allerdings wurden dieses Jahr gerade die neuen Blätter des Regenerationstriebes bzw. des folgenden Johannstriebes wiederum häufig von Eichenmehltau befallen. Dieser Schlauchpilz überzieht junge Eichenblätter mit seinem weißen Myzel. Im späteren Verlauf verfärben sich die Blätter braun und sterben ab (Abb. 15).

Bergahorn

Der mittlere Blattverlust des Bergahorns liegt im Jahr 2021 bei 16,4 Prozent und damit 1,6 Prozentpunkte niedriger als noch im Vorjahr (Abb. 14). Insgesamt werden nur 10 Prozent der Bergahornfläche in Baden-Württemberg als deutlich geschädigt eingestuft. Der größte Anteil mit 57 Prozent ist der schwach geschädigten Waldfläche zugeordnet, während 33 Prozent als ungeschädigt gelten (Abb. 9).

Das niedrige Schadniveau des Bergahorns, verglichen mit allen übrigen Laubbaumarten, ist im Wesentlichen durch den hohen Anteil an jungen Ahornbäumen begründet. Auf vielen Standorten ist der Bergahorn in jungen Jahren konkurrenzstärker als andere Baumarten, die ihn aber ab einem Alter von etwa 30 bis

40 Jahren oftmals überwachsen. Als älterer Baum stellt der Bergahorn als typische Mischbaumart des Bergwaldes indes eine wichtige ökologische Bereicherung dar. Im Verlauf des Sommers 2021 wurden vor allem auf schlechter durchlüfteten Jungbestandsflächen regional Schädigungen durch die Weißfleckigkeit (*Cristulariella depraedans*) beobachtet. Dieser pilzliche Erreger verursacht rundlich weiße Flecken auf der Blattoberseite, die sich zu größeren Blattflecken vereinigen können und schließlich zu einem verfrühten Blattabwurf führen.

Esche

Der Vitalitätszustand der Eschen ist nach wie vor stark durch das Eschentriebsterben geprägt. Dennoch verringert sich der mittlere Blattverlust der Eschen im aktuellen Jahr um 3,0 Prozentpunkte auf 40,1 Prozent (Abb. 14). Insgesamt gelten 57 Prozent der Eschenfläche in Baden-Württemberg als deutlich geschädigt. Der Anteil an stehend abgestorbenen Eschen ist dabei mit 12 Prozent außerordentlich hoch. 30 Prozent sind als schwach geschädigt und immerhin 13 Prozent als ungeschädigt eingestuft (Abb. 9).

Der pilzliche Erreger des Eschentriebsterbens wurde im Jahr 2009 erstmalig in Baden-Württemberg festgestellt. Seither hat er sich landesweit stark ausgebreitet und zu einer massiven Schädigung der Eschen geführt. Das Falsche Weiße Stängelbecherchen (*Hymenoscyphus fraxineus*), so der offizielle Name des Pilzes, dringt über die Blätter der Esche in die Triebe des Baumes ein und bringt diese zum Absterben. Zusätzlich können sich im weiteren Verlauf der Baumerkrankung Stammfußnekrosen ausbilden, die zu einer großen Bruchgefahr der Eschen führen. Die Mortalitätsrate der Eschen ist seit einigen Jahren überproportional hoch, so dass der Eschenanteil in den Wäldern Baden-Württembergs mittlerweile stark abgenommen hat.

Aufgrund der sehr trockenen Witterung war die Neuinfektion der Eschen mit dem Eschentriebsterben in den letzten Jahren eher rückläufig. Jedoch sind in vielen Eschenkronen die Symptome der Erkrankung weiterhin deutlich sichtbar. Nach dem feuchten Frühjahr 2021 stiegen die frischen Blattinfektionen wieder an, so dass im nächsten Jahr mit einem fortschreitenden Triebsterben der Eschen gerechnet werden muss.

2 EINFLÜSSE VON STANDORT UND WITTERUNG AUF DIE KRONENVERLICHTUNG

Im Rahmen des Notfallplans Walderhalt bearbeitet die FVA Baden-Württemberg unter anderem das Projekt Y4DRY, in welchem die Ursachen für einen erhöhten Nadel-/Blattverlust am Datenmaterial der Waldzustandserhebung identifiziert werden sollen. Hierfür werden die Zusammenhänge zwischen dem jährlich beobachteten Nadel-/Blattverlust und standort-spezifischen Umweltvariablen (Informationen zu Witterung und Klima, Boden, Nährstoffhaushalt sowie weitere Standort- und Bestandeseigenschaften) mit Hilfe statistischer Analysen untersucht.

Für die Modellierung der Zusammenhänge werden flexible, statistische Modelle (GAMs) verwendet, mit welchen die zeitliche Autokorrelation des Nadel-/Blattverlusts sowie räumlich-zeitliche Trends der Umweltvariablen (z. B. Höheneffekte) berücksichtigt werden können. Diese Modelle wurden bereits von verschiedenen Autor*innen für ähnliche Fragestellungen angewandt und empfohlen (AUGUSTIN ET AL. 2009; EICKENSCHIEDT ET AL. 2018, 2019).

Tab. 1: Umweltvariablen mit signifikantem Einfluss auf den Nadel-/Blattverlust der Baumarten Buche, Fichte, Kiefer und Eiche.

| Variable | Gruppe | Buche | Fichte | Eiche | Kiefer |
|--|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Baumalter | | X | X | X | X |
| Raum-Zeit-Term | | X | X | X | X |
| Topographic Wetness Index (TWI25) | Topographie | X | X | X | X |
| Topographic Position Index (TPI500) | Topographie | | X | | |
| Feuchtestufe | Boden | | | | X |
| Organischer Kohlenstoffgehalt | Boden | X | | | |
| Humusform | Boden | | X | | |
| Tongehalt | Boden | | X | | |
| pH-Wert | Boden | X | | | X |
| Bodentyp | Boden | | | | X |
| Mittlere Temperatur in der Vegetationsperiode des Vorjahres | Klima | | X | | |
| Klimatische Wasserbilanz des Vorjahres | Klima | X | | | |
| Sonnenstunden in der Vegetationsperiode | Klima | | | | X |
| Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI 3 Mai) | Klima | X | | | |
| Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI 3 Aug) | Klima | X | | | |
| Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI 24 Aug) | Klima | | | X | |
| Vegetationslänge | Klima | X | X | | |
| n (Anzahl Standorte * Jahre) | | 4.295 | 5.320 | 2.107 | 1.915 |
| Erklärte Varianz nur Baumalter [%] | | 23 | 50 | 31 | 3 |
| Erklärte Varianz nur statische Variablen, ohne/mit Raum-Zeit-Term [%] | | 24/47 | 56/61 | 33/45 | 17/24 |
| Erklärte Varianz alle Variablen, ohne/mit Raum-Zeit-Term [%] | | 42/51 | 58/62 | 39/47 | 19/25 |

Um baumartenspezifische Unterschiede zu ermitteln, wurden separate Modelle für die Baumarten Fichte, Buche, Tanne, Eiche (Trauben- und Stieleiche), Kiefer und Douglasie erstellt. Berücksichtigt wurden die Erhebungen aus den Jahren 1991 bis 2020. Für jedes Jahr wurde ein mittlerer Nadel-/Blattverlust je Baumart und Standort berechnet. Die standortspezifischen Umweltvariablen wurden aus verschiedenen Datenquellen (direkte Erhebungen an den Punkten der Waldzustandserhebung, Digitales Geländemodell, regionalisierte Karten zu Witterung/Klima, Boden, Stoffeinträgen, Wasserhaushaltsmodellierung) zusammengetragen.

Insgesamt wurden 60 Kennwerte zur Beschreibung zeitlich unveränderlicher (z. B. Topographie) und dynamisch variierender (z. B. Witterung) Umweltvariablen abgeleitet. Aus diesen Kennwerten wurden mit Hilfe eines gesteuert-automatisierten Auswahlverfahrens diejenigen Größen selektiert, welche einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Zielgröße Nadel-/Blattverlust haben. Die Selektion erfolgte anhand des Bayesian Information Criterion und unter Berücksichtigung, dass die im Modell enthaltenen Variablen nur gering miteinander korreliert sein sollen ($r \leq 0,6$).

Es wurden Modelle mit schrittweise steigender Komplexität erstellt:

1. ausschließliche Berücksichtigung des Baumalters
2. Berücksichtigung von Baumalter und statischen Umweltgrößen
3. Berücksichtigung von Baumalter sowie statischen und dynamischen Umweltgrößen.

Zudem wurde den Modellen wahlweise ein räumlich-zeitlicher Interaktionsterm hinzugefügt, welcher in den Daten vorhandene Raum-Zeit-Trends abbildet, die nicht durch die einbezogenen Umweltvariablen erklärt werden können (DUPONT ET AL. 2020). Der Vergleich von Modellen mit und ohne Interaktionsterm ermöglicht eine Beurteilung, wie gut die verwendeten Umweltvariablen zur Modellierung des Nadel-/Blattverlusts geeignet sind. Große Unterschiede in der Erklärungsgüte der Modelle mit und ohne Interaktionsterm lassen darauf schließen, dass wichtige Umweltvariablen, welche die Variabilität des Nadel-/Blattverlusts beschreiben, nicht berücksichtigt wurden (etwa weil entsprechende Daten, wie zum Beispiel detaillierte Informationen zur Waldstruktur, nicht vorlagen).

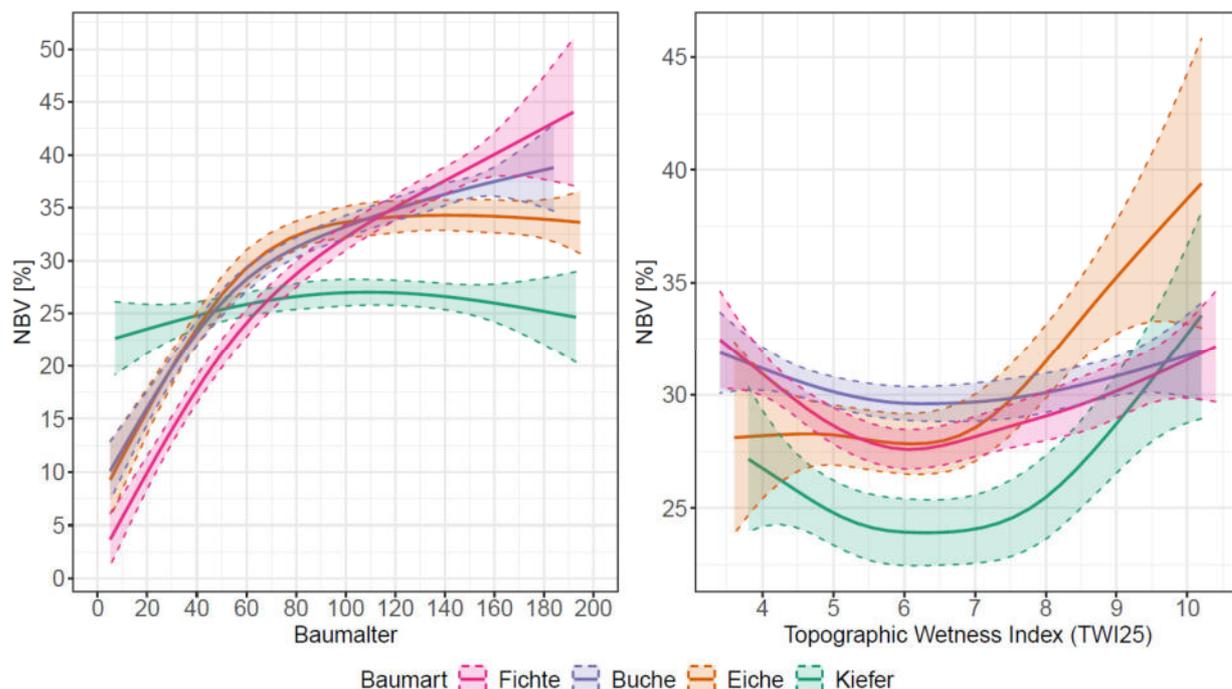


Abb. 16: Partiieller Einfluss des Baumalters (links) und des Topographic Wetness Index (TWI25) (rechts) auf den Nadel-/Blattverlust. Die gestrichelten Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an. Flache Kurvenverläufe lassen auf einen geringen Einfluss der Variable schließen.

In Tabelle 1 sind die Umweltvariablen zusammengefasst, welche den Nadel-/Blattverlust in den erstellten Modellen signifikant beeinflussen. Nicht enthalten sind die Baumarten Tanne und Douglasie, für welche auf der Basis der vorhandenen Daten mit dem gewählten Verfahren keine Modelle erstellt werden konnten.

Für Buche, Eiche und insbesondere die Fichte stellt das Baumalter im Vergleich zu den restlichen Modellvariablen die mit Abstand wichtigste Einflussgröße auf den Nadel-/Blattverlust dar (Tab. 1). Mit zunehmendem Baumalter sinkt die Vitalität dieser Baumarten. Während bei der Eiche ab einem Alter von ca. 80 Jahren das Schadniveau relativ konstant bleibt, nimmt die Kronenverlichtung von Buche und Fichte mit zunehmendem Alter weiter ab (Abb. 16, links). Im Gegensatz dazu variiert die Kronenverlichtung der Kiefer kaum mit dem Baumalter, wie sowohl im flachen Funktionsverlauf (Abb. 16, links) als auch in der geringen durch das Baumalter erklärten Varianz (3 Prozent, Tab. 1) zu erkennen ist.

Neben dem Baumalter beeinflusst der Topographic Wetness Index den Nadel-/Blattverlust aller modellierten Baumarten signifikant. Dieser Index setzt das oberirdische Wassereinzugsgebiet an einem Geländepunkt ins Verhältnis zur mittleren Hangneigung. Große Indexwerte sind demnach zum einen verbunden mit großen Einzugsgebieten bei gleichzeitig geringer Hangneigung (z. B. in Mulden oder Rinnen), also topographischen Bedingungen, welche die Akkumulation von Boden- und Grundwasser fördern. Zum anderen werden große Indexwerte auf sehr flachen Standorten (z. B. Niederungen) erreicht. Kleine Indexwerte haben Standorte mit kleinem Wassereinzugsgebiet oder sehr großer Hangneigung (z. B. Rücken, Oberhänge). Für Kiefer und Eiche ist der Nadel-/Blattverlust an Standorten mit sehr großen Indexwerten auffallend erhöht (Abb. 16, rechts). Dabei handelt es sich überwiegend um flache Standorte der Oberrheinebene. Bei der Kiefer ist zudem, wie auch bei der Fichte, der Nadel-/Blattverlust bei kleinen Indexwerten, die überwiegend an steilen, exponierten Oberhängen auftreten, erhöht. Im Vergleich zu allen anderen Baumarten ist der Einfluss der Topographie bei der Buche am geringsten.

Einflüsse auf die Baumarten

Buche

Die zur Verfügung stehenden statischen Standortseigenschaften haben nur eine sehr geringe Erklärungsgüte für die Kronenverlichtung der Buche. Hingegen ist der Einfluss klimatischer Variablen bei der Buche besonders ausgeprägt. Deutlich ist der funktionelle Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und dem Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI 3 Mai), welcher die relative Abweichung der klimatischen Wasserbilanz in den Monaten März bis Mai vom langjährigen Mittel beschreibt. Der Einfluss dieser Umweltgröße zeigt, dass die Kronenverlichtung im Modell nach Frühjahrstrockenheit erhöht ist. Im Modell enthalten sind des Weiteren einige Umweltvariablen, welche die klimatischen Bedingungen der Vegetationsperiode im aktuellen Jahr sowie im Vorjahr beschreiben. Auffallend ist, dass sich warm-trockene Bedingungen in den Sommermonaten des Aufnahmejahrs (SPEI 3 August) nicht direkt auf die Kronenverlichtung der Buche auswirken. Die Folgen zeigen sich erst verzögert: Eine negative klimatische Wasserbilanz des Vorjahres erhöht die Kronenverlichtung im Folgejahr.

Fichte

In den Modellen für die Fichte dominiert der Einfluss des Baumalters, welches 50 Prozent der beobachteten Varianz erklärt. Der zusätzliche Anteil erklärter Varianz durch weitere Umweltvariablen ist mit 12 Prozent vergleichsweise gering (Tab. 1). Die Modelle enthalten neben dem Topographic Wetness Index auch den Topographic Position Index (TPI500), welcher die Höhe jedes Geländepunktes im Vergleich zu den umliegenden Punkten in einem Radius von 500 m bewertet. Höher gelegene Positionen, wie Bergrücken oder -kuppen, sind gemäß Modell mit einer stärkeren Kronenverlichtung der Fichte verbunden. Daneben war das Schadniveau auf Standorten mit günstigeren Humusformen (Mull, Mullmoder), die in der Regel eine bessere Nährstoffversorgung und eine intensivere Durchwurzelung des Mineralbodens aufweisen, gegenüber Standorten mit Rohhumusaufgaben und rohhumusartigen Auflagen verringert. Entgegen der Erwartung ist in den Modellen der Einfluss klimatischer Größen auf den Nadelverlust der Fichten gering. Lediglich die Durchschnittstemperatur der Vegetationsperiode des Vorjahres sowie die Länge der Vegetationsperiode waren im Modell signifikant. Die funktionellen Verläufe deuten auf ein steigendes Schadniveau in warmen (ab ca. 14,5° Celsius Durchschnittstemperatur) und langen (mehr als 240 Tage) Vegetationsperioden hin. Neben den direkten Folgen von

Trockenstress wird damit möglicherweise der Einfluss von Borkenkäfern auf die Kronenverlichtung abgebildet, da wärmere und längere Vegetationsperioden mit einer stärkeren Vermehrung der Borkenkäfer und damit einem intensiveren Befallsgeschehen gekoppelt sind.

Eiche

Bei der Eiche verblieben insgesamt nur zwei Umweltvariablen als erklärende Größen im Modell. Neben dem bereits erwähnten Topographic Wetness Index war dies der Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI 24 August), welcher die Abweichung der klimatischen Wasserbilanz der letzten 24 Monate im Vergleich zum langjährigen Mittel beschreibt. Der lineare Zusammenhang deutet darauf hin, dass langanhaltende, trockene Perioden den Blattverlust der Eiche erhöhen.

Kiefer

Die Modelle der Kiefer schneiden in Bezug auf die insgesamt erklärte Varianz im Vergleich zu den anderen Baumarten am schlechtesten ab. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass das Baumalter im Gegensatz zu den anderen Baumarten nur einen sehr geringen Einfluss auf die Kronenverlichtung hat. Neben dem Topographic Wetness Index verbleiben die Feuchtigkeit des Standortes, der pH-Wert sowie der Bodentyp als erklärende Umweltvariablen im Modell. Auf frischen und mäßig frischen Standorten ist demnach die Kronenverlichtung geringer als auf mäßig trockenen und trockenen Standorten. Am höchsten ist das Schadniveau auf wechselfeuchten Standorten. Weitere im Modell integrierte Umweltvariablen (Bodentyp, pH-Wert) bilden im Wesentlichen einen räumlichen Effekt ab, welcher den hohen Schädigungsgrad der Kiefer in der Oberreihe beschreibt.

Schlussfolgerung

Die Bewertung des Schadgeschehens in Wäldern ist aufgrund der sich überlagernden kurz- und langfristigen Effekte komplex. Konkrete Aussagen über eine Kausalität sind herausfordernd, auch weil nicht für alle möglichen Einflussgrößen auf die Vitalität von Wäldern ausreichend detaillierte Daten zur Verfügung stehen (z. B. Bestandeseigenschaften, biotische Schädlinge). Trotz dieser Einschränkungen können aus den vorliegenden Modellergebnissen bereits einige hilfreiche Rückschlüsse für die Praxis gezogen werden: Anpassungsstrategien an den Klimawandel müssen baumartenspezifisch vollzogen werden, da sich verschiedene Umweltgrößen unterschiedlich stark auf die Vitalität der Bäume auswirken. Auf diesen Ergebnissen aufbauende Analysen können helfen, die Prädisposition für Schäden besser zu beurteilen. So zeigt sich in den Modellen, dass ein geschwächter Vitalitätszustand der Bäume in bestimmten topographischen Situationen gehäuft auftritt. Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen sollen im nächsten Schritt derartige risikobehaftete Areale mit Hilfe von Digitalen Geländemodellen, wenn nötig unter Einbeziehung weiterer relevanter Bodeninformationen, kartiert werden. Mit diesen Karten wird Waldbesitzenden eine Entscheidungshilfe zur Verfügung gestellt, auf welchen Flächen ein höheres Anbaurisiko für eine bestimmte Baumart vorliegt und damit ein Waldumbau prioritär angegangen werden sollte.

Die vorgestellte Analyse könnte künftig durch Einbeziehung umfangreicher Informationen zum Waldbestand, wie sie die FVA aktuell aus Fernerkundungsdaten ableitet, deutlich verbessert werden. Hierfür wäre auch eine genauere räumliche Verortung der aufgenommenen Einzelbäume der Waldzustandserhebung hilfreich.

3 WITTERUNG

Ausgehend von dem extremen Dürrejahr 2018 litten die Wälder Baden-Württembergs drei Jahre in Folge massiv unter Trockenstress. Im Gegensatz dazu war das Jahr 2021 phasenweise sehr nass und vergleichsweise kühl. Nach Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes erlebte Deutschland den regenreichsten Sommer seit zehn Jahren (DWD 2021a). Baden-Württemberg zählte dabei mit 395 l/m² in den Monaten Juni bis August zu den niederschlagsreichen Regionen.

Klimatologische Referenzperioden umfassen in der Regel einen Zeitraum von 30 Jahren. Ab dem Jahr 2021 gilt international die neue Referenzperiode 1991-2020. Um jedoch die Vergleichbarkeit der Werte mit dem Vorjahr zu gewährleisten, werden in diesem Bericht die monatlichen Mittelwerte der Temperatur und des Niederschlags mit der klimatischen Referenzperiode 1981-2010 in Beziehung gesetzt.

Temperatur und Niederschlag

Nach einer sehr trockenen und durchgängig zu warmen Witterung in der zweiten Jahreshälfte 2020 begann das Jahr 2021 sehr nass und nur geringfügig zu mild (Abb. 17). Der Niederschlag fiel dabei in Gebieten oberhalb von etwa 500 Metern meist als Schnee, so dass sich in den Mittelgebirgslagen fast überall eine geschlossene Schneedecke bildete. Ende Januar setzte mit steigenden Temperaturen die erste Schneeschmelze ein und zahlreiche kleinere Flüsse traten über die Ufer. Der Februar war mit einer Monatsmitteltemperatur von 2,3° Celsius im Vergleich zum langjährigen Mittel erheblich zu warm und auch etwas zu trocken.

Im Vergleich zur Referenzperiode waren die Monate März und April ebenfalls zu trocken, wobei die Temperaturen stark schwankten. Nach einer anfänglichen Schönwetterphase gingen die Temperaturen im April merklich zurück. Mit insgesamt 15 Frosttagen gab es seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881 keinen frostreicheren April in Baden-Württemberg (DWD 2021b). So wurde beispielsweise in Meßstetten auf der Schwäbischen Alb am 6. April mit -13,6° Celsius bundesweit die niedrigste April-Temperatur gemessen.

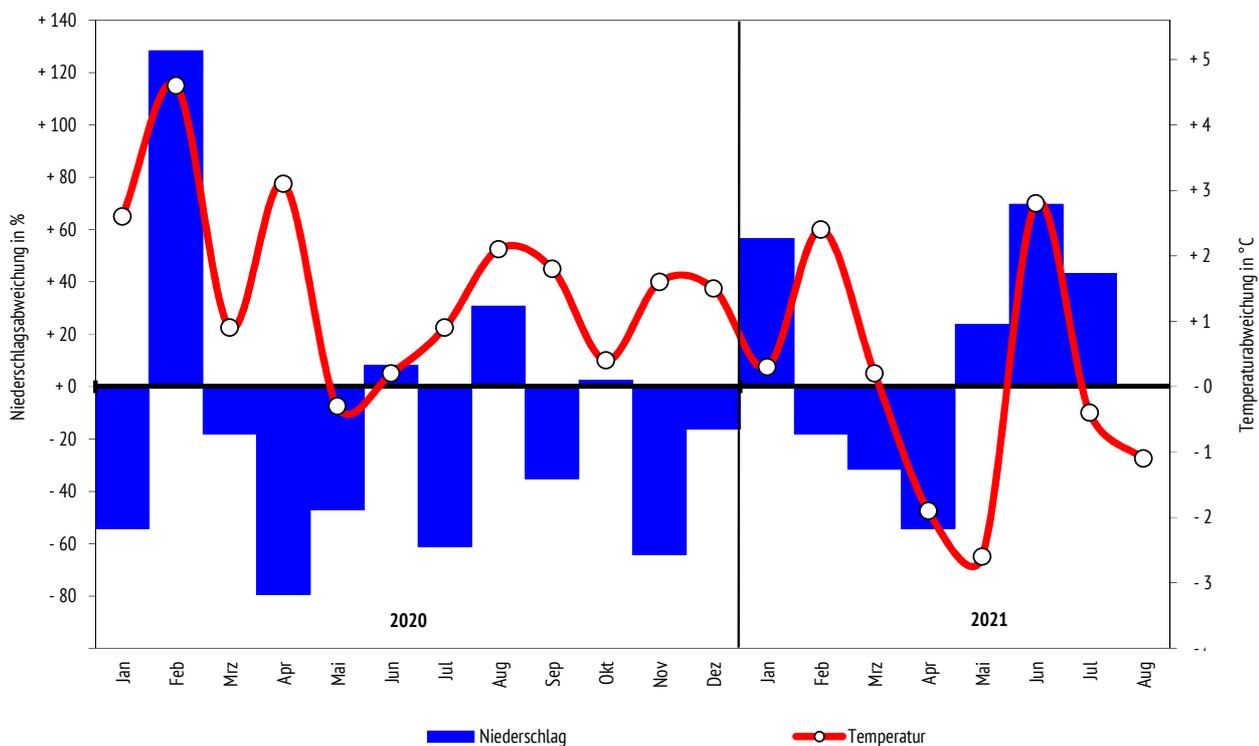


Abb. 17: Niederschlags- und Temperaturabweichung vom Mittel der Referenzperiode (1981–2010) für Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD).

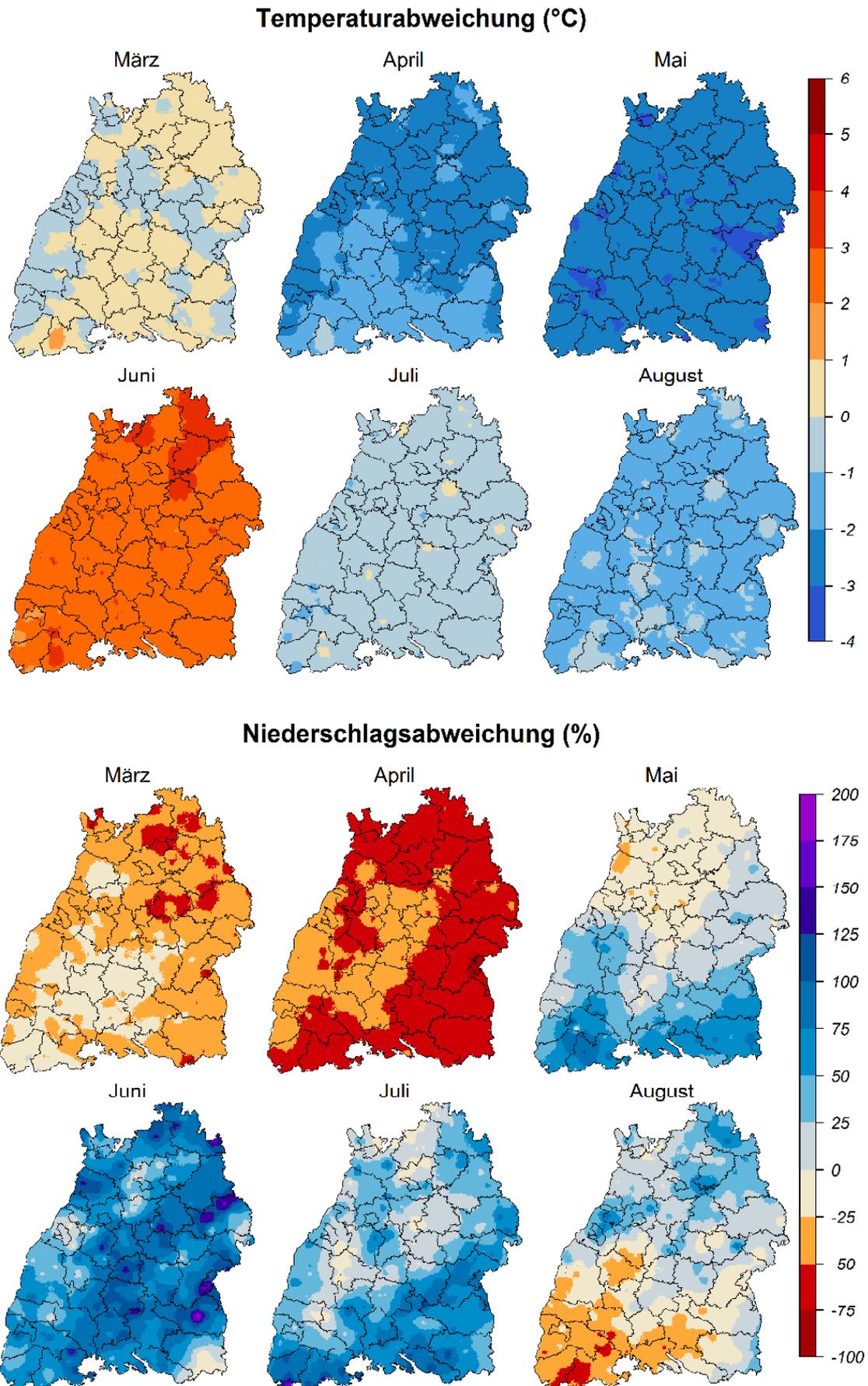


Abb. 18: Regionale Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) der Monate März bis August 2021 vom Mittel der Referenzperiode (1981-2010) in Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD).



Abb. 19: Mit grünen Blättern überdeckter Forstweg nach Hagelsturm in der Nähe von Burladingen im Sommer 2021 (Foto: S. Meining).

Auch der Mai blieb in Baden-Württemberg vergleichsweise kühl. Im Mittel lag die Maitemperatur mehr als zwei Grad unterhalb des Referenzwerts. Infolge der verbreitet kühlen Temperaturen verzögerte sich landesweit die Vegetationsentwicklung. Ein früherer Austrieb der Waldbäume, wie in den letzten Jahren vermehrt beobachtet, wurde in diesem Jahr nicht festgestellt. Im Gegenteil: Dieses Jahr erfolgte der Austrieb der Bäume vielerorts bis zu 14 Tage später als gewöhnlich. Aus diesem Grund traten auch Spätfrostschäden nur sehr vereinzelt auf. Zudem wurde durch die kühle Witterung auch die Entwicklung verschiedener tierischer Schadorganismen verlangsamt. Insbesondere die Verbreitung der Borkenkäfer wurde so deutlich verzögert.

Nach bereits ansteigenden Niederschlagsmengen im Mai war der Juni nahezu landesweit erheblich zu nass. Schwere Unwetter sorgten vor allem in der zweiten Junihälfte für lokale Starkregenereignisse. Besonders hohe Niederschlagsmengen fielen in Oberschwaben und auf der Ostalb (Abb. 18). Dabei

war der Juni landesweit überdurchschnittlich warm. In den Sommermonaten Juli und August lag die Durchschnittstemperatur dagegen wiederum unterhalb des Referenzwerts. Die weiterhin sehr nasse Witterung sorgte für gute Wuchsbedingungen der Bäume, die im Vergleich zu den letzten Jahren nur in sehr geringem Maße länger anhaltenden Trockenphasen ausgesetzt waren. Lokal auftretende Gewitter mit Starkregen und teils grobkörnigem Hagel führten in der ersten Hälfte des Augusts allerdings in einigen Waldbeständen zu deutlich sichtbaren Schäden (Abb. 19).

4 BORKENKÄFERMONITORING IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Die Überwachung der aktuellen Gefährdungssituation durch Borkenkäfer ist neben der Vorbeugung und der Bekämpfung ein zentraler Pfeiler im System des Integrierten Borkenkäfer-Managements (HOCH ET AL. 2019, KAUTZ ET AL. 2021a). Die FVA Baden-Württemberg betreibt seit den frühen 1990er-Jahren mit zunehmender Intensität das Borkenkäfermonitoring zur Überwachung der schadrelevantesten Borkenkäferarten in Baden-Württemberg.

Primäres Ziel ist es, aus den aktuellen Beobachtungen zur Phänologie (Schwärmaktivität und Entwicklungsfortschritt) und zur Populationsdichte zeitnah und räumlich differenziert geeignete Regulierungsmaßnahmen für die forstliche Praxis abzuleiten. Damit wird die Effizienz der Befallskontrollen und anschließender Sanierungsmaßnahmen erhöht und letztlich der Borkenkäferbefall vermindert. Das Ziel, durch Massenfang die Käferpopulation zu senken, wird beim Monitoring aber explizit nicht verfolgt. Als positiver Nebeneffekt eines standardisierten Monitorings entstehen kontinuierliche Datenreihen, welche langjährige Trendanalysen ermöglichen und somit einen Mehrwert auch über die aktuelle Situation hinaus generieren.

Was, wie und wo wird beobachtet?

Aufgrund des gestiegenen Handlungsbedarfs wurde das Monitoringnetz in Baden-Württemberg seit 2021 gegenüber den Vorjahren auf aktuell 25 Standorte deutlich erweitert (Abb. 20). Die Monitoringstandorte wurden dabei so gewählt, dass sie die potentiell gefährdeten Wälder, verschiedene Höhenstufen sowie relevante Wuchsgebiete möglichst gut repräsentieren. Während der Höhengradient Freiburg-Feldberg (von ca. 300 Meter bis 1.400 Meter ü.NN) von Mitarbeitenden der FVA selbst betreut wird, übernehmen in den restlichen Landesteilen lokale Ansprechpartner*innen von ForstBW, zumeist Revierleitende oder Ausbildungsstellen, und vom Nationalpark Schwarzwald die wöchentliche Datenaufnahme nach einheitlichen Standards. Die Erstellung des methodischen Konzeptes, die Koordination der Umsetzung sowie die Zusammenführung und letztlich Interpretation der Daten obliegt der FVA als hoheitlicher Instanz für den Waldschutz in Baden-Württemberg.

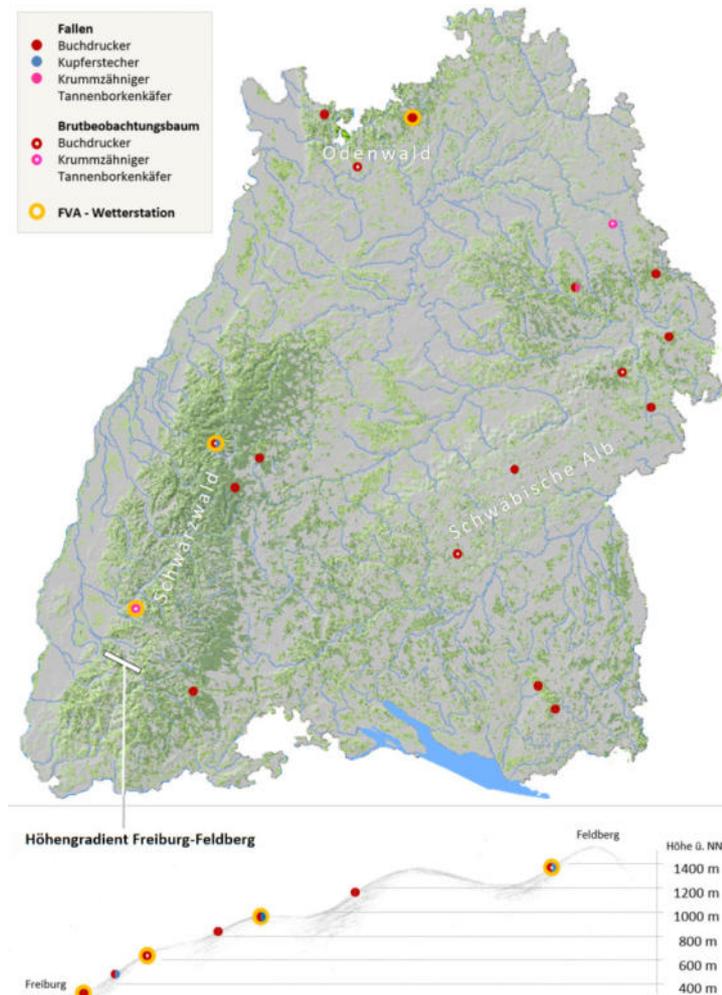


Abb. 20: Übersicht über die aktuellen Standorte des Borkenkäfermonitorings in Baden-Württemberg.

Das Monitoring wird wöchentlich im Zeitraum von Ende März bis Ende September durchgeführt, denn nur in diesem Zeitraum sind die Borkenkäfer schwärmaktiv. Der genaue Beginn und das Ende des Monitorings eines Jahres wird je nach Witterung festgelegt. Die aktuelle phänologische Situation der Käfer wird mittels Pheromonfallen (Überwachung der Schwärmaktivität) sowie mittels Brutbeobachtungsbäumen (kurz Brutbaum; Überwachung der Brutentwicklung) beobachtet. In ihrer Summe liefern diese Beobachtungen – soweit möglich in Kombination mit Befallsmeldungen und Modellberechnungen (siehe Infokasten S. 27) – die Grundlage für die Abschätzung der aktuellen Gefährdungssituation und zielgenaue Empfehlungen von Kontroll- und Regulierungsmaßnahmen.



Abb. 21: Überwachte Borkenkäferarten in Baden-Württemberg (Fotos: F. Sander).

Neben den Fichtenborkenkäfern Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) umfasst das Monitoring seit dem vergangenen Jahr auch den Krummzähnigen Tannenborkenkäfer (*Pityokteines curvidens*), einen wesentlichen Schadfaktor an der Weißtanne (Abb. 21).

Seit dem Jahr 2021 werden zusätzlich an einigen ausgewählten Monitoringstandorten Pheromonfallen für den Nordischen Fichtenborkenkäfer (*Ips duplicatus*) aufgestellt, um die aktuelle Verbreitung dieser in Südwestdeutschland (noch) nicht-heimischen Borkenkäferart zu dokumentieren.

Ein wichtiger Grundsatz des Monitorings ist die Anwendung eines einheitlichen Verfahrens. Erst dadurch werden Daten über mehrere Jahre hinweg wirklich vergleichbar und lassen für unterschiedliche Regionen fundierte Interpretationen zu. Ein zentral gesteuertes Monitoring hat gegenüber zum Teil individuell in den Revieren durchgeführten Ansätzen zudem den Vorteil, dass die Ergebnisse überregional in Beziehung gesetzt werden können und online für alle Interessierten (z. B. auch Privatwaldbesitzende) frei und zentral zugänglich sind.

Überwachung der Schwärmaktivität

Die Schwärmaktivität wird für Buchdrucker, Kupferstecher und Krummzähnigen Tannenborkenkäfer jeweils mittels Pheromonfallen dokumentiert. Es werden einheitliche, artspezifische Pheromonpräparate in gängigen Borkenkäferschlitzfallen verwendet, welche wöchentlich am immer gleichen Wochentag geleert werden. Je nach Art kommen i.d.R. eine bis zwei Fallen pro Standort zum Einsatz, welche frei auf einer Wildwiese oder Freifläche in der Nähe von Wirtsbaumbeständen stehen. Die Käfermenge wird direkt vor Ort bestimmt und an die FVA übermittelt. Andere Insektenarten, die sich eventuell in der Falle befinden (sogenannte Beifänge), werden an Ort und Stelle wieder freigelassen. Um durch die Lockwirkung der Falle keinen Stehendbefall zu verursachen, ist ein Mindestabstand von 30 Metern zum nächsten Wirtsbaum geboten. Dieser Abstand empfiehlt sich auch zwischen den Fallen, um Interaktionen zu vermeiden. Details zur Methodik sind in KAUTZ ET AL. (2021a) ausführlich beschrieben.

Im Rahmen des Fallenmonitorings wird die Populationsgröße nicht wesentlich reduziert, lediglich beobachtet! Die wöchentlichen Fangzahlen geben vorrangig Informationen zum Schwärmbeginn und -ende sowie zu den Hauptschwärmphasen (Abb. 22). Zudem ermöglichen sie einen groben Eindruck über die Populationsdichte der Käfer. Da die absolute Fangzahl allerdings sehr von der Umgebung des Standortes einer Falle abhängt und daher kleinräumig erheblich variieren kann, ist eine Ableitung des großräumigen Befallsrisikos aus (einzelnen) lokalen Fangzahlen stark limitiert (HOCH ET AL. 2019, KAUTZ ET AL. 2021a).

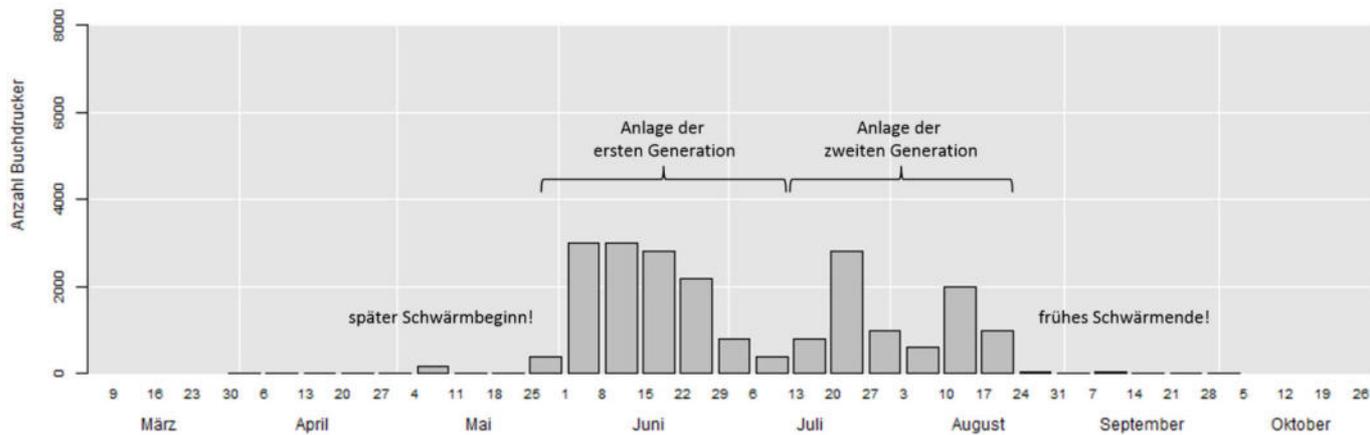


Abb. 22: Beispiel für die online-Darstellung der wöchentlichen Buchdrucker-Fangzahlen in 2021 (Standort Wental/östliche Schwäbische Alb, 640 Meter ü.NN); deutlich erkennbar ist der späte Schwärmbeginn (Ende Mai) und das frühe Schwärmende (Mitte/Ende August), sowie die Hauptschwärmphasen im Juni (Anlage der ersten Generation durch überwinterte Parentalkäfer) und von Mitte Juli bis Mitte August (Anlage der zweiten Generation).

Borkenkäfer-Phänologiemodelle

Neben den direkten Beobachtungen an den Monitoringstandorten unterstützen auch Borkenkäfer-Entwicklungs- oder Phänologiemodelle den Informationsgewinn zur aktuellen Situation. So kann z. B. für Buchdrucker der Schwärmbeginn, die Entwicklung sowie die Generationenzahl mithilfe des PHENIPS-Modells (BAIER ET AL. 2007) anhand eingehender Witterungsdaten grob abgebildet werden (Abb. 23). Die tagesaktuellen Informationen sind – derzeit noch auf DWD-Wetterstationen begrenzt – online abrufbar. Eine flächige Berechnung der Phänologie in Verbindung mit dem abgeleiteten Befallsrisiko befindet sich jedoch im Rahmen der Entwicklung des Borkenkäfer-Frühwarnsystems „IpsRisk“ bereits in der Umsetzungsphase (PUHLMANN & HALLAS 2020).

Monitoringdaten sind hilfreich, um derartige Modelle zunächst einmal zu erstellen, aber auch um diese in der Folge fortlaufend zu validieren und gegebenenfalls anzupassen. Für andere Borkenkäferarten, wie den Kupferstecher oder den Krummzahnigen Tannenborkenkäfer, gibt es derzeit noch keine für Baden-Württemberg anwendbaren Phänologiemodelle.

Um die beobachtete Schwärmaktivität mit der Witterung in Beziehung zu setzen, werden an ausgewählten Standorten zusätzlich Wetterdaten, wie z. B. Temperatur, Globalstrahlung und Niederschlag, gemessen. Die Wetterstation steht in unmittelbarer Nähe zur Falle. Diese Daten können automatisiert von den Stationen abgerufen werden.

Überwachung der Brutentwicklung

Die Brutentwicklung wird beispielgebend für die zwei Arten Buchdrucker und Krummzahniger Tannenborkenkäfer überwacht. Für das Brutbaum-Monitoring werden geeignete Wirtsbäume ausgelegt und für eine kurze Zeit mit einem artspezifischen Pheromon beködert, was eine rasche Besiedlung sicherstellt. Anschließend wird anhand von abgehobenen Rindenfenstern der Entwicklungsfortschritt der angelegten Bruten unter der Rinde wöchentlich dokumentiert. Um den Ausflug der fertig entwickelten Käfer zu verhindern, werden Brutbäume im Wirtschaftswald im frühen Jungkäferstadium entrindet und damit rechtzeitig unschädlich gemacht. Details zur Methodik sind ebenfalls in KAUTZ ET AL. (2021a) ausführlich beschrieben.

Ein Brutbaum zeigt die Entwicklung jeweils einer Generation. Für eine Dokumentation der Generationenentwicklung im Jahresverlauf sind also mehrere Brutbäume zeitlich nacheinander notwendig. Der Brutbaum wird oft stärker besonnt als vergleichbar befallene stehende Bäume im Bestandesinneren. Die Entwicklung im Brutbaum läuft aufgrund der erhöhten Temperatur demnach etwas schneller ab und erlaubt eine um

einige Tage vorfristige Aussage zum Entwicklungsstand der Käfer. Somit kann z. B. der erwartete Zeitpunkt des Ausfluges von entwickelten Jungkäfern prognostiziert werden, um die Befallskontrollen bzw. nachgelagerte Regulierungsmaßnahmen besser steuern zu können. Das Brutbaummonitoring erfordert im Gegensatz zum Fallenmonitoring sowohl einen erhöhten Aufwand als auch notwendige Vorkenntnisse und ist daher für die Anwendung durch die Waldbesitzenden selbst weniger geeignet.

Waldschutz-Kooperation mit Rheinland-Pfalz

Im Rahmen einer langjährigen Kooperation mit Rheinland-Pfalz übernimmt die FVA Baden-Württemberg Waldschutz-Aufgaben auch im benachbarten Bundesland. Aus diesem Grund wird das Borkenkäfermonitoring nach annähernd demselben Standard auch dort durchgeführt. Analog zu Baden-Württemberg wird die Datenaufnahme von Mitarbeitenden der Landesforsten Rheinland-Pfalz betrieben, welche durch die FVA fachlich unterstützt

werden. Die Daten werden ebenfalls wöchentlich aktualisiert online verfügbar gemacht.

Insgesamt gibt es in Rheinland-Pfalz neun Monitoringstandorte für den Buchdrucker (andere Arten werden nicht überwacht), welche sich auf drei Regionen aufteilen: den Pfälzerwald, den Hunsrück (jeweils Fallen und Brutbäume) und die Eifel (nur Fallen). Sie decken somit die südlichen, zentralen und westlichen Landesteile in den Höhenlagen von 300 bis 700 Meter ü.NN hinreichend gut ab.

Ergebnisse der Monitoringsaison 2021

Da das landesweite Konzept in dieser Form erst mit der Saison 2021 startete, können an dieser Stelle noch keine Jahresvergleiche für diese Standorte gemacht werden. Am bereits seit 2020 untersuchten Höhengradienten Freiburg-Feldberg zeigte sich in diesem Jahr aber beispielsweise eine deutliche Abnahme der Buchdrucker-Fangzahlen im Vergleich zum Vorjahr

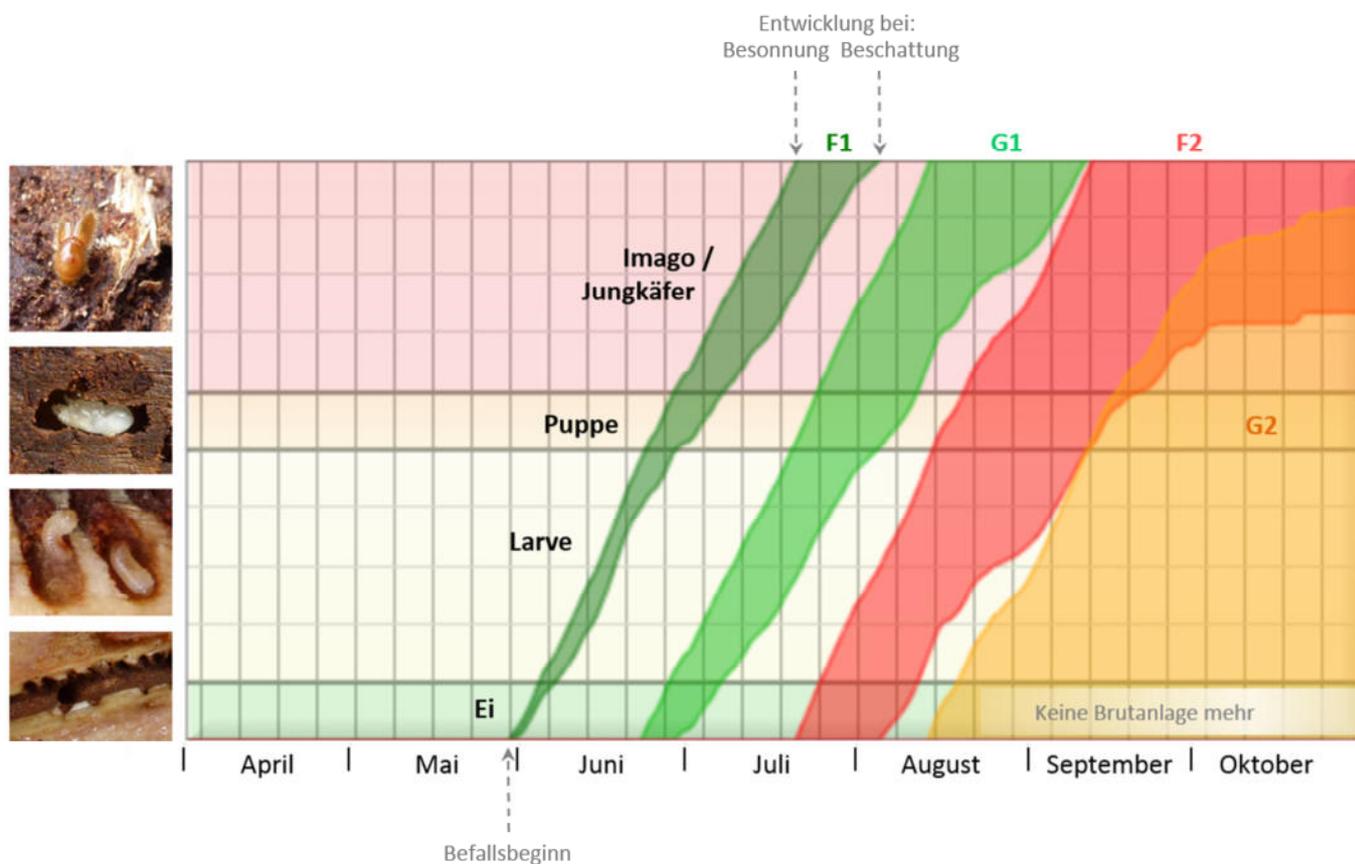


Abb. 23: Entwicklung der Buchdrucker-Generierungen (F1 = 1. Generation, F2 = 2. Generation, Geschwisterbruten G1 und G2) in 2021 am Standort Stötten (östliche Schwäbische Alb, 734 Meter ü.NN; Nähe Wental, vgl. Abb. 22) im PHENIPS-Modell (BAIER ET AL. 2007). Die erste Generation wurde ab Ende Mai angelegt (Befallsbeginn) und flog ab Mitte Juli aus, um die zweite Generation anzulegen; eine 3. Generation wurde nicht mehr angelegt. Die kleinen Fotos links zeigen Ei-, Larven-, Puppen- und Jungkäferstadium (von unten nach oben). (Grafik verändert nach PHENIPS-online BOKU Wien, 2021; Stand: 31.10.2021).

(-76 Prozent); ein Trend, der sich auch im Nationalpark Schwarzwald (-43 Prozent) sowie in Rheinland-Pfalz abgeschwächt widerspiegelt (Pfälzerwald -33 Prozent, Hunsrück -22 Prozent). Es ist daher in diesen Regionen von zum Teil deutlich abnehmenden Populationsdichten auszugehen. Eine dritte Käfergeneration wurde in diesem Jahr oberhalb von 300 Meter ü.NN nicht erreicht, und auch die Anlage einer zweiten Generation erfolgte in den Mittelgebirgen nur eingeschränkt. Sehr deutlich zu beobachten war zudem der landesweit sehr späte Schwärmbeginn (zum Teil erst ab Ende Mai) und ein frühes Schwärmende (ca. Mitte August) in diesem Jahr. Die Witterung in 2021 geht als die „Borkenkäfer-unwirtlichste“ der letzten Jahre in die Statistiken ein.

Die Monitoringergebnisse lassen in Kombination mit den in Baden-Württemberg ebenfalls vielerorts sinkenden insektenbedingten Schadholzanfällen an Fichte, mit regionalen Abweichungen, insgesamt ein Abklingen der seit 2018 ablaufenden Buchdrucker-Massenvermehrung vermuten, sofern sich nicht wieder außergewöhnliche Dürre und Hitze einstellen oder es zu großflächigen Sturmereignissen kommt (KAUTZ ET AL. 2021b).

Wo sind die Informationen abrufbar?

Wöchentlich aktualisierte Monitoringdaten sowie daraus abgeleitete waldschutzfachliche Handlungsempfehlungen für die forstliche Praxis sind in der Schwärmperiode von April bis September für Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz auf der Webseite des FVA-Borkenkäfermonitorings abrufbar. FVA-Borkenkäfer-Newsletter, für die eine Anmeldung auf der angegebenen Webseite erforderlich ist, informieren darüber hinaus per E-Mail mehrmals im Jahr ausführlich über die aktuelle Situation.

Weitere Informationen zum Borkenkäfermonitoring:



www.fva-bw.de/borkenkaefermonitoring

5 STOFFEINTRÄGE

Atmosphärische Schadstoffe werden in gelöster Form mit dem Niederschlag in die Waldböden eingetragen. Zudem filtern Wälder mit ihren Nadeln und Blättern Schadstoffe und Feinstäube aus der Luft heraus. Diese sogenannte Immissionschutzfunktion der Wälder führt einerseits zu einer Verbesserung der Luftqualität, andererseits zu einer zusätzlichen Belastung der Bäume. Aufgrund der großen Kronenoberfläche filtern Wälder die zwei- bis dreifache Schadstoffmenge aus der Luft und dem Niederschlag wie benachbarte Freilandflächen.

Säureinträge

Der stete Eintrag von Säuren, insbesondere durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen, die im Wesentlichen aus Industrie, Verkehr und Landwirtschaft stammen, führte über viele Jahrzehnte zu einer langfristigen Versauerung der Waldböden.

Nachdem die immissionsbedingte Schädigung der Wälder immer offensichtlicher geworden war, wurden in Baden-Württemberg bereits in den Jahren 1982/1983 erste Versuchsfelder zur Messung des Stoffeintrags eingerichtet. Heute liefert ein landesweites Depositionsmessnetz detaillierte Informationen über die aktuellen Säure- und Stoffeinträge sowie ihre Entwicklungstendenzen (Abb. 24).

Seit etwa 30 Jahren sind die Gesamtsäureinträge in die Wälder stark rückläufig – ein Erfolg der konsequent durchgeführten Luftreinhaltmaßnahmen. Trotzdem sind immer noch viele Waldböden Baden-Württembergs weit über das natürliche Maß hinaus versauert. Zur vollständigen Regeneration der Waldböden wurde für Baden-Württemberg ein langfristiges Kalkungskonzept entwickelt. Das Konzept der regenerationsorientierten Bodenschutzkalkung zielt darauf ab, die Wiederannäherung des Waldbodens an einen vor- bzw. frühindustriellen chemischen Zustand zu erreichen (PUHLMANN ET AL. 2021). Damit soll nicht nur der aktuelle Säureeintrag kompensiert, sondern eine weitgehende Regeneration aller anthropogen versauerten Waldböden erreicht werden.

Stickstoff

Der Stickstoffeintrag liegt in vielen Teilen des Landes weiterhin über der ökologischen Belastungsgrenze von Waldbeständen, die für Nadelwälder mit 5 bis 15 kg pro Hektar und Jahr und für Laubwälder mit 10 bis 20 kg pro Hektar und Jahr angegeben wird (BOBBINK ET AL. 2010).

Neben einer zunehmenden Versauerung der Waldstandorte beeinträchtigt ein zu hoher Stickstoffeintrag zugleich die natürliche Filter- und Pufferfunktion der Waldböden. Nicht zuletzt haben hohe Stickstoffeinträge auch unmittelbare Auswirkungen auf die Biodiversität im Wald, indem oftmals seltene, stickstoffmeidende Arten verdrängt werden.

Besonders hohe Stickstoffeinträge sind in Baden-Württemberg vor allem auf den Kammlagen des Schwarzwaldes und des Odenwaldes festzustellen (Stationen „Schauinsland“, „Blauen“ und „Heidelberg“, Abb. 25). Auf diesen exponierten Standorten ist der Anteil an Stickoxiden aus Industrie- und Verkehrsabgasen besonders hoch. Dagegen ist in den ländlichen Regionen der Anteil von Ammonium-Stickstoff, der vornehmlich aus der



Abb. 24: Depositionsbehälter (Vordergrund) und Streusammler (Hintergrund) auf der Versuchsfeldfläche Heidelberg (Foto: A. Hölscher).

intensiven Tierhaltung stammt, höher (Stationen „Ochsenhausen“ oder „Grubenhau“). Vergleichsweise geringe Stickstoffeinträge werden auf Versuchsfächen im Wind- und Regenschatten der Mittelgebirge, wie z. B. an den Stationen „Löffingen“ und „Altensteig“, gemessen.

Nährstoffkationen

Übersteigt der Säure- und Stickstoffeintrag langfristig die Menge, die Pflanzen und andere Konsumenten aufnehmen können, steigt die Gefahr, dass überschüssiger Stickstoff aus dem Boden ausgewaschen wird. Dies belastet nicht nur das Grundwasser. Die Auswaschung von negativen Sulfat- und Nitrationen hat außerdem zur Folge, dass positiv geladene Nährstoffionen wie Calcium und Magnesium aus dem Boden ausgetragen werden. Sind diese basischen Nährelemente nicht mehr ausreichend im Wurzelraum der Bäume verfügbar, kommt es zu Nährstoffungleichgewichten und Mangelsymptomen des Baumbestandes.

Mit der effektiven Filterung der Abluft aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen hat auch die Deposition von Calcium- und Magnesiumverbindungen aus Industrie und Verkehr in den letzten Jahrzehnten abgenommen (Abb. 26). Eine Regeneration der verloren gegangenen Nährstoffvorräte ist deswegen nur durch die Mobilisierung dieser Nährstoffkationen aus der Verwitterung von Gestein oder organischen Materialien möglich. Umso wichtiger ist es daher, insbesondere

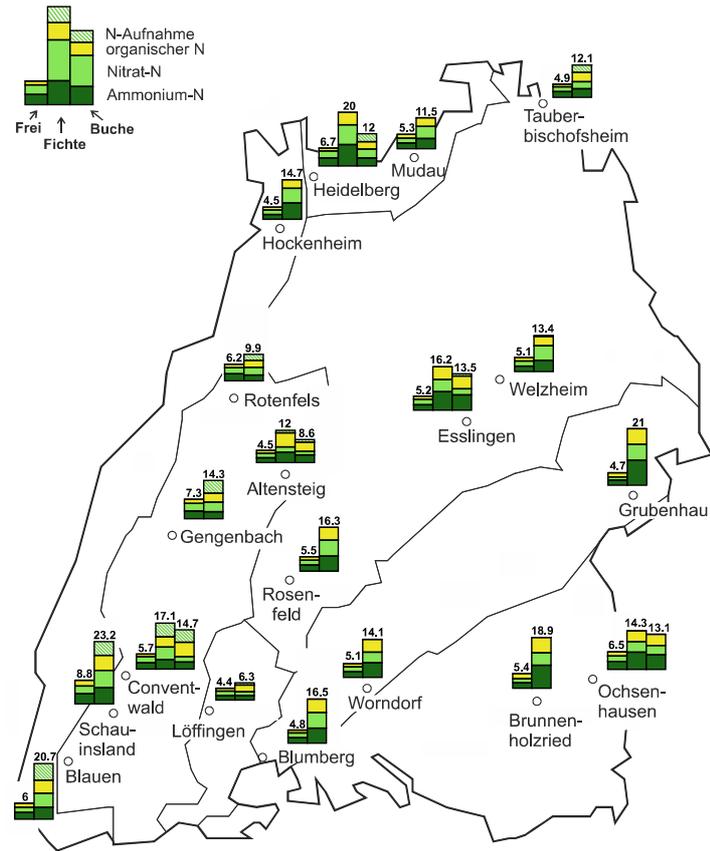


Abb. 25: Regionale Verteilung der Stickstoffeinträge im Jahr 2020 für Freiland-, Fichten- und Buchenflächen. Stickstoff-Aufnahme berechnet nach ULRICH (1991).

auf ärmeren Standorten auf eine nährstoffnachhaltige Holzerte zu achten. Förderlich ist beispielsweise das Belassen von Rinden- und Kronenmaterial im Bestand, da in diesem überpro-

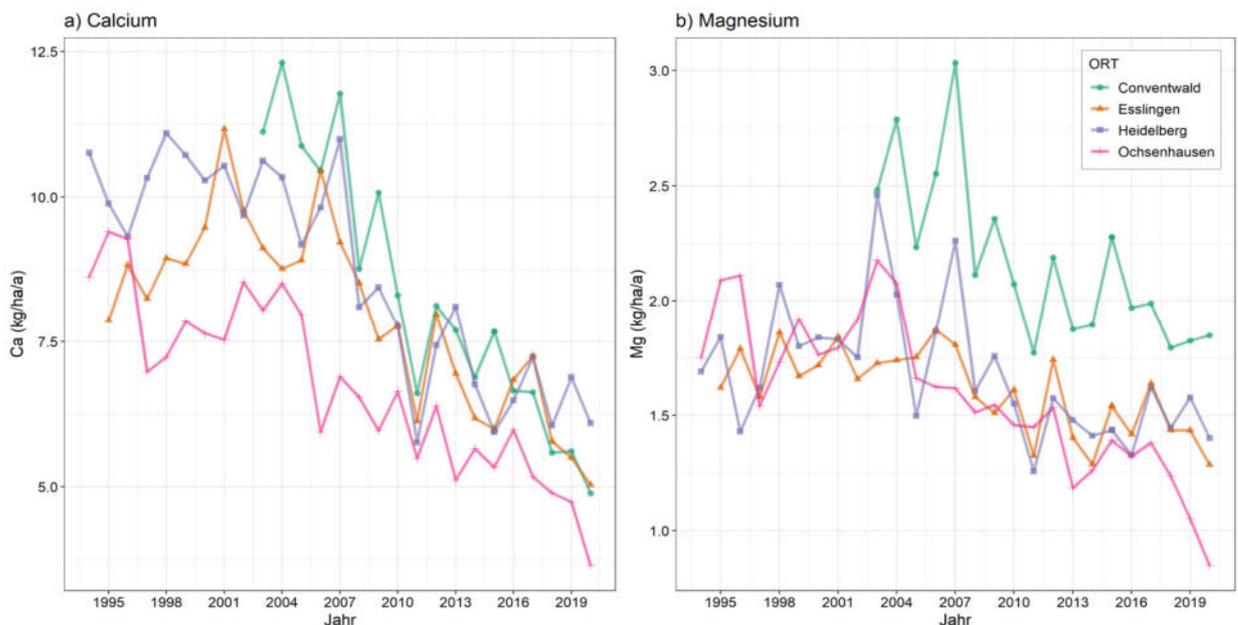


Abb. 26: Zeitliche Entwicklung der Deposition von Calcium (links) und Magnesium (rechts) von 1994 bis 2020 auf Fichten-Versuchsfächen des Intensiven Ökosystemmonitorings Baden-Württembergs.

portional große Nährstoffmengen gespeichert sind. Unbedingt mit den ökologischen Bedingungen des Standorts abzugleichen ist eine geplante intensivere Holz- und Biomassenutzung, z. B. zur Erzeugung von Holzhackschnitzeln.

Zusätzlich können durch die Ausbringung von Dolomitkalk im Rahmen der Bodenschutzkalkung auf anthropogen versauerten Standorten die Nährelementsituation der Waldbäume, die Filter- und Pufferkapazität der Böden und die Lebensbedingungen für die Bodenfauna verbessert werden. Eine Beimischung von Holzasche auf stark verarmten Standorten soll dabei langfristig auch die versauerungsbedingt beeinträchtigte Ausstattung der Böden mit den Nährstoffkationen Kalium und Phosphor regenerieren.

Ozon

Ozon (O_3) ist ein stark oxidierendes, geruchloses Gas, welches sich bei höheren Konzentrationen schädlich auf die menschliche Gesundheit und das Pflanzenwachstum auswirkt. In der Stratosphäre, in einer Höhe von etwa 20 Kilometern, schützt die natürliche Ozonschicht die Erdoberfläche vor schädlicher Ultraviolettstrahlung. Dagegen kommt Ozon in Bodennähe natürlicherweise nur in sehr geringen Konzentrationen vor. Allerdings kann es bei hoher Sonneneinstrahlung aus der Reaktion der Vorläufersubstanzen Stickstoffdioxid und flüchtigen Kohlenwasserstoffen, die überwiegend aus Autoabgasen und Industrieemissionen hervorgehen, gebildet werden.

Zwischen städtischen und ländlichen Räumen gibt es deutliche Unterschiede in der Ozonkonzentration der bodennahen Luft. In der Stadt kann sich an warmen, sonnigen Tagen aufgrund hoher Konzentrationen der Vorläufersubstanzen schnell Ozon bilden. Zugleich führt das vorhandene Stickstoffmonoxid (NO) zu einem Abbau, so dass in der Nacht – bei ausbleibender Neubildung – die Ozonkonzentration in der Stadt wieder deutlich absinkt. Dagegen bildet sich im ländlichen Raum tagsüber weniger Ozon; es findet jedoch aufgrund der geringeren Verfügbarkeit von NO nachts auch kaum ein Abbau statt. In länger anhaltenden Schönwetterphasen wird deshalb auf dem Land meist eine höhere Ozonkonzentration gemessen als in der Stadt.

Seit den 1990er Jahren ist in Baden-Württemberg ein abnehmender Trend bei der Immissionsbelastung durch Ozon festzustellen (LUBW 2021). Dennoch wird der Zielwert (8-Stundenmittelwert von mehr als $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an maximal 25 Tagen im Jahr) an vielen Stationen noch regelmäßig überschritten.

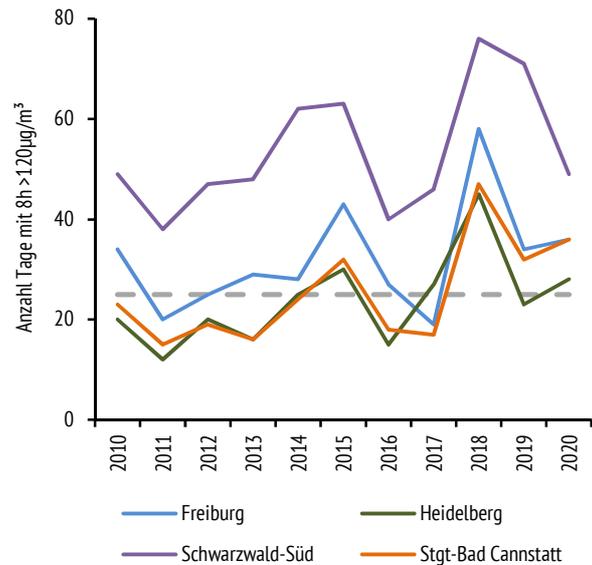


Abb. 27: Überschreitung des 8-Stundenmittelwertes von mehr als $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon pro Jahr für die Stationen Freiburg, Schwarzwald-Süd, Heidelberg und Stuttgart-Bad Cannstatt für die Jahre 2010 bis 2020. Die gestrichelte Linie stellt den Zielwert von 25 Tagen pro Jahr dar (Daten: LUBW, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg).

Insbesondere in den sehr warmen und sonnenreichen Jahren 2015 und 2018 wurde vielerorts ein deutlich erhöhter Ozonwert in der Luft registriert (Abb. 27). Die ländlichen Messstationen, wie z. B. die Station „Schwarzwald Süd“, zeigen aufgrund der starken Anreicherung in der Luft und des geringen Abbaus durch Stickstoffmonoxid (NO) gegenüber allen anderen Stationen eine deutlich höhere Ozonkonzentration.

Das stark reaktive Gas Ozon gelangt über die Spaltöffnungen der Nadeln und Blätter in den Zellapparat der Pflanze und schädigt dort zunächst die für die Photosynthese wichtigen Zellen des Palisadenparenchyms (VOLLENWEIDER ET AL. 2019). Bei Überbelastung sterben die Zellen ab, was Auswirkungen auf wichtige Stoffwechselfunktionen der Pflanze hat. Kammerversuche belegen zudem einen negativen Einfluss von Ozon auf das Baumwachstum (PRETZSCH ET AL. 2010). Besonders häufig treten Ozonschäden an stark besonnten Ästen der Pflanze auf.

Zunächst bilden sich zwischen den Blattnerven auf der Blattoberseite typische punktförmige Flecken, die sich bei stärkerer Schädigung zu flächigen Nekrosen ausbreiten können (Abb. 28). Symptome auf der Blattunterseite sind erst im späteren Verlauf zu erkennen. Da durch eine längere Belastung der Schädigungsgrad zunimmt, sind an älteren Nadeln bzw. Blättern meist mehr Ozonsymptome festzustellen. Ein typisches Merkmal bei der Bestimmung von Ozonschädigungen ist zudem der sogenannte „Schatteneffekt“. Dabei weisen Blattbereiche, die von

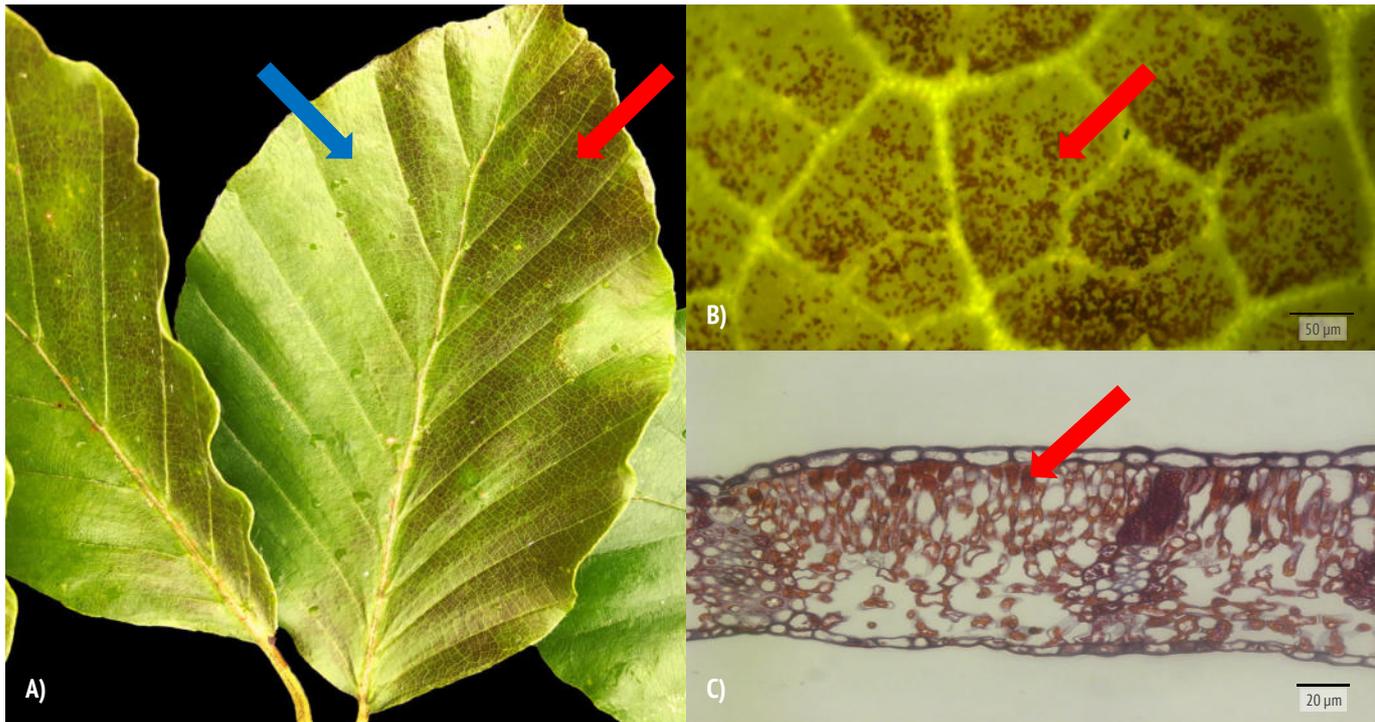


Abb. 28: Blattschädigung an Buche durch Ozon. A) Buchenblatt mit typischen Ozonsymptomen, B) Mikroskopaufnahme Buchenblattaufsicht C) Mikroskopaufnahme Buchenblattquerschnitt. Rote Pfeile: Schädigung des Palisadenparenchyms sichtbar als dunkle Flecken auf der Blattoberseite. Blauer Pfeil: Bereich mit „Schatteneffekt“ ohne Schädigung (Fotos A+B: S. Meining, C: Professur für Forstbotanik, Universität Freiburg).

Nachbarblättern längere Zeit überdeckt waren, keine Symptome auf. Im Gegensatz zu reinen Strahlungsschäden verursacht Ozon keine Schädigung der äußeren Zellschicht (Epidermis).

Spaltöffnungen ihrer Blätter im Verlauf des Sommers länger geöffnet halten und sind somit einer höheren Ozonbelastung ausgesetzt.

Ozonschäden im Wald werden in Baden-Württemberg jährlich auf den Versuchsfeldern des Intensiven Ökosystemmonitorings dokumentiert. Dies geschieht nach einem international abgestimmten Verfahren auf besonnten Freiflächen, sogenannten LESS-Flächen (Light Exposed Sampling Site), auf denen vornehmlich Jungpflanzen innerhalb festgelegter Untersuchungsplots hinsichtlich Ozonsymptomen untersucht werden. Auf jeder LESS-Fläche werden bis zu 25 Untersuchungsplots angelegt. Die beobachteten Schäden zeigen für die letzten Jahre einen abnehmenden Trend (Abb. 29). Ozonsymptome an Waldbäumen treten dennoch weiterhin regelmäßig auf unterschiedlichen Flächen auf, vermehrt in Jahren mit hoher Sonneneinstrahlung wie 2015 oder 2018.

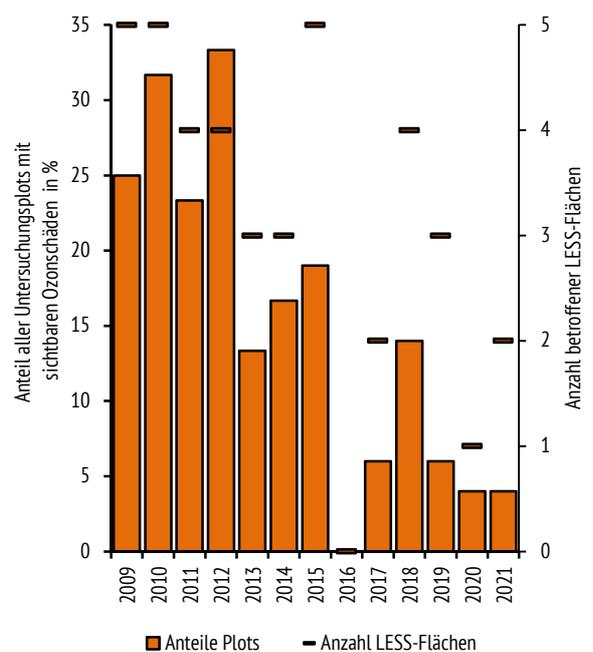


Abb. 29: Anteil der Untersuchungsplots aller LESS-Flächen mit sichtbaren Ozonschäden und Anzahl der betroffenen LESS-Flächen für die Jahre 2009 bis 2021.

Da Ozonsymptome oftmals an Buchenblättern festzustellen sind, werden seit einigen Jahren auch die im Rahmen der ernährungskundlichen Untersuchung genommenen Blattproben von Altbuchen untersucht. Hier zeigt sich häufig eine stärkere Ausprägung der Ozonschädigung. Durch die oftmals bessere Wasserverfügbarkeit von älteren Bäumen können diese die

6 DIE BODENFAUNA IN DEN WÄLDERN BADEN-WÜRTTEMBERGS

Lebensraum Boden

Böden sind eine der wichtigsten natürlichen Ressourcen und bilden die Grundlage für die Nettoprimärproduktion und somit für das gesamte terrestrische Nahrungsnetz. Zudem bilden Böden ein wichtiges Reservoir der biologischen Vielfalt. Mehr als 40 Prozent aller landlebenden Organismen besiedeln permanent oder periodisch den Boden und es wird vermutet, dass die unterirdische Gesamtbiomasse der oberirdischen entspricht oder diese sogar übersteigt (FAO REPORT 2020).

Waldböden sind besonders dicht mit Lebewesen besiedelt und weisen eine hohe Artenvielfalt auf. Neben mikroskopisch kleinen Einzellern wie Bakterien und Pilzen bilden vor allem wirbellose Tiere wie Springschwänze, Hornmilben und Regenwürmer einen wichtigen Bestandteil der Biodiversität im Boden. Durch ihre Grabaktivität und die Zersetzung toter organischer Materie tragen die Bodenorganismen wesentlich

zur Bodendurchlüftung, -drainage und -fruchtbarkeit bei, weshalb ihnen eine zentrale Bedeutung für das Ökosystem zukommt (BARDGETT 2006). Aufgrund ihrer geringen Größe und Schwierigkeiten in der Beobachtung sind diese Arten allerdings weit weniger gut erforscht als oberirdisch lebende Spezies (EISENHAUER ET AL. 2019). Die defizitäre Datenlage erschwert die Beurteilung zur Verbreitungs- und Gefährdungssituation bodenlebender Tierarten.

Bodenfaunamonitoring

Mit dem Projekt „Biodiversität von Waldböden: Bodenfauna“, ein Teil des Sonderprogramms des Landes zur Stärkung der biologischen Vielfalt, soll der Grundstein für ein langfristiges Monitoring der Bodentiere in den Wäldern Baden-Württembergs gelegt werden. Das Monitoring soll zum einen die geographische Verbreitung von Bodentierarten erfassen und deren

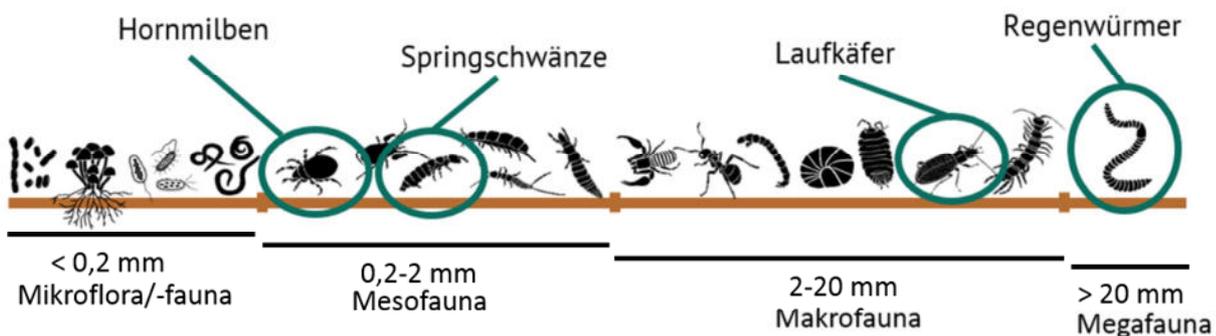


Abb. 30: Klassifizierung der Bodenorganismen nach ihrer Körpergröße (nach SWIFT ET AL. 1979) und Beispiele von im Projekt untersuchten Tiergruppen: a) Laufkäfer, b) Regenwürmer, c) Hornmilben und d) Springschwänze. Fotos: Dr. Sarah Bluhm, Zeichnungen Bodenorganismen: Svenja Meyer; Georg-August-Universität Göttingen, Abt. Tierökologie

zeitliche Veränderung beobachten. Zum anderen können Risiken für den Erhalt der natürlichen Diversität der Bodentiergemeinschaften, wie etwa klimatische Änderungen oder Einflüsse der Waldbewirtschaftung, erkannt werden. Hieraus gewonnene Erkenntnisse sollen helfen, evidenzbasierte Empfehlungen für Forstpraxis und -politik zu liefern.

Für das Monitoring wurden bislang 129 Untersuchungsflächen in den Wäldern Baden-Württembergs ausgewählt, auf denen Abundanz und Gemeinschaftsstruktur relevanter Bodentiergruppen erfasst wurden. Die ausgewählten Untersuchungsflächen sind Teil bereits bestehender nationaler und internationaler Monitoring- und Projektflächennetze wie der Bodenzustandserhebung (BZE) und des Forstlichen Umweltmonitorings

(Level II). Um die Auswirkungen eines Bewirtschaftungsverzichts (Prozessschutzflächen) und von Bodenschutzkalkungen auf die Bodenfauna zu untersuchen, wurde zudem auf FVA-interne Flächennetze zurückgegriffen. Durch die Einbeziehung vorhandener Monitoring- und Inventurflächen können die Bodentierdaten mit einer Vielzahl an Umweltvariablen, die im Rahmen dieses Monitorings/dieser Projekte erhoben werden, verknüpft werden. Langfristig sollen so Erkenntnisse über die Auswirkungen von langsam, aber stetig und flächendeckend ablaufenden Prozessen, wie die Bodenversauerung und -eutrophierung und klimatische Veränderungen, sowie Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf die Bodenfauna abgeleitet werden.

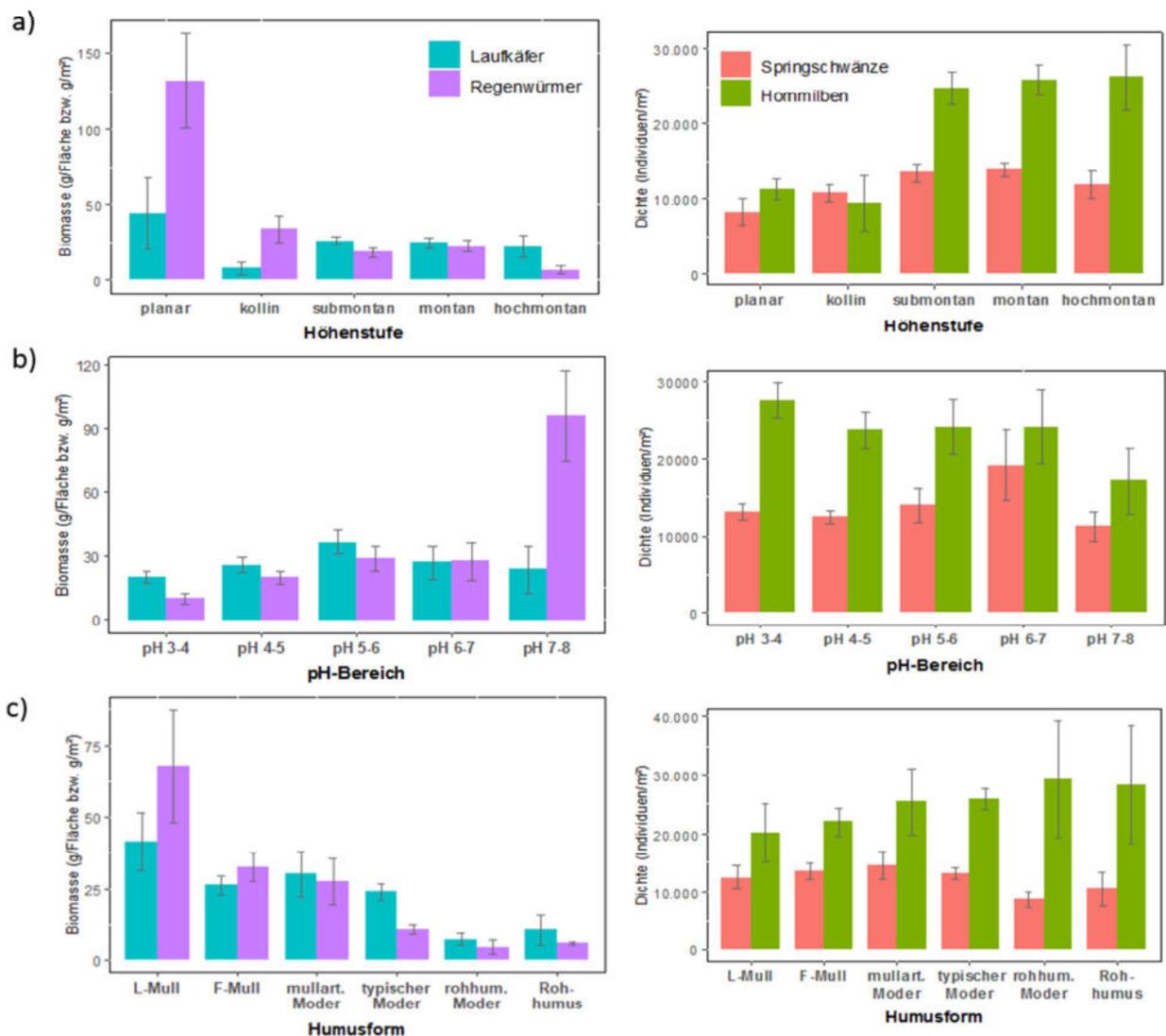


Abb. 31: Dichte von Hornmilben und Springschwänzen und Biomasse von Regenwürmern und Laufkäfern entlang der natürlichen Gradienten a) Höhenstufe, b) pH-Wert und c) Humusform. Biomasse Regenwürmer in g/m²; Biomasse Laufkäfer in g/Fläche (Fänge aus drei Bodenfallen innerhalb von vier Wochen).

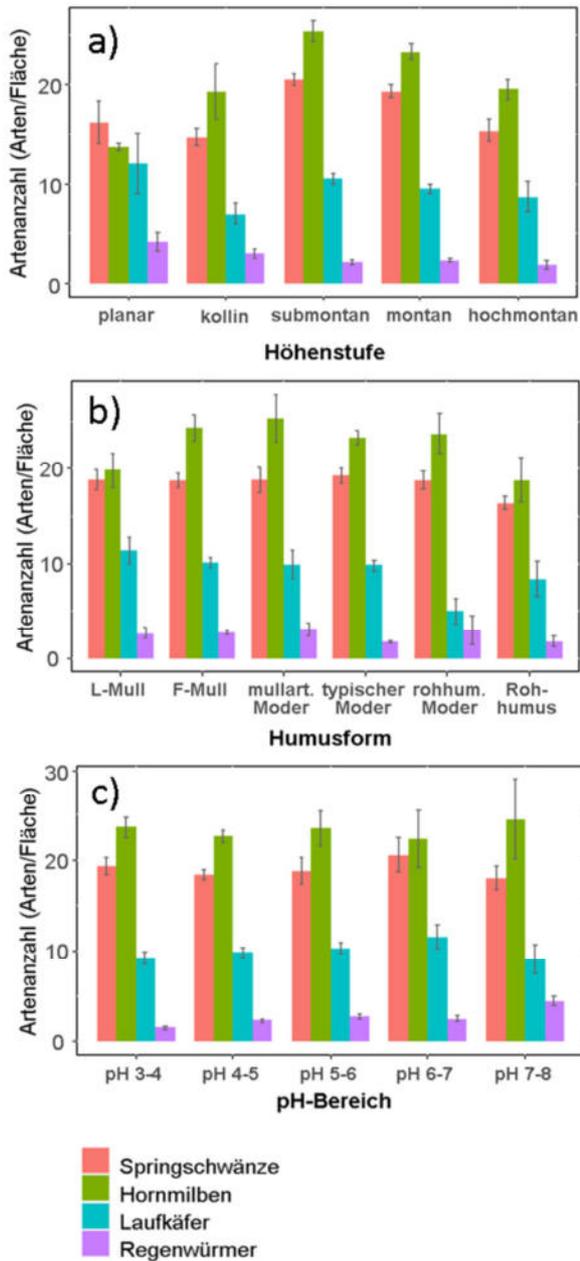


Abb. 32: Artenzahl der untersuchten Bodentiergruppen entlang der natürlichen Gradienten a) Höhenstufe, b) pH-Wert und c) Humusform

Untersuchte Artengruppen

Aus der Vielzahl an Tiergruppen, die den Boden besiedeln, wurden Regenwürmer, Laufkäfer, Springschwänze und Hornmilben als Repräsentanten für eine genauere Untersuchung ausgewählt (Abb. 30).

Diese Artengruppen decken sowohl verschiedene Ernährungsweisen als auch unterschiedliche Größenklassen ab und besiedeln verschiedene Schichten des Bodens. Die als Makro- bis Megafauna geltenden Regenwürmer fungieren als Primärzersetzer, d. h. sie ernähren sich von totem pflanzlichen Material. Durch ihre Grabtätigkeit bis tief in den Mineralboden haben sie großen Einfluss auf das Bodengefüge und bilden wertvolle Mikrohabitate für die Mikro- und Mesofauna. Zu letzterer zählen die sehr arten- und individuenreichen Springschwänze und Hornmilben, welche hauptsächlich in der Humusaufgabe zu finden sind. Neben vereinzelt Pflanzenfressern, Räubern und Primärzsetzern handelt es sich bei ihnen vorwiegend um pilz- und bakterienfressende Sekundärzersetzer. Die Laufkäfer wiederum sind eine vorwiegend räuberisch lebende Gruppe der Makrofauna, die die obere Boden- und Streuschicht besiedelt.

Insgesamt wurden im Rahmen des Projektes bislang 21 Regenwurm- (5.199 Individuen), 67 Laufkäfer- (8.650 Individuen), 117 Springschwanz- (34.153 Individuen) und 160 Hornmilbenarten (46.289 Individuen) erfasst. Die zwei Springschwanzarten *Protaphorura saltuaria* und *Stenaphorura lubbocki* sowie die Raubmilbenart *Amblyseius angulatus* konnten zum ersten Mal in Deutschland nachgewiesen werden.

Einfluss natürlicher Umweltgradienten

Regenwurmbiomassen und -artenanzahlen waren am höchsten in Wäldern der planaren Höhenstufe mit neutralen bis schwach sauren Böden, welche sich vor allem in der Oberrheinischen Tiefebene finden (Abb. 31a, b und 32a, c). Hier fanden sich neben den auch auf sauren Standorten vorkommenden epigäischen (streulebenden) Arten auch hohe Anteile endogäischer (im Oberboden lebender) und anezischer Arten, die tiefer in den Mineralboden eindringen. Ebenso zeigten die Laufkäfer in diesen Wäldern hohe Biomassen (Abb. 31a, b). Möglicherweise profitieren diese von dem hohen Beutevorkommen und den offeneren Waldstrukturen, wie sie beispielsweise Auwälder bieten.

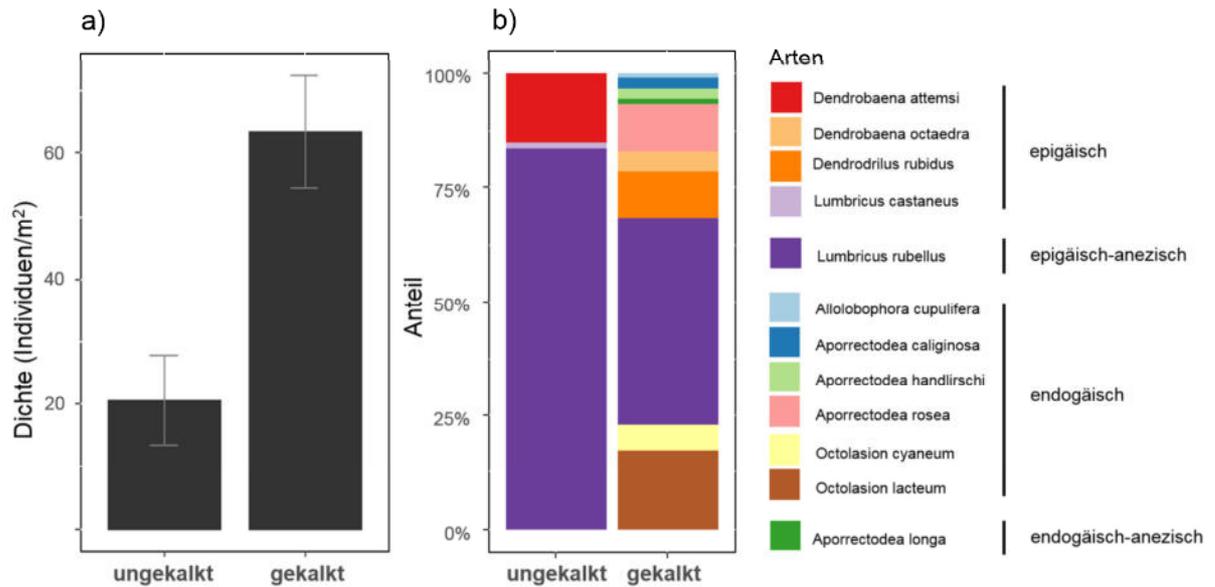


Abb. 33: Auswirkung der Bodenschutzkalkung auf a) Dichte und b) Artenzusammensetzung von Regenwürmern

Die Humusform, als Zeiger für die biologische Zersetzungsaktivität, ist eng mit der Biomasse von Regenwürmern verknüpft. Diese ist am höchsten in Wäldern mit L-Mull, nimmt kontinuierlich in Richtung rothumusartiger Moder und Rohhumus ab und verdeutlicht so die Schlüsselrolle dieser Tiergruppe im Zersetzungsprozess (Abb. 31c). Einen gegensätzlichen Trend erkennt man bei den vorwiegend humusbesiedelnden Hornmilben. So finden sich die höchsten Dichten in sauren Böden höher gelegener Standorte mit moder- bis rothumusartigen Humusformen (Abb. 31b, c). Die Artenanzahl der Hornmilben, ebenso wie die der Springschwänze, hat ihr Maximum allerdings in Böden mit Moder-Humusformen und an Standorten mittlerer Höhenlagen (Abb. 32a, b).

Wirkung von Bodenschutzkalkungen

Zur Untersuchung der Auswirkung von Waldkalkungen auf chemische und biologische Parameter wurden in unterschiedlichen Wuchsgebieten Baden-Württembergs acht Versuchsstandorte auf versauerungsanfälligen Böden eingerichtet, auf denen gekalkte Waldflächen mit nicht gekalkten Kontrollflächen verglichen werden. Im Rahmen des Projektes wurden diese Standorte bezüglich ihrer Wirkung auf die Bodenfauna untersucht.

Die Bodenschutzkalkung führte zu mehr als dreifach höheren Regenwurmdichten und -artenanzahlen im Vergleich zu den Kontrollflächen (Abb. 33a, b). Von dem nach Kalkungen

erhöhten pH-Wert profitieren vor allem mineralbodenbewohnende (endogäische und endogäisch-anezische) Arten, die auf keiner der ungekalkten Kontrollflächen nachgewiesen werden konnten.

Der Effekt auf die vorwiegend in der Humus- und Streuschicht lebenden Bodentiergruppen fiel dagegen weniger deutlich aus. Weder Artenvielfalt noch Dichte von Springschwänzen als auch Laufkäfern wurden von der Bodenschutzkalkung beeinflusst, jedoch konnte eine Abnahme der Hornmilbendichte um ca. 20 Prozent festgestellt werden. Die Ursache hierfür liegt vermutlich in der stark erhöhten Regenwurmdichte, welche durch die gesteigerte Fraßaktivität zu einer Verminderung der Streu- und Humusschicht und damit einem Habitatverlust für Hornmilben führt.

Einflüsse der Waldbewirtschaftung

Sowohl Laufkäfer als auch Hornmilben und Springschwänze wiesen die höchste Artenvielfalt in Mischwäldern auf (Abb. 34a). Laufkäfer und Springschwänze erreichten in diesen Wäldern auch ihre größte Biomasse bzw. Dichte, Hornmilben hingegen in Nadelwäldern (Abb. 34b, c). Artenanzahl und Biomasse der Regenwürmer waren am höchsten in Laubwäldern und nahmen über Mischwälder hin zu Nadelwäldern stetig ab (Abb. 34a, b).

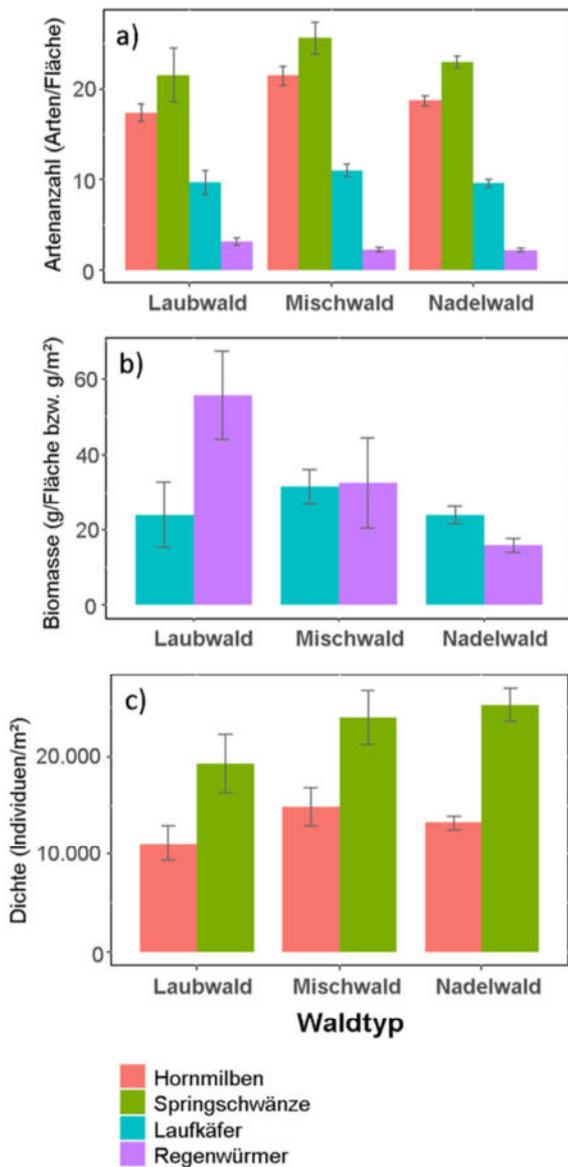


Abb. 34: Einfluss des Waldtyps auf a) Artenzahl der untersuchten Bodentiergruppen, b) Biomasse von Regenwürmern und Laufkäfern und c) Dichte von Hornmilben und Springschwänzen. Biomasse Regenwürmer in g/m²; Biomasse Laufkäfer in g/Fläche (Fänge aus drei Bodenfallen innerhalb von vier Wochen)

Um die Auswirkung eines Bewirtschaftungsverzichts auf die Bodenfauna zu untersuchen, wurden 15 Prozessschutzwälder, in denen die Bewirtschaftung seit längerer Zeit eingestellt wurde, mit 15 jeweils benachbarten, naturnah bewirtschafteten Wäldern im Nord- und Südschwarzwald verglichen.

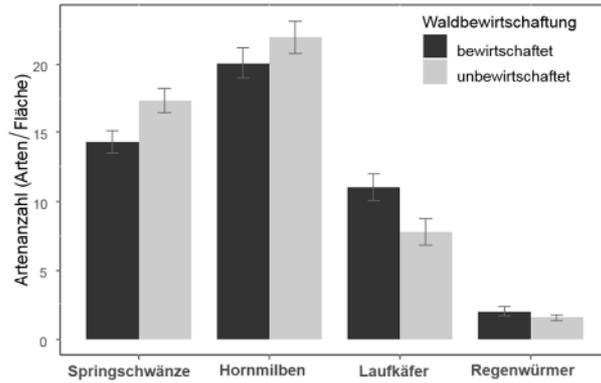


Abb. 35: Artenzahl der untersuchten Bodentiergruppen in bewirtschafteten und unbewirtschafteten (Prozessschutzwäldern) Wäldern des Schwarzwaldes.

Entgegen der Erwartungen hatten die Flächenstilllegungen keinen Einfluss auf die Individuendichte der untersuchten Bodentiergruppen. Allerdings konnten leichte Unterschiede in der Artenzahl von Springschwänzen und Laufkäfern festgestellt werden. Während in naturnah bewirtschafteten Wäldern durchschnittlich etwa 15 Arten von Springschwänzen vorkamen, waren es auf den Prozessschutzwäldern im Mittel mehr als 17 (Abb. 35). Die Artenzahl von Laufkäfern war hingegen auf stillgelegten Flächen um ein Viertel niedriger als in den benachbarten Wirtschaftswäldern. Möglicherweise ist dies auf die weniger dichte Kronenstruktur und den höheren Anteil an Wegen bzw. Rückegassen bewirtschafteter Wälder zurückzuführen, welche das Vorkommen offenland-präferierender Arten begünstigen.

Folgerungen

Aufgrund ihrer hohen Diversität und Abundanz spielen Bodentiere eine bedeutende Rolle für essentielle Nährstoffkreisläufe und die Verfügbarmachung von Nährstoffen für Bäume. Die Ergebnisse des landesweiten Bodenfaunamonitorings zeigen, dass die vielgestaltigen Wälder Baden-Württembergs auch eine reiche Bodenfauna beherbergen (Abb. 36). Insbesondere Mischwälder stellen Hot-Spots der Bodentiervielfalt dar, während sich Dichte und Biomasse der einzelnen Tiergruppen vor allem entlang von standörtlichen Gradienten wie der Höhenstufe, der Humusform und dem pH-Wert unterscheiden.



Abb. 36: Ausschnitt einer Mesofaunaprobe (Foto: C. Bluhm, Lu Kurcsics)

Veränderungen der Bodenverhältnisse, etwa durch Stoffeinträge, Klimaänderungen oder Wechsel in der Bewirtschaftungsweise, können aufgrund der kurzen Generationszyklen von Bodentieren äußerst rasche und starke Auswirkungen auf die Bodentiergemeinschaft haben. Allerdings zeigt das Beispiel der Bodenschutzkalkung auch, dass negative Auswirkungen, wie sie z. B. in der Folge des Eintrags starker Säuren in einer Artenarmut unnatürlich versauerter Waldböden resultieren, mit geeigneten, standortsangepassten Maßnahmen bis zu einem gewissen Grad auch wieder umkehrbar sind.

Das Bodenfaunamonitoring stellt ein wichtiges Instrument dar, um Veränderungen der Bodentierdiversität und damit gekoppelte Funktionen für Waldökosysteme frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig Gegenmaßnahmen einzuleiten.

7 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Die Wälder Baden-Württembergs stehen aktuell vor großen Herausforderungen. Die Veränderungen des Klimas wirken sich unmittelbar auf den Zustand der Wälder und ihre zahlreichen Ökosystemleistungen aus. Für die zukünftige Entwicklung und Bewirtschaftung der Wälder liefert das Forstliche Umweltmonitoring eine wichtige Datenbasis. Die in ihrer Form einzigartigen Datenzeitreihen des Langzeitmonitorings stellen insbesondere im Zusammenhang mit dem Klimawandel eine unverzichtbare Grundlage dar, um kritische Bedingungen für die Vitalität und das Wachstum unterschiedlicher Waldgesellschaften, wie z. B. extreme Witterung, Trockenstress oder mangelhafte Nährstoffversorgung, einschätzen zu können. Die Versuchsflächen des Intensiven Ökosystemmonitorings wurden in Baden-Württemberg zu diesem Zweck innerhalb der letzten Jahre gezielt erweitert, so dass speziell extreme Witterungsereignisse wie Dürren sowie die Reaktion der Waldökosysteme besser erfasst werden können. Die Daten des Forstlichen Umweltmonitorings werden von zahlreichen Forschenden genutzt und eine Vielzahl von Versuchsvorhaben baut darauf auf, um zusätzliche

Erkenntnisse für den Wald von morgen zu gewinnen. Dabei zeigt sich die Wichtigkeit kontinuierlich erhobener Daten, mit deren Hilfe Anpassungskonzepte für die Waldbewirtschaftung erstellt und eingeleitete Maßnahmen fortwährend überprüft werden können.

Nach mittlerweile über 30 Jahren hat sich das Forstliche Umweltmonitoring in der Kombination von extensiven Großrauminventuren und intensiven Versuchsflächen zu einem umfassenden Untersuchungsprogramm entwickelt, welches alle auf die Wälder einwirkenden Umweltfaktoren mit geeigneter Genauigkeit erfasst und die Reaktion der Wälder detailliert dokumentiert. Die Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings beinhalten zum einen Parameter, die sich auf den Waldbestand beziehen, wie z. B. Kronenzustand, Phänologie, Zuwachs und Ernährungssituation der Bäume. Zum anderen werden aber auch vielfältige Standortparameter der Wälder, wie z. B. Witterung, Stoffeinträge, Bodenzustand und Sickerwasser erfasst (Abb. 37).

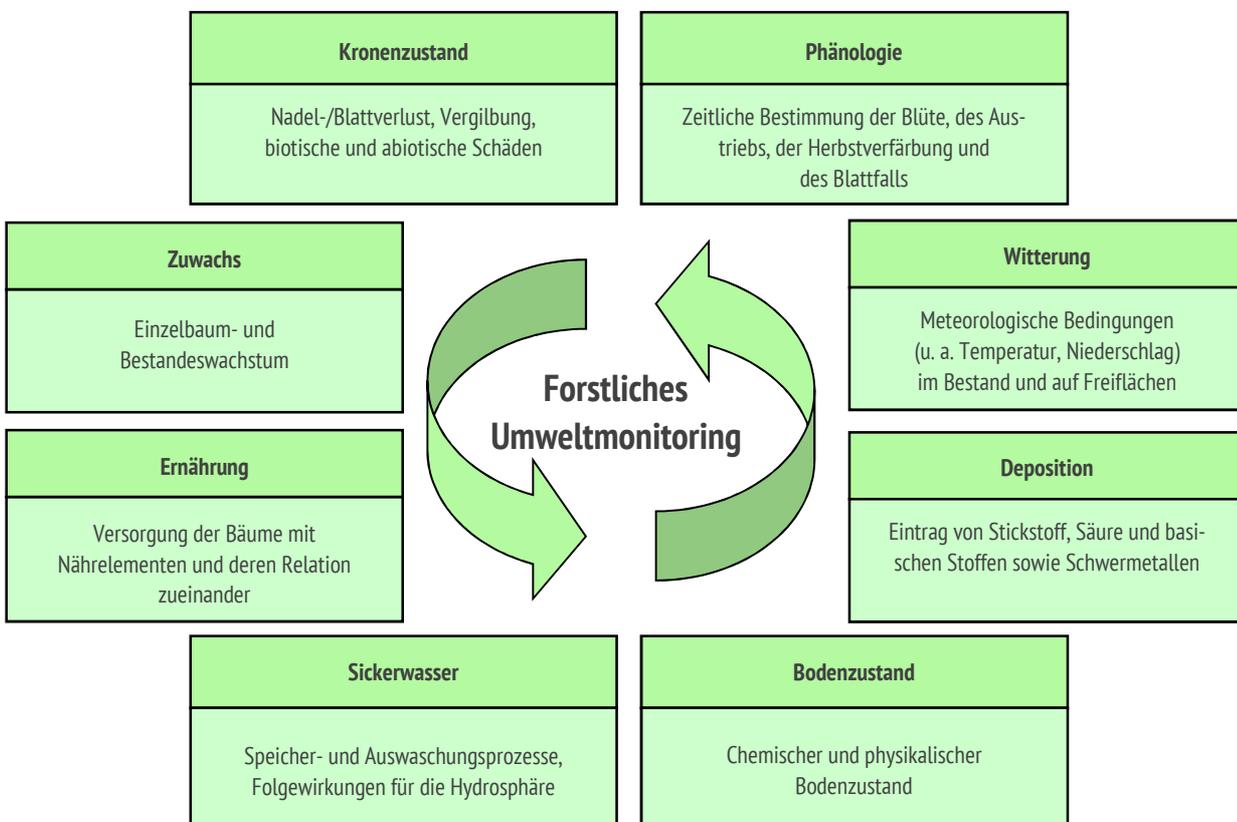


Abb. 37: Themen und Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings.

Methodischer Aufbau

Das Forstliche Umweltmonitoring gliedert sich methodisch in zwei unterschiedliche Ebenen: die Rasterstichproben und die Versuchsflächen. Die Rasterstichproben liefern als Großrauminventuren aufgrund ihres hohen Stichprobenumfangs und der streng systematischen Auswahl der Stichprobenpunkte flächenrepräsentative Ergebnisse für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs. Zu den Rasterstichproben zählt die Waldzustandserhebung (WZE), die Bodenzustandserhebung (BZE) und die Immissionsökologische Waldernährungsinventur (IWE).

Die Lage der Stichprobenpunkte wird allein durch den Abstand des Aufnahme­rasters bestimmt (Abb. 38, links). Jeder Rasterpunkt im Wald wird als Aufnahmepunkt angelegt, unabhängig von Standort, Baumartenzusammensetzung oder sonstigen Kriterien. Den bisherigen Aufnahmen der Waldzustandserhebung lagen in der Vergangenheit unterschiedliche Raster (4x4, 8x8 und 16x16 km-Netz) zugrunde. Seit dem Jahr 2005 werden in Baden-Württemberg alle Erhebungen der Rasterstichproben auf einem einheitlichen 8x8 km-Netz durchgeführt, so dass integrierende Auswertungen zwischen den verschiedenen Erhebungsjahren erleichtert werden.

Im Gegensatz zu den Rasterstichproben wird die geografische Lage der Versuchsflächen nicht systematisch, sondern entsprechend der Zielstellung des jeweiligen Monitorings ausgewählt. Hierbei können der Standort, die Baumartenzusammensetzung, das Baumalter oder die Verteilung der Versuchsflächen im Land ausschlaggebend für die Auswahl sein. Auf den Versuchsflächen werden viele verschiedene Umweltparameter mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung untersucht. Zu den Versuchsflächen des Forstlichen Umweltmonitorings zählen die Flächen des Intensiven Ökosystemmonitorings, die Depositionsflächen (Abb. 38, rechts), die Waldklimastationen und die Dauerbeobachtungsflächen.

Internationale Einbindung

Das Forstliche Umweltmonitoring Baden-Württembergs ist sowohl in nationale als auch in internationale Umweltprogramme eingebunden. Von den Rasterstichproben liegen insgesamt 52 Punkte auf dem europäischen Aufnahmenetz (16x16 km-Netz), dessen Ergebnisse in das europäische Umweltmonitoring-Programm ICP-Forests (Level I) einfließen.

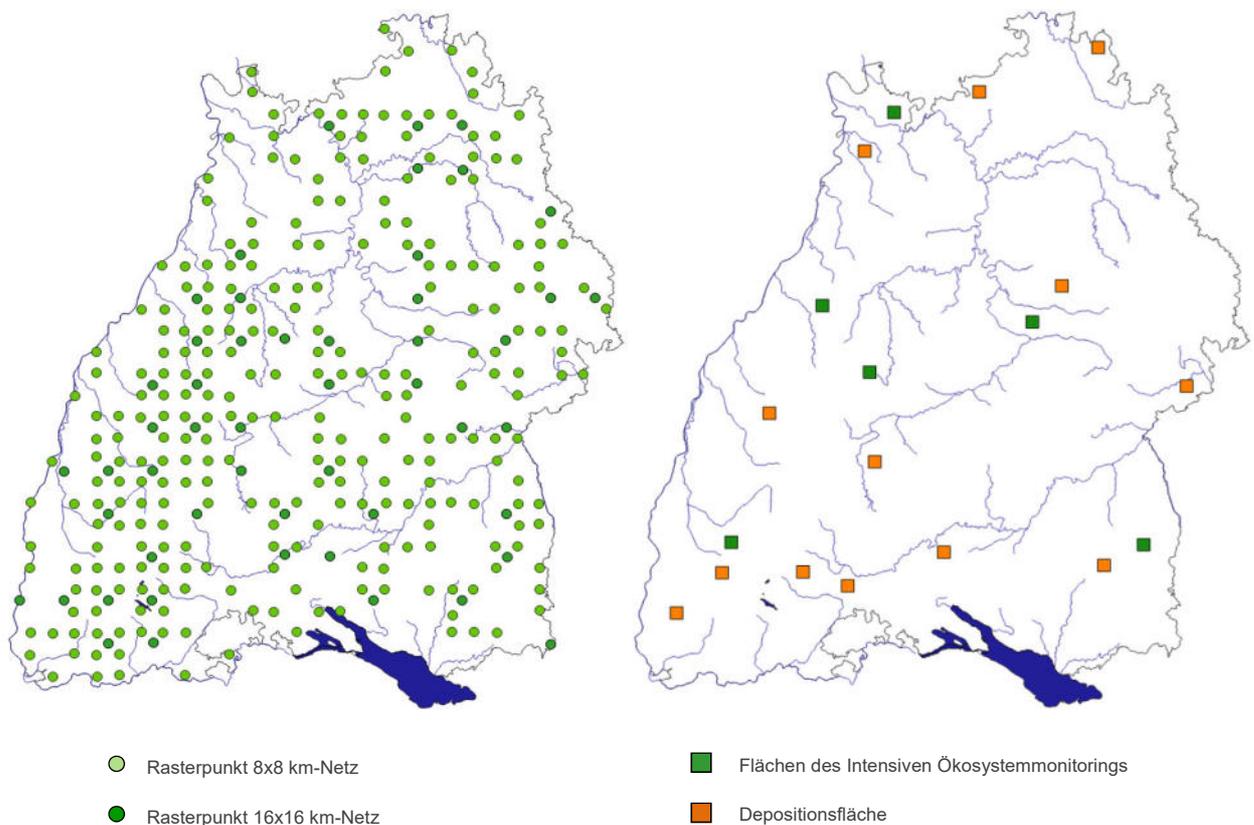


Abb. 38: Räumliche Lage der Rasterstichproben des 8x8 bzw. 16x16 km-Netzes (links) und der Versuchsflächen des Intensiven Ökosystemmonitorings sowie des Depositionsmessnetzes (rechts).

Von den Versuchsflächen Baden-Württembergs sind insgesamt fünf Buchen- und sechs Fichtenflächen des Intensiven Ökosystemmonitorings Bestandteil des europäischen Umweltmonitoring-Programms ICP-Forests (Level II). Somit stehen die Ergebnisse der Erhebungen in Baden-Württemberg auch für übergreifende Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

Waldzustandserhebung

Die Waldzustandserhebung untersucht den Vitalitätszustand der Wälder in Baden-Württemberg. Die Baumkronen werden hierbei hinsichtlich ihres Belaubungszustandes beurteilt. Hauptkriterium sind der Nadel-/Blattverlust (NBV) und die Vergilbung. Beide Merkmale werden in Fünf-Prozentstufen erhoben und anschließend zu Schadstufen verrechnet (Tab. 2). Zusätzlich werden alle weiteren Baummerkmale aufgenommen, die den Vitalitätszustand beeinflussen können. Hierunter fallen insbesondere Schäden in der Baumkrone oder am Stamm, die durch Pilze und Insekten verursacht wurden oder auf Witterungsereignisse wie Trockenstress oder mangelnde Nährstoffversorgung zurückzuführen sind.

Durchführung der Waldzustandserhebung 2021

Die Außenaufnahmen der Waldzustandserhebung fanden im Zeitraum vom 22. Juli bis 20. August an insgesamt 305 Stichprobenpunkten statt. Im Vorfeld der Erhebungen wurden zwei Stichprobenpunkte im Rahmen der Netzüberprüfung neu eingerichtet und vier bereits bestehende Stichprobenpunkte reaktiviert. Insgesamt ruht die Aufnahme derzeit an 26 Stichprobenpunkten, da dort nicht mehr genügend Bäume in ausreichender Höhe verfügbar sind. Sobald sich auf den Standorten wieder eine gesicherte Baumschicht etabliert hat, werden diese Stichprobenpunkte wieder in die Waldzustandserhebung integriert.

Insgesamt wurde bei der Waldzustandserhebung 2021 der Kronenzustand von 7.226 Bäumen untersucht (Tab. 3). Den landesweiten Baumartenanteilen entsprechend sind Fichte und Buche am häufigsten in der Stichprobe vertreten. Dahinter

Tab. 2: Schadstufenberechnung.

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

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

| | | |
|---------------|------------------------|----------------------------|
| Schadstufe 0: | ungeschädigt | |
| Schadstufe 1: | schwach geschädigt | Warnstufe |
| Schadstufe 2: | mittelstark geschädigt | |
| Schadstufe 3: | stark geschädigt | deutlich geschädigt |
| Schadstufe 4: | abgestorben | |

folgen mit größerem Abstand die Baumarten Tanne, Eiche, Kiefer, Esche, Bergahorn sowie Lärche und Douglasie. Alle anderen vorkommenden Baumarten werden für die Darstellung des Kronenzustandes in zwei Gruppen zusammengefasst. Die Gruppe der „sonstigen Nadelbäume“ setzt sich aus wenigen Exemplaren der Baumarten Schwarzkiefer und Thuja zusammen. Dagegen wird in den „sonstigen Laubbaumarten“ eine hohe Anzahl an Bäumen aus insgesamt 18 verschiedenen Baumarten zusammengefasst (vgl. Anlage 1).

Da das Baumalter einen großen Einfluss auf den Kronenzustand der Bäume hat, werden die Ergebnisse der Kronenzustandserhebung getrennt nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ ausgewertet. Bei der Waldzustandserhebung 2021 entfallen etwa ein Drittel aller Bäume auf die Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und etwa zwei Drittel auf die Altersgruppe „ab 61 Jahre“.

Tab. 3: Anzahl untersuchter Probestämme der Waldzustandserhebung 2021 und prozentuale Anteile nach Baumarten.

| Baumart | bis 60 Jahre | ab 61 Jahre | Gesamt | Gesamt % |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Fichte | 809 | 1.569 | 2.378 | 32,9% |
| Tanne | 156 | 700 | 856 | 11,8% |
| Kiefer | 70 | 238 | 308 | 4,3% |
| Lärche | 28 | 99 | 127 | 1,8% |
| Douglasie | 79 | 46 | 125 | 1,7% |
| sonstige Nadelbäume | 2 | 3 | 5 | 0,1% |
| Buche | 478 | 1.330 | 1.808 | 25,0% |
| Eiche | 163 | 407 | 570 | 7,9% |
| Bergahorn | 177 | 98 | 275 | 3,8% |
| Esche | 99 | 168 | 267 | 3,7% |
| sonstige Laubbäume | 371 | 136 | 507 | 7,0% |
| Gesamt | 2.432 | 4.794 | 7.226 | 100,0% |

Auswertungsmethoden

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

Monitoring im (Klima-)Wandel

Die Intensivmessflächen des Forstlichen Umweltmonitorings (Level II) in Baden-Württemberg wurden Mitte der 1990er Jahre aufgebaut, um die Reaktion der Wälder auf schädigende Umwelteinflüsse wissenschaftlich zu untersuchen. Die Flächen wurden schrittweise ausgebaut und mit Messeinrichtungen ausgestattet, welche umfangreiche Datensätze zu relevanten Einflussgrößen auf den Waldzustand erheben. Aus Gründen der methodischen Vergleichbarkeit wurden die Intensivmessflächen zunächst ausschließlich in Fichtenreinbeständen angelegt. In den Jahren 2008/09 wurde das Messprogramm erweitert und an den bereits bestehenden Fichtenversuchsflächen in unmittelbarer Nähe jeweils eine gleichermaßen instrumentierte Intensivmessfläche in einem Buchenbestand eingerichtet. Die benachbarten Fichten- und Buchenflächen sind hinsichtlich Bodeneigenschaften, Geländemorphologie und Bestandesalter vergleichbar, so dass spezifische Reaktionen der beiden Hauptbaumarten Baden-Württembergs auf Umwelteinflüsse ausgewertet werden können.

Das Messprogramm der Intensivmessflächen umfasst Parameter des Energie- und Stoffhaushaltes sowie die Aufnahme zahlreicher biologischer Systemreaktionen. Je nach Messgröße variiert die zeitliche Auflösung, die von kontinuierlichen Messungen im Fünf-Minutentakt bis hin zu jährlichen und mehrjährigen Aufnahmewiederholungen reicht.

Durch die Trockenheit und die Hitze der letzten Jahre wurde auch ein Teil der Intensivmessflächen erheblich geschädigt. Auf einigen Versuchsflächen befinden sich die installierten Messeinrichtungen, wie z. B. Depositionsbehälter oder Bodensaugkerzen nun plötzlich nicht mehr in einem geschlossenen Waldbestand, sondern auf einer Freifläche (Abb. 39). Dies hat fundamentale Auswirkungen auf die ursprüngliche Zielsetzung des Messprogramms, Ökosystemreaktionen von Wäldern in ihrer Optimalphase zu beobachten. Die gravierenden Veränderungen des stockenden Waldbestands erschweren die kontinuierliche Beobachtung der Ökosystemprozesse und die Auswertung zeitlicher Trends in den Umweltfaktoren.

Das Intensive Umweltmonitoring muss auf den geschädigten Flächen in seinem Design angepasst werden, um den sich ändernden Umweltbedingungen Rechnung zu tragen. Aktuell werden folgende Anpassungen diskutiert:



Abb. 39: Versuchsfläche Heidelberg nach Einschlag von Borkenkäfer-Kalamitätsholz (Foto: A. Schupp).

1. Die geschädigte Fläche wird sich selbst überlassen und ihre Entwicklung dokumentiert.
2. Die gestörte Fläche wird standortgerecht mit anderen Baumarten-(mischungen) bestockt und ihre Entwicklung dokumentiert.
3. Die Fläche wird wieder mit der bisherigen Baumart bestockt.
4. Die geschädigten Messflächen werden aufgegeben und stattdessen neue Intensivmessflächen angelegt, um der geänderten Zielsetzung des Monitorings Rechnung zu tragen (z. B. Berücksichtigung von anderen Baumarten, Grenztragsstandorten oder unbewirtschafteten Wäldern).

In den ersten drei Fällen sollte parallel zur Beobachtung der aufwachsenden Bestände das Monitoring auch auf benachbarte Bestände in ihrer Optimalphase ausgedehnt werden, um eine Anschlussfähigkeit an die zurückliegende Beobachtungsperiode zu gewährleisten.

Alle Möglichkeiten erfordern eine Anpassung des bewährten Messdesigns und der nachfolgenden Auswertungen. Dies ist mit erhöhtem Personal- und Sachkosten verbunden, die im aktuellen Budget des Umweltmonitorings bisher nicht vorgesehen sind, jedoch für eine Anpassung des Forstlichen Umweltmonitorings eine zwingende Voraussetzung darstellen.

Weitere Informationen zur Waldzustandserhebung:



www.fva-bw.de/waldzustandserhebung

8 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Häufig auftretende Witterungsextreme wie Hitze, Trockenheit und Stürme bedeuten eine zunehmende Gefährdung der Wälder. In den letzten Jahren sind die Auswirkungen des Klimawandels besonders sichtbar geworden. Der Dürresommer 2018 führte in seiner Folge zu einer erheblichen Schwächung der Wälder Baden-Württembergs. Deutliche Trockenschäden in den Baumkronen und starker Schädlingsbefall der Waldbestände wurden in den vergangenen Jahren nahezu landesweit beobachtet. Allein die massive Ausbreitung der Borkenkäfer sorgte in den Fichten- und Tannenwäldern einiger Regionen für ausgedehnte Kalamitätsflächen.

Kühl-feuchte Witterung sorgt für Entspannung

Der Zustand des Waldes in Baden-Württemberg hat sich gegenüber den Vorjahren unter dem Einfluss der phasenweise kühl-feuchten Witterung des Jahres 2021 leicht erholt. Die vergleichsweise hohen Niederschlagsmengen bedingten eine gute Wasserversorgung der Bäume, die während des regenreichen Sommers kaum längere Trockenphasen überstehen mussten. Aufgrund der günstigen Wuchsbedingungen und des insgesamt abnehmenden Schädlingsbefalls verringerte sich die mittlere Kronenverlichtung im Jahr 2021 leicht um 1,6 Prozentpunkte auf 26,6 Prozent. Trotz dieser Erholungstendenz sind jedoch weiterhin 42 Prozent der Waldfläche in Baden-Württemberg deutlich geschädigt.

Die trockene Witterung der letzten Jahre hat die hohe Anfälligkeit der Fichte gegenüber Dürre und Borkenkäferbefall in besonderer Weise aufgezeigt. Bis in die Hochlagen des Schwarzwaldes kam es zum Teil zu gravierenden Schäden. Im aktuellen Jahr hemmte die über weite Strecken kühl-feuchte Witterung die Ausbreitung der Käfer, so dass gebietsweise deutlich weniger Fichten befallen wurden. Zugleich profitierte die Fichte von der entspannten Wasserhaushaltssituation, was sich in diesem Jahr insgesamt positiv auf den Kronenzustand auswirkte. Im Vergleich zum Vorjahr verringert sich der mittlere Nadelverlust bei der Fichte um 1,1 Prozentpunkte auf 24,7 Prozent.

Dagegen zeigt die Tanne aktuell keine Verbesserung im Kronenzustand. Gegenüber dem Vorjahr erhöht sich der mittlere

Nadelverlust leicht um 0,8 Prozentpunkte auf 24,0 Prozent. Während sich bei der Fichte in diesem Jahr zumindest gebietsweise eine Entspannung der Borkenkäferproblematik abzeichnet, ist die Populationsdichte der Tannenborkenkäfer weiterhin sehr hoch. Viele Tannen wurden während des Sommers von verschiedenen Borkenkäferarten befallen und zum Absterben gebracht. Zunehmend belastend wirkt sich auch der Befall durch die Mistel aus, die durch Wasser- und Nährstoffentzug zu einer langfristigen Schwächung der betroffenen Tannen führen kann.

Ein starker Mistelbefall ist auch an der Baumart Kiefer auf Standorten des Oberrheinischen Tieflandes festzustellen. Hier kommt es in Kombination von Trockenstress, Mistel- und Pilzbefall nicht selten zu einem flächigen Absterben ganzer Kiefernbestände. Auf anderen Standorten in Baden-Württemberg, etwa auf der Schwäbischen Alb oder im Nordschwarzwald, erscheint die Kiefer dieses Jahr dagegen recht vital und wüchsig. Dies wird begünstigt durch eine geringe Blüte und Fruktifikation. Der mittlere Nadelverlust der Kiefer verringert sich landesweit um 1,1 Prozentpunkte auf 31,3 Prozent.

Im Vergleich zu den Baumarten Fichte, Tanne und Kiefer kommen Lärche und Douglasie in Baden-Württemberg mit deutlich geringeren Anteilen vor. Während die Lärche als typische Gebirgsbaumart bereits seit einigen Jahren teils deutliche Vitalitätseinbußen zeigt, ist für die im Durchschnitt weit jüngeren Douglasien dieses Jahr erstmals wieder eine Verbesserung im Kronenzustand zu erkennen. Der mittlere Nadelverlust erhöht sich bei der Lärche um 2,5 Prozentpunkte auf 24,7 Prozent, bei der Douglasie verringert er sich um 2,1 Prozentpunkte auf 20,4 Prozent.

Eine Erholung des Kronenzustandes ist bei der Buche festzustellen. Nachdem die Buche im letzten Jahr durch starken Fruchtbehang und Trockenstress erheblich belastet war, verringert sich der mittlere Blattverlust in diesem Jahr um 3,8 Prozentpunkte auf 31,4 Prozent. Nichtsdestotrotz ist der Schädigungsgrad der Buchen weiterhin sehr hoch. An zahlreichen Bäumen sind die Belastungen der vergangenen Jahre in Form von Kronen- und Stammschäden weiterhin deutlich sichtbar.

Bei der Eiche wirkte sich dieses Jahr der erhöhte Befall durch Eichenmehltau negativ auf den Kronenzustand aus. Zudem wurde regional ein leicht erhöhter Blattfraß durch verschiedene Raupenarten der sogenannten Eichenschadgesellschaft festgestellt. Insgesamt erhöht sich so der mittlere Blattverlust der Eichen um 1,9 Prozentpunkte auf 30,4 Prozent.

Die Vitalität der Esche wird seit einigen Jahren durch den pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens beeinträchtigt, der nachhaltig die Triebe der Bäume schädigt und im weiteren Verlauf den ganzen Baum zum Absterben bringt. Die Mortalitätsrate der Eschen ist deshalb immer noch deutlich erhöht. Da in den letzten Jahren aufgrund der trockenen Witterung weniger Eschen mit dem pilzlichen Erreger infiziert wurden, hat sich in diesem Jahr, begünstigt durch die guten Wuchsbedingungen, der Kronenzustand verbessert. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 3,0 Prozentpunkte auf 40,1 Prozent. Jedoch ist nach dem diesjährigen niederschlagsreichen Jahr wieder mit einer verstärkten Verbreitung des Eschentriebsterbens im nächsten Jahr zu rechnen.

Ebenfalls verbessert hat sich der Kronenzustand des Bergahorns. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 1,6 Prozentpunkte. Da das Durchschnittsalter der Baumart Bergahorn im Vergleich zu allen anderen deutlich geringer ist, fällt auch das Schadniveau mit 16,4 Prozent entsprechend niedriger aus. Lokal wurden dieses Jahr an Bergahorn Schäden durch die Weißfleckigkeit beobachtet, ein Blattpilz, der sich bei nasser Witterung besonders gut in schlecht durchlüfteten Jungbeständen ausbreiten kann.

Borkenkäfermonitoring wurde intensiviert

Mit zunehmenden Witterungsextremen, wie langhaltenden Hitze- und Dürrephasen, steigt die Gefährdung der Wälder durch Borkenkäferbefall massiv an. So führten zuletzt die sehr trockenen und warmen Jahre 2018 bis 2020 zu landesweit sehr hohen Schadholzanfällen. Eine Überwachung der aktuellen Gefährdungssituation trägt dazu bei, geeignete Regulierungsmaßnahmen für die forstliche Praxis abzuleiten und somit großflächige Kalamitäten zu vermeiden. Als Reaktion auf die zunehmende Gefährdung durch Fichten- und Tannenborkenkäfer wurde das Monitoringnetz in Baden-Württemberg in diesem Jahr um weitere Standorte ausgebaut und das Monitoringverfahren standardisiert, so dass zukünftig auch langjährige Trendanalysen möglich sind. Die Untersuchungsstandorte wurden dabei so ausgewählt, dass sie potentiell gefährdete

Wälder, verschiedene Höhenstufen und relevante Wuchsgebiete möglichst gut repräsentieren. Zudem umfasst das Monitoring neben den Fichtenborkenkäfern Buchdrucker und Kupferstecher seit diesem Jahr auch den Krummzähligen Tannenborkenkäfer.

Die Ergebnisse des Borkenkäfermonitorings zeigen für das Jahr 2021 aufgrund der kühl-feuchten Witterung landesweit einen sehr späten Schwärmbeginn und ein frühes Schwärmen. Des Weiteren war an Monitoringstandorten, die bereits in den Vorjahren beobachtet wurden, die Populationsdichte der Buchdrucker deutlich rückläufig. Alle ermittelten Monitoringdaten sowie die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen werden mehrmals im Jahr mit dem FVA-Borkenkäfer-Newsletter versandt und wöchentlich aktualisiert über die FVA-Webseite zur Verfügung gestellt, so dass in betroffenen Regionen zeitnah geeignete Maßnahmen ergriffen werden können.

Inventur der Bodenfauna in den Wäldern Baden-Württembergs

Waldböden bilden die Grundlage des Ökosystems Wald und stellen ein wichtiges Reservoir der biologischen Vielfalt dar. Im Rahmen des Sonderprogramms des Landes zur biologischen Vielfalt wurde in den vergangenen zwei Jahren ein langfristiges Bodenfaunamonitring konzipiert, welches die Verbreitung der Bodentiere in den Wäldern Baden-Württembergs erfasst und deren zeitliche Veränderung beobachtet. Mit dem Monitoring sollen zudem Risiken für den Erhalt der Bodentiergemeinschaft, wie z. B. klimatische Änderungen oder Einflüsse der Waldbewirtschaftung, erkannt und daraus Empfehlungen für die Forstpraxis abgeleitet werden.

Bislang umfasst das Bodenfaunamonitring in Baden-Württemberg insgesamt 129 Untersuchungsflächen, auf denen Regenwürmer, Laufkäfer, Springschwänze und Hornmilben als Repräsentanten der Bodentiergemeinschaft erfasst werden. Die bisherigen Ergebnisse zeigen unter anderem, dass Mischwälder bei Laufkäfern, Springschwänzen und Hornmilben eine höhere Artenvielfalt aufweisen als reine Laub- oder Nadelwälder. In Laubwäldern ist dagegen die Artenvielfalt der Regenwürmer am höchsten. Auf stillgelegten Waldflächen wurde bei Springschwänzen eine leicht erhöhte Artenzahl festgestellt, Laufkäfer wiesen hingegen eine geringere Artenzahl auf. Bei den anderen Artengruppen zeigten sich keine Unterschiede zwischen bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Wäldern.

Eine forstliche Maßnahme mit direkten Wirkungen auf bodenbewohnende Tierarten stellen Waldkalkungen dar, die das bodenchemische Milieu und damit die Habitateigenschaften für Bodentiere ändern. Das Vorkommen von Regenwürmern wird durch Bodenschutzkalkung positiv beeinflusst: Auf gekalkten Flächen war die Artenzahl und die Dichte um das Dreifache höher als auf nicht gekalkten Flächen.

Fazit

Nach den gravierenden Waldschäden in Folge der extremen Dürre- und Hitzeperiode, die in dem sehr außergewöhnlich trockenen und heißen Jahr 2018 einsetzte, sind die Wälder nach wie vor sehr geschwächt. Zwar haben die hohen Niederschlagsmengen und vergleichsweise kühlen Temperaturen in diesem Jahr für eine Erholung gesorgt, jedoch sind die entstandenen Schäden vielerorts weiterhin in den Wäldern sichtbar. In Folge des Klimawandels muss davon ausgegangen werden, dass solche Witterungsextreme wie in den letzten Jahren zukünftig häufiger und mit zunehmender Intensität auftreten.

Eine besonders große Gefahr für die Wälder stellte in den vergangenen Jahren die Massenvermehrung des Buchdruckers dar, die in weiten Regionen Baden-Württembergs ausgedehnte Kalamitäten in Fichtenbeständen verursachte. Mit den im Notfallplan Wald gebündelten Maßnahmen zur Borkenkäferbekämpfung soll ein effizientes Instrumentarium etabliert werden, welches landesweit über alle Waldbesitzarten hinweg das Borkenkäfermanagement zielführend organisiert und unterstützt. Neben der schnellen Aufarbeitung und Abfuhr befallenen Holzes steht dabei die schnelle, personelle und sachkostenbezogene Unterstützung der betroffenen Waldbesitzenden im Vordergrund. Zudem wird die landesweite Holzvermarktung gestärkt und die Beratung und Betreuung intensiviert. Nicht zuletzt wurde das bestehende Borkenkäfermonitoring der FVA Baden-Württemberg ausgebaut und optimiert, um zukünftig noch verlässlichere, zeitlich und räumlich differenzierte Informationen zur aktuellen Borkenkäferentwicklung und entsprechende Handlungsempfehlungen für Waldbewirtschaftende bereitstellen zu können.

Der bereits jetzt spürbare Klimawandel wird zwangsläufig zu einer Veränderung der Waldökosysteme führen; die teils massiven Waldschäden sind hierfür eindrückliche Vorzeichen. Vor diesem Hintergrund ist es zwingend notwendig, ein umfassendes Krisenmanagement auch für andere klimawandelbezogene Gefahren zu erarbeiten. Denn neben Schäden durch

Borkenkäfer in Fichten- und Tannenbeständen deuten sich für weitere wirtschaftlich bedeutende Baumarten ebenfalls massiv zunehmende klimabedingte Risiken an. Zu nennen ist hier in erster Linie die Buche, die augenfällig unter der extremen Wasserknappheit der Jahre 2018/2019 litt. In vielen Regionen starben zahlreiche Buchen unter Trockenstress spontan ab. An geschwächten Buchen ist nach wie vor ein hoher Anteil an Totästen, Stammabbrüchen sowie aufgeplatzte Rinde durch Sonnenbrand zu erkennen, die geeignete Eintrittspforten für verschiedene Pilze und Stammfäuleerreger darstellen. Erhebliche Folgeschäden können hierdurch entstehen und die Bewirtschaftung der Wälder und die Arbeits- und Verkehrssicherheit stark beeinflussen. Des Weiteren zeichnet sich im Oberrheinischen Tiefland seit einigen Jahren bereits ein flächiges Absterben der Kiefer ab, die mit der sehr trockenen und warmen Witterung dieser Region zunehmend schlechter zurechtkommt. Zudem ist, unabhängig von klimatischen Veränderungen, die Baumart Esche durch das mittlerweile landesweit verbreitete Eschentriebsterben in ihrer Existenz massiv bedroht.

Mit der Waldstrategie 2050 hat die Landesregierung einen breit diskutierten und abgestimmten Zukunftsplan für die Bewirtschaftung der Wälder Baden-Württembergs aufgestellt, welche die vielfältigen Ansprüche und Anforderungen an den Wald auch unter der großen Herausforderung des Klimawandels erfüllen sollen. Im Vordergrund steht der Waldumbau in Richtung klimatoleranter und resilienter Wälder. Die Wälder von morgen müssen arten- und strukturreicher aufgebaut sein und einen deutlich höheren Laub- bzw. Mischwaldanteil haben. In den nächsten Jahren liegt hierbei ein besonderes Augenmerk auf der gezielten Wiederbewaldung entstandener Kalamitätsflächen.

Die Waldstrategie misst auch der Erhaltung und Steigerung der Biodiversität von Waldökosystemen eine große Bedeutung bei, auch weil dies eine wichtige Grundlage für die Entwicklungs- und Anpassungsfähigkeit der Wälder darstellt. Die FVA Baden-Württemberg hat hierfür in einem ersten Schritt ein systematisches Monitoring der Bodenlebewesen konzipiert, aus dessen Ergebnissen sich mittel- bis langfristig konkrete Handlungsempfehlungen zur Stärkung der (boden-)biologischen Vielfalt in Wäldern ableiten lassen. Eine Gefährdung wichtiger Bodenfunktionen durch anthropogen eingetragene Säuren und Stickstoff sowie durch die Veränderungen des Klimas ist dabei offenkundig und wirkt sich auf das gesamte Ökosystem Wald aus.

Der Wald und die Waldbewirtschaftenden stehen zweifelsohne in den nächsten Jahren vor großen Herausforderungen. Ziel ist

es, den Wald als bedeutenden Teil der Landschaft mit seinen vielfältigen Funktionen zu erhalten und im Hinblick auf die wachsenden gesellschaftlichen Ansprüche stetig weiterzuentwickeln. Der angestoßene Prozess der Waldstrategie 2050 hilft dabei, unter Beteiligung aller mit dem Wald verbundenen Sektoren langfristig einen zukunftsfähigen, klimastabilen und widerstandsfähigen Wald in Baden-Württemberg zu sichern.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- Augustin, N. H., Musio, M., von Wilpert, K., Kublin, E., Wood, S. N., Schumacher, M. (2009). Modeling spatiotemporal forest health monitoring data. *Journal of the American Statistical Association*, 104(487), 899-911.
- Baier, P., Pennerstorfer, J., Schopf, A. (2007). PHENIPS – A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management*, 249, 171-186.
- Bardgett, R. (2006). *The Biology of Soil – A community and ecosystem approach*. Oxford University Press, 24-38.
- Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., Ashmore, M., Bustamante, M., Cinderby, S., Davidson, E., Dentener, F., Emmet, B., Erisman, J.-W., Fenn, M., Gilliam, F., Nordin, A., Pardo, L., de Vries, W. (2010). Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications*, 20, 30-59.
- DWD (2021a). https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20210830_deutschlandwetter_sommer2021.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Stand: 07.10.2021).
- DWD (2021b). https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_archiv_2021_node.html (Stand: 07.10.2021).
- Dupont, E., Wood, S. N., Augustin, N. (2020). Spatial+: a novel approach to spatial confounding. arXiv preprint arXiv:2009.09420.
- Eickenscheidt, N., Augustin, N., Wellbrock, N. (2018). Spatio-temporal modelling of forest monitoring data: Modelling German tree defoliation data collected between 1989 and 2015 for trend estimation and survey grid examination using GAMMs. *iForest*, 12, 338-348.
- Eickenscheidt, N., Puhlmann, H., Riek, W., Schmidt-Walter, P., Augustin, N., Wellbrock, N. (2019). Spatial Response Patterns in Biotic Reactions of Forest Trees and Their Associations with Environmental Variables in Germany. *Status and Dynamics of Forests in Germany. Ecological Studies* 237, 311-354.
- Eisenhauer, N., Bonn, A., Guerra, C. A. (2019). Recognizing the quiet extinction of invertebrates. *Nature Communications*, 10, 50, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07916-1>.
- FAO, ITPS, GSBI, SCBD, EC. (2020). *State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities, Report 2020*. Rome, FAO, 618 S., <https://doi.org/10.4060/cb1928en>.
- Fischer, J. T. (1983). Water relations of Mistletoes and their hosts. In: Calder, M., Bernhard, T. (Hrsg.): *The Biology of Mistletoes*. Academic Press, Sidney, 163-184.
- Hoch, G., Schopf, A., Weizer, G. (Hrsg.) (2019). *Der Buchdrucker – Biologie, Ökologie, Management*. BfW, Wien, 208 S.
- Kautz, M., Delb, H., Hielscher, K., Hurling, R., Lobinger, G., Niesar, M., Otto, L.-F., Thiel, J. (2021a). Borkenkäfer an Nadelbäumen – erkennen, vorbeugen, bekämpfen. *FNR, Gülzow-Prüzen*, 54 S.
- Kautz, M., Sander, F., Delb, H. (2021b). Käferdichten und Befallszahlen vielerorts rückläufig. *FVA-Borkenkäfer-Newsletter SüdWest 4/2021*, 4 S. <https://www.fva-bw.de/daten-und-tools/monitoring/borkenkaefermonitoring/newsletter>.
- LUBW (2021). <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/relevante-luftschadstoffe> (Stand: 07.10.2021).
- PHENIPS-online BOKU Wien (2021). <https://iff-server.boku.ac.at/wordpress/index.php/language/de/startseite/phenips-online> (Stand: 07.10.2021).
- Pretzsch, H., Dieler, J., Matyssek, R., Wipfler, P. (2010). Tree and stand growth of mature Norway spruce and European beech under long-term ozone fumigation. *Environmental Pollution*, 158 (4), 1061-1070.

- Puhlmann, H., Hallas, T. (2020). IpsPro: Risikoprognosen für ein effizienteres Borkenkäfer-Management. AFZ-DerWald, 18, 12-14.
- Puhlmann, H., Hartmann, P., Mahlau, L., v. Wilpert, K., Huber, A., Moos, J. H., Jansone, L., Drews, L. (2021). Regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung in den Wäldern Baden-Württembergs – Evaluierung der Umsetzung und der Wirksamkeit des Kalkungsprogramms in den Jahren 2010 bis 2019. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.). Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 104, 274 S.
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M. (1979). Decomposition in Terrestrial Ecosystems. University of California Press, Berkeley. 372 S.
- Ulrich, B. (1991). Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Band 24, 204-210.
- Vollenweider, P., Günthardt-Goerg, M. S., Menard, T., Baumgarten, M., Matyssek, R., Schaub, M. (2019). Macro- and microscopic leaf injury triggered by ozone stress in beech foliage (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Forest Science*, 76, 71, <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0856-5>.

ANLAGEN

Anlage 1:

Baumarten nach Altersgruppen der Waldzustandserhebung 2021

| Baumart | Bäume <61 Jahre | Bäume >60 Jahre | Bäume insgesamt |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Fichte | 809 | 1.569 | 2.378 |
| Tanne | 156 | 700 | 856 |
| Kiefer | 70 | 238 | 308 |
| Lärche | 28 | 99 | 127 |
| Douglasie | 79 | 46 | 125 |
| Schwarzkiefer | 0 | 3 | 3 |
| Thuja | 2 | 0 | 2 |
| Buche | 478 | 1.330 | 1.808 |
| Eiche | 163 | 407 | 570 |
| Bergahorn | 177 | 98 | 275 |
| Esche | 99 | 168 | 267 |
| Hainbuche | 57 | 36 | 93 |
| Roteiche | 69 | 9 | 78 |
| Linde | 33 | 26 | 59 |
| Spitzahorn | 39 | 6 | 45 |
| Rot-Erle | 28 | 12 | 40 |
| Kirsche | 22 | 14 | 36 |
| Birke | 27 | 8 | 35 |
| Vogelbeere | 31 | 4 | 35 |
| Robinie | 11 | 8 | 19 |
| Edelkastanie | 10 | 4 | 14 |
| Pappel | 13 | 0 | 13 |
| Ulme | 10 | 3 | 13 |
| Weide | 8 | 0 | 8 |
| Weiß-Erle | 7 | 0 | 7 |
| Feldahorn | 1 | 4 | 5 |
| Aspe | 2 | 1 | 3 |
| Nuss | 2 | 1 | 3 |
| Tulpenbaum | 1 | 0 | 1 |
| Gesamt | 2.432 | 4.794 | 7.226 |

Anlage 2:

Aufnahmedichte der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2021

| Jahr | Rasternetz | Anzahl Aufnahmepunkte | Anzahl Probeebäume |
|-------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 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 |

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

Anlage 3:

Schadstufenverteilung in Prozent von 1985 bis 2021

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

Anlage 4:

Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021 in den Landkreisen

| Landkreis | Anzahl aufgenommener Bäume | bis 60 Jahre Anteil Schadstufe 2-4 [%] | ab 61 Jahre Anteil Schadstufe 2-4 [%] | mittlerer Nadel-/Blattverlust gesamt [%] | 95%-Konfidenzintervall (+/-) | Verhältnis Baumart Nh:Lh [%] | Verhältnis Alter bis 60 J.: ab 61 J. [%] | mittleres Probebaumalter |
|------------------------|----------------------------|--|---------------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|
| Alb-Donau-Kreis | 192 | k.A. | 75 | 33 | 1,58 | 36:64 | 15:85 | 95 |
| Baden-Baden | 48 | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Biberach | 264 | 16 | 78 | 26 | 1,94 | 69:31 | 56:44 | 59 |
| Bodenseekreis | 43 | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Böblingen | 134 | k.A. | 92 | 37 | 3,07 | 29:71 | 22:78 | 116 |
| Breisgau Hochschwwald | 288 | 46 | 66 | 34 | 2,24 | 67:33 | 25:75 | 96 |
| Calw | 234 | 2 | 36 | 16 | 2,04 | 60:40 | 41:59 | 76 |
| Emmendingen | 155 | k.A. | 86 | 36 | 2,63 | 62:38 | 31:69 | 82,70 |
| Enzkreis | 168 | k.A. | 66 | 42 | 3,78 | 8:92 | 0:100 | 113 |
| Esslingen | 120 | k.A. | 87 | 39 | 3,10 | 43:57 | 9:91 | 90,97 |
| Freiburg im Breisgau | 22 | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Freudenstadt | 383 | 1 | 55 | 27 | 1,79 | 83:17 | 20:80 | 103,77 |
| Göppingen | 120 | k.A. | 67 | 27 | 2,27 | 64:36 | 40:60 | 76 |
| Heidelberg | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Heidenheim | 120 | k.A. | 78 | 22 | 2,83 | 43:57 | 40:60 | 81 |
| Heilbronn | 96 | k.A. | 51 | 26 | 2,29 | 2:98 | 25:75 | 82,00 |
| Heilbronn-Stadt | 24 | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Hohenlohekreis | 168 | 34 | 80 | 31 | 3,46 | 9:91 | 68:32 | 55,92 |
| Karlsruhe | 259 | 14 | 42 | 20 | 2,01 | 32:68 | 49:51 | 72 |
| Karlsruhe-Stadt | 24 | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Konstanz | 114 | k.A. | 72 | 34 | 2,08 | 27:73 | 16:84 | 100 |
| Lörrach | 223 | 14 | 58 | 27 | 1,81 | 30:70 | 33:67 | 83,83 |
| Ludwigsburg | 66 | k.A. | k.A. | 27 | 4,05 | 26:74 | 36:64 | 86 |
| Main-Tauber-Kreis | 192 | 3 | 70 | 26 | 2,09 | 17:83 | 33:67 | 77,26 |
| Mannheim | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Neckar-Odenwald-Kreis | 264 | k.A. | 66 | 32 | 2,29 | 27:73 | 17:83 | 96,34 |
| Ortenaukreis | 574 | 9 | 67 | 25 | 1,74 | 71:29 | 45:55 | 74 |
| Ostalbkreis | 264 | 21 | 75 | 32 | 2,13 | 67:33 | 23:77 | 82,81 |
| Pforzheim | 24 | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Rastatt | 192 | 15 | 61 | 26 | 2,89 | 69:31 | 31:69 | 100,68 |
| Ravensburg | 307 | 1 | 78 | 24 | 1,68 | 75:25 | 59:41 | 51 |
| Rems-Murr-Kreis | 120 | k.A. | 67 | 30 | 3,93 | 60:40 | 20:80 | 90,02 |
| Reutlingen | 192 | 0 | 73 | 30 | 1,98 | 36:64 | 31:69 | 79 |
| Rhein-Neckar-Kreis | 216 | 33 | 64 | 29 | 2,18 | 29:71 | 28:72 | 94,24 |
| Rottweil | 192 | 10 | 75 | 30 | 2,62 | 83:17 | 32:68 | 84 |
| Schwäbisch Hall | 144 | 23 | 85 | 30 | 2,94 | 30:70 | 46:54 | 90,80 |
| Schwarzwald-Baar-Kreis | 235 | k.A. | 67 | 33 | 1,89 | 94:6 | 14:86 | 105 |
| Sigmaringen | 282 | 16 | 89 | 28 | 1,84 | 90:10 | 55:45 | 61,32 |
| Stuttgart | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Tübingen | 96 | k.A. | 85 | 37 | 3,63 | 34:66 | 30:70 | 99,10 |
| Tuttlingen | 168 | k.A. | 57 | 27 | 1,60 | 80:20 | 25:75 | 83 |
| Ulm | 48 | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Waldshut | 259 | 12 | 73 | 36 | 2,78 | 55:45 | 26:74 | 95 |
| Zollernalbkreis | 192 | 0 | 75 | 28 | 2,56 | 34:66 | 44:56 | 67,10 |

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



**Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg**

Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg
Tel.: (07 61) 40 18 - 0
fva-bw@forst.bwl.de
www.fva-bw.de



**Landes
Forst
Verwaltung
BW**

Kernerplatz 10
70182 Stuttgart
Tel.: (0711) 1 26 - 0
Poststelle@mlr.bwl.de
www.landesforstverwaltung-bw.de