



Forstliche Versuchs-  
und Forschungsanstalt  
Baden-Württemberg

# Waldzustandsbericht 2018



# Waldzustandsbericht 2018 für Baden-Württemberg

**ForstBW**   
*Wir schaffen Zukunft*

**Herausgeber:**

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)

**Autoren:**

Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung, Freiburg)

Heike Puhlmann, Peter Hartmann, Roland Hoch (alle FVA Baden-Württemberg)

Kapitel 4: Nicole Augustin, Alice Davis (beide University of Bath, England)

Kapitel 6: Horst Delb, Reinhold John, Jörg Grüner, Gregor, Seitz, Jan Wußler (alle FVA Baden-Württemberg)

**Titelfoto:** Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung, Freiburg)

**Bestellung an:**

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt

Baden-Württemberg

Wonnhaldestraße 4

79100 Freiburg

Tel.: 0761/4018-0

Email: [fva-bw@forst.bwl.de](mailto:fva-bw@forst.bwl.de)

**Download:**

<http://www.fva-bw.de>

**ISSN:** 1862-863X

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>VORWORT</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING</b>	<b>5</b>
	METHODISCHER AUFBAU	6
	TERRESTRISCHE WALDSCHADENSINVENTUR	7
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE DER KRONENZUSTANDSERHEBUNG</b>	<b>9</b>
	WALDZUSTAND IN BADEN-WÜRTTEMBERG	9
	VERGILBUNG	11
	SCHADSTUFEN	12
	FRUKTIFIKATION	12
	HAUPTBAUMARTEN	14
	SONSTIGE NADEL- UND LAUBBAUMARTEN	17
	REGIONALE VERTEILUNG	18
<b>4</b>	<b>MORTALITÄTSRISIKO</b>	<b>20</b>
	DATEN UND UNTERSUCHUNG	20
	KRONENVERLICHTUNG UND BAUMMORTALITÄT	22
<b>5</b>	<b>WITTERUNG</b>	<b>25</b>
	TEMPERATUR UND NIEDERSCHLAG	25
	BODENFEUCHTE	27
<b>6</b>	<b>WALDSCHUTZSITUATION</b>	<b>29</b>
	ABIOTISCHE SCHADURSACHEN	29
	BIOTISCHE SCHADERREGER AN NADELBÄUMEN	30
	BIOTISCHE SCHADERREGER AN LAUBBÄUMEN	33
	INVASIVE GEBIETSFREMDE UND QUARANTÄNE-SCHADORGANISMEN	34
<b>7</b>	<b>STOFFEINTRÄGE</b>	<b>36</b>
	SCHUTZ DER WALDBÖDEN	37
	REGIONALE VERTEILUNG DER STOFFEINTRÄGE	38
<b>8</b>	<b>WALDERNÄHRUNG</b>	<b>39</b>
	AKTUELLE ERNÄHRUNGSSITUATION	40
	ENTWICKLUNG DER ELEMENTGEHALTE	40
	WALDERNÄHRUNG UND KRONENZUSTAND	44
	WALDERNÄHRUNG UND KALKUNG	44
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>50</b>
	<b>ANLAGEN</b>	<b>52</b>

# 1 VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

in Baden-Württemberg wird der Zustand der Waldbäume seit den 1980er Jahren im Rahmen der jährlichen Waldzustandserhebung erfasst. Der Indikator für die Beurteilung des Waldzustands ist der Kronenzustand der Bäume, welcher den Nadel-/Blattverlust und die Vergilbung von Nadeln und Blättern beurteilt.

2018 erleben wir ein Jahr der Witterungsextreme. Zu Beginn des Jahres hat das Wintersturmteuf „Burglind“ insbesondere im Süden des Landes teils erhebliche Sturmschäden verursacht. Der rasante Frühjahrsbeginn mit sommerlichen Temperaturen bereits im April führte zu einem frühen Austrieb und einer schnellen Entwicklung der Waldbäume, die in diesem Jahr eine ausgeprägte Blüte aufwiesen. Die außergewöhnliche Dürre und Hitze im Verlauf des Sommers ließ die Böden stark austrocknen und verursachte einen erheblichen Wassermangel der Waldbäume. Des Weiteren führte der besonders starke Fruchtbehang vieler Bäume zu einer zusätzlichen Belastung.



Für das Jahr 2018 ist für alle Baumarten, mit Ausnahme der Tanne, eine Verschlechterung des Kronenzustands festzustellen. Der mittlere Nadel-/Blattverlust der Wälder Baden-Württembergs erhöht sich gegenüber dem Vorjahr um 2,9 Prozentpunkte auf 24,9 Prozent. Derzeit gelten 38 Prozent der Wälder als deutlich geschädigt.

Für die am häufigsten vorkommende Baumart Fichte spielten Borkenkäferbefall und Trockenstress eine entscheidende Rolle für die Verschlechterung des Kronenzustandes. Die Borkenkäfer „Buchdrucker“ und „Kupferstecher“ konnten sich aufgrund der langanhaltenden warmen Witterung landesweit stark vermehren und ausbreiten. Wegen des hohen Wasserdefizits waren die natürlichen Abwehrmechanismen der Fichten, welche die Käfer mit Harz bekämpfen, in diesem Jahr deutlich herabgesetzt.

Wie bereits in den letzten Jahren zeigt sich die Tanne im Vergleich zur Fichte als äußerst widerstandsfähig gegenüber Trockenstress. Durch ihr tiefer reichendes Wurzelwerk ist sie besser in der Lage, langanhaltende Trockenperioden zu überstehen. Starke Trockenstresssymptome waren regional vor allem auf wenig wasserspeichernden sandigen und steinigen Standorten bei der Kiefer zu beobachten. Landesweit stark erhöhte Blattverluste sind aktuell bei der Buche auffindbar, was auf das Zusammentreffen von Trockenstress und intensiver Fruchtbildung zurückzuführen ist. Dagegen zeigt sich die Eiche weniger anfällig gegenüber Trockenheit, sie wurde regional aber durch Raupenfraß geschädigt.

Weiterhin besorgniserregend ist der Kronenzustand der Esche, die seit einigen Jahren massiv durch den pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens geschädigt wird. Die anhaltende Trockenheit im Jahr 2018 belastete vor allem bereits vorgeschädigte Eschen und führte zu einer erhöhten Mortalitätsrate der Baumart während des Sommers.

Das Jahr 2018 zeigt eindrücklich, welche komplexen Herausforderungen auf die Waldbewirtschaftung im Zuge des Klimawandels zukommen. Die Anstrengungen zur Anpassung unserer Wälder an ein geändertes Klima dürfen nicht nachlassen. Hierbei ist der Umbau der Waldbestände in standortangepasste, strukturierte Mischwälder das wichtigste Mittel zur Risikominimierung, um den Ausfall kompletter Bestände zu vermeiden. Insbesondere in fichtenreichen Waldbeständen gilt es nach dem trocken-heißen Sommer und dem anhaltend trockenen Herbst wachsam zu sein. Um ein erhöhtes Käferaufkommen im nächsten Jahr frühzeitig einzudämmen, müssen gefährdete Waldbestände kontinuierlich und intensiv auf möglichen Käferbefall stehender Bäume kontrolliert und befallene Bäume so schnell wie möglich aus den Beständen entfernt werden. Auch sollte möglicherweise anfallendes Sturmholz rechtzeitig aufgearbeitet werden, um den Käfern nicht noch zusätzliches Brutmaterial zur Verfügung zu stellen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald werden zunehmend deutlicher. Die Forstleute im Land sind sich ihrer Verantwortung bewusst, dass wir unsere Wälder klimastabil aufbauen müssen. Indem wir insgesamt verstärkt auf klimatolerante Baumarten bei der Verjüngung und den Mischungsverhältnissen setzen, machen wir den Wald fit für den Klimawandel und sorgen dafür, dass der Wald zukünftigen Generationen als Natur- und Erholungsraum sowie wichtiger Wirtschaftsfaktor mit all seinen Funktionen erhalten bleibt.

Stuttgart, im Oktober 2018



Peter Hauk MdL  
Minister für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz  
Baden-Württemberg

## 2 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Das Forstliche Umweltmonitoring in Baden-Württemberg untersucht den Zustand der Wälder und erfasst dabei alle einwirkenden Umwelteinflüsse und die Reaktion der Bäume auf sich verändernde Umweltbedingungen. Hervorgegangen ist das Forstliche Umweltmonitoring aus der Diskussion über massive Waldschäden in Mitteleuropa ab Ende der 1970er Jahre. Hohe Konzentrationen von Schadstoffen in der Luft verursachten seinerzeit die sogenannten „neuartigen Waldschäden“. Neben den Bäumen wurden auch die Waldböden durch den hohen Säureeintrag langfristig geschädigt. Seit den 1990er Jahren konnten durch grenzüberschreitende Luftreinhaltemaßnahmen die Säureeinträge in die Wälder – vor allem durch die Reduktion der Schwefeleinträge – drastisch gesenkt werden. Die Regeneration der Bodenfunktionen dauert jedoch aufgrund der sehr langsam ablaufenden Bodenprozesse noch an und wird auf vielen Standorten nicht mehr vollständig möglich sein. Neben den säurebedingten „Altlasten“ steht der Wald heute ganz neuen

Risiken gegenüber. Insbesondere die Veränderungen des Klimas im mittelfristigen Trend, aber auch die Zunahme von extremen Witterungsereignissen, wie Trockenheit und Sturm, führen aktuell zu einer starken Belastung. Zudem verstärken die nach wie vor hohen Stickstoffeinträge, erhöhte Ozonkonzentrationen sowie der Befall tierischer und pilzlicher Erreger die Stressbelastung der Wälder.

Erste Untersuchungen über den Waldzustand in Baden-Württemberg wurden ab Ende der 1970er Jahre mit der Anlage von Tannenversuchsflächen im Schwarzwald durchgeführt. Es folgten landesweite Erhebungen zur Waldernährung, zum Kronen- sowie zum Bodenzustand. Zudem wurden in den unterschiedlichsten Landesteilen gezielt Versuchsflächen eingerichtet, auf denen eine Vielzahl an Umweltparametern gemessen wird. Mittlerweile hat sich das Forstliche Umweltmonitoring zu einem umfassenden Untersuchungsprogramm entwickelt, welches langfristige Entwicklungen des Waldes abbildet und auf

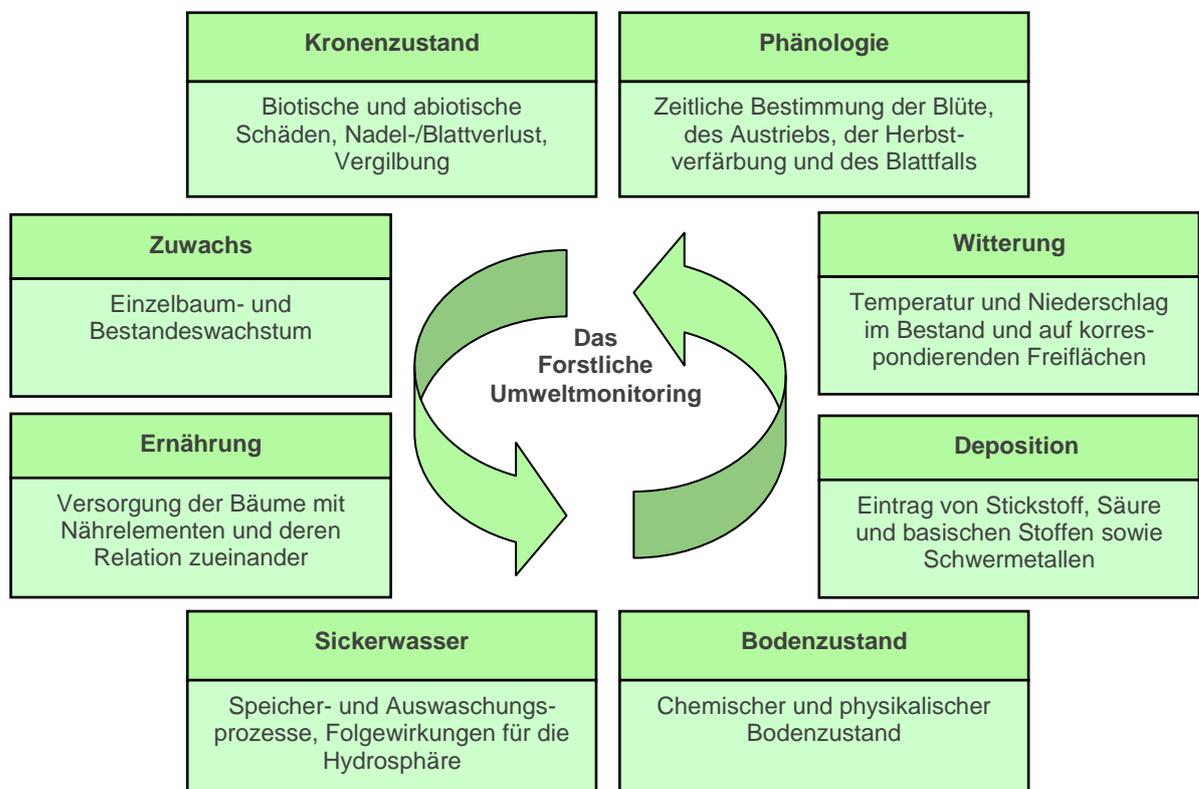


Abb. 1: Themen und Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings

dessen Grundlage geeignete Maßnahmen abgeleitet werden können. Die Untersuchungsschwerpunkte unterscheiden sich dabei zwischen baumbezogenen und standortsbezogenen Parametern. Im Einzelnen sind dies: Kronenzustand, Phänologie, Zuwachs und Ernährung, sowie Deposition, Sickerwasser, Bodenzustand und Witterung (Abb. 1).

### Methodischer Aufbau

Der Aufbau des Forstlichen Umweltmonitorings gliedert sich methodisch in zwei verschiedene Ebenen: die landesweiten Rasterstichproben und die Versuchsflächen (Abb. 2).

Durch die landesweite Erhebung auf dem systematisch angelegten Rasterstichprobennetz können mit einem hohen Stichprobenumfang repräsentative Ergebnisse über den Waldzustand für Baden-Württemberg und einzelne Regionen erzielt werden. Die Aufnahmepunkte werden dabei über die Schnittpunkte des Rasternetzes festgelegt. Jeder Schnittpunkt, der in ein Waldgebiet fällt, wird als Stichprobenpunkt der Aufnahme bestimmt, unabhängig von Standort, Baumartenzusammensetzung oder sonstigen Kriterien.

Zu den Rasterstichproben zählt die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI), die Bodenzustandserhebung (BZE) und die Immissionsökologische Waldernährungsinventur (IWE). Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen wachstumskundliche Untersuchungen nach der Methodik der Bundeswaldinventur (BWI) an den Rasterstichproben vorgenommen. In Baden-Württemberg sind insgesamt 52 Aufnahmepunkte der Rasterstichproben Bestandteil des europäischen 16x16 km-Netzes. Die Ergebnisse dieser Punkte fließen in das Europäische Umweltmonitoring-Programm „Level I“ ein und werden sowohl zur Beurteilung des nationalen wie auch des europäischen Waldzustandes herangezogen.

Die zweite Ebene des Forstlichen Umweltmonitorings bilden die Versuchsflächen, auf denen eine Vielzahl von Umweltparametern mit einer sehr hohen zeitlichen und räumlichen Messintensität aufgenommen werden. Die räumliche Lage der ein Viertel Hektar großen Versuchsflächen wird im Gegensatz zu den Rasterstichproben entsprechend dem Untersuchungsziel bestimmt. Ziel der Versuchsflächen ist es, konkrete Fragestellungen des Forstlichen Umweltmonitorings ursachenbezogen auszuwerten.

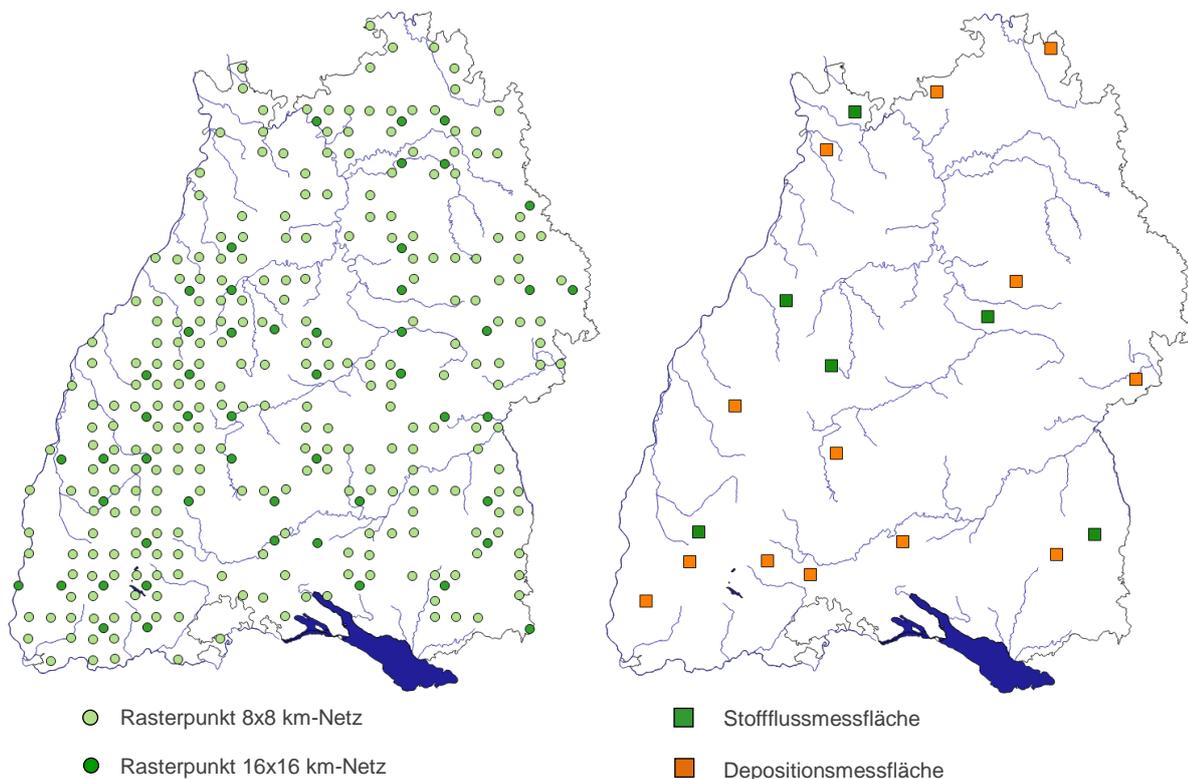


Abb. 2: Räumliche Lage der Rasterstichproben (links) und der Versuchsflächen (rechts)

Zu den Versuchsflächen gehören neben den Depositionsflächen und Stoffflussmessflächen auch Dauerbeobachtungsflächen, Klimastationen sowie waldwachstumskundliche Flächen. Fünf Intensivmessflächen Baden-Württembergs sind jeweils mit einem Fichten- und einem Buchenplot in das Europäische Umweltmonitoring-Programm „Level II“ eingebunden. Die erhobenen Daten stehen somit übergreifenden Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

### Terrestrische Waldschadensinventur

Die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) untersucht den Vitalitätszustand der Wälder in Baden-Württemberg. Hierbei werden in einem Zwei-Personen-Verfahren an jedem Rasterstichprobenpunkt die Baumkronen hinsichtlich ihres Belaubungszustandes beurteilt. Hauptkriterium sind der Nadel-/Blattverlust und der Grad der Vergilbung (Abb. 3). Beide Merkmale werden in Fünf-Prozentstufen erhoben und anschließend zu Schadstufen verrechnet (Tab. 1). Zusätzlich werden im Rahmen einer differentialdiagnostischen Ansprache alle weiteren Baummerkmale, die den Kronenzustand beeinflussen können, aufgenommen. Hierunter fallen insbesondere Schäden in der Baumkrone oder am Stamm, die durch Pilze bzw. Insekten verursacht wurden oder auf Witterungsereignisse,

Tab. 1: Schadstufenberechnung

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

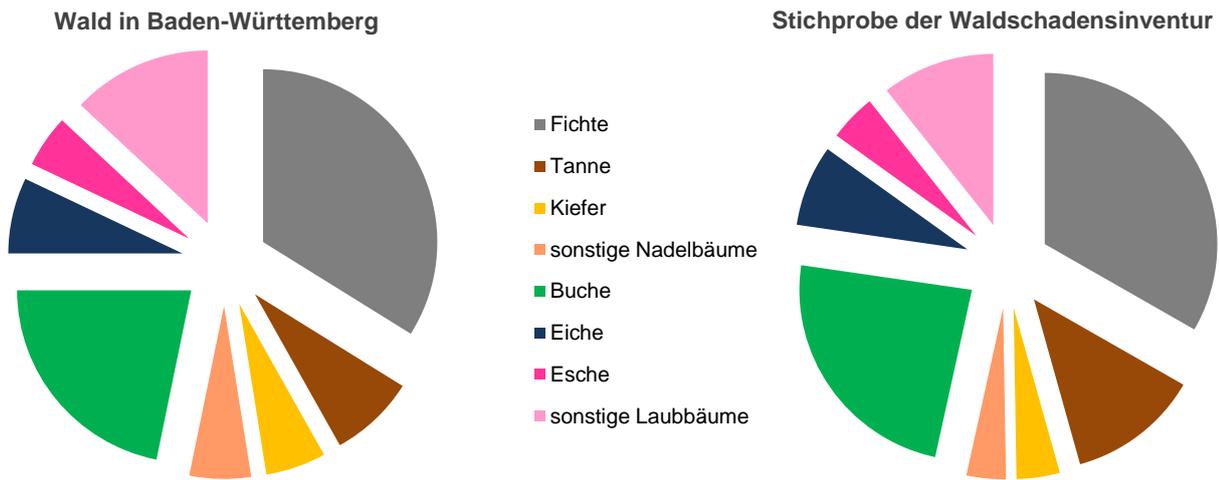
Nadel-/Blattverlustklasse	Schadstufe			
	Vergilbungsklasse			
	0	1	2	3
0	0	0	1	2
1	1	1	2	2
2	2	2	3	3
3	3	3	3	3
4	4			

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

wie z.B. Trockenstress oder mangelnde Nährstoffversorgung, zurückzuführen sind. Die Stichprobenpunkte der Waldschadensinventur sind als permanente Kreuztrakte angelegt (Abb. 5).



Abb. 3: Fichten mit unterschiedlicher Kronenverlichtung. Links: 10, Mitte: 30, rechts: 65 Prozent Nadelverlust (aus: AG KRONENZUSTAND 2007)

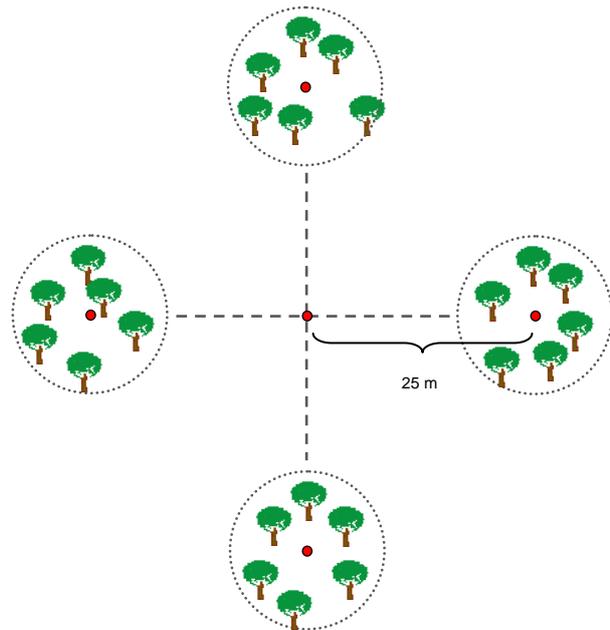


**Abb. 4:** Baumartenanteile im Vergleich. Links: Wald in Baden-Württemberg nach den Ergebnissen der dritten Bundeswaldinventur. Rechts: Stichprobe der Waldschadensinventur 2018

Dabei werden für die Kronenzustandserhebung zufällig 24 Bäume, unabhängig von Baumart und Baumalter, ausgewählt und markiert, sodass in der jährlichen Kronenzustandsaufnahme immer dieselben Bäume untersucht werden. Fallen Bäume aus der Stichprobe der Waldschadensinventur aus, z.B. durch forstliche Nutzung, Sturmwurf oder Käferbefall, werden sie durch Nachbarbäume ersetzt. Bei den bisherigen Aufnahmen der Waldschadensinventur wurden in Baden-Württemberg unterschiedliche Aufnahmeraster (16x16, 8x8 und 4x4 km-Netz) verwendet. Seit dem Jahr 2005 werden alle Erhebungen der Rasterstichproben (Waldschadensinventur, Bodenzustandserhebung, Ernährungsinventur und waldwachstumskundliche Erhebung) zur besseren Interpretation der Ergebnisse auf dem einheitlichen 8x8 km-Netz durchgeführt.

Die diesjährigen Außenaufnahmen der Waldschadensinventur fanden vom 20. Juli bis 17. August 2018 nach eingehender Schulung der Aufnahmeteamer statt. Von den insgesamt 321 Aufnahmepunkten des 8x8 km-Netzes konnten dieses Jahr 301 Punkte regulär aufgenommen werden. An 20 Punkten ruht derzeit die Aufnahme, da aus unterschiedlichen Gründen, wie z.B. forstliche Nutzung oder Sturmwurf, derzeit nicht genügend Bäume in ausreichender Höhe zur Verfügung stehen. Diese Aufnahmepunkte werden im Lauf der nächsten Jahre wieder in die Stichprobe einbezogen.

Für die Waldschadensinventur 2018 wurde der Kronenzustand von insgesamt 7.130 Bäumen in Baden-Württemberg untersucht. Dabei ist die Fichte am häufigsten in der Stichprobe vertreten, gefolgt von der Buche. Verglichen mit der aktuellen Baumartenzusammensetzung in Baden-Württemberg ergibt sich für die Stichprobe der Waldschadensinventur eine hohe Übereinstimmung (Abb. 4). Lediglich der Anteil der Tanne ist etwas erhöht, da der Schwarzwald mit seinen hohen Tannenvorkommen aufgrund der großen zusammenhängenden Waldfläche im 8x8 km-Netz überproportional vertreten ist.



**Abb. 5:** Schematischer Aufbau der Stichprobepunkte der Waldschadensinventur

### 3 ERGEBNISSE DER KRONENZUSTANDSERHEBUNG

#### Waldzustand in Baden-Württemberg

Die lang anhaltende Trockenheit und hohen Temperaturen während des Sommers 2018 haben den Wald in Baden-Württemberg stark belastet. Eine vorzeitige Welke und Verfärbung der Blätter konnte in vielen Regionen bereits in den Sommermonaten beobachtet werden (Abb. 6).

Insbesondere an stark besonnten Waldrändern und auf trockenen, flachgründigen Standorten versuchten die Bäume ihren Wasserbedarf über eine möglichst geringe Verdunstung zu verkleinern. Vielerorts wurde im Zuge der extremen Dürre sogar ein Abwurf von grüner Blattmasse beobachtet, was für die Bäume einen erheblichen Nährstoffverlust darstellt.

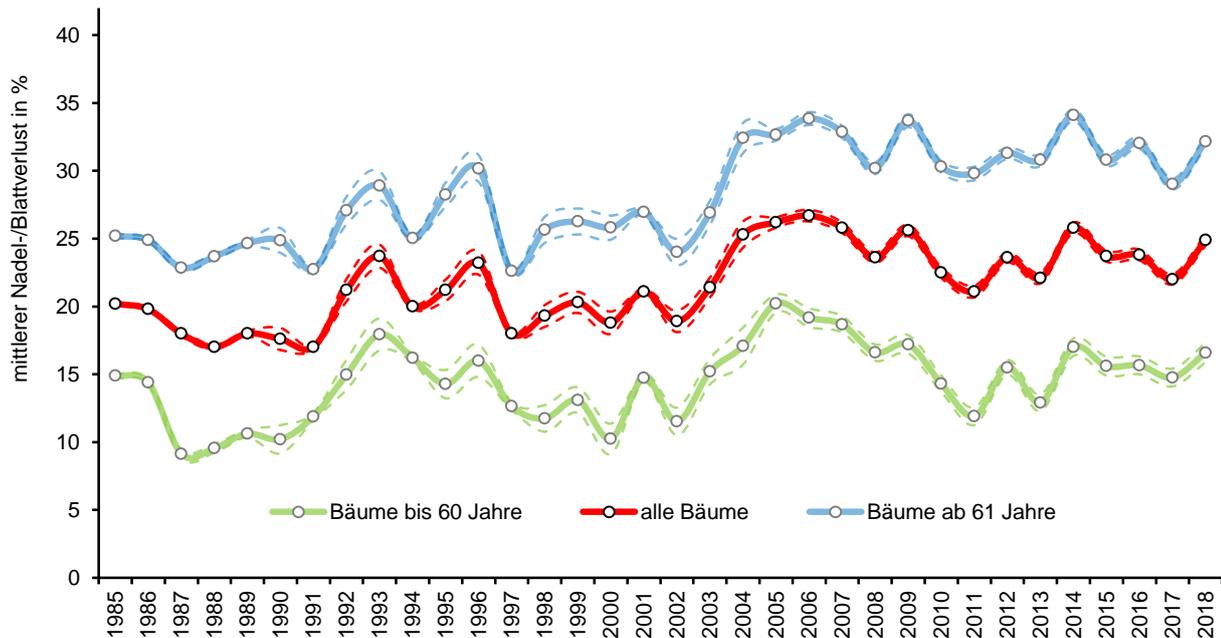
Zudem waren Nadelhölzer einem stark erhöhten Borkenkäferbefall ausgesetzt. Durch die warm-

trockene Witterung 2018 konnten sich verschiedenste Borkenkäferarten außerordentlich gut vermehren und entsprechend viele Nadelhölzer, vor allem Fichten, befallen. In Folge des anhaltenden Wassermangels waren die Fichten derart geschwächt, dass sie kaum Abwehrmaßnahmen in Form von Harzaustritt leisten konnten.

Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2018 zeigen eine deutliche Verschlechterung des Kronenzustandes der Waldbäume in Baden-Württemberg. Die mittlere Kronenverlichtung über alle Baumarten und Altersstufen erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr um 2,9 Prozentpunkte auf 24,9 Prozent (Abb. 7). Während sich der Waldzustand in den vorhergehenden drei Jahren im Trend verbesserte, ist nun bedingt durch die extreme Trockenheit 2018 wieder ein Anstieg des Schadniveaus festzustellen.



Abb. 6: Verfrühte Blattverfärbung durch Trockenheit Anfang August 2018 im Ortenaukreis (Foto: S. Meining)



**Abb. 7:** Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlusts aller Bäume in Baden-Württemberg (gestrichelte Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an)

Im bisherigen Verlauf der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg seit 1985 zeigt sich eine deutliche Verschiebung des Schadniveaus der Waldbäume ab Mitte der 2000er Jahre. Während in der ersten Hälfte der bisherigen Aufnahmeperiode die mittlere Kronenverlichtung der Bäume meist um die 20 Prozentmarke pendelt, ist insbesondere nach dem „Jahrhundertsommer 2003“ ein sprunghafter Anstieg der Kronenschäden festzustellen. Der bisher höchste Wert wurde mit knapp 27 Prozent im Jahr 2006 erreicht. Seitdem befindet sich die mittlere Kronenverlichtung auf einem erhöhten Niveau.

Neben der Belastung durch die anhaltende Dürre und Hitze im Sommer 2018 waren nahezu alle Baumarten in diesem Jahr einer außergewöhnlich starken Fruchtbildung ausgesetzt. Bereits im Frühjahr wurde landesweit auffallend viel Blütenstaub in der Luft beobachtet, der sich vielerorts als gelber Belag, beispielsweise auf Fenstern und Autos, ablagerte. In der Folge bildeten insbesondere die Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Buche (Abb. 8) und Eiche außergewöhnlich reichhaltigen Fruchtbehang.

Vor allem bei der Baumart Buche ist seit langem ein direkter Zusammenhang zwischen starker Fruchtbildung und erhöhter Kronenverlichtung im gleichen Jahr bekannt. Hervorgerufen durch eine zunehmend warm-trockene Witterung wird in den letzten Jahren eine Häufung starker Fruktifikationsjahre der Hauptbaumarten Baden-Württembergs festgestellt.

Das Baumalter hat einen großen Einfluss auf den Kronenzustand der Bäume. Ältere Bäume weisen über die gesamte Aufnahmeperiode der Waldschadensinventur im Mittel einen höheren Nadel-/Blattverlust auf als jüngere Bäume. In der zeitlichen Entwicklung der Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ zeigt sich allerdings ein weitgehend gleicher Verlauf der mittleren Kronenverlichtung, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau (Abb. 7). Die Ergebnisse der diesjährigen Erhebung zum Waldzustand zeigen sowohl für die Altersgruppe der Bäume „bis 60 Jahre“ als auch für die Bäume „ab 61 Jahre“ einen Anstieg in der mittleren Kronenverlichtung. Der stärkere Anstieg bei den älteren Bäumen kann mit der zusätzlichen physiologischen Belastung von älteren Bäumen durch starken Fruchtbehang erklärt werden.



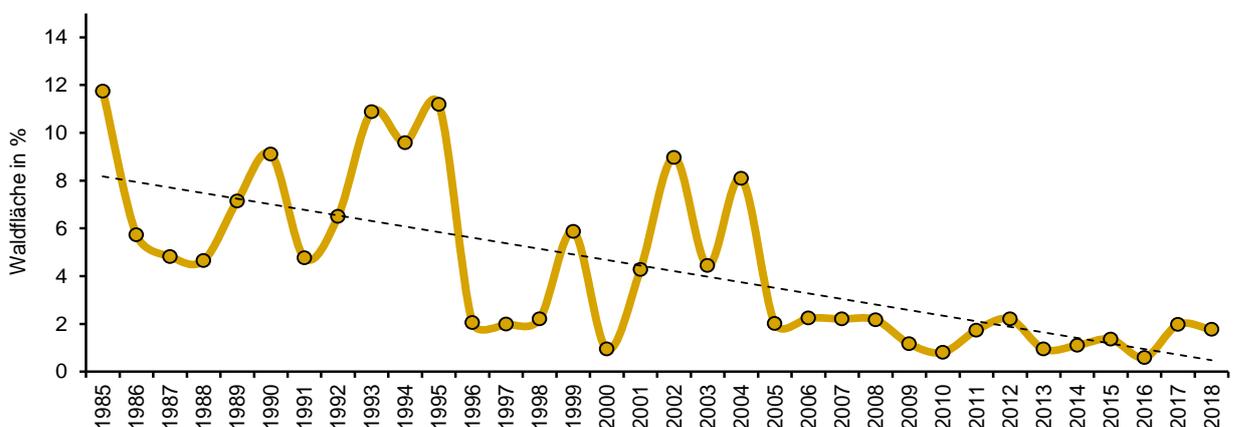
**Abb. 8:** Vorzeitig entlaubte Buche (links), starker Fruchtbehang (Mitte), grüne Blätter auf dem Waldboden (rechts)  
(Fotos: S. Meining)

## Vergilbung

Die Vergilbung von Nadeln und Blättern spielt in den Wäldern Baden-Württembergs derzeit nur eine untergeordnete Rolle. Lediglich auf 1,8 Prozent der Waldfläche sind Vergilbungssymptome vorhanden (Abb. 9). Aktuell ist vor allem bei Kiefer und Buche eine leicht erhöhte Gelbfärbung der Blattoorgane festgestellt worden, die wohl überwiegend als eine Reaktion der Bäume auf akuten Wassermangel zurückzuführen ist. Klassische Vergilbungserscheinungen, wie sie vermehrt zu Beginn der 1980er Jahre aufgetreten sind, deuten dagegen oftmals auf einen Mangel des Nährelements Magnesium hin. Sind im Waldboden nicht mehr ausreichend Magnesiumvorräte vorhanden, die der Baum aufnehmen kann, wird das Nährelement aus

älteren Blattoorganen in jüngerer, aktiveres Gewebe verlagert. Dadurch wird der grüne Farbstoff, das Chlorophyll, in den älteren Blättern abgebaut und eine typische Vergilbung entsteht.

Bis Mitte der 1990er Jahre waren Vergilbungssymptome an Waldbäumen vor allem auf exponierten Lagen der Mittelgebirge noch weit verbreitet. Hohe Schwefel- und Stickstoffeinträge führten zu einer starken Versauerung der Waldstandorte und zu akuten Mangelsymptomen der Waldbestände. Eine konsequente Luftreinhaltungspolitik sowie durchgeführte Maßnahmen zur Förderung der Stabilität der heimischen Wälder, wie z.B. der Bodenschutzkalkung anthropogen versauerter Waldstandorte und die Förderung von Mischbeständen, führten in den letzten Jahrzehnten zu einer deutlichen Verringerung der Vergilbungsrate in den Wäldern Baden-Württembergs.



**Abb. 9:** Anteil der vergilbten Waldfläche in Baden-Württemberg (gestrichelte Linie gibt den linearen Trend von 1985 bis 2018 an)

### Schadstufen

In der Verteilung der Schadstufen, die sich aus einer Kombination aus Nadel-/Blattverlust und Vergilbung berechnen (vgl. Tab. 1), kann die akute Belastung der Wälder Baden-Württembergs nach der extremen Trockenheit des Jahres 2018 eindeutig abgelesen werden. Aktuell sind 38 Prozent der Wälder Baden-Württembergs deutlich geschädigt (Schadstufe 2 bis 4) und damit sieben Prozentpunkte mehr als noch vor einem Jahr (Abb. 10). Dagegen geht die Waldfläche mit ungeschädigten Bäumen (Schadstufe 0) um sechs Prozentpunkte auf nur noch 25 Prozent zurück. Der Anteil der schwach geschädigten Bäume (Schadstufe 1) bleibt mit 37 Prozent gegenüber dem Vorjahr nahezu unverändert.

Analog zum mittleren Nadel-/Blattverlust ist auch bei der zeitlichen Entwicklung der Schadstufen in Baden-Württemberg ein sprunghafter Anstieg des Schadniveaus in Folge des „Jahrhundertsommers 2003“ zu erkennen. Der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche (Schadstufe 2 bis 4) liegt seit diesem Ereignis

stetig über 30 Prozent, während in den Jahren vor 2004 der Anteil erkennbar geringer war und im Mittel 24 Prozent erreichte. Demgegenüber verringert sich der Anteil der ungeschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg im langfristigen Trend seit 1985 erheblich.

### Fruktifikation

Die Fruchtbildung der Waldbäume ist im Jahr 2018 bei allen Hauptbaumarten außergewöhnlich hoch (Abb. 11). Bei Fichte, Tanne und der Gruppe der sonstigen Laubbäume (sLb) sind es über 70 Prozent der Bäume im blühfähigen Alter, die eine mittlere bzw. starke Fruchtbildung aufweisen (Abb. 12). Bei Buche, Eiche und den sonstigen Nadelbäumen (sNb) liegt der Anteil nur knapp darunter. Lediglich bei Kiefer und Esche liegt der Anteil etwas niedriger, ist jedoch mit 40 bzw. 30 Prozent mittel bis stark fruktifizierender Bäume für diese beiden Baumarten im langjährigen Vergleich ausgesprochen hoch.

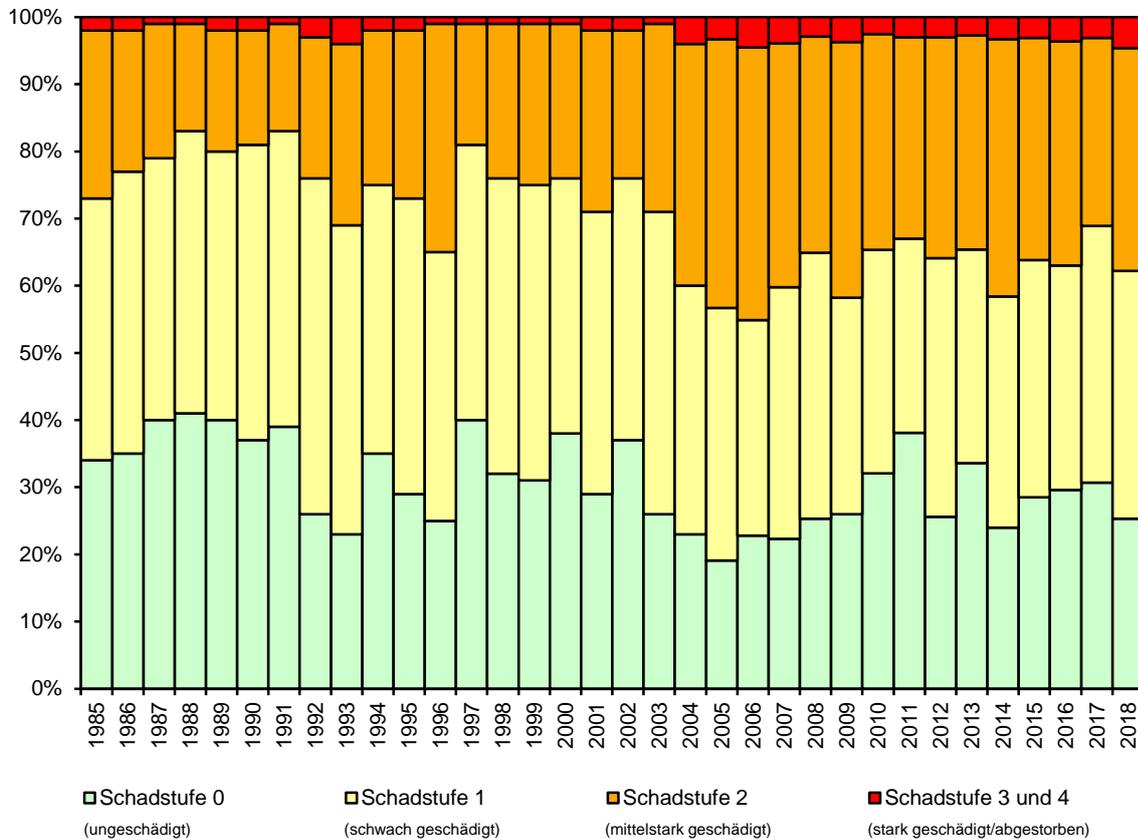


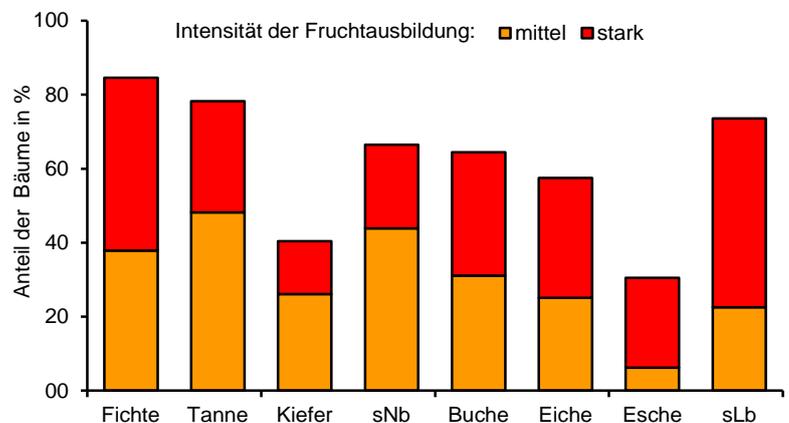
Abb. 10: Schadstufenverteilung von 1985 bis 2018



**Abb. 11:** Starke Blüte und Fruchtausbildung 2018. Oben: Fichte mit männlichen Blüten (links) und Zapfen (rechts). Unten: Zweig mit Bucheckern (links) und Eicheln (rechts) (Fotos: S. Meining)

Das Blühverhalten der Bäume wird im Wesentlichen durch den Witterungsverlauf bestimmt. Entscheidend hierbei ist die Witterung im Frühjahr bzw. Sommer des Vorjahres, also zu dem Zeitpunkt an dem die Knospen zu Blatt- oder Blütenknospen ausdifferenziert werden. Aktuelle Untersuchungen zur Fruktifikation der Waldbaumarten zeigen für die Fichte und Buche, dass eine starke Fruchtbildung maßgeblich durch eine kühl-trockene Sommerwitterung zwei Jahre vor der Mast und einen warmen Sommer ein Jahr vor der Mast begünstigt wird (NUSSBAUMER 2018). Daneben kann ein hoher Stickstoffeintrag in die Wälder das Blühverhalten der Bäume beeinflussen und eine stärkere Fruktifikation fördern (MATSCHKE 1982).

Die Ergebnisse der Waldschadensinventur belegen für die meisten Hauptbaumarten Baden-Württembergs eine Häufung stärkerer Fruktifikationsjahre und eine Zunahme der Fruktifikationsintensität innerhalb der letzten zehn Jahre. Anhand der Erhebungen zur



**Abb. 12:** Fruktifikationsintensität nach Baumarten im Jahr 2018

Baumart Buche ist dieser Trend besonders gut sichtbar (Abb. 13, oben). Es ist zu erkennen, dass die Intensität und Häufigkeit der Fruchtbildung bei der Buche in den letzten Jahren drastisch zugenommen hat. Während in der ersten Hälfte der Beobachtungsperiode in Mastjahren landesweit maximal 40 Prozent aller betrachteten Buchen mittel bzw. stark fruktifizierten, steigt der Anteil in den letzten Jahren zum Teil deutlich über 60 Prozent an. Zudem ist in den letzten Jahren eine auffällige Häufung von starken Fruktifikationsjahren (Mastjahre) alle zwei bis vier Jahre bei der Buche zu erkennen.

Eine starke Fruchtbildung bedeutet für die Bäume eine hohe physiologische Belastung. Große Mengen an Nährstoff- und Energiereserven der Bäume werden für die Ausbildung der Früchte, wie Bucheckern, Eicheln und Zapfen benötigt, die dem Baum für das vegetative Wachstum nicht mehr zur Verfügung stehen. Oftmals ist eine Verringerung der Blattmasse, der Seitenver-

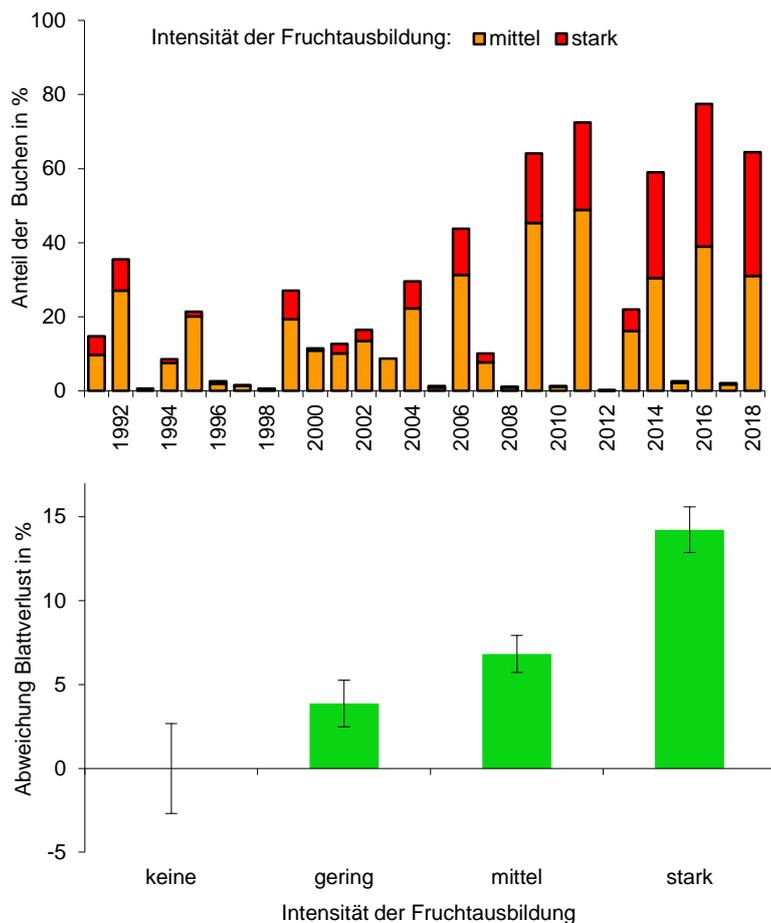
zweigung und des Zuwachses die Folge. Insbesondere bei der Buche wirkt sich ein starker Fruchtbehang unmittelbar auf den Kronenzustand aus. Die Aufnahmen 2018 zeigen für stark fruktifizierende Buchen eine um knapp 15 Prozent erhöhte mittlere Kronenverlichtung gegenüber nicht fruktifizierenden Buchen (Abb. 13, unten). Bei einem mittelstarken Fruchtbehang erhöht sich die Kronenverlichtung der Buchen um knapp sieben Prozent. In der Regel zeigt sich jedoch bereits nach einem Jahr eine deutliche Erholung des Kronenzustandes dieser Buchen.

### Hauptbaumarten

Im aktuellen Jahr hat sich der Kronenzustand aller Hauptbaumarten – mit Ausnahme der Baumart Tanne – gegenüber dem Vorjahr verschlechtert (Abb. 15). Für die Baumarten Fichte und Eiche ist im Mittel ein leichter Anstieg, für Kiefer und Buche ein

etwas stärkerer Anstieg der mittleren Kronenverlichtung zu verzeichnen. Der Kronenzustand der Esche verschlechtert sich in diesem Jahr drastisch, auch bedingt durch einen hohen Anteil an stehend abgestorbenen Eschen. Dagegen zeigt sich die Tanne sehr robust gegenüber allen Umwelteinflüssen, die dieses Jahr belastend auf die Wälder wirkten.

Der Kronenzustand der **Fichte** hat sich gegenüber dem Vorjahr leicht verschlechtert. Der mittlere Nadelverlust erhöht sich aktuell um 1,8 Prozentpunkte auf 21,2 Prozent. Besonders auf flachgründigen, trockenen Standorten zeigte die Fichte im Verlauf des Sommers 2018 frühzeitig Reaktionen auf die extreme Trockenheit. Häufig wurden nur verkürzte Triebe und/oder deutlich kürzere Nadeln ausgebildet bzw. ältere Nadeln als Schutz vor erhöhter Transpiration vorzeitig abgeworfen (Abb. 14). Zudem waren viele Fichten dieses Jahr stark vom Borkenkäfer gefährdet.



**Abb. 13:** Fruktifikationsintensität der Buchen seit 1991 (oben) und die Abweichung des mittleren Blattverlustes in Abhängigkeit der Intensität der Fruchtausbildung im Jahr 2018 mit Fehlerrahmen (unten)

Durch die warm-trockene Witterung konnten sich die Borkenkäfer stark vermehren und offenbar mühelos die durch Trockenheit geschwächten Fichten befallen. In Normaljahren können Fichten durch erhöhten Wasserdruck in bestimmten Zellen Baumharz in Richtung von Wunden (z.B. Bohrlöchern von Borkenkäfern) lenken und diese mit Harz verschließen. Durch den massiven Wassermangel war diese Abwehrmöglichkeit der Fichten im Jahr 2018 deutlich eingeschränkt.

Im Gegensatz zur Fichte bleibt der Kronenzustand der **Tanne** auch im Jahr 2018 relativ stabil. Der mittlere Nadelverlust der Tannen verringert sich leicht um 0,4 Prozentpunkte auf 19,1 Prozent. Damit ist die Tanne aktuell die Hauptbaumart mit den geringsten Kronenschäden. Wie bereits in den letzten Jahren zu beobachten, zeigt sich die Tanne als äußerst stabile Baumart, die auch längere Trockenperioden durch ihr tiefreichendes Wurzelwerk gut übersteht. Zudem sind Bergmischwälder, in denen die Tanne als typische Baumart oftmals vertreten ist, aufgrund ihrer vielfältigen Struktur deutlich weniger anfällig gegenüber Käferbefall. Dennoch zeigen sich auch Risiken, die die Vitalität der Tannen beeinträchtigen, insbesondere auf versauerten und dadurch nährstoffarmen Standorten. Häufig sind Verfärbung und vorzeitiger Abwurf älterer Nadeljahrgänge die Folge, was insbesondere in niederschlagsarmen Jahren mit Kaliummangel aufgrund geringer Kaliumfreisetzung aus Bodenaggregaten erklärt werden kann. Zudem ist die Tanne landesweit stark durch Mistelbefall betroffen. Etwa bei jeder fünften Tanne der Waldschadensinventur wurden Misteln in der Baumkrone oder am Baumstamm festgestellt. Die halbparasitisch lebende Mistel entzieht dem Baum Wasser und darin enthaltene Nährstoffe, was sich gerade in Jahren mit großem Niederschlagsdefizit wie im Jahr 2018 belastend auf die Vitalität der Tannen auswirken kann.

Die mittlere Kronenverlichtung der **Kiefer** erhöht sich gegenüber dem Vorjahr um 3,2 Prozentpunkte auf nunmehr 27,3 Prozent und liegt damit leicht über dem langjährigen Mittel der Baumart. Die anhaltende Trockenheit im Verlauf des Sommers führte auch bei der Kiefer regional zu deutlichen Schäden. Trockenstress in Verbindung mit hohen Temperaturen sorgten insbesondere auf wenig wasserspeichernden Standor-



**Abb. 14:** Schütter benadelte Fichte im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Foto: S. Meining)

ten der Oberrheinebene, auf denen die Kiefer als trockenheitstolerante Baumart zu finden ist, für eine erhöhte Mortalität. Ein zusätzlicher Befall durch die Kiefernmistel erhöht zudem das Trockenstressrisiko der Bäume.

Auch der Kronenzustand der **Buche** hat sich im aktuellen Jahr verschlechtert. Der mittlere Blattverlust erhöhte sich gegenüber dem Vorjahr um 4,0 Prozentpunkte auf 30,0 Prozent. Im Verlauf des Sommers wurden an vielen Buchen akute Trockenstresssymptome festgestellt. Besonders entlang von Waldrändern oder an stark besonnten Einzelbäumen konnte bereits ab Ende Juli eine Verfärbung von Buchenblättern beobachtet werden. Bei auftretendem Wassermangel versuchen die Buchen zunächst ihre Transpiration durch Zusammenklappen der Blätter zu verringern und so ihren Wasserhaushalt zu kontrollieren. Bleibt das Wasserdefizit hoch, verfärben sich die Blätter vorzeitig und es kommt zum Blattabwurf.

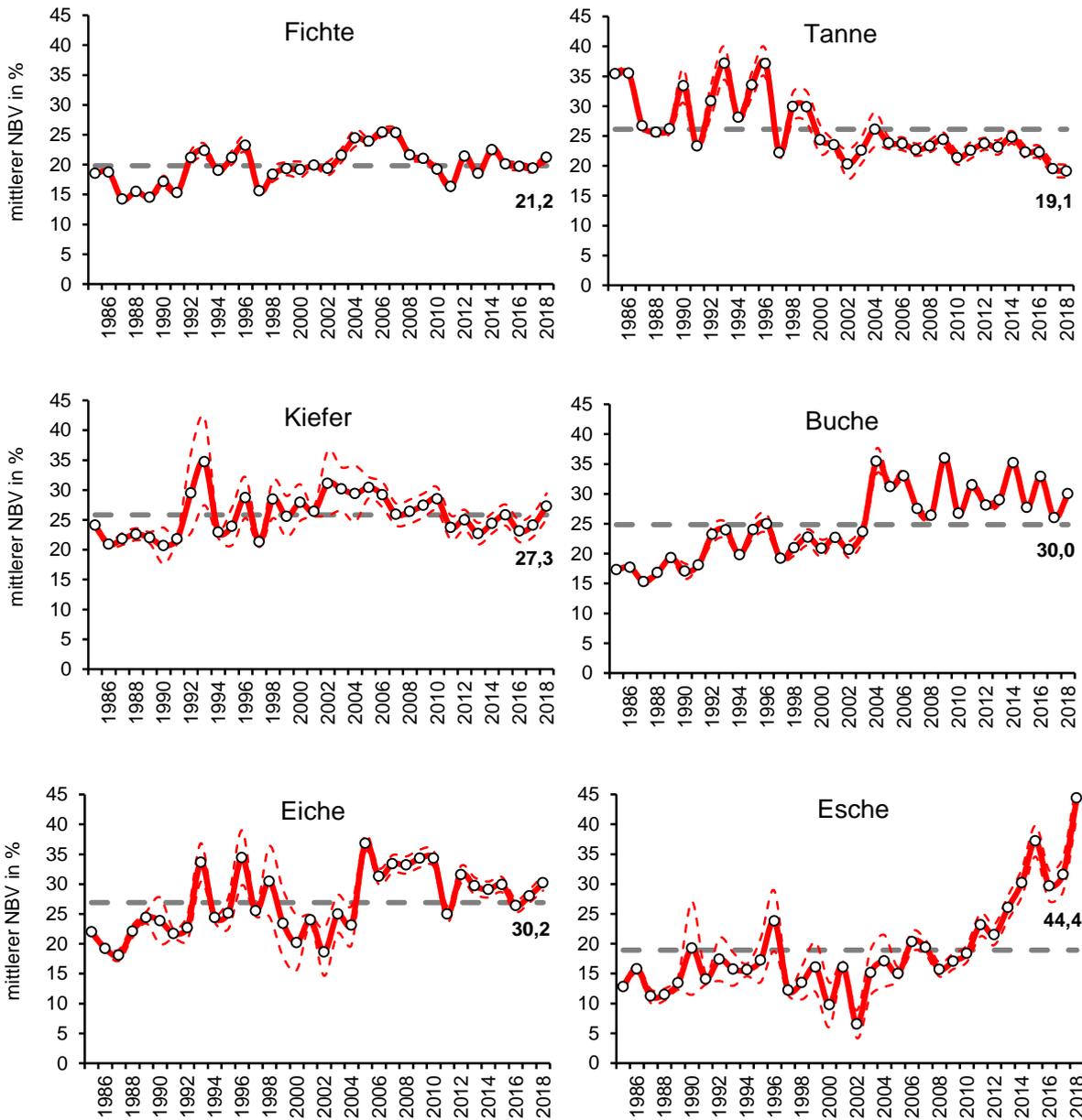


Abb. 15: Mittlerer Nadel-/Blattverlust (NBV) der Hauptbaumarten (gestrichelte graue Linien geben das langjährige Mittel an, gestrichelte rote Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an)

Bei extremer Trockenheit können auch – wie vereinzelt im Sommer 2018 beobachtet – grüne Blätter abgeworfen werden. Dabei gehen dem Baum wichtige Nährstoffe verloren, die normalerweise vor dem herbstlichen Laubfall im Baum gespeichert werden. Während der diesjährigen Waldschadensinventur wurden bereits im August nahezu komplett entlaubte Buchen vorgefunden. Neben der Trockenheit setzte der Buche die starke Fruchtbildung zu, die eine hohe Belastung für die Bäume bedeutet, da ein hoher Anteil der Nährstoff- und Energievorräte für die Ausbildung der Bucheckern

verwendet wird. Eine Erhöhung der Kronentransparenz durch Kleinblättrigkeit und fehlender Seitenverzweigung sind die Folge. Die **Eiche** zeigt sich aktuell in ihrem Kronenzustand gegenüber dem Vorjahr leicht verschlechtert. Der mittlere Blattverlust erhöht sich um 2,2 Prozentpunkte auf 30,2 Prozent. Die Eiche reagiert im Vergleich zur Buche deutlich widerstandsfähiger gegenüber anhaltender Trockenheit. Zwar wurden im Verlauf des Sommers auch bei der Eiche eine verfrühte Blattverfärbung und auf einigen Standorten ein Abwurf von noch grünem Laub festgestellt, jedoch in



**Abb. 16:** Geschädigter Eschenbestand im Landkreis Ravensburg (Foto: S. Meining)

deutlich geringerem Ausmaß. Durch ihr tiefreichendes Wurzelwerk ist die Eiche in der Lage, längere Trockenperioden besser zu überstehen. Auch die stärkere Fruchtbildung bei der Eiche im Sommer 2018 führte nicht unmittelbar zu einer höheren Kronenverlichtung. Allerdings sorgte regional eine erhöhte Belastung durch blattfressende Raupen für eine deutliche Schädigung. Vor allem im Neckartal und im nordöstlichen Baden-Württemberg wurden in Eichenbeständen Fraßschäden durch verschiedene Schmetterlingsraupen, wie Frostspanner-Arten, Schwammspinner und Eichenprozessionsspinner, festgestellt. Das zunehmende Auftreten des Eichenprozessionsspinners im Wald steht unter besonderer Beobachtung, da die Brennhaare der Raupen allergische Reaktionen beim Menschen auslösen können.

Besonders kritisch stellt sich der Zustand der **Esche** dar, die nach wie vor durch den Erreger des Eschentriebsterbens massiv geschädigt ist (Abb. 16). Der mittlere Blattverlust der Eschen erhöht sich dieses Jahr um 12,8 Prozentpunkte auf 44,4 Prozent. Der pilzliche Erreger mit dem Namen „Falsches Weißes Stengelbe-

cherchen“ infiziert im Sommer die Blätter der Esche und wächst von dort aus in die Triebe ein. Dadurch entsteht das typische Triebsterben der Esche mit weiterem Zurücksterben der Baumkrone im fortgeschrittenen Verlauf (WALDSCHUTZINFO 2/2016). Mittlerweile ist diese Baumkrankheit in ganz Baden-Württemberg verbreitet und bringt ganze Eschenbestände zum Absterben. Nach einer kurzen Erholungsphase aufgrund geringer Neuninfektionen durch einen günstigen Witterungsverlauf in den vergangenen Jahren, führte der in diesem Sommer lang anhaltende Trockenstress insbesondere bei bereits vom Eschentriebsterben befallenen und geschwächten Bäumen zu einer deutlichen Belastung und einer erhöhten Mortalitätsrate.

### Sonstige Nadel- und Laubbaumarten

Die extreme Trockenheit während des Sommers 2018 führte auch bei den **sonstigen Nadelbäumen** zu einer Verschlechterung des Kronenzustandes. Der mittlere Nadelverlust erhöht sich leicht um 2,6 Prozentpunkte

auf 22,5 Prozent. Vor allem bei der Douglasie sind Trockenstressreaktionen, wie Verfärbung und vorzeitiger Nadelabwurf, erkennbar. Die mittlere Kronenverlichtung erhöht sich gegenüber dem Vorjahr deutlich. Die insgesamt höhere Kronenverlichtung der Lärchen-Arten (Europäische und Japanische Lärche) ist dem höheren Baumalter dieser Gruppe geschuldet. Im Vergleich zum Vorjahr sind keine Veränderungen des mittleren Nadelverlustes der Lärchen erkennbar.

Ebenfalls leicht verschlechtert hat sich der Kronenzustand der **sonstigen Laubbäume**. Mit einer Erhöhung von 1,9 Prozentpunkten auf nunmehr 20,0 Prozent Blattverlust bleibt das Schadniveau der sonstigen Laubbäume allerdings weiterhin auf geringem Niveau, was sich durch das vergleichsweise geringe Baumalter dieser Gruppe erklärt. Die sonstigen Laubbäume setzen sich aus einer Vielzahl von Baumarten zusammen. Dabei am häufigsten ist mit großem Abstand der Bergahorn, gefolgt von der Hainbuche und der Roteiche. Bei allen drei Baumarten ergibt sich zum Vorjahr eine Erhöhung der Kronenverlichtung, die allerdings statistisch nicht signifikant ist.

## Regionale Verteilung

In der regionalen Betrachtung der Kronenschäden der Hauptbaumarten zeigen sich für das Jahr 2018 große ausgedehnte Areale mit höheren Nadel-/Blattverlusten, die sich in ihrer räumlichen Verteilung je nach Baumart unterschiedlich darstellen (Abb. 17).

Für die Fichte zeichnen sich aktuell größere Gebiete mit höheren Nadelverlusten vor allem für den Mittel- und Südschwarzwald sowie für die Ostalb bzw. die Ellwanger Berge ab. Dabei haben sich seit Beginn der Waldschadensinventur Anfang der 1980er Jahre die Schadareale für die Fichte deutlich gewandelt. Traten zunächst hauptsächlich Schäden auf stark versauerten Standorten auf, sind heute aufgrund von klimatischen Veränderungen auch auf besser versorgten Böden höhere Kronenverlichtungen zu finden. Der Nordschwarzwald war das ehemalige Hauptschadensgebiet der Tanne, mit deutlichen Kronenschäden und weitverbreiteter Vergilbung der Nadeln auf stark versauerten Standorten. Mittlerweile hat sich der Kronenzustand der Tanne, dank deutlich verringerter

Schadstoffeinträge im Nordschwarzwald, grundlegend erholt. Derzeit können in Baden-Württemberg kaum Areale mit stark erhöhten Nadelverlusten für die Tanne lokalisiert werden. Im Gegensatz dazu ist der Schadensschwerpunkt der Kiefer klar am südlichen Oberrhein abzugrenzen. Auf den trockenen, kaum wasserspeichernden Standorten weist die Kiefer deutliche Schäden und eine erhöhte Mortalitätsrate auf. Ein weiterer Schadensschwerpunkt der Kiefer zeigt sich aktuell ganz im Nordosten des Landes. Die Baumart Buche zeigt aktuell unter dem Einfluss der starken Fruktifikation und des lang anhaltenden Trockenstresses nahezu landesweit höhere Blattverluste. Hiervon besonders betroffen sind der Schwarzwald, weite Regionen des Neckarlandes und des Alpenvorlandes. Ebenfalls weit verbreitet sind die Schadgebiete der Eiche in Baden-Württemberg. Besonders stark betroffen ist hierbei die Region Ostalb. Aber auch in weiten Teilen des Neckarlandes, des Odenwalds, der Rheinebene und des Alpenvorlandes treten erhöhte Blattverluste bei der Eiche auf. Der Kronenzustand der Esche stellt sich als äußerst dramatisch dar. Areale mit höheren Kronenschäden treten mittlerweile nahezu flächendeckend in ganz Baden-Württemberg auf.

Die regionale Darstellung der Kronenschäden wird für ganz Baden-Württemberg durch multivariate Modelle für alle Hauptbaumarten erstellt. Dabei wird der Nadel-/Blattverlust als Funktion des Baumalters, der räumlichen Lage und der Zeit berechnet, wobei Korrelationen in Zeit und Raum berücksichtigt werden (AUGUSTIN et al. 2009). Durch das Modell ist eine altersbereinigte Darstellung des Raum-Zeit-Trends möglich, d.h. der mittlere Nadel-/Blattverlust wird für das mediane Baumalter der jeweiligen Baumart dargestellt. Da die einzelnen Baumarten nicht überall flächendeckend in ausreichender Anzahl vorkommen, ergeben sich in der räumlichen Darstellung einzelne Lücken, für die keine sichere Aussage über den Kronenzustand der Baumart gemacht werden kann.

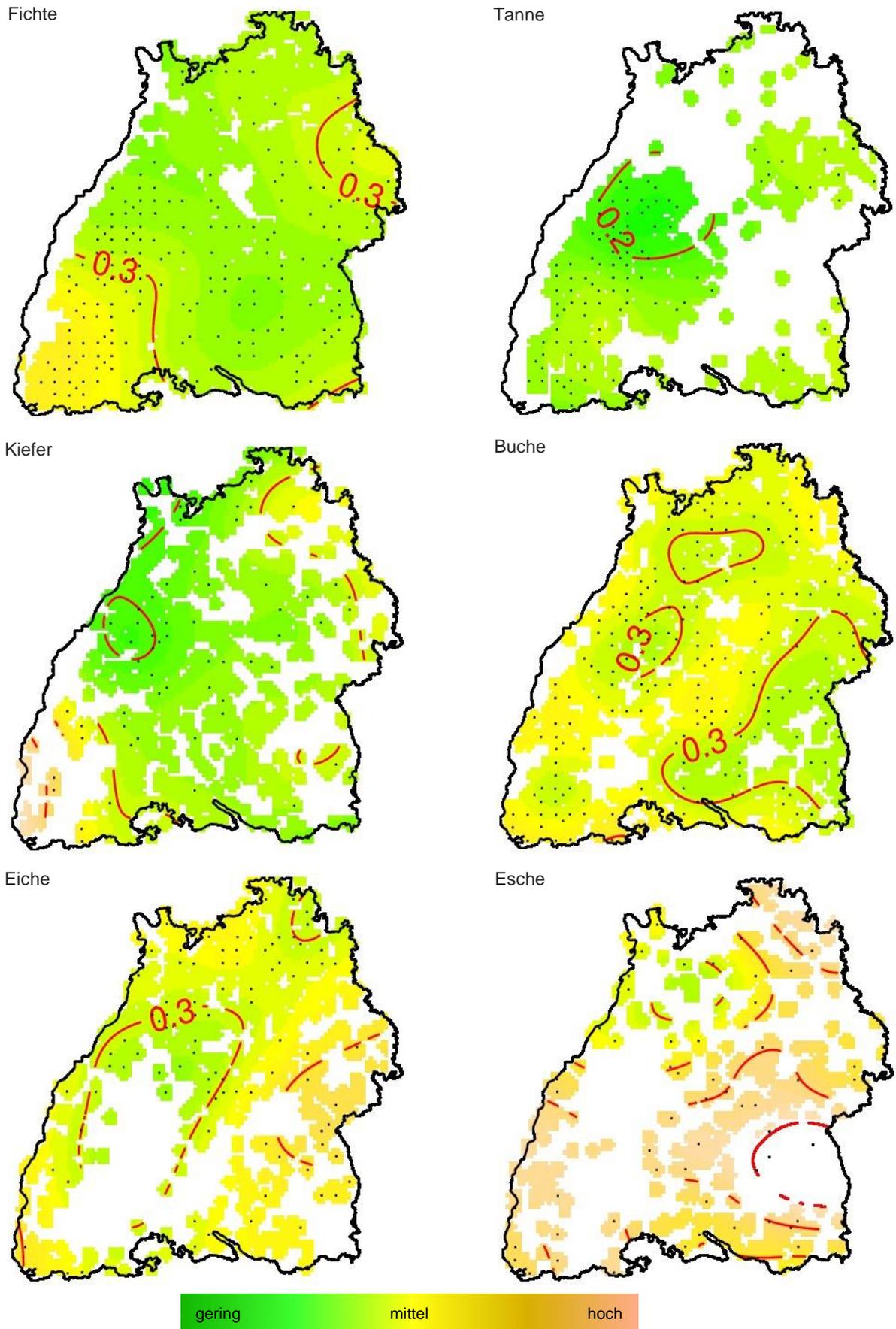


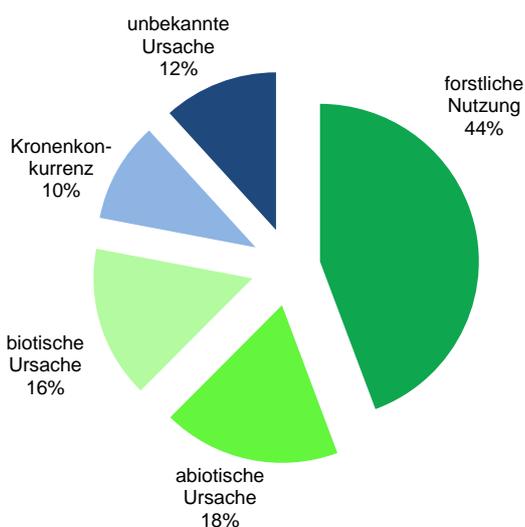
Abb. 17: Räumliche Verteilung der Nadel-/Blattverluste der Hauptbaumarten Baden-Württembergs altersbereinigt auf das mediane Alter der jeweiligen Baumart (rote Linien: Isolinien gleichen Nadel-/Blattverlustes)

## 4 MORTALITÄTSRISIKO

Die diesjährigen Erhebungen des Kronenzustands zeigen eindrücklich, dass Klimaextreme maßgeblich zur Verschlechterung der Waldvitalität beitragen. Die Daten der terrestrischen Waldschadensinventur liefern eine wichtige Datengrundlage, um die Folgen des Klimawandels für den Wald zu untersuchen und waldbauliche Strategien zur Schadensbegrenzung zu entwickeln.

Von den insgesamt 7.130 untersuchten Bäumen der diesjährigen Waldschadensinventur in Baden-Württemberg sind 282 Bäume ausgefallen. Dies entspricht einem Anteil von 4,0 Prozent. Mit 125 Bäumen bzw. 44 Prozent ist der Anteil der Bäume, die im Rahmen einer forstlichen Nutzung aus dem Waldbestand entfernt wurden, hierbei am höchsten (Abb. 18). 18 Prozent der ausgefallenen Bäume gehen auf abiotische Ursachen zurück, im Wesentlichen auf Sturmwurfschäden nach den Winterstürmen „Burglind“ und „Friederike“, die in weiten Teilen Baden-Würtbergs Schäden verursacht haben.

Aus biotischen Ursachen sind insgesamt 16 Prozent der Bäume ausgefallen. Dies ist hauptsächlich auf abgestorbene Eschen nach Befall durch das Eschentriebsterben und auf abgestorbene Fichten nach Borkenkäferbefall zurückzuführen.



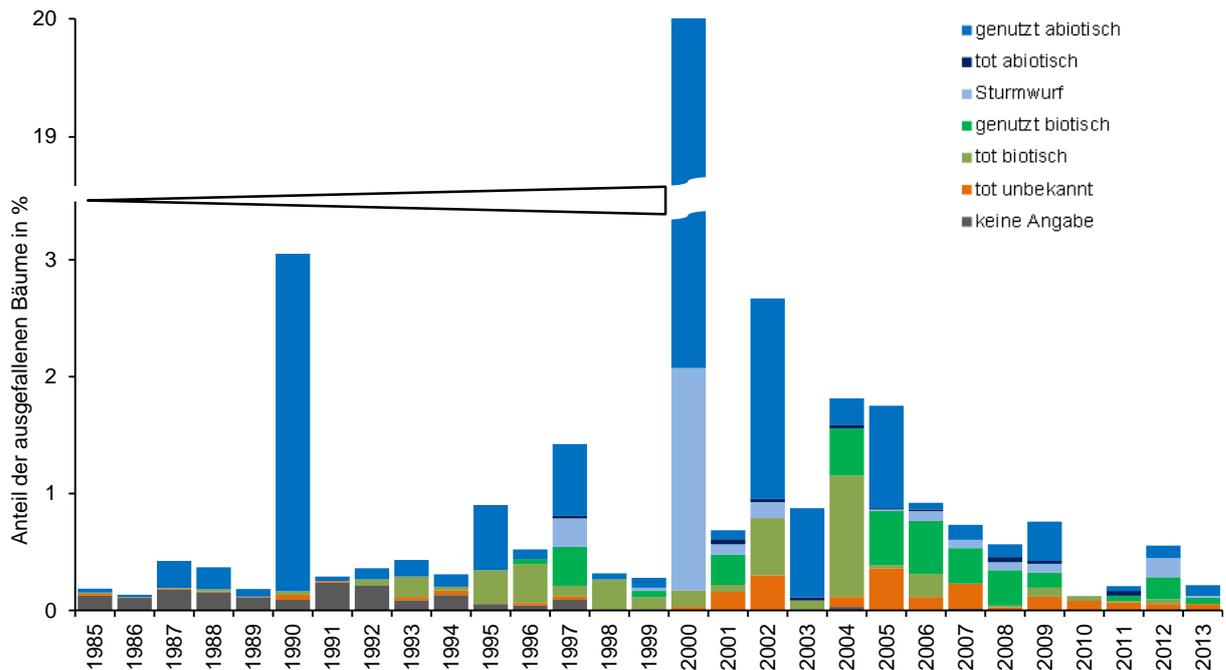
**Abb. 18:** Prozentualer Anteil der Stichprobenbäume der Waldschadensinventur 2018 nach Ausfallursache

Während 10 Prozent aufgrund einer geänderten Konkurrenzsituation und damit aus methodischen Gründen aus der Stichprobe ausgeschieden sind, konnte während der Aufnahmen zur Waldschadensinventur bei 12 Prozent der ausgefallenen Bäume keine eindeutige Ausfallursache ermittelt werden.

In der hier vorgestellten Untersuchung wurde geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen dem beobachteten Nadel-/Blattverlust und der Mortalität in den Folgejahren besteht. Insbesondere wurde untersucht, ob es einen Grenzwert des Nadel-/Blattverlustes gibt, welcher als frühes Warnsignal für eintretende irreversible Schäden dienen könnte. Hierbei wurden auch weitere mögliche Einflussfaktoren, wie Boden- und Klimaverhältnisse, einbezogen. Untersucht wurden die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Eiche und Buche.

### Daten und Untersuchung

Für die Analyse werden die Kronenzustandsdaten der Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI) und der Versuchsflächen (Intensivmessflächen und Dauerbeobachtungsflächen) verwendet. Die Analyse wird auf die Jahre 1985 bis 2013 begrenzt, da zum einen frühere Erhebungen methodisch in Bezug auf spezifische Aufnahmeparameter (wie z.B. Bestimmung der Ausfallursache) vom später etablierten Verfahren abweichen und zum anderen für die Jahre nach 2013 wichtige zusätzliche Erklärungsgrößen für die Mortalität (insbesondere zum Wasserhaushalt) noch nicht vorliegen. Die Mortalität der beobachteten Bäume wird im Rahmen der Kronenzustandserhebung aufgenommen und die Ausscheideursache dokumentiert. Es wird hierbei zwischen entnommenen Bäumen (also bei der aktuellen Aufnahme nicht mehr vorhandenen) und stehend toten Bäumen unterschieden. Abbildung 19 zeigt die verschiedenen Ausscheideursachen, die dazu führten, dass Bäume in den Folgejahren nicht mehr aufgenommen werden konnten.

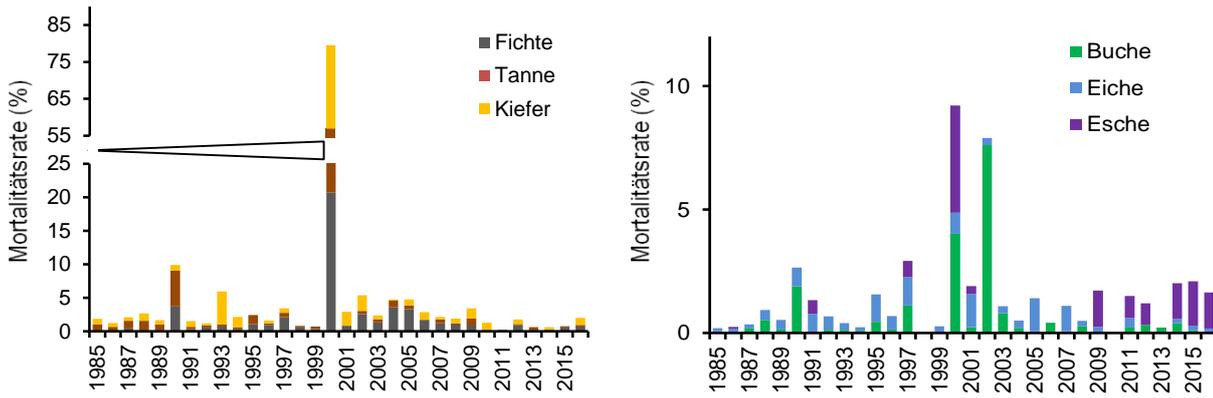


**Abb. 19:** Prozentualer Anteil der aufgenommenen Bäume nach Ausfallursache (ohne die Ausfallgründe „planmäßige Nutzung“ und „Konkurrenz“) von 1985 bis 2013

Hierbei werden ausschließlich zufällige Nutzungen dargestellt, die Ausfallursachen „planmäßige Nutzung im Rahmen ordnungsgemäßer Forstwirtschaft“ und „natürliche Konkurrenz“ werden nicht berücksichtigt. In der betrachteten Beobachtungsperiode von 1985 bis 2013 sind Sturmschäden die häufigste Ursache (Abb. 20). Vor allem durch den Orkan „Lothar“ am 25.12.1999 wurden überproportional viele Probestämme nach Sturmschäden genutzt (= „Ernte aufgrund von abiotischen Störungen“) oder durch Kronenbruch bzw. Entwurzelung (= „Sturmschäden“) soweit geschädigt, dass sie nicht mehr bei der Kronenzustandserhebung aufgenommen werden konnten. Eine höhere Ausfallrate durch Sturm – wenn auch in deutlich abgeschwächter Form – ist auch in dem Jahr 1990 nach den Orkanen „Vivian“ und „Wiebke“ zu beobachten. Als zweithäufigste Ursache sind Ausfälle durch biotische Gründe, v.a. durch den Fichten-Borkenkäfer, zu verzeichnen (= „Ernte aufgrund von biotischer Störung“ und „stehend tot biotischer Grund“), deren Anteil sich seit 1997 verstärkt. In den ersten Jahren der Erhebung wurden die Ausscheidegründe nicht für alle Probestämme erfasst, weshalb der Datensatz in diesem Zeitraum einen erhöhten Anteil von Bäumen mit nicht definiertem Ausscheidgrund enthält.



**Abb. 20:** Ausfall von Probestämmen durch Sturmwurf im Landkreis Freudenstadt (Foto: S. Meining)



**Abb. 21:** Mortalitätsrate getrennt nach den Hauptbaumarten Fichte, Tanne und Kiefer (links) und Buche, Eiche und Esche (rechts) von 1985 bis 2016

Abbildung 21 zeigt die Mortalitätsraten getrennt nach den Hauptbaumarten Baden-Württembergs. Auffallend ist, dass infolge des Sturms „Lothar“ (1999) überproportional viele Tannen aus dem Kollektiv der Probebäume ausgeschieden sind. Dies ist durch die Lage der Beobachtungsflächen (mit einem Tannenschwerpunkt im Schwarzwald) und der Zugbahn von Sturm „Lothar“ begründet. Etwa seit dem Jahr 2003 findet sich die höchste Mortalitätsrate meist bei der Fichte, wobei in den letzten Jahren die Mortalitätsrate für die Esche infolge des Eschentriebsterbens angestiegen ist.

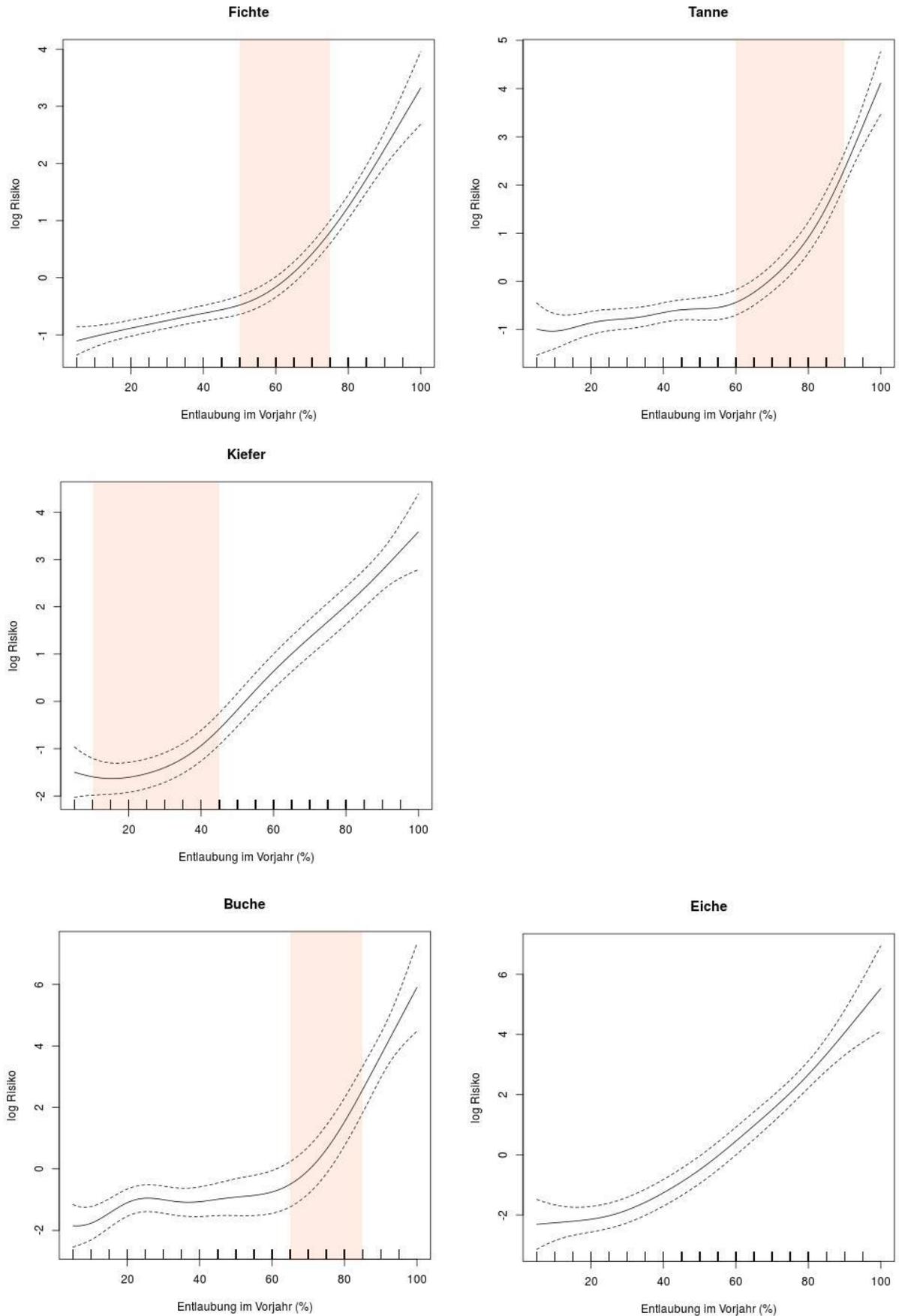
### Kronenverlichtung und Baum mortalität

Um den Zusammenhang zwischen Mortalität und Entlaubung zu untersuchen, wurde ein statistisches Modell (Cox-Modell nach Cox, 1972) an die Daten der fünf untersuchten Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche angepasst. Das Cox-Modell schätzt die Sterberate für eine bestimmte Baumart als eine Funktion der Zeit.

Das Modell enthält eine sogenannte Grundrisiko-Funktion (baseline-hazard-function), welche ein Maß für die Sterberate ist, die bei jedem einzelnen Baum zunächst gleich ist. Neben dem Kronenzustand der Bäume enthält das Modell Funktionen weiterer Erklärungsvariablen, die charakteristisch für bestimmte Bäume oder Untersuchungsflächen (wie z.B. Entlaubung im Vorjahr, Baumalter, Bodenfunktionen, Klimaverhältnisse und Wasserhaushalt) sind. Da es im Modell zulässig ist, dass sich das Grundrisiko über die Zeit verändert, werden zeitliche Trends, für die keine Erklärungsvariablen im Modell verfügbar sind und die alle Bäume gemein haben, erkannt (z.B. erhöhtes Grundrisiko durch Umweltverschmutzung). Vereinfacht kann das Modell wie in Abbildung 22 beschrieben werden. Dabei stellen  $i$  den Ort der Probenahme,  $j$  den Probebaum und  $k$ ,  $l$  und  $m$  jeweils einzelne Eingangsgrößen der jeweiligen Funktion (z.B. Niederschlag oder Lufttemperatur als Klimaparameter) dar. Für jede Baumart wurde ein Modell dieser Art erstellt.

$$\begin{aligned}
 \log \text{Risiko}_{i,j}(\text{Zeit}) = & \log \text{Grundrisiko}(\text{Zeit}) + f_1(\text{Begründungsjahr}_{i,j}) \\
 & + f_2(\text{Entlaubung } i, j) + \sum_k f_k(\text{Bodenparameter}_{i,j,k}) \\
 & + \sum_l f_l(\text{Klimaparameter}_{i,j,l}(\text{Zeit})) \\
 & + \sum_m f_m(\text{Wassermangelindex}_{i,j,m}(\text{Zeit})) + \text{Raumeffekt}_i
 \end{aligned}$$

**Abb. 22:** Statistisches Modell zur Abschätzung der Sterberate in Abhängigkeit verschiedener Parameter



**Abb. 23:** Modellierte Gefährdungsrate (logarithmisch) als Funktion der Entlaubung des Vorjahres für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche. Orange: Konfidenzintervall (95 Prozent) des Grenzwertes

Die Form der Funktionen Grundrisiko(Zeit),  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_k$ ,  $f_l$ ,  $f_m$  ist bei den verschiedenen Baumarten unterschiedlich. Auch wurden je nach Baumart unterschiedliche spezifische Variablen für Boden, Klima und Wasserhaushalt mithilfe eines automatischen, objektiven, statistischen Algorithmus zur Variablenauswahl gesucht. Genauere Informationen dazu finden sich in AUGUSTIN et al. (2018).

Es konnte gezeigt werden, dass bei Fichte, Tanne und Buche die Entlaubungsdaten des Vorjahres eine weniger wichtige Rolle spielen als Boden- und Klimafaktoren. Im Gegensatz dazu hängt die Mortalität bei Kiefer und Eiche gemäß den Modellergebnissen stärker von der Entlaubung als von Umweltgrößen ab. Wassermangel wirkt sich vor allem bei Fichte, Tanne und Buche auf die Mortalität aus, während er für die Mortalität von Kiefer und Eiche keine Rolle spielt. Insgesamt können die erstellten Modelle zwischen 31 Prozent (Kiefer) und 57 Prozent (Tanne) der Variabilität der beobachteten Mortalität erklären.

Abbildung 23 zeigt die modellierte Gefährdungsrate (logarithmisch) als eine Funktion der Entlaubung im Vorjahr. Das heißt, dass die geschätzte Funktion  $f_2(\text{Entlaubung}_{ij})$  in der obigen Gleichung unter Berücksichtigung aller anderen Variablen des Modells, wie z.B. Baumalter, Bodenfunktionen und Wasserhaushalt, geschätzt wurde. Es ist offensichtlich, dass das Sterberisiko eines Baumes mit zunehmender Entlaubung steigt.

Zudem deutet sich für die meisten Baumarten ein Grenzwert für die Entlaubung an, ab dem das Mortalitätsrisiko stärker ansteigt. Orange schattiert wird für alle Baumarten-Modelle (mit Ausnahme der Eiche) ein Konfidenzintervall von 95 Prozent für den Grenzwert gezeigt; d.h. dass das Intervall mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit den Grenzwert enthält. Für die Fichte liegt somit der Grenzwert mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit zwischen 50 und 75 Prozent Nadelverlust. Bei der Kiefer liegt der Grenzwert zwischen 10 und 45 Prozent Nadelverlust, also wesentlich niedriger. Für Tanne und Buche liegen die Intervalle zwischen 60 und 90 bzw. 65 und 85 Prozent. Für die Eiche kann kein Grenzwert geschätzt werden, da es statistisch keine auffälligen Veränderungen der Steigung des logarithmischen Grundrisikos gibt.

Die modellunterstützte Untersuchung zur Mortalität belegt ein erhöhtes Absterberisiko der Bäume mit steigender Kronenverlichtung. Dabei ist der Grenzwert, an dem das Absterberisiko deutlich ansteigt, je nach Baumart unterschiedlich. Für die meisten Baumarten erscheint jedoch die bereits in den 1980er Jahren eingeführte Schadstufengrenze zwischen Stufe 2 (mittelstark geschädigter) und Stufe 3 (stark geschädigter Bäume) als relevant bezüglich eintretender, irreversibler Schäden in den Baumkronen.

## 5 WITTERUNG

Der Witterungsverlauf des Jahres 2018 ist geprägt durch eine außergewöhnlich lang anhaltende Trockenperiode und hohe Temperaturen während der Vegetationszeit. Dies hat unter anderem Ernteeinbußen in der Landwirtschaft zur Folge. Während des Sommers trockneten kleine Bäche aus und die geringen Pegelstände größerer Flüsse ließen zum Teil nur einen eingeschränkten Schiffsverkehr zu. Ende Juli bis Anfang August stieg in den Wäldern Baden-Württembergs aufgrund der sehr trockenen Witterung die Waldbrandgefahr fast flächendeckend stark an. Größere Waldbrände in Baden-Württemberg blieben jedoch glücklicherweise während des Sommers 2018 aus.

### Temperatur und Niederschlag

Bereits im letzten Jahr war die Wasserversorgung der Wälder Baden-Württembergs in der ersten Jahreshälfte kritisch und massive Trockenstresssymptome wurden erst durch erhöhte Niederschläge im Juli und August 2017 verhindert (Abb. 24).

Klimatologische Referenzperioden umfassen in der Regel 30 Jahre, damit die statistischen Kenngrößen der verschiedenen klimatologischen Parameter mit befriedigender Genauigkeit bestimmt werden können (Dwd 2018). Die monatlichen Mittelwerte der Temperatur und des Niederschlags werden in diesem Bericht mit der Referenzperiode 1981-2010 in Beziehung gesetzt.

Eine vollständige Wiederauffüllung der Bodenwasserspeicher erfolgte durch einen nassen November 2017 und einen sehr nassen Januar 2018. Im Januar wurde landesweit im Vergleich zum langjährigen Mittel mehr als doppelt so viel Niederschlag registriert. Die Monatsmitteltemperatur lag dabei etwa 4 Grad Celsius über dem Referenzwert der Periode 1981 bis 2010. Die Sturmtiefs „Burglind“ und „Friederike“ verursachten zudem im Januar in einigen Regionen erhebliche Schäden im Wald.

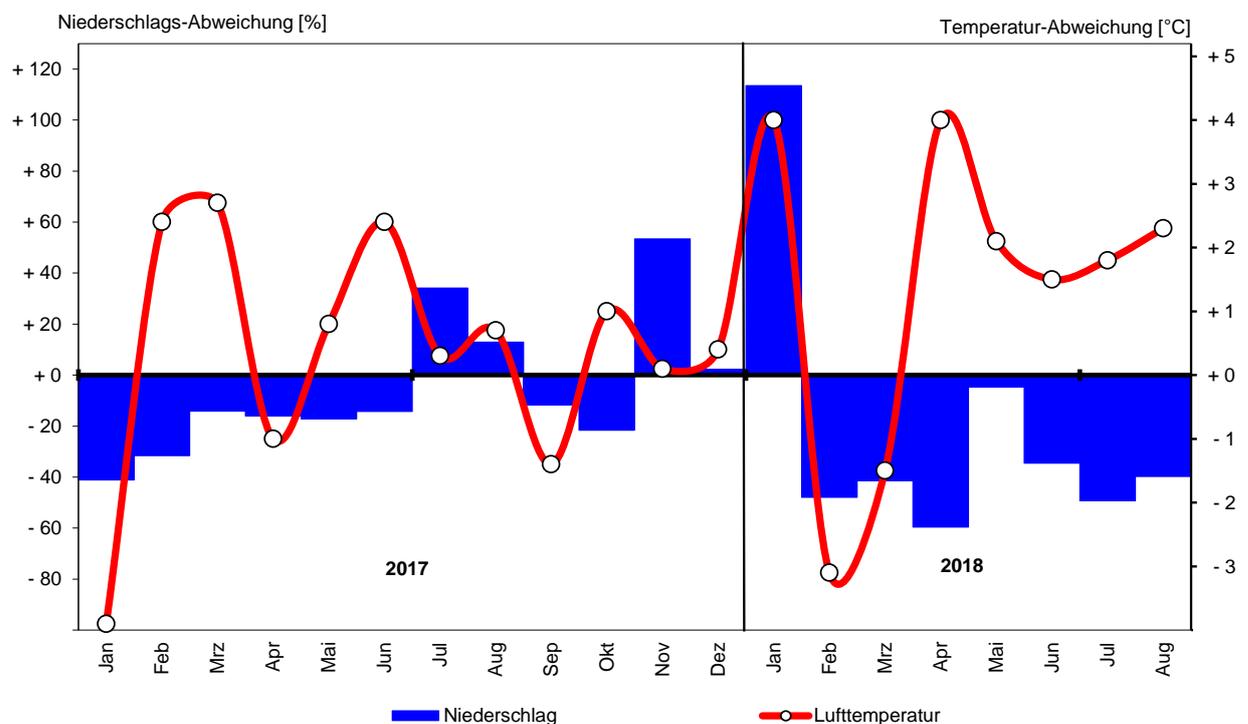
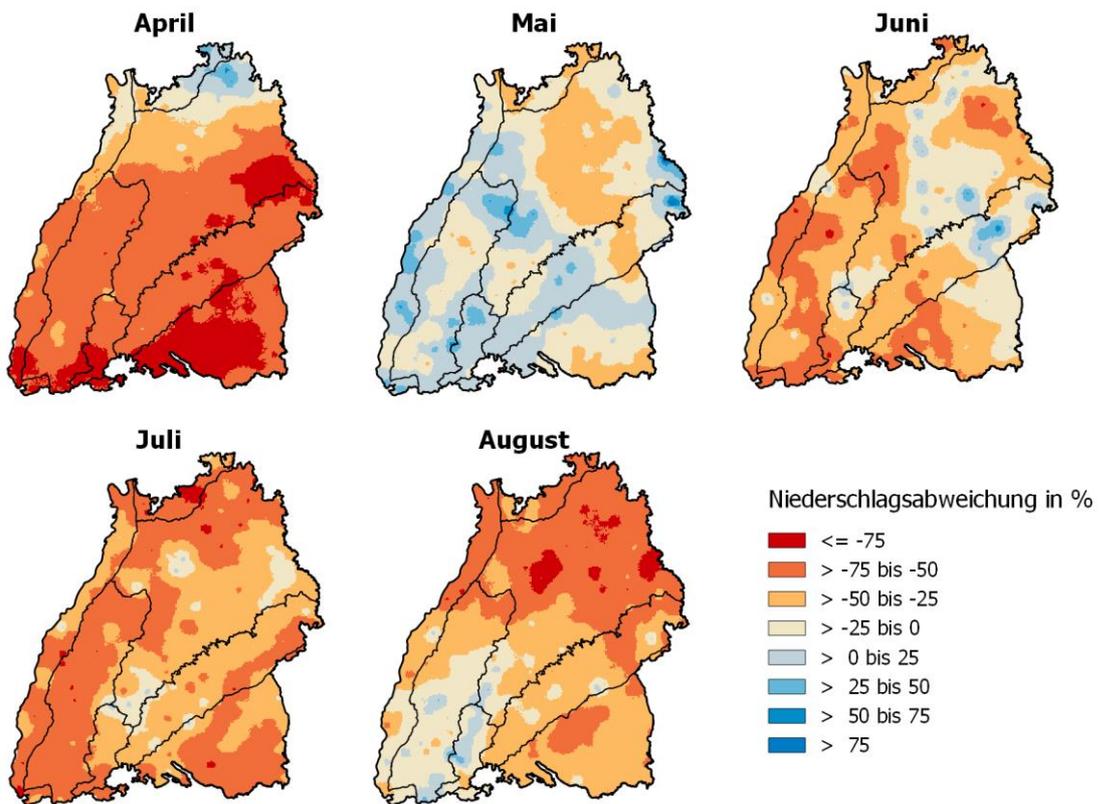
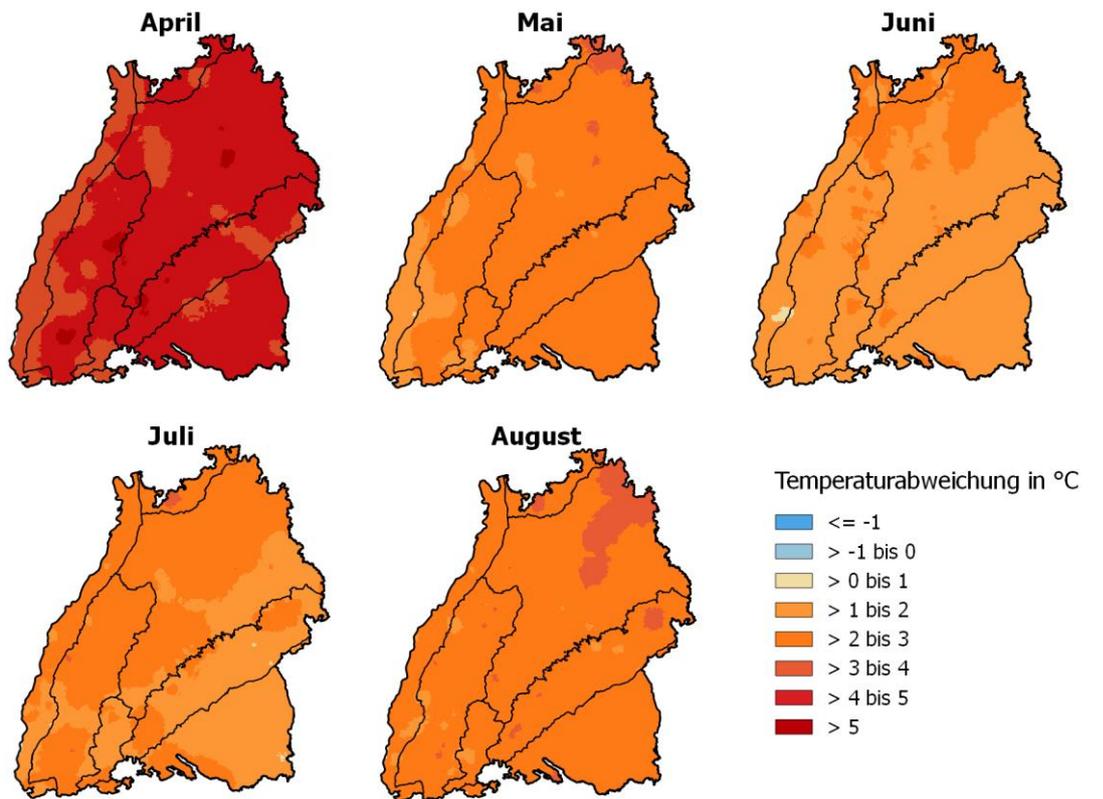


Abb. 24: Niederschlags- und Temperaturabweichung vom langjährigen Mittel (1981 bis 2010) für Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)



**Abb. 25:** Regionale Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) vom langjährigen Mittel in Baden-Württemberg der Monate April bis August 2018 (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)

Bereits ab Februar sanken die Niederschlagsmengen deutlich unter das langjährige Mittel, was sich sowohl im März als auch im April fortsetzte. Viel Sonnenschein und teilweise sommerlich warme Temperaturen sorgten ab April für eine schnelle Vegetationsentwicklung mit vergleichsweise frühem und schnellem Austrieb der Waldbäume. Während im Mai die Niederschlagsmengen im Vergleich zum Referenzwert im Mittel nur geringfügig unterschritten wurden, setzte sich die extreme Trockenheit in den Monaten Juni bis August mit einem durchschnittlichen Niederschlagsdefizit von mehr als 30 Prozent weiter fort. Die regionale Betrachtung der Temperatur- und Niederschlagsabweichung für die Monate April bis August ist in Abbildung 25 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Temperaturabweichung in allen Regionen für die betrachteten Monate über dem langjährigen Mittel liegt, d.h. es in allen Regionen Baden-Württembergs von April bis August zu warm war. Und auch in der Niederschlagsabweichung zeigen sich für die fünf Monate vornehmlich Gebiete mit ausgesprochenem Niederschlagsdefizit. Besonders im April und Juli ist landesweit – mit Ausnahme kleinerer Regionen – ein deutlicher Wassermangel zu verzeichnen.

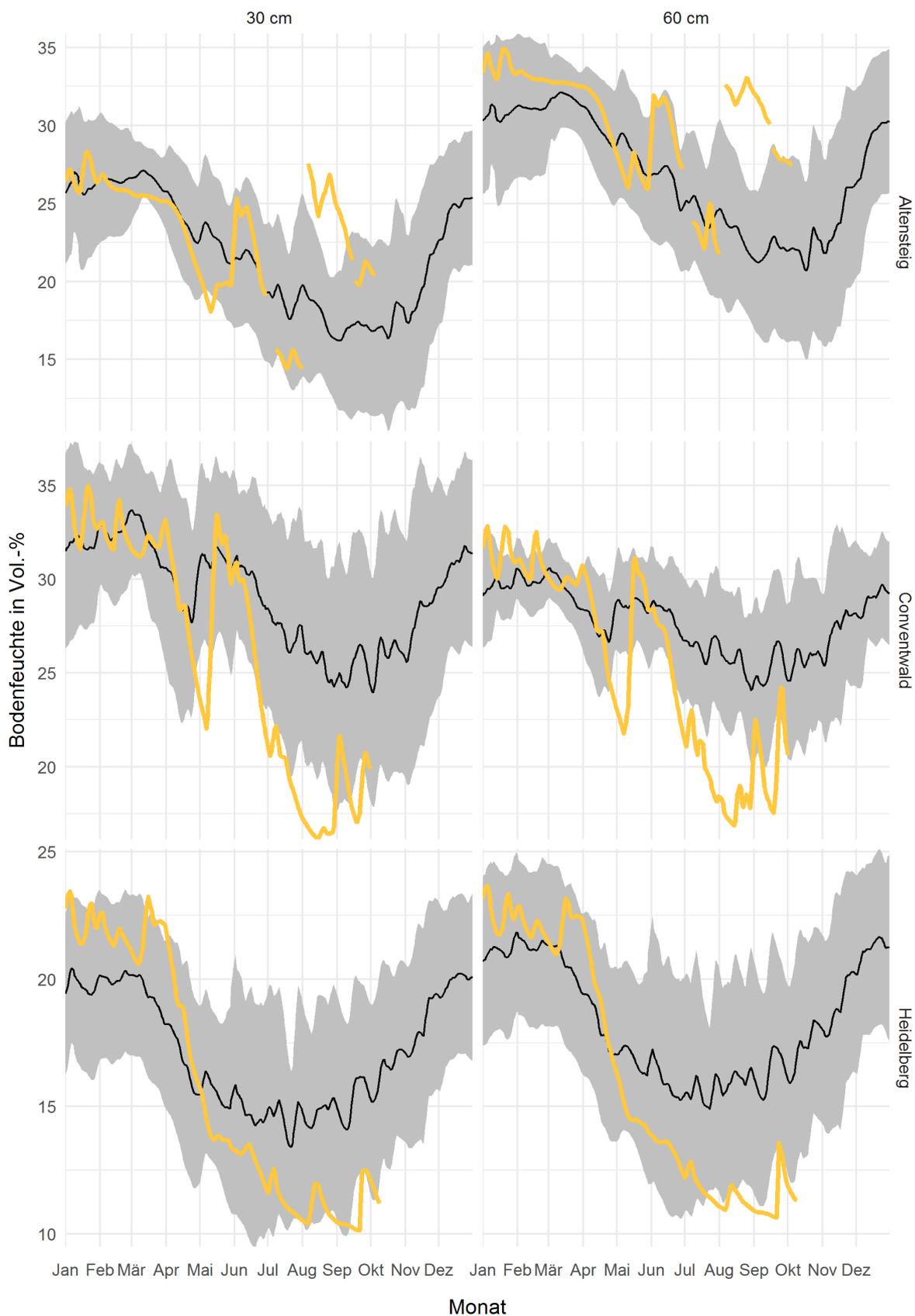
## Bodenfeuchte

Messungen der Bodenfeuchte in Fichtenbeständen der Intensivmessflächen des Forstlichen Umweltmonitorings zeigen, dass die Bodenwasserspeicher im Verlauf des Sommers 2018 aufgrund der extremen Trockenheit auf den meisten Standorten weitgehend geleert wurden und somit die Bäume nicht mehr ausreichend mit Wasser versorgt werden konnten (Abb. 26). Gemessen wurde jeweils die Bodenfeuchte in 30 und 60 cm Bodentiefe, also im Hauptwurzelraum der Fichtenbestände (Abb. 27). Im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 2010 bis 2017 (schwarze Linie) ist die Bodenfeuchte zu Beginn des Jahres 2018 auf allen Flächen sehr hoch (orangefarbene Linie) und übersteigt sogar auf einigen Flächen kurzzeitig die gemessenen Werte des Vergleichszeitraums (grauer Bereich).



**Abb. 26:** Messung der Bodenfeuchte unter einem Fichtenbestand auf der Versuchsfläche Heidelberg (Foto: A. Hölscher)

Im Verlauf des Frühjahres nimmt die Austrocknung des Bodens jedoch mit hoher Geschwindigkeit zu. Einzelne Regenereignisse, wie z.B. im Mai, sorgen nur kurzfristig für eine Verbesserung. Die hohe Sonneneinstrahlung in Verbindung mit hohen Temperaturen führt zu einer starken Transpiration und durch wenig Niederschlagsnachschub schnell wieder zu Wassermangel in den Böden. Auf den Versuchsflächen Conventwald (Südschwarzwald) und Heidelberg ist die Austrocknung des Bodens in beiden Tiefenstufen von Juli bis August besonders stark, mit einem deutlichen Wasserdefizit gegenüber dem Mittelwert der Jahre 2010 bis 2017. Dagegen führt auf der Versuchsfläche Altensteig ein lokales Regenereignis Anfang August zu einem deutlichen Anstieg der Bodenfeuchte.



**Abb. 27:** Bodenfeuchtemessungen in verschiedenen Bodentiefen (links: 30 cm, rechts: 60 cm) der Versuchsf lächen Altensteig, Conventwald und Heidelberg von Januar bis September 2018

## 6 WALDSCHUTZSITUATION

Abiotische und biotische Schadfaktoren können allein oder in Kombination miteinander einen erheblichen Einfluss auf die Vitalität und den Kronenzustand unserer Wälder nehmen. Sie treten gewöhnlich in jährlich wechselndem Ausmaß auf. Zu den wichtigen abiotischen Schadfaktoren gehören Dürren, Stürme, Nassschnee und Hagel sowie Frostereignisse. Die biotischen Schadfaktoren sind vor allem den Insekten und Pilzen zuzuordnen. Im Folgenden werden die in der Vegetationszeit 2018 bisher besonders auffälligen Einflüsse angesprochen.

### Abiotische Schadursachen

Zu Beginn des Jahres hat das Wintersturm tief „Burglind“ am 02./03. Januar 2018 teils erhebliche Sturmschäden verursacht (Abb. 28). Bis Ende September wurden bei der Baumartengruppe Fichte rund 990.000 Fm Schadholz verbucht. Davon war der Süden des Landes in den Landkreisen Breisgau-

Hochschwarzwald und Waldshut besonders betroffen. Dort war die Borkenkäfersituation ausgehend von Sturmschäden nach einem Tornado 2015 bereits angespannt. Aber auch in den bisherigen Schwerpunktregionen der Borkenkäferschäden infolge des Sturmtiefs „Niklas“ 2015 im Osten des Landes sind wieder beträchtliche Sturmschäden aufgetreten. In der darauf folgenden Vegetationsperiode war das Wetter bis weit in den September erheblich zu warm und weitestgehend niederschlagsarm. Daraus resultierten eine gravierende Dürre und Hitzeschäden, die mit den Verhältnissen des „Jahrhundertssommers“ 2003 vergleichbar sind.

In diesem Jahr wiesen viele Laubholzbestände bereits im August verfärbtes Laub oder entlaubte Bäume auf. Das Bild zeigte sich in Abhängigkeit von Baumart, Fruchtbehang und Kleinstandort je nach Mischungsanteilen mitunter sehr uneinheitlich. Der frühzeitige Blattfall erfolgte aus Gründen des Eigenschutzes vor der Vertrocknung und erfahrungsgemäß in der Regel



Abb. 28: Vom Sturm „Burglind“ im Januar 2018 geworfene Fichten (Foto: R. John)



**Abb. 29:** Die direkten Auswirkungen der Dürren im Sommer 2016 (links: Aufnahme vom 06.09.) und 2018 (rechts: Aufnahme vom 26.08.) im Vergleich, Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Fotos: H. Delb)

erst nach Ausbildung der Knospenanlagen für das Folgejahr. So hatte eine eingehende Untersuchung zum Ende des „Jahrhundertsommers“ 2003 ergeben, dass bereits frühzeitig verfärbte und auch vollständig entlaubte Buchen durchaus noch grüne Knospen und unter der Rinde ein intaktes Kambialgewebe aufwiesen (DELB 2003). Diese Buchen haben im Folgejahr weitestgehend ohne ersichtliche Mängel wieder ausgetrieben. Auf flachgründigen Extremstandorten oder im Unterstand kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es auch zu unmittelbaren Trockenschäden gekommen ist.

Der Vergleich zweier Fotos eines Mischbestandes zeigt, dass Buchen, die bereits zum Ende des ebenfalls trockenen Sommers 2016 frühzeitige Laubverfärbung und Blattabfall zeigten, in der Aufnahme von 2018 immer noch vorhanden waren und vergleichbare Merkmale aufwiesen (Abb. 29). Allerdings erschienen die betroffenen Bäume in diesem Jahr bereits stärker entlaubt.

## Biotische Schaderreger an Nadelbäumen

### Fichte

Die Entwicklung und der Verlauf der Flugaktivitäten der wichtigsten Fichtenborkenkäfer, Buchdrucker und Kupperstecher, wird mit Hilfe wöchentlicher Kontrollen der Brutentwicklung an Fangbäumen und mit Pheromonfallen im Rahmen des Borkenkäfer-Monitorings überwacht. Auf Grundlage dieser Daten werden fortlau-

fend Empfehlungen für ein effektives Borkenkäfer-Management in den Fichtenwäldern abgeleitet.

Beim Start des Schwärmfluges im April 2018 war noch nicht mit einer ungewöhnlich schnellen Borkenkäferentwicklung zu rechnen. Doch schon der Ausflug der ersten Buchdrucker-Generation fand im Mai etwa zwei Wochen früher als im Vorjahr statt, in einigen Regionen sogar drei Wochen. Die zweite Generation flog an vielen Orten Ende Juli aus und legte eine dritte Generation an, die sich im September oft bis ins das überwinterrungsfähige Käferstadium entwickelt hat. Zusammen mit den Geschwisterbruten wurden in den Brutbildern zu dem Zeitpunkt, als sich die fertigen Käfer (Imago) auf die Winterruhe vorbereitet haben (Diapause), mehrere Entwicklungsstadien nebeneinander gefunden. Sowohl die Ergebnisse der Fallenfänge als auch Beobachtungen vor Ort sprechen von einem „Dauerschwärmen“ der Käfer über den Hochsommer. In der zweiten Augusthälfte und eingangs September waren stehend befallene Fichten offenbar attraktiver als Pheromonfallen, wie dies bereits 2003 zu beobachten war. Danach wurden wieder Käfer gefangen, denn aufgrund der bis dahin außergewöhnlich warmen Witterung sind sie selbst in mittleren Höhenlagen noch Mitte September aus befallenen Fichtenstämmen ausgeflogen. So wurden bis in die 38. Kalenderwoche zum Beispiel im Nordschwarzwald selbst in einer Höhe von 860 m ü. NN an einem freiliegenden Brutbeobachtungsstamm noch zahlreiche frische Einbohrungen festgestellt und von Geschwisterbruten aus der zweiten



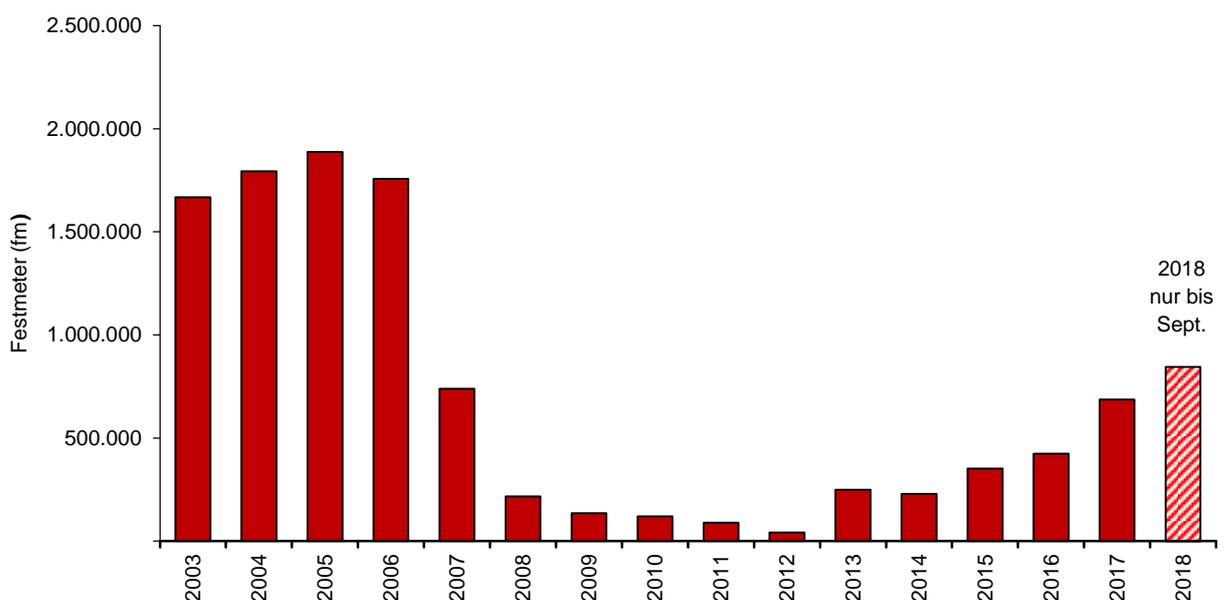
**Abb. 30:** Vom Kupferstecher befallene Fichte im Nationalpark Schwarzwald (Foto: H. Delb)

Generation Rammelkammern angelegt. Dies wurde auch in anderen Regionen festgestellt. Vielerorts waren unter der Rinde eine große Zahl fertig entwickelter Jungkäfer zu finden, auch wenn innerhalb des gleichen Stammes oft verschiedene Entwicklungsstadien aus Geschwisterbruten und dritter Generation

vorlagen. Neben dem beschriebenen Buchdrucker hat auch der Kupferstecher, der von Dürre und Hitze im Besonderen profitieren kann, einen erheblichen Anteil an den Käferschäden (Abb. 30). Der Kupferstecher hat im Frühjahr rascher als der Buchdrucker auf die ersten warmen Tage reagiert und teilweise konkurrierend mit diesem Fichten rasch besiedelt. Eine zweite große Kupferstechergefahr hat sich Mitte August aufgebaut, die Folgen wurden ab Mitte September in den mittleren Lagen des Schwarzwalds sehr deutlich.

Bis September fiel in Baden-Württemberg 2018 über alle Waldbesitzarten im Nadelholz ein Einschlag mit der Nutzungsursache „Insekten“ von rund 845.000 Fm an (Abb. 31). Die verbuchte Käferholzmenge hat damit etwa das Septemberniveau des „Jahrhundertssommers“ 2003 (876.000 Fm) erreicht. Somit ist für 2019 und die Folgejahre analog zu 2004 mit einer ausgesprochen kritischen Borkenkäferlage zu rechnen. Aufgrund der Tatsache, dass in einer vergleichbaren Situation 2003 bis in den September 52 Prozent der Schadh Holzmenge des gesamten Jahres verbucht wurden, lassen erste Schätzungen eine Schadh Holzmenge von deutlich über einer Million Festmeter erwarten.

In Anbetracht der ausgesprochen kritischen Lage ist es unbedingt erforderlich, die Ausgangspopulation für das nächste Jahr 2019 möglichst weit zu reduzieren. Deshalb muss in den betroffenen Forstbetrieben die Schwerpunktsetzung im Herbst und Winter weiter ein-



**Abb. 31:** Mit der Nutzungsursache „Insekten“ im Nadelholz in Baden-Württemberg angefallenes Schadh Holz über alle Waldbesitzarten; der Wert für 2018 reicht nur bis in den September, ansonsten sind die Jahressummen dargestellt



**Abb. 32:** Infolge des Kleinen Tannenborkenkäfers abgestorbene Weißtanne mit Vorschädigung durch Mistelbefall im Bodenseekreis (Foto: H. Delb)

deutig auf Kontrolle, Aufarbeitung und Abfuhr aller befallenen Stämme aus dem Wald liegen. Allerdings ist die Problemlage ausgedehnter Borkenkäfer-Kalamitäten infolge von Sturmschäden im Winter sowie der Dürre und Hitze im Sommer 2018 überregional in Deutschland und ganz Europa gegeben. Wenn für mechanisch-technische Maßnahmen im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes die Transportkapazitäten, Holzabsatz- oder Lagermöglichkeiten sowie Holzhammer oder Entrindungsmaschinen für das rechtzeitige Unschädlichmachen der Käferbrut aller befallenen Stämme knapp werden, kann zum Schutz der Wälder auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im äußersten Fall (ultima ratio) in Erwägung gezogen werden.

### Tanne

Schon die trocken-warme Sommerwitterung in den Vorjahren hat regional zu einem Anstieg des Befalls durch Tannenborkenkäfer geführt. Dies verstärkte sich in der Vegetationszeit 2018 an vielen Orten deutlich. Nach ersten Erkenntnissen sind vor allem der

Schwarzwald und Waldregionen in den östlichen Landesteilen, zum Beispiel im Bodenseekreis, betroffen. Während des Dürresommers haben sich die Kronen zunehmend rot verfärbt und die Tannen sind zum Ende abgestorben. Dafür ist meist der Kleine Tannenborkenkäfer, aber auch der Krummzählige Tannenborkenkäfer verantwortlich (Abb. 32).

### Douglasie

Neben dem Befall durch die Douglasien-Gallmücken (siehe Kapitel Invasive, gebietsfremde und Quarantäne-Schadorganismen) führten im Verlauf des Jahres verstärkt pilzliche Trieberkrankungen zu Schädigungen der Douglasie: Phomopsis-Krankheit (Phomopsis spp. (syn. Phacidium spp.)), Grauschimmel (Botrytis cinerea), Sirococcus-Triebsterben (Sirococcus conigenus) und Diplodia-Triebsterben (Sphaeropsis sapinea (Syn. Diplodia pinea)). Betroffen waren zumeist Douglasien-Kulturen bis hin zu Stangenhölzern. Die Symptome des Pathogen-Befalls sind dem Erscheinungsbild nach einem Spätfrostschaden ähnlich. Insbesondere das Waldinnenklima sowie Standorte mit ungünstiger Nährstoffausstattung bzw. -bilanz gelten als disponierend. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Gesamtviitalität der Douglasie lässt sich gegenwärtig noch keine abschließende Aussage treffen. Dies ist jedoch Gegenstand aktueller Forschung.

An der Douglasie konnten in diesem Frühsommer erfolgreiche Bruten des Krummzähligen Tannenborkenkäfer gefunden werden. Allerdings waren in diesen bislang wenigen Einzelfällen Vorschädigungen vorhanden, wie zum Beispiel starker Befall durch Hallimasch. Dagegen werden Kupferstecher und auch Lärchenborkenkäfer regelmäßig auch an nicht vorgeschädigten Douglasien vorgefunden, die mit roten Kronen zeichnen.

### Kiefer und Lärche

In der Oberrheinebene sind zahlreiche Kiefern nach wie vor intensiv und anhaltend von Misteln befallen. Eng damit verbunden ist die sogenannte Kiefern-Komplexkrankheit. Vor allem in Zusammenhang mit Trockenstress und lang in den Herbst anhaltender trocken-warmer Witterung führte dies in den letzten Jahren zu erhöhten Mortalitätsraten. Das Dürrejahr 2018 bringt eine erhebliche Verschlechterung dieser



**Abb. 33:** Absterbende Schwarzkiefern im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Foto: R. John)

Situation mit sich. In diesem Zusammenhang wird auch das Ausmaß von Borkenkäfern sowie von Pracht- und Bockkäfern befallenen Kiefern in den nächsten Jahren ansteigen. Die Baumart Kiefer scheint hier dauerhaft gefährdet zu sein. In Anbetracht der Massenvermehrung des Waldmaikäfers auf nahezu gleicher Fläche steht in den betroffenen trockenen Hartwäldern die Waldwirtschaft in dieser Region vor einer großen Herausforderung.

In der Neckar- und Odenwaldregion und im südlichen Breisgau (Abb. 33) wurden in größerem Umfang auch absterbende Schwarzkiefern beobachtet. Hier wurden der Zweizähnlige und der Sechszähnlige Kiefernborckenkäfer, Kiefernaltholzrüssler und vor allem Kiefernprachtkäfer als Schadorgansimen vorgefunden, die sich an disponierten Bäumen gut entwickeln können. In vielen Regionen hat auch der Lärchenborckenkäfer von der trocken-warmen Witterung sehr profitiert, sodass von zum Teil gravierendem Stehendbefall berichtet wird.

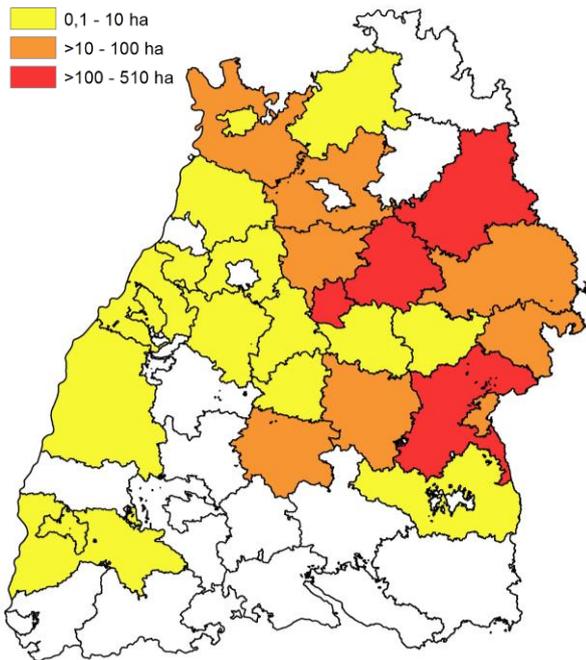
## Biotische Schaderreger an Laubbäumen

### Buche

Trotz der ausgesprochenen Dürre und Hitze im Sommer 2018 sind an Buchen rindenbrütende Käfer, wie der Kleine Buchenborckenkäfer oder der Buchenprachtkäfer, im Gegensatz zum „Jahrhundertsommer“ 2003 bislang nicht zu beobachten. Insbesondere der Buchenprachtkäfer könnte sich aber je nach Witterung in den nächsten Jahren vor allem an Bestandesrändern, aber auch in lichten Beständen einstellen.

### Eiche

Der Eichenprozessionsspinner hat in diesem Jahr wieder erheblich an Bedeutung gewonnen, und zwar sowohl in Bezug auf Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit als auch auf die Gesundheit des Waldes (Abb. 34). Aufgrund der von den Brennhaaren der Raupen für Mensch und Tier ausgehenden Gefahren hat er über weite Teile des Landes wieder von sich reden gemacht. Besonders betroffen vom Licht- und Kahlfraß der Raupen sind Eichenwälder vor allem im



**Abb. 34:** Meldungen des Eichenprozessionsspinners bis September 2018 (Quelle: Digitales Waldschutz-Meldesystem Baden-Württemberg)

Ostalbkreis, im Landkreis Schwäbisch-Hall und im Stadtkreis Stuttgart. Insgesamt war bis September 2018 eine Fläche von 1.320 ha Eichenwälder in Baden-Württemberg durch den Eichenprozessionsspinner betroffen. Besonders im Hohenlohekreis wurden auf größerer Fläche wieder auffällige Fraßschäden durch den Schwammspinner festgestellt. Die Raupen der Eichenwickler und Frostspanner-Arten haben vor allem im nördlichen Oberrheinischen Tiefland und im Neckarland deutliche Fraßschäden verursacht. Mit dem Vorkommen blattfressender Insekten korrespondiert meist auch ein Befall durch den Eichenmehltau, denn der nach Fraß auftretende junge Neuaustrieb wird je nach Witterung sehr häufig von diesem Blattpilz befallen. Dadurch verstärkt sich die durch den Raupenfraß und die Dürre bedingte Schwächung der Eichen oft erheblich.

### Esche

Das Eschentriebsterben ist nach wie vor eine sehr bedeutende Baumkrankheit. Die vergleichsweise schlechten Infektionsbedingungen durch langandauernde sommerliche Trockenperioden in den letzten Jahren bremste aber die Neuinfektion der Blätter. Bestehende Triebinfektionen aus vorangegangenen

Jahren setzen den infizierten Eschen jedoch weiterhin zu und führen in Kombination mit der diesjährigen Dürre zu erheblichen Schäden. Diese Krankheit bedroht weiterhin alle Altersklassen in allen Regionen des Landes. Besondere Besorgnis erregt das zunehmende Vorkommen von Stammfußnekrosen an Eschen, insbesondere auf nassen Standorten. Hier kommt es oft zusätzlich zu Hallimasch-Infektionen, welche eine relativ rasche Stockfäule mit Bruchgefährdung nach sich zieht. Damit verbunden sind große Herausforderungen bei der Arbeits- und Verkehrssicherung sowie eine rasche Holzentwertung. Untersuchungen verschiedener Forschungseinrichtungen zeigen jedoch, dass ein kleiner Teil der Eschen eine genetisch bedingte Resistenz gegen das Triebsterben zeigt (ENDERLE et al. 2017). Deshalb müssen Eschen mit normaler Belaubung, ohne Ersatztriebe und ohne Stammfußnekrosen für den Aufbau einer künftig gesünderen Generation erhalten werden. Bei anstehenden Eingriffen sind geschädigte Eschen zu entnehmen, die sowohl durch Kronenverlichtung und/oder durch die Bildung von Ersatztrieben erkenntlich sind.

### Invasive gebietsfremde und Quarantäne-Schadorganismen

Mit dem ursprünglich aus Nordamerika stammenden Erreger der Ahorn-Rußrindenkrankheit (*Cryptostroma corticale*) ist seit 2005 in den Wäldern Baden-Württembergs ein neues, eingeschlepptes Schadpathogen an Ahorn-Arten präsent. Im Verlauf der Krankheitsentwicklung werden unter der Rinde großflächige Sporenlager angelegt, in denen sehr große Sporenmengen gebildet werden (Abb. 35). Vornehmlich treten Schädigungen an Bergahorn auf. Neben der namensgebenden Erkrankung der Rinde stellen vom Pilz verursachte Holzfäulen im Verlauf der Krankheitsentwicklung an betroffenen Bäumen einen entscheidenden Faktor für die Entwertung und das Absterben dar. Der Pilz ist ein ausgesprochenes Sekundärpathogen und benötigt vorgeschädigte oder geschwächte Individuen für eine schadensverursachende Besiedlung. In Baden-Württemberg tritt die Erkrankung vermehrt an Standorten auf, an denen die Baumart einem erhöhten Trockenstress ausgesetzt ist oder bereits andere Schadpathogene wie z.B. Hallimasch für eine Prädis-



**Abb. 35:** Großflächige Sporenlager im Zusammenhang mit der Ahorn-Rußrindenkrankheit unter der Rinde von Bergahorn (Foto: J. Grüner)

position gesorgt haben. Nach der Dürre 2018 ist in den nächsten Jahren eine weiter fortschreitende Verbreitung zu befürchten.

Es können sich im Zusammenhang mit der Ahorn-Rußrindenkrankheit auch gesundheitliche Probleme für Menschen ergeben. Diese stellen sich allerdings nur bei langanhaltendem intensivem Kontakt mit den Pilzsporen durch Einatmen ein. Symptome wie Fieber und Reizhusten resultieren aus einer Entzündung der Lungenbläschen. Bei den wenigen bislang klinisch dokumentierten Patienten handelte es sich um Beschäftigte, die über mehrere Jahre mit dem Häckseln, Entrinden oder Sägen von Ahornstämmen beschäftigt waren.

Der Esskastanien-Rindenkrebs stellt für die Esskastanie seit Jahren eine ernstzunehmende Bedrohung dar. Durch die Verbreitung von hypovirulenten Pilzstämmen, die durch einen spezifischen Virusbefall ihre hohe Aggressivität einbüßen, besteht jedoch die Aussicht, dass sich der Krankheitsverlauf abschwächt. Die weitere Ausbreitung der Japanischen Esskastanien-Gallwespe wird nicht mehr aufzuhalten sein. Allerdings geht der Gallwespenbefall in den Esskasta-

nienwäldern südlich der Alpen aufgrund einer Parasitierung durch eine in Italien freigesetzte, aus China stammende Schlupfwespe (*Torymus sinensis*) bereits wieder zurück. Denkbar ist, dass sich dieser Gegenspieler der Gallwespe auch in unsere Region hinein ausbreitet.

Die ursprünglich in Nordamerika beheimateten Douglasien-Gallmücken (*Contarinia* spp.) sind in Baden-Württemberg bereits mehrfach nachgewiesen worden. Da sich die Schäden der Gallmücke im jüngsten Nadeljahrgang und demgegenüber die der Douglasien-Schütte sich vorwiegend in den älteren Nadeljahrgängen äußern, könnte bei weiterer Ausbreitung und kombiniertem Befall beider Schadfaktoren die Vitalität der Douglasien verstärkt beeinträchtigt werden.

In Hildrizhausen im Landkreis Böblingen, Weil am Rhein und Grenzach-Whylen im Landkreis Lörrach und in Straßburg im Grenzbereich zu Kehl im Ortenaukreis wurde ein Befall durch den Asiatischen Laubholzbockkäfer (ALB) festgestellt. Da dieser Käfer auch gesunde Laubbäume befällt, sind die umliegenden Wälder erheblich gefährdet. Deshalb erfolgen dort auf Grundlage einschlägiger Rechtsnormen intensive Monitoring-Maßnahmen. Diese haben 2018 bisher keine weiteren Funde und Beobachtungen von Symptomen hervorgebracht.

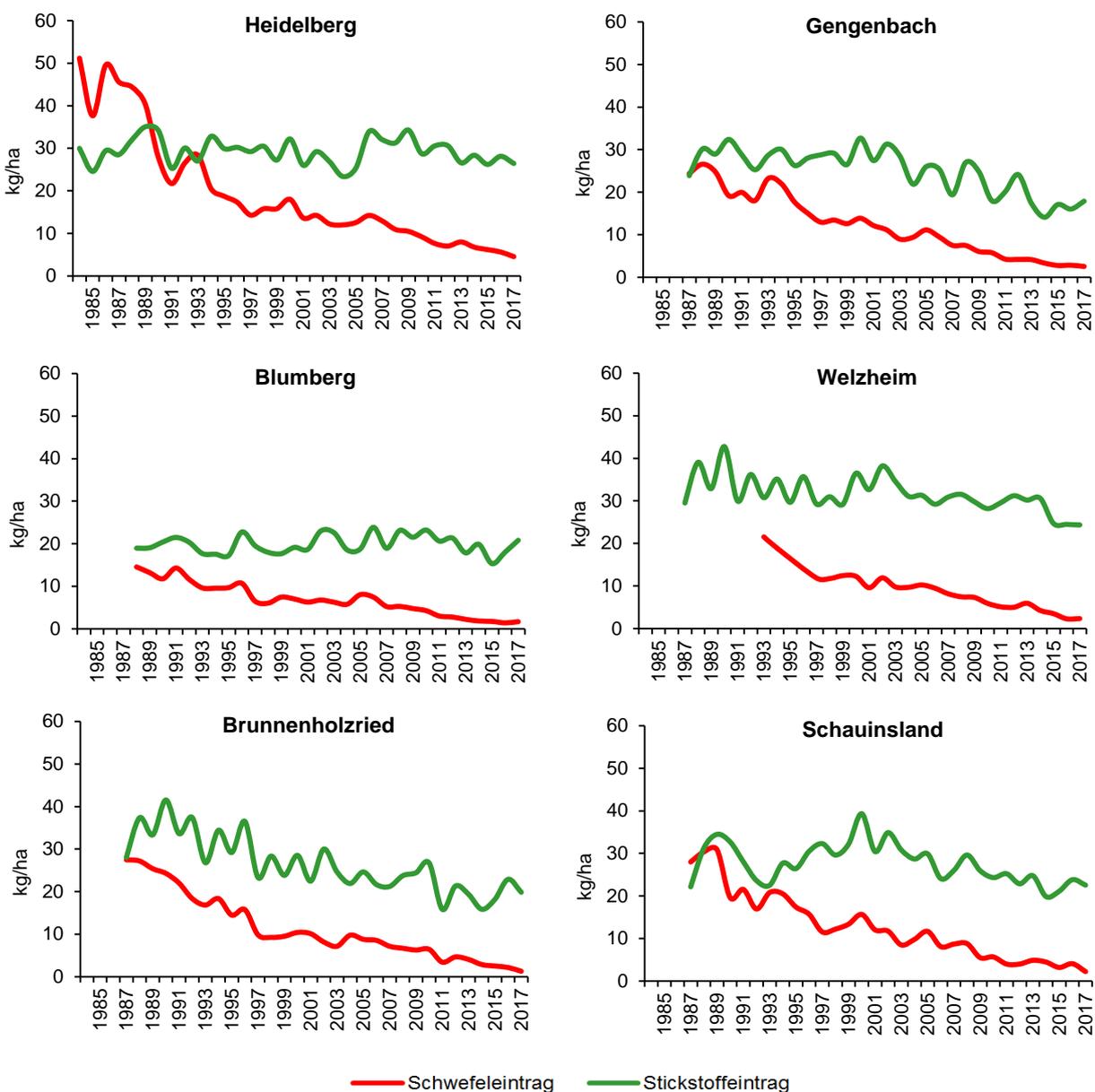
Besonders in der Nähe von Warenumschlags- und Lagerplätzen vor allem von Importwaren mit Verpackungsholz besteht vielerorts eine erhöhte Gefahr der Einschleppung von Quarantäne-Schadorganismen. Diese soll neuerdings mit Hilfe eines in Bezug auf potentiell invasive und geregelte Schadorganismen in den EU-Mitgliedstaaten verpflichtenden präventiven Monitoring-Programms so frühzeitig wie möglich eingedämmt werden. Dies bringt die Durchführung umfangreicher spezifischer Überwachungsmaßnahmen mit sich. So werden zum Beispiel in Bezug auf Kiefernholznematoden, die sogenannte Tausend-Nekrosen-Krankheit an Nussbäumen oder den aus Amerika stammenden Xylella-Bakterienbrand intensive Kontrollen durchgeführt. Dies erfolgt nach europäischen und nationalen Vorgaben bisher ohne positiven Befund.

## 7 STOFFEINTRÄGE

Der Eintrag von atmosphärischen Luftschadstoffen in die Wälder Baden-Württembergs ist in den letzten 20 Jahren deutlich zurückgegangen. Ein großer Erfolg der Luftreinhaltemaßnahmen seit Anfang der 1980er Jahre wurde mit der drastischen Verringerung der Schwefel-emissionen erzielt. Durch den Einbau von Filteranlagen in der Großindustrie und die Vermeidung schwefelhaltiger Brennstoffe ist der Eintrag von Schwefel in die Wälder deutlich zurückgegangen (Abb. 36). Zudem

konnte mit der Einführung des Auto-Katalysators und durch die Verwendung von bleifreiem Benzin der Schwermetalleintrag in die Wälder drastisch reduziert werden.

Dagegen liegt der Stickstoffeintrag in weiten Teilen Baden-Württembergs auch weiterhin über der ökologischen Belastungsgrenze der Wälder, der für Fichtenbestände zwischen 10 bis 15 kg pro Hektar und Jahr beträgt (BOBBINK und HETTELINGH 2011). Ein einheit-



**Abb. 36:** Jährlicher Schwefel- und Stickstoffeintrag im Vergleich der Fichten-Versuchsflächen Heidelberg, Gengenbach, Blumberg, Welzheim, Brunnenholzried und Schauinsland von 1984 bis 2017

licher Trend des Stickstoffeintrags ist landesweit nicht zu erkennen (Abb. 36). Während auf einigen Standorten in den letzten Jahren ein leicht abfallender Eintragstrend festzustellen ist, bleibt der Stickstoffeintrag auf anderen Flächen weitgehend konstant. Die eingebrachten Stickstoffverbindungen stammen im Wesentlichen aus zwei unterschiedlichen Quellen. Zum einen werden Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) durch Verkehr und Industrie freigesetzt, zum anderen entsteht Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) bei der Nutztierhaltung in der Landwirtschaft.

Die hohen Stickstoffeinträge stellen neben einer fortwährenden Versauerung der Waldböden zusätzliche Belastungen für das Ökosystem dar (Abb. 37). Der atmosphärische Eintrag von Stickstoff in die Wälder wirkt wie ein Pflanzendünger und begünstigt zunächst das Wachstum der Bäume. Allerdings führt ein Überangebot zu einem Nährstoffungleichgewicht im Boden, sodass andere wichtige Nährelemente, wie z.B. Magnesium oder Kalium, von den Bäumen nicht mehr in ausreichender Menge aufgenommen werden können. Zusätzlich verändert sich die Artenzusammensetzung

der Flora und Fauna im Wald, indem stickstoffmeidende Arten zurückgedrängt und stickstoffliebende Arten begünstigt werden. Und nicht zuletzt verursacht ein verstärkter Austrag von Nitrat aus dem Waldboden eine Belastung des Grundwassers.

### Schutz der Waldböden

Der Eintrag von Luftschadstoffen in die Wälder führt zu einer langfristigen Versauerung der Waldböden und damit zu einer Schädigung der Wälder. Trotz rückläufiger Gesamteinträge sind viele Waldstandorte auch weiterhin versauert, was belastend auf die Wälder wirkt. Durch die Versauerung des Bodens werden wichtige Pflanzennährstoffe, wie Calcium, Magnesium, Natrium oder Kalium, mit dem Sickerwasser ausgewaschen und sind somit insbesondere für flachwurzeln- de Baumarten nicht mehr in ausreichender Menge verfügbar. Zudem werden toxische Aluminium-Ionen freigesetzt, die einerseits zur Verarmung der Bodenfauna beitragen und andererseits die Durchwurze-



**Abb. 37:** Intensivmessfläche Heidelberg mit Depositionsbehältern zum Auffangen des Bestandesniederschlags (Foto: A. Hölscher)

lungstiefe der Bäume einschränken. Erhöhter Trockenstress und mangelnde Standfestigkeit sind die Folge. In Bezug auf das Grundwasser stellt ein gesunder, vitaler Boden ein natürliches Schutzschild dar. Durch Auswaschung basischer Nährelemente geht die natürliche Filter- und Puffereigenschaft verloren und Schadstoffe können ungefiltert in das Grundwasser gelangen.

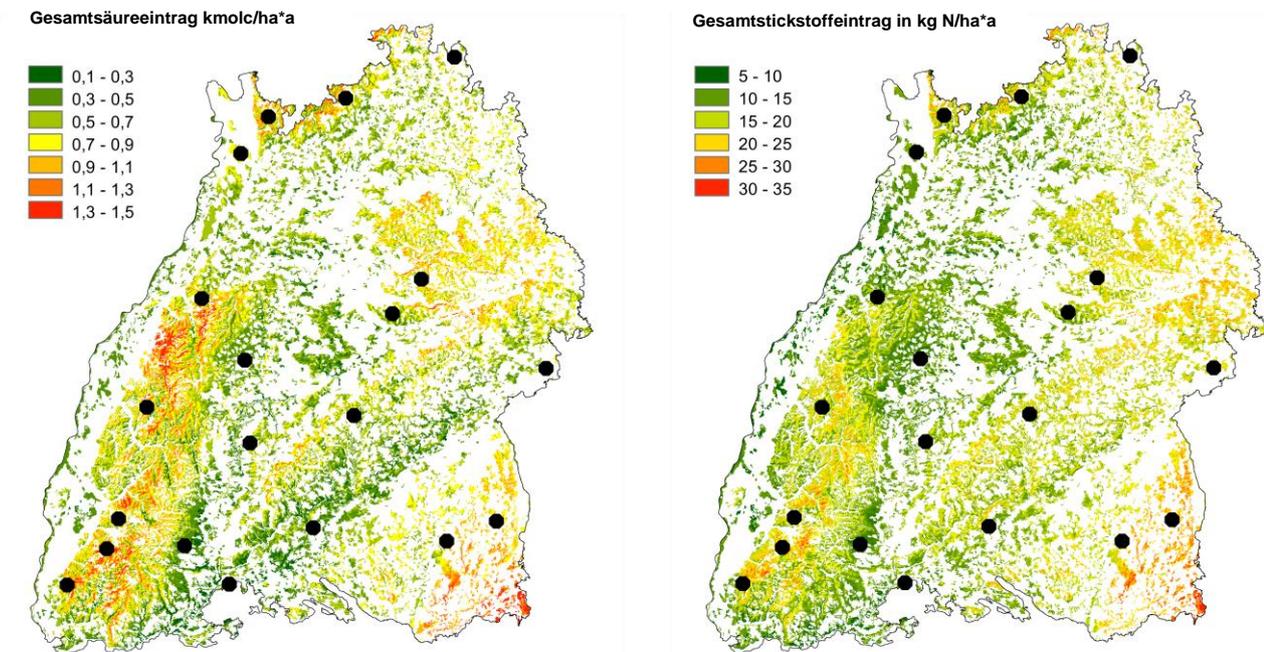
Zur vollständigen Wiederherstellung der ursprünglichen Bodeneigenschaften wurde für Baden-Württemberg ein langfristiges Kalkungskonzept entwickelt. Ziel dabei ist es, nicht nur die aktuellen Säureeinträge zu neutralisieren, sondern auch die im Boden gespeicherten Säuremengen abzubauen und somit die natürlichen Bodenfunktionen des jeweiligen Standorts wiederherzustellen (v. WILPERT 2014). Die Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung in Baden-Württemberg zeigen den positiven Effekt der Bodenschutzkalkung auf den Nährstoffhaushalt der Böden, indem gekalkte Standorte im Oberboden signifikant höhere Calcium- und Magnesiumvorräte aufweisen als ungekalkte (HARTMANN et al. 2016). Zusätzlich wirkt sich eine naturnahe Bewirtschaftung der Wälder hin zu standortgerechten

Mischwäldern sowie eine nährstoffschonende Holzernente positiv auf die Waldbodenentwicklung aus.

### Regionale Verteilung der Stoffeinträge

In der regionalen Verteilung der Gesamtsäureeinträge in Baden-Württemberg sind hohe Säureeinträge vor allem auf Standorten der Hochlagen des Schwarzwaldes und des Odenwaldes sowie in Oberschwaben zu erkennen (Abb. 38, links). Eine etwas geringere Belastung findet sich entlang des Albtraufs und im Schwäbisch-Fränkischen Wald. Überwiegend geringe Säureeinträge treten an der windabgewandten Seite des Schwarzwaldes und des Odenwaldes sowie auf der Schwäbischen Alb auf.

Eine ähnliche Verteilung für Baden-Württemberg zeigt sich bei den Stickstoffeinträgen (Abb. 38, rechts). Auf den Hochlagen des Schwarzwaldes und des Odenwaldes ist der Stickstoffeintrag vor allem durch die Deposition von Stickoxiden aus Verkehr und Industrie bestimmt, während der Eintrag in den östlichen Landesteilen hauptsächlich auf Ammoniumeinträge aus der Landwirtschaft zurückzuführen ist.



**Abb. 38:** Regionalisierte Gesamtsäureeinträge (links) und Gesamtstickstoffeinträge (rechts) in die Wälder Baden-Württembergs auf der Basis der Eintragswerte von 2016. Die schwarzen Punkte stellen die Lage der Depositionsflächen dar

## 8 WALDERNÄHRUNG

Die Untersuchung zur Ernährungssituation der Waldbäume ist neben der Erhebung zum Kronen- und Bodenzustand ein wesentlicher Bestandteil des Forstlichen Umweltmonitorings in Baden-Württemberg. Ziel der Ernährungsinventur (IWE, Immissionsökologische Waldernährungsinventur) ist es, die aktuelle Nährelementversorgung der Waldbäume und deren Veränderungen in der zeitlichen Entwicklung zu bewerten. Zudem zeigen die Ergebnisse, inwieweit sich durchgeführte Luftreinhaltemaßnahmen und Waldkalkungen auf die Waldernährung auswirken.

Landesweite Untersuchungen zum Ernährungszustand der Waldbäume werden in Baden-Württemberg seit 1983 für die Baumarten Fichte und Tanne durchgeführt. In einem fünf- bis siebenjährigen Turnus werden an den Rasterstichprobenpunkten Nadel- bzw. Blattproben genommen und labortechnisch auf ihre Inhaltsstoffe untersucht. In den Jahren 1983, 1988, 1994 und 2001 erfolgten die Aufnahmen der Ernährungsinventur auf dem 4x4 km-Grundraster (Tab. 2). Seit 2006 erfolgen die Aufnahmen auf dem weitmaschigeren 8x8 km-Raster der Bodenzustandserhebung (BZE) mit der Ausweitung auf die Baumart Buche.

Für die Ernährungsinventur 2016 wurden Nadelproben der Baumarten Fichte und Tanne an 161 Stichprobenpunkten entnommen. Dabei wurde eine Mischprobe von drei Bäumen jeweils im Alter von über 40 Jahren mit dem Helikopter eingesammelt (Abb. 39). Eine Blattprobenahme der Baumart Buche wurde in dieser Aufnahmekampagne nicht vorgenommen.



**Abb. 39:** Nadelprobenahme mit dem Helikopter (Foto: R. Hoch)

Für den Nährstoffhaushalt der Bäume sind neben der Nährstoffausstattung des Bodens auch der Stofffluss und die Stoffumsetzung im Boden von entscheidender Bedeutung. Insbesondere in trockenen Jahren mit geringem Transport mit dem Bodenwasser ist auch die Nährstoffaufnahme der Bäume eingeschränkt. Für die Vegetationszeit 2016, also für die Zeit der Hauptnährstoffaufnahme, waren ausreichend Niederschläge zu verzeichnen. Insbesondere die Monate April bis Mai brachten überdurchschnittlich viel Niederschlag, während im Juli bis September leicht unterdurchschnittliche Niederschläge fielen.

**Tab. 2:** Anzahl untersuchter Bäume der ernährungskundlichen Erhebung seit 1983

	Aufnahme- raster	Messnetz- punkte	Fichte	Tanne	Buche	sLb/sNb	Bäume je Baumart
<b>1983</b>	4x4 km	888	706	182	-	-	2
<b>1988</b>	4x4 km	873	706	167	-	-	2
<b>1994</b>	4x4 km	735	590	145	-	-	2
<b>2001</b>	4x4 km	735	479	108	167	1	1
<b>2006/2007</b>	8x8 km	247	137	43	85	28	3
<b>2011/2012</b>	8x8 km	248	142	44	97	22	3
<b>2016</b>	8x8 km	161	120	41	-	-	3

## Aktuelle Ernährungssituation

In Abbildung 40 ist die prozentuale Verteilung der untersuchten Fichten und Tannen in den Versorgungsstufen nach Evers (1985) dargestellt, getrennt nach den Hauptnährelementen Kalium (K), Phosphor (P), Stickstoff (N), Magnesium (Mg) und Calcium (Ca).

Prägnant ist die aktuell angespannte Kaliumversorgung der Fichten und Tannen in Baden-Württemberg. Bei über 70 Prozent aller untersuchten Fichten liegt der Kaliumgehalt in den Nadeln im Mangelbereich. Und auch für die Tanne zeigt sich eine angespannte Versorgung des Nährelements Kalium, wenngleich im Vergleich zur Fichte deutlich weniger Tannen einen Mangel aufweisen. Eine ausreichende Kaliumversorgung ist ausgesprochen wichtig, da das Nährelement u.a. den Wasserhaushalt der Pflanzen reguliert. Erste Symptome, wie eine Verbraunung vorwiegend vorjähriger bzw. älterer Nadeljahrgänge, die typischerweise auf einen akuten Kaliummangel hindeutet, wurden in den letzten Jahren im Rahmen der Waldschadensinventur insbesondere für die Tanne festgestellt. Auch für das Nährelement Phosphor ist die Ernährungssituation angespannt. Bei knapp 50 Prozent der Fichten und etwa 35 Prozent der Tannen liegt der Elementgehalt im Mangelbereich. Phosphor spielt eine wichtige Rolle im Energiestoffwechsel der Pflanze. Der Stickstoffgehalt liegt trotz hoher Depositionsraten von Stickstoff in die Wälder Baden-Württembergs bei 40 Prozent der Tannen unterhalb der Mangelgrenze. Dagegen werden jeweils nur etwa 30 Prozent der Tannen als gering

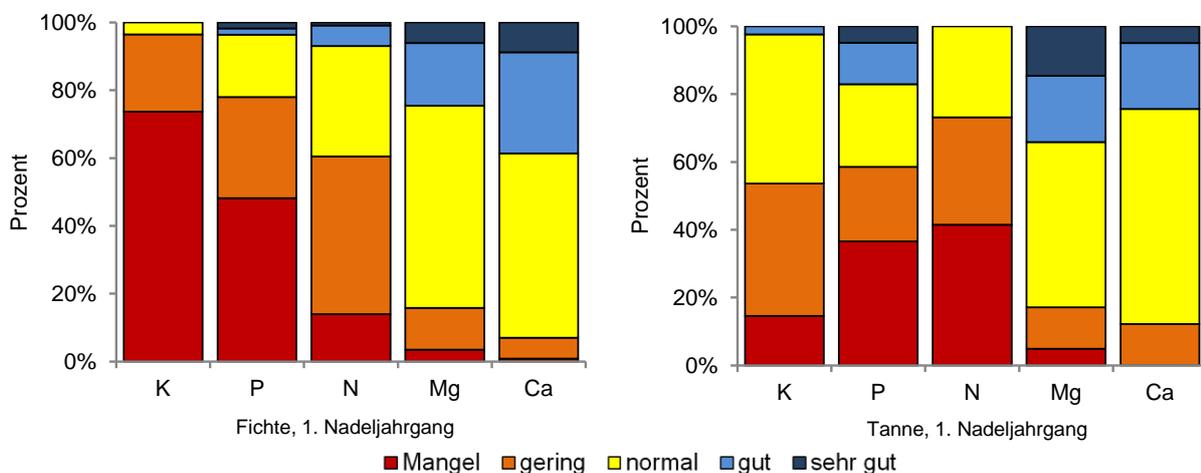
bzw. als normal versorgt angesehen. Bei der Fichte stellt sich die Stickstoffversorgung mit knapp 15 Prozent im Mangelbereich etwas günstiger dar. Die Nährelementversorgung für Magnesium und Calcium ist für beide Baumarten überwiegend als ausreichend anzusehen. Nur ein geringer Anteil der untersuchten Bäume zeigt einen Mangel bzw. eine geringe Versorgung, dagegen ist der Anteil an guter bzw. sehr guter Magnesium- und Calciumversorgung bei beiden Baumarten gegenüber den anderen Elementen deutlich erhöht.

## Entwicklung der Elementgehalte

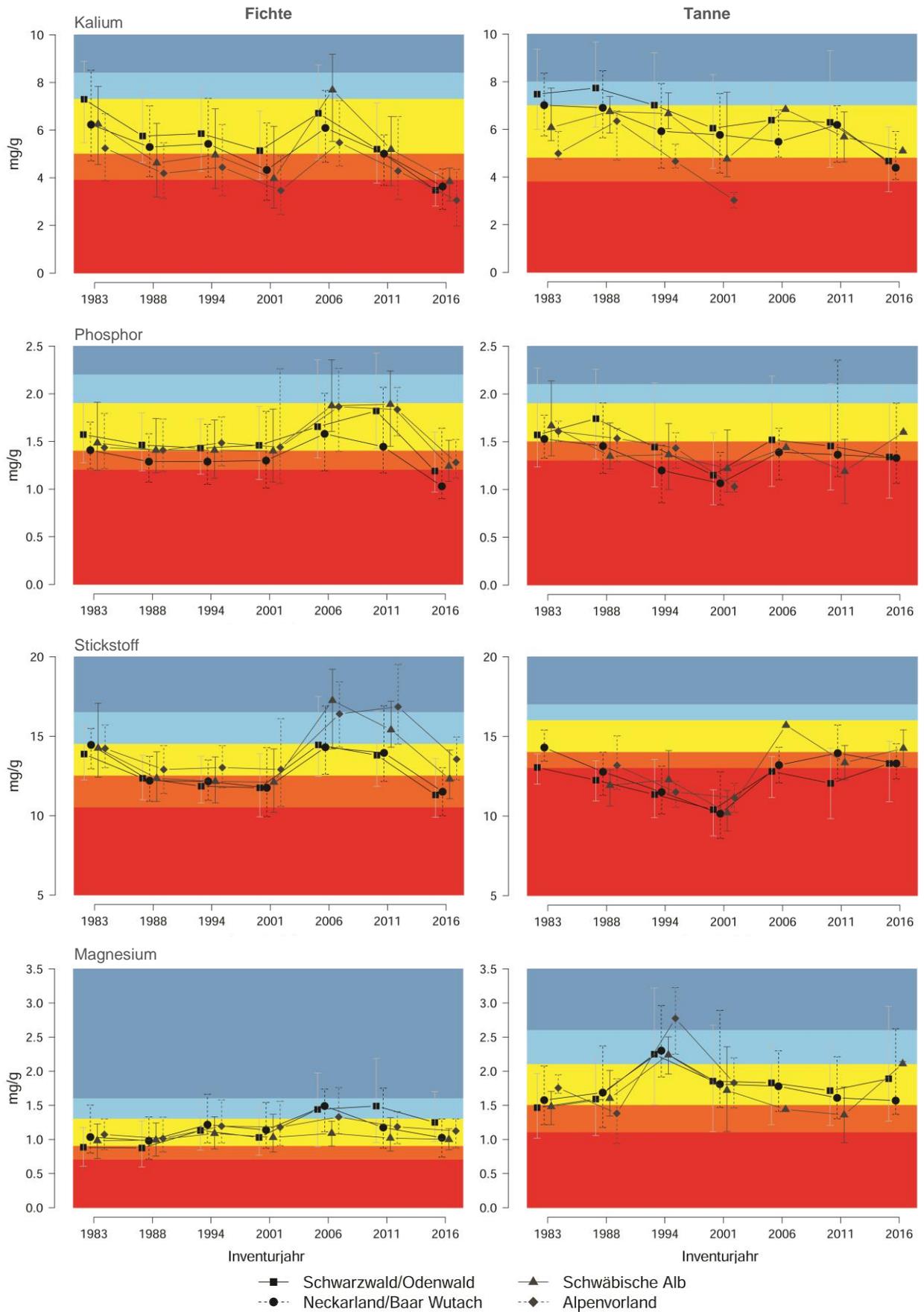
Die zeitliche Entwicklung der Hauptnährelemente von 1983 bis 2016 ist in Abbildung 41 jeweils für den ersten Nadeljahrgang getrennt für Fichte und Tanne dargestellt. Dabei werden aus statistischen Gründen nur die Durchschnittswerte größerer Wuchsgebiete Baden-Württembergs aufgezeigt bzw. verschiedene Wuchsgebiete zu größeren Regionen zusammengefasst.

### Kalium

Die Kaliumgehalte der Fichtennadeln waren in den 1980er und 1990er Jahren in allen Wuchsgebieten rückläufig. Im Inventurjahr 2001 ist die Versorgungslage im Neckarland/Baar-Wutach und auf der Schwäbischen Alb als angespannt, im Alpenvorland sogar als mangelhaft zu bezeichnen. Eine Entspannung der Kaliumversorgung wurde landesweit im Zuge der Inventur 2006 festgestellt. Der deutliche Anstieg der Kaliumgehalte in den Fichtennadeln kann als Spätfolge



**Abb. 40:** Verteilung der Elementgehalte im ersten Nadeljahrgang für Fichte (links) und Tanne (rechts) in Baden-Württemberg im Jahr 2016 in den klassifizierten Versorgungsstufen nach EVERS (1985)



**Abb. 41:** Zeitliche Entwicklung der Elementgehalte Kalium, Phosphor, Stickstoff und Magnesium (von oben nach unten) im ersten Nadeljahrgang für Fichte (links) und Tanne (rechts) nach Regionen Baden-Württembergs. Die Farbcodierung gibt die klassifizierten Versorgungsbereiche nach EVERS (1985) an

des Trockenjahres 2003 angesehen werden, in dessen Folge es zu einer erhöhten Mineralisation von organischer Substanz und damit zu einer vermehrten Freisetzung von Nährstoffen im Boden kam. Die Abnahme der Elementgehalte im Jahr 2011 in allen Regionen Baden-Württembergs auf etwa das ursprüngliche Versorgungsniveau weist auf die zeitlich begrenzte Wirkung dieses Ereignisses hin. Seitdem ist ein deutlicher Abwärtstrend zu beobachten. Die Inventur 2016 zeigt mit den bisher niedrigsten Elementgehalten des gesamten Untersuchungszeitraums in allen Regionen Baden-Württembergs einen zum Teil deutlichen Kaliummangel der Fichten an. Auch für die Tanne ist im langfristigen Trend ein Rückgang der Kaliumgehalte in den Nadeln festzustellen. Die Regionen Schwarzwald/Odenwald und Neckarland/Baar-Wutach zeigen eine angespannte Versorgung. Einzig auf der Schwäbischen Alb liegen die Kaliumgehalte bei der Tanne trotz deutlichen Abwärtstrends innerhalb der letzten zehn Jahre noch im Bereich einer normalen Kaliumversorgung.

Die Aufnahme von Kalium kann auf kalkreichen Standorten durch einen Aufnahmeantagonismus zwischen Calcium und Kalium eingeschränkt werden. Aber auch auf entkalkten Lehmen mit hohen Kaliumvorräten im Boden tritt oftmals akuter Kaliummangel in den Nadeln auf, da das Nährelement für den Baum nicht verfügbar ist (HILDEBRAND 1986). Durch den hohen Sauerstoffbedarf der Baumwurzeln muss die Nährstoffaufnahme vornehmlich an den Aggregatoberflächen erfolgen. Sind diese Kontaktzonen aufgrund fortschreitender Versauerung an Kalium verarmt, stehen dem Baum nicht mehr ausreichende Mengen des Nährelements zur Verfügung. Ist zudem die Aktivität der Bodenflora, insbesondere der Regenwürmer, aufgrund einer starken Bodenversauerung vermindert, werden weniger Aggregatinnenzonen mit vorhandenem Kalium erschlossen und bleiben somit für die Baumwurzeln unerreichbar.

### Phosphor

Die Versorgung der Fichten mit Phosphor ist bis ins Jahr 2001 durch eine Stagnation des Entwicklungstrends gekennzeichnet. Die Durchschnittswerte der einzelnen Regionen verharren im Grenzbereich einer angespannten Versorgung bzw. liegen, wie z.B. in der

Region Neckarland, konstant im angespannten Versorgungsbereich. In den Jahren 2006 und 2011 ist – ähnlich wie beim Nährelement Kalium – aufgrund einer erhöhten Mineralisierung nach dem Trockenjahr 2003 landesweit eine deutliche Erhöhung der Phosphorgehalte der Fichtennadeln hin zu einer ausreichenden bis guten Versorgung zu verzeichnen. Während der Anstieg für die Regionen Schwäbische Alb und Alpenvorland dabei am prägnantesten ausfällt, ist für die Region Neckarland bereits 2011 wieder ein leichter Rückgang festzustellen. Im Inventurjahr 2016 nehmen die Elementgehalte in allen Regionen deutlich ab, sodass sich für die Fichte eine insgesamt angespannte Phosphorversorgung darstellt. Im Neckarland sinkt der mittlere Phosphorgehalt in den Fichtennadeln 2016 in den Mangelbereich. Für die Tanne ist beim Nährelement Phosphor, ausgehend von einer ausreichenden Versorgungslage, bis 2001 eine trendhafte Verschlechterung bis in den Mangelbereich festzustellen. Die für die Fichte beobachtete Erholung der Phosphorversorgung im Jahr 2006 fällt für die Tanne zudem geringer aus. Seither stagnieren die Phosphorgehalte auf einem angespannten Niveau. Lediglich auf der Schwäbischen Alb ist im Jahr 2016 ein Anstieg der Phosphorgehalte bei der Tanne feststellbar.

### Stickstoff

Die Elementgehalte von Stickstoff sind für die Fichte ähnlich wie bei Phosphor im ersten Nadeljahrgang bis ins Jahr 2001 durch einen stagnierenden bzw. leicht abnehmenden Trend geprägt. Im Inventurjahr 2006 wird dieser Trend durch einen ausgeprägten Anstieg der Stickstoffgehalte in den Nadeln, wiederum ausgelöst durch eine erhöhte Mineralisation abgestorbener Pflanzenteile nach dem Trockenjahr 2003, durchbrochen. Den höchsten Anstieg weisen hierbei die Regionen Schwäbische Alb und Alpenvorland auf, deren Stickstoffversorgung bis in den Bereich einer luxurierenden Versorgung zunimmt. Im Jahr 2016 ist die Stickstoffversorgung für die Fichte in allen Regionen mit Ausnahme des Alpenvorlands erneut angespannt. Die Tanne zeigt bis 2001 einen stark abnehmenden Trend der Stickstoffversorgung mit ausgeprägtem Mangel in allen Regionen. 2006 steigt, wie bei der Fichte, der Elementgehalt der Tannennadeln wieder an. Vor allem die Tannen der Schwäbischen Alb

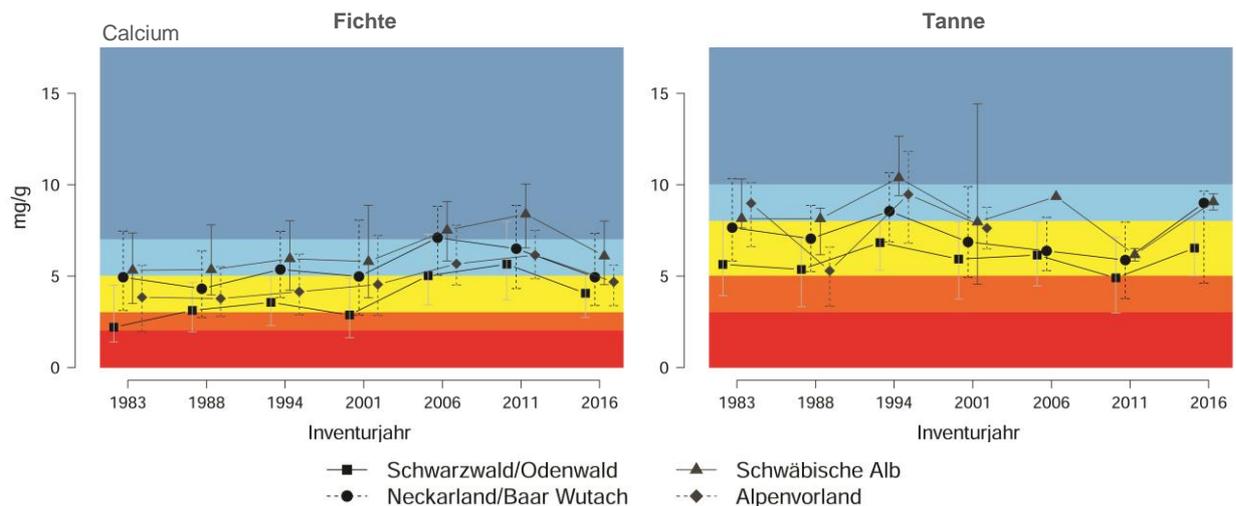
zeigen eine stark verbesserte Stickstoffversorgung. Im Inventurjahr 2011 ist die Versorgungslage leicht rückläufig und auch 2016 bleibt die Stickstoffversorgung der Tannen landesweit angespannt.

Die unzureichende Stickstoffversorgung der Fichten und Tannen steht im scheinbaren Widerspruch zu den hohen atmosphärischen Stickstoffdepositionen in die Wälder. Es ist davon auszugehen, dass die Stickstoffversorgung nicht nur über die eingetragene Gesamtstickstoffmenge, sondern auch über die unterschiedlichen physiologischen Voraussetzungen der Bäume gesteuert wird, die verschiedenen Stickstoffformen auf unterschiedlichen Substraten aufzunehmen. So nehmen Fichten beispielsweise auf sauren Standorten bevorzugt Ammoniumstickstoff auf, dagegen ist die Nitratstickstoffaufnahme weitgehend gehemmt. Zudem ist in den letzten Jahrzehnten durch den gesteigerten Holzzuwachs eine vermehrte Stickstoffaufnahme in die Holzbiomasse zu verzeichnen.

### Magnesium und Calcium

In der Entwicklung der Magnesiumversorgung der Fichten zeigt sich bis ins Jahr 2006 ein deutlicher Anstieg der Nährelementgehalte in den Nadeln. Während 1988 noch die geringsten Magnesiumgehalte im Grenzbereich einer angespannten Nährstoffversorgung gemessen wurden, erhöht sich der Elementgehalt bis

2006 in allen Regionen, mit Ausnahme der Schwäbischen Alb, auf eine gute Versorgungslage. Seither ist ein leicht rückläufiger Trend erkennbar. Im Jahr 2016 sind die Fichtennadeln überregional ausreichend mit Magnesium versorgt. Eine ähnlich positive Entwicklung des Magnesiumgehalts in den Nadeln ist für die Tanne erkennbar. Nach anfänglich angespannter Versorgung steigt der Elementgehalt 1994 sprunghaft an. Danach ist bis 2016 eine Stabilisierung der Magnesiumversorgung auf ausreichendem Niveau feststellbar. Ein nahezu gleichförmiger Entwicklungstrend ist bei der Calciumversorgung für Fichte und Tanne zu erkennen (Abb. 42). Nach anfänglich zum Teil angespannter Versorgungslage hat sich im Jahr 2016 der Calciumgehalt in den Nadeln auf einem ausreichenden Niveau stabilisiert. Der trendhafte Anstieg der Magnesium- und Calciumgehalte in den Nadeln seit den 1980er Jahren ist vor allem als Effekt der durchgeführten Kalkungsmaßnahmen anzusehen. Durch Versauerungsprozesse im Boden werden u.a. Magnesium und Calcium mit dem Sickerwasser ausgewaschen und stehen den Bäumen nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung. Mit der Bodenschutzkalkung durch Dolomitgesteinsmehl werden die für die Waldernährung wichtigen Nährelemente Magnesium und Calcium wieder dem Boden zugeführt und stehen den Bäumen zur Verfügung.



**Abb. 42:** Zeitliche Entwicklung der Elementgehalte von Calcium im ersten Nadeljahrgang für Fichte (links) und Tanne (rechts) nach Regionen Baden-Württembergs. Die Farbcodierung gibt die klassifizierten Versorgungsbereiche nach EVERS (1985) an

## Waldernährung und Kronenzustand

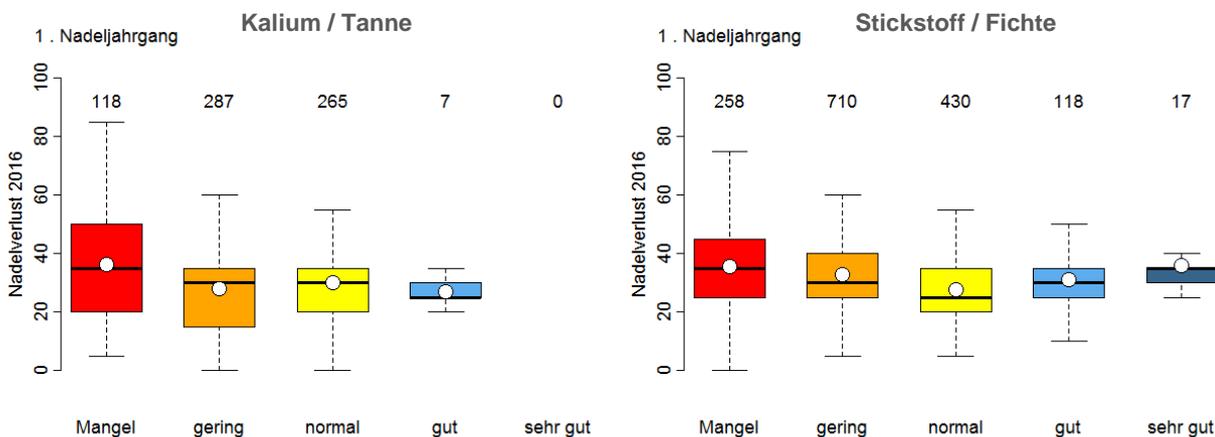
Eine ausgewogene Nährstoffversorgung ist wichtig für ein gesundes Wachstum von Pflanzen. Besteht ein Mangel an bestimmten Nährstoffen, kann es schnell zu Wachstumsdepressionen und sichtbaren Verfärbungen der Blattorgane kommen. Zwar sind Bäume in der Lage, längere Zeit eine Unterversorgung von Nährstoffen zu überstehen, jedoch verringert sich die Vitalität der Bäume zunehmend. Erste Anzeichen von Nährstoffmangel am Baum werden meist durch eine Verfärbung der Nadeln bzw. Blätter sichtbar. So wurden in den 1980er Jahren v.a. im Schwarzwald und im Odenwald großflächig stark vergilbte Fichten und Tannen festgestellt. Ursächlich hierfür war akuter Magnesiummangel nach Auswaschung des Nährelements in Folge starker Bodenversauerung. Aktuell wird an Fichten und Tannen auf einigen Standorten eine Verbraunung der Nadeln beobachtet, die als typisches Symptom einer Kaliumunterversorgung gilt.

Die Ergebnisse der ernährungskundlichen Untersuchung 2016 geben Hinweise auf einen direkten Zusammenhang zwischen einer Störung der Nährstoffversorgung und einer erhöhten Kronenverlichtung. So zeigen Tannen auf Kaliummangelstandorten einen um durchschnittlich 6,2 Prozentpunkte höheren Nadelverlust gegenüber Tannen auf normal versorgten Standorten (Abb. 43). Des Weiteren kann für die Fichte gezeigt werden, wie sich eine Veränderung der Stickstoffversorgung auf den Kronenzustand auswirkt. Demnach weisen Fichten mit einer mangelhaften

Stickstoffernährung einen erhöhten Nadelverlust gegenüber normal versorgten Bäumen auf. Zudem ist für Fichten mit hohem bzw. sehr hohem Stickstoffgehalt in den Nadeln ebenfalls eine erhöhte Kronenverlichtung zu beobachten. Ähnliche Befunde bezüglich negativer Effekte auf die Kronenverlichtung sowohl bei Mangel als auch bei deutlichem Überschuss von Stickstoff in den Nadeln konnten auch anhand der erhobenen Daten zur Bodenzustandserhebung auf Bundesebene festgestellt werden (EICKENSCHIEDT et al. 2017).

## Waldernährung und Kalkung

Durch eine gezielte Bodenschutzkalkung sollen anthropogen versauerte Böden wieder an ihre ursprünglichen Bodeneigenschaften angenähert werden. Mit der Anhebung des pH-Werts durch den eingebrachten Kalk wird die Speicherung von Pflanzennährstoffen im Waldboden verbessert und eine tiefere Durchwurzelung der Bäume gefördert. Zudem soll eine Aktivierung der Bodenlebewesen bewirkt werden. Untersuchungen der Bodenzustandserhebung auf Bundesebene zeigen, dass eine positive Wirkung der Kalkungen in Bezug auf einer Verbesserung der Waldernährung erst nach mehrmaligen Kalkungen stark versauerter Standorte zu erwarten ist (BOLTE et al. 2016). Für das Stichprobenkollektiv in Baden-Württemberg ist eine Unterscheidung in verschiedene Kalkungshäufigkeiten aufgrund des geringen Stichprobenumfangs nicht abbildbar.



**Abb. 43:** Nadelverlust in Abhängigkeit von der Nährelementversorgung im 1. Nadeljahrgang. Links: Kaliumversorgung der Tanne, rechts: Stickstoffversorgung der Fichte. Angegeben ist die Anzahl der beobachteten Punkte je Versorgungsstufe. Die Farbcodierung gibt die klassifizierte Versorgungsbereiche nach EVERS (1985) an

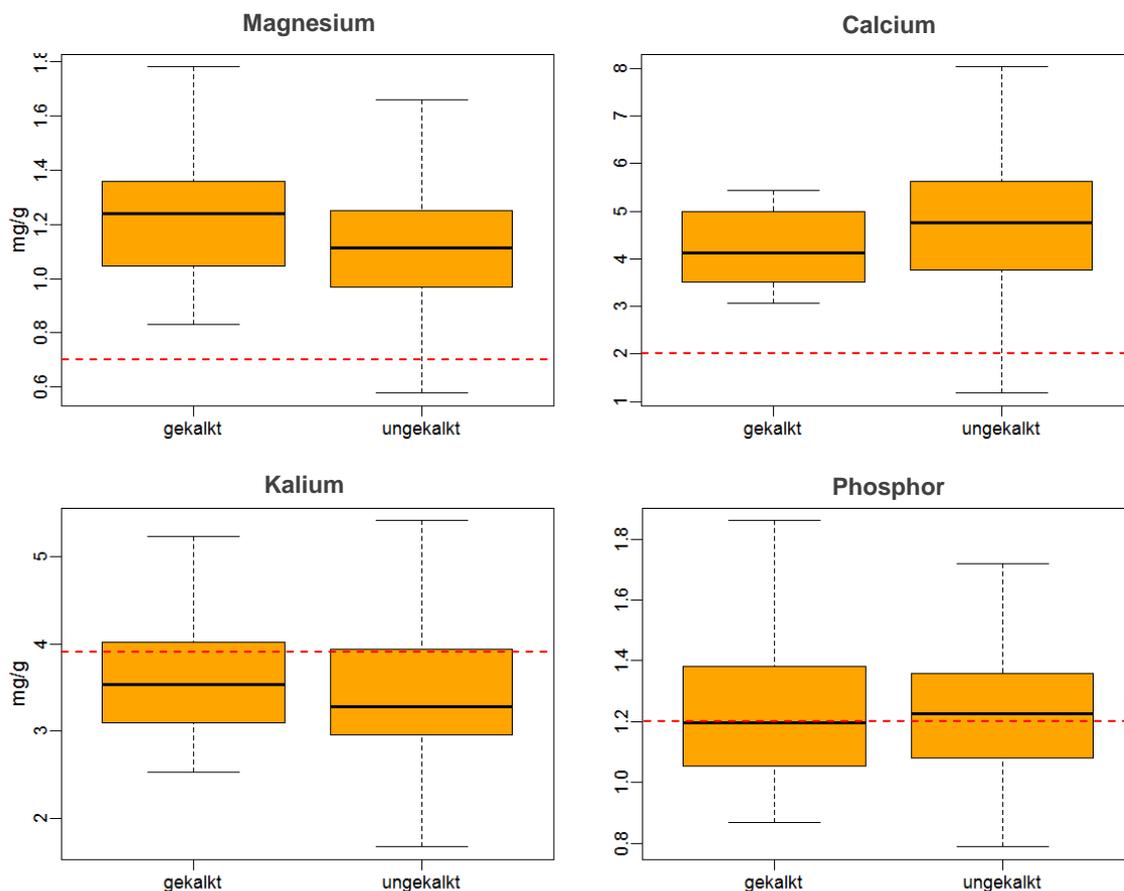
Die Ergebnisse der ernährungskundlichen Untersuchung 2016 zeigen auf gekalkten Standorten einen deutlich erhöhten Magnesiumgehalt in den Fichtennadeln des ersten Nadeljahrganges gegenüber den Fichtennadeln der ungekalkten Standorte (Abb. 44). Dies bestätigt die Beobachtung, dass durch die intensive Kalkung vor allem im Schwarzwald und Odenwald akuter Magnesiummangel wirkungsvoll bekämpft werden konnte und Mangelsymptome an Bäumen nur noch selten vorkommen.

Dagegen ist für Calcium kein erhöhter Elementgehalt in den Fichtennadeln auf gekalkten Flächen festzustellen. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass im Kollektiv der ungekalkten Flächen der Anteil an Carbonatstandorten hoch ist, die von Natur aus einen sehr hohen Calciumvorrat aufweisen. Die mittleren Calciumgehalte in den Fichtennadeln liegen sowohl bei den ungekalkten als auch bei den gekalkten Flächen weit oberhalb des Mangelbereichs.

Leicht erhöht zeigt sich der Kaliumgehalt der Fichten-

adeln auf den gekalkten Standorten. Jedoch bleibt die mittlere Kaliumversorgung der Nadeln auf beiden Varianten (gekalkt und ungekalkt) im Mangelbereich. Kalium ist in der üblich verwendeten Dolomitmischung nicht enthalten, sodass die Nährstoffverfügbarkeit von Kalium im Boden lediglich durch indirekte und langwierige Prozesse, wie tiefere Durchwurzelung oder erhöhte Bioturbation, verbessert werden kann. Eine Beimischung von qualitätsgeprüfter Holzasche kann eine direkte Kaliumzufuhr in die Waldbestände in ökosystemverträglicher Form bewirken (HARTMANN et al. 2016).

Für Phosphor ist im Vergleich der mittleren Elementgehalte der Fichtennadeln zwischen gekalkten und ungekalkten Standorten kaum ein Unterschied zu erkennen. Die mittlere Versorgungslage steht bei beiden Varianten in etwa auf der Höhe der Mangelgrenze. Ähnlich wie bei Kalium ist eine Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit für Phosphor nur über langjährige Veränderungen der Bodenprozesse erreichbar.



**Abb. 44:** Auswirkungen der Bodenschutzkalkung auf die Magnesium-, Calcium-, Kalium- und Phosphorgehalte in den einjährigen Fichtennadeln. Die rot gestrichelte Linie gibt den Grenzbereich zur Mangelernährung nach EVERS (1985) an

## 9 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

### Trockensommer 2018

Der Sommer 2018 in Baden-Württemberg gehört zu den wärmsten und trockensten Sommern seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881. Mit 19,2 °C lag die durchschnittliche Temperatur um 3,0 °C über dem langjährigen Mittel. Nur im „Jahrhundertsummer“ 2003 war es noch heißer, mit noch mehr Sonnenstunden. Lediglich 160 Liter Niederschlag pro Quadratmeter waren diesen Sommer in Baden-Württemberg zu verzeichnen. Dies entspricht gerade einmal 54 Prozent der üblichen Regenmenge (DWD 2018).

### Außergewöhnlich starke Fruktifikation

Der rasante Frühjahrsbeginn, mit sommerlichen Temperaturen bereits im April, führte zu einem zeitigen Austrieb und einer schnellen Entwicklung der Waldbäume, die in diesem Jahr eine ausgeprägte Blühintensität aufwiesen. Der ausgesprochen starke Fruchtbehang vieler Bäume führte zu einer zusätzlichen Belastung. Für die Baumart Buche konnte wiederholt der negative Einfluss einer starken Fruchtbildung auf den Kronenzustand beobachtet werden. Eine starke Blüte und Fruchtbildung bedeutet für Bäume einen erhöhten Nährstoff- und Energiebedarf, der sich bei Buchen oftmals in einer eingeschränkten Verzweigungsstruktur, der Ausbildung kleinerer Blätter und einem geringeren Zuwachs äußert (LÜSCHER UND SIEBER 1990, KRAMER 1988). Die Ergebnisse der Waldschadensinventur zeigen eine deutliche Häufung und Intensivierung der Samenjahre für die Buche innerhalb der letzten zehn Jahre. Die fünf stärksten Mastjahre der bisherigen Aufnahme seit 1991 entfallen auf die Jahre 2009, 2011, 2014, 2016 und 2018. Demnach tritt derzeit in Baden-Württemberg alle zwei bis drei Jahre eine Buchenmast auf. Literaturstudien zur Fruktifikation der Buche in Deutschland gehen für den Zeitraum 1839 bis 1987 von einem durchschnittlichen Abstand von 4 bis 5 Jahren zwischen Jahren mit starker Fruchtbildung aus (PAAR et al. 2011). Eine häufigere Blüte und Fruchtbildung kann im Wesentlichen auf günstige Witterungsverhältnisse mit einer

Zunahme an warm-trockenen Frühjahrsmonaten der letzten Jahre zurückgeführt werden. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass die hohen Stickstoffeinträge in die Wälder das Blühverhalten der Buchen zusätzlich fördern (MATSCHKE 1982).

### Verschlechterter Kronenzustand

Die außergewöhnliche Dürre und Hitze führten im Verlauf des Sommers 2018 zu einer deutlichen Austrocknung der Böden und somit zu einem erheblichen Wassermangel der Bäume. Die Belastung machte sich in einer frühzeitigen Welke und Blattverfärbung der Bäume sowie einer erhöhten Kronenverlichtung bemerkbar. Die Ergebnisse der diesjährigen Waldschadensinventur weisen für alle Hauptbaumarten Baden-Württembergs mit Ausnahme der Tanne eine erhöhte Kronenverlichtung auf. Der mittlere Nadel-/Blattverlust der Wälder Baden-Württembergs erhöht sich gegenüber dem Vorjahr um 2,9 Prozentpunkte auf 24,9 Prozent. Derzeit gelten 38 Prozent der Wälder als deutlich geschädigt.

Für die am häufigsten vorkommende Baumart Fichte wurde im Mittel eine leichte Verschlechterung des Kronenzustandes festgestellt. Hier spielen Borkenkäferbefall und Trockenstress insbesondere auf flachgründigen und trockenen Standorten eine entscheidende Rolle. Zahlreiche Fichten wurden von den Borkenkäfern „Buchdrucker“ und „Kupferstecher“ befallen, die sich aufgrund der langanhaltenden warmen Witterung landesweit stark vermehren und ausbreiten konnten. Aufgrund des hohen Wasserdefizits waren die natürlichen Abwehrmechanismen der Fichten, welche die Käfer mit Harz verkleben, in diesem Jahr deutlich herabgesetzt. Wie bereits in den letzten Jahren zeigt sich die Tanne im Vergleich zur Fichte als äußerst widerstandsfähig gegenüber Trockenstress. Durch ihr tiefer reichendes Wurzelwerk ist sie besser in der Lage, langanhaltende Trockenperioden zu überstehen. Zudem kommt die Tanne meist in Bergmischwäldern mit verschiedenen Baumarten, wie Fichte, Buche und Bergahorn, vor, in denen aufgrund der großen Vielfalt die Borkenkäfergefahr im Vergleich

zu Fichtenreinbeständen deutlich geringer ist. Starke Trockenstresssymptome waren regional bei der Kiefer zu beobachten. Vor allem auf wenig wasserspeichernden sandigen und steinigen Standorten wies die Kiefer im Sommer 2018 erhöhte Schäden auf.

Bedingt durch Trockenstress und intensive Fruchtbildung erhöhten sich landesweit die Kronenschäden der Buche vergleichsweise stark. Dagegen zeigte sich die Eiche weniger anfällig gegenüber Trockenheit. Vielmehr wurden regional Eichenbestände durch verstärkten Fraß durch Raupen der Eichenfraßgesellschaft geschädigt. Besonders betroffen vom Fraßgeschehen waren vor allem das Neckarland und der nordöstliche Teil von Baden-Württemberg. Als besorgniserregend ist der Kronenzustand der Esche zu bewerten, die seit einigen Jahren massiv durch den pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens geschädigt wird. Der Pilz bringt die Triebe der Eschen zum Absterben und verursacht am unteren Stammabschnitt der Bäume Nekrosen, die zu einer Instabilität der Bäume führen. Die anhaltende Trockenheit im Jahr 2018 belastete vor allem bereits vorgeschädigte Eschen und führte zu verstärktem Absterben während des Sommers.

### **Kronenverlichtung als Warnhinweis für Mortalitätsrisiko**

Die jährliche Waldschadensinventur liefert neben Kronenzustandsdaten auch Informationen über die Anzahl abgestorbener Bäume und deren Absterbegründe. In Zusammenarbeit mit der University of Bath (England) wurde geprüft, inwieweit ein Zusammenhang zwischen dem Kronenzustand und der Mortalität besteht. Hierfür wurden auch Kronenzustandsdaten weiterer Versuchsflächen Baden-Württembergs hinzugezogen. In der modellunterstützten Untersuchung wurden auch mögliche andere Einflussfaktoren auf die Mortalität, wie Boden- und Klimafaktoren, berücksichtigt. Ein besonderes Interesse galt dabei der Fragestellung, ob ein Grenzwert des Nadel-/Blattverlustes als Indiz für das Eintreten irreversibler Schäden identifiziert werden kann.

Die Ergebnisse zeigen für alle Baumarten, dass das Mortalitätsrisiko bei steigendem Nadel-/Blattverlust zunimmt. Allerdings haben bei Fichte, Tanne und

Buche auch Boden- und Klimafaktoren sowie Wassermangel einen bedeutenden Einfluss auf das Mortalitätsrisiko. Für die meisten Baumarten stellt die Schadstufengrenze zwischen mittelstark geschädigten Bäumen (Schadstufe 2) und stark geschädigten Bäumen (Schadstufe 3) einen Grenzwert dar, ab dem irreversible Schäden in der Baumkrone zunehmen und das Mortalitätsrisiko deutlich ansteigt. Dies entspricht einem Nadel-/Blattverlust von 60 bis 65 Prozent. Lediglich bei der Kiefer liegt dieser Grenzwert nach den Modellrechnungen deutlich darunter.

Eine bevorzugte Entnahme von lebenden Bäumen mit einer Kronenverlichtung oberhalb des baumartenspezifischen Grenzwertes könnte helfen, einen Wertverlust des Holzes zu verhindern. Eine sehr späte Ernte nach dem Absterben der Bäume kann zu massiven Qualitätsverlusten des Holzes durch Pilzbefall und Stammfäule führen. Zudem sind Bäume mit höherer Kronenverlichtung und damit schlechtem Vitalitätszustand anfälliger gegenüber Schädlingsbefall, wie z.B. Borkenkäfern. Dies gilt insbesondere für die Fichte, ist aber auch für die anderen Baumarten von Bedeutung. Dagegen ist es bei Durchforstungsmaßnahmen sinnvoll – wie seit langem in der forstwirtschaftlichen Praxis üblich – vitale und gut belaubte Bäume zu fördern, um die Verfügbarkeit von Ressourcen, d.h. Wasser, Sonnenlicht und Nährstoffe, für die Zielbäume weiter zu verbessern.

### **Ernährungssituation bei Fichte und Tanne**

Die Ergebnisse der letztmaligen ernährungskundlichen Untersuchung aus dem Jahr 2016 zeigen, dass die Versorgung mit Magnesium und Calcium in den Fichten- und Tannennadeln mittlerweile in weiten Teilen Baden-Württembergs ausreichend ist. Seit Erhebungsbeginn 1983 ist ein deutlicher Anstieg der Elementgehalte in den Nadeln zu beobachten. Dies ist im Wesentlichen auf einen positiven Effekt der Bodenschutzkalkung zurückzuführen, mit der die Nährelemente Magnesium und Calcium auf versauerten Standorten zurückgeführt werden.

Für die Fichte zeigt sich in den Nadeln eine deutliche Mangelsituation der Nährelemente Kalium und Phosphor. In allen Regionen Baden-Württembergs lagen 2016 die mittleren Elementgehalte auf dem niedrigsten

Stand der bisherigen Untersuchungsperiode. Etwas günstiger ist die Situation für die Tanne zu bewerten, wenngleich auch über 50 Prozent der Tannen eine angespannte Kalium- bzw. Phosphorversorgung aufweisen. Lediglich auf der Schwäbischen Alb ist die Versorgungslage der Tannen für beide Nährelemente als ausreichend zu bezeichnen.

Im Gegensatz zu den anderen Nährelementen ist die Versorgung der Waldböden mit Stickstoff bedingt durch die atmogene Deposition außergewöhnlich hoch. Dennoch zeichnet sich für die meisten Regionen Baden-Württembergs in den Nadeln von Fichten und Tannen eine angespannte Versorgungslage ab. Dies ist im Wesentlichen auf eine verstärkte Einlagerung von Stickstoff durch eine erhöhte Biomasseproduktion und auf unterschiedliche physiologische Voraussetzungen der Baumarten zurückzuführen, die verschiedenen Stickstoffformen (Nitrat- und Ammoniumstickstoff) je nach Versauerungsgrad der Böden aufzunehmen.

Neben den allgemeinen Entwicklungstrends der Hauptnährelemente geben die Ergebnisse der Nadelanalysen Hinweise auf direkte Zusammenhänge zwischen einer Störung der Nährelementversorgung und einer erhöhten Kronenverlichtung. Tannen auf Kaliummangelstandorten zeigten demnach ebenso wie Fichten mit mangelnder als auch mit guter bis sehr guter Stickstoffversorgung einen erhöhten Nadelverlust. Außerdem werden Effekte der Kalkung in den Magnesium- und Kaliumgehalten der Nadeln sichtbar.

## Fazit

Zahlreiche Umweltfaktoren wirken auf die Wälder ein und nehmen damit Einfluss auf deren Vitalität. Die diesjährige Waldzustandserhebung belegt, wie deutlich Wälder auf Witterungsextreme wie Trockenheit und Hitze reagieren. Das aktuelle Jahr zeigt eindrücklich, dass sogenannte „Extremommer“ mehr und mehr zur Normalität werden. Um die Stabilität und Widerstandsfähigkeit der Wälder zu erhalten, muss die forstliche Planung stärker als bislang auch Risiken, die sich aus Witterungsextremen ergeben, berücksichtigen. Das Konzept einer naturnahen Waldwirtschaft, welches die Forstverwaltung Baden-Württembergs seit langem verfolgt, schließt bereits umfangreiche Maßnahmen der

Klimaanpassung ein. Neben einer standortgerechten Baumartenwahl, der fachgerechten Förderung von Mischbaumarten und der Stabilität der Bestände sind die Grundsätze des integrierten Waldschutzes ein wichtiger Bestandteil dieses Konzepts. Akut stellt sich in diesem Jahr die Bedrohung von Fichtenbeständen durch Borkenkäfer dar. Um ein erhöhtes Käferaufkommen im nächsten Jahr frühzeitig einzudämmen, müssen gefährdete Waldbestände kontinuierlich und intensiv auf möglichen Stehendbefall kontrolliert und befallene Bäume so schnell wie möglich aus den Beständen entfernt werden. Des Weiteren sollte möglicherweise anfallendes Sturmholz rechtzeitig aufgearbeitet werden, um den Käfern nicht noch zusätzliches Brutmaterial zur Verfügung zu stellen.

Auch Nährstoffmangel führt zu Vitalitätseinbußen der Waldbäume. Mangelsituationen verschärfen sich in Trockenjahren, wenn Bäume weniger Wasser und damit auch Nährstoffe aus dem Boden aufnehmen können. Auf vielen Waldflächen sind die Böden durch die langjährige Einwirkung von Säure- und Stickstoffdepositionen versauert und an Nährstoffen verarmt. Das Programm zur regenerationsorientierten Bodenschutzkalkung in Baden-Württemberg zielt auf eine Wiederherstellung der ursprünglichen Nährstoffvorräte der Waldböden. Mit der üblichen Dolomitkalkung werden dem Boden die Nährelemente Calcium und Magnesium zugeführt. Zur Verbesserung der Kalium- und Phosphorversorgung der Bäume wird seit einigen Jahren eine Beimischung von 30 Prozent Holzasche zum üblichen Dolomitmalk empfohlen (HARTMANN et al. 2016). Durch diese ökosystemverträgliche Verabreichungsform soll auf Standorten mit einem nachgewiesenen Nährstoffmangel die Versorgung der Waldbäume langfristig verbessert werden. Bisherige Befunde über die Wirksamkeit der Maßnahmen im „Regelbetrieb“ liegen aufgrund der geringen Zeitreihe noch nicht vor. Jedoch zeigen langfristige Versuchsreihen auf der Intensivmessfläche Ochsenhausen, dass durch eine Dolomit-Holzaschebehandlung die Nährstoffversorgung der Bäume mit Magnesium, Calcium und Phosphor langfristig deutlich verbessert werden kann (MEINING et al. 2014).

Im Zuge zunehmender Energieholzgewinnung in den Wäldern ist der erntebedingte Nährstoffentzug der Wälder in den letzten Jahren stärker in den Fokus

gerückt (FVA-BW 2018, BLOCK et al. 2016). Eine hohe Biomassenutzung mit (nahezu) vollständiger Entnahme, inklusive stark nährstoffreicher Kompartimente wie Nadeln, Ästen und Zweigen, erhöht den Nährstoffexport aus dem Wald. Entnommenes Kronenmaterial steht nicht mehr für die Humusbildung zur Verfügung und dem Boden werden dadurch weniger Nährstoffe zurückgeführt. Insbesondere auf bereits durch die Bodenversauerung verarmten Standorten kann bei intensiver Holznutzung langfristig die Nährstoffnachhaltigkeit der Waldböden gefährdet sein. Daher muss jeder Nutzungsintensivierung eine eingehende Bewertung des Standortes bezüglich seiner Nährstoffausstattung vorausgehen.

Die Messnetze des Forstlichen Umweltmonitorings liefern umfangreiche Informationen über den Zustand und die Entwicklung der Wälder und Waldböden. Die kontinuierliche Überwachung der Umwelteinflüsse sowie der Reaktionen der Wälder und der Waldböden ist unerlässlich, um frühzeitig Fehlentwicklungen aufzeigen und gezielt Gegenmaßnahmen ableiten zu können. Die jährliche Waldzustandserhebung kann hierbei als Frühwarnsystem dienen, welches zeitnah Veränderungen der Baumvitalität und mögliche Auswirkungen auf die Waldökosysteme dokumentiert. So belegen die Aufnahmen enge Zusammenhänge der Kronenverlichtung mit dem Baumwachstum und der Mortalität. Angesichts der komplexen Herausforderungen, die insbesondere der Klimawandel an die Waldbewirtschaftung stellt, ist das Forstliche Umweltmonitoring ein unverzichtbares Instrument, um die Folgen des Klimawandels für die Vitalität und Produktivität der Wälder, aber auch für die Trinkwasserversorgung und weitere Ökosystemleistungen der Wälder einzuschätzen. Daneben liefert das Forstliche Umweltmonitoring umfangreiche Daten für die Steuerung einer nährstoffnachhaltigen Holznutzung und der Bodenschutzkalzung. Damit haben die Messnetze des Forstlichen Umweltmonitorings mittlerweile den Rang und die Qualität von praxisorientierten Planungs- und Steuerungsinstrumenten erlangt.

## 10 LITERATURVERZEICHNIS

AG Kronenzustand (2007): Waldbäume – Bilderserien zur Einschätzung von Kronenverlichtungen bei Waldbäumen. BMVEL (Hrsg.), 130 S.

Augustin, N.H., Davis, A. Albrecht, A. Puhmann, H., Meining, S., Wood, S.N. and Anaya-Izquierdo, K. (2018): Using forest eco-system monitoring data to model tree survival for investigating climate change effects. in prep.

Augustin, N., Musio, M., v. Wilpert, K., Kublin, E., Wood, S.N., Schumacher, M. (2009): Modelling spatio-temporal forest health monitoring data. *Journal of the American Statistical Association*, 104/487, p. 899-911

Block, J., Dieler, J., Gauer, J., Greve, M., Moshhammer, R., Schuck, J., Schwappacher, V, Wunn, U. (2016): Gewährleistung der Nachhaltigkeit der Nährstoffversorgung bei der Holz- und Biomassenutzung im Rheinland-Pfälzischen Wald. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 79/16*

Bobbink, R., Hettelingh, J.-P. (2011) Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. In: *Proceedings of an Expert Workshop. Coordination Centre for Effects and National Institute for Public Health and the Environment. Noordwijkerhout.*

Bolte, A., Grüneberg, E., Wellbrock, N. (2016): Ergebnisse der BZE und Wirkung der Waldkalkung. Vortrag zum Festakt zur Verleihung der Goldenen Tanne durch die Schutzgemeinschaft Deutscher Wald. Berlin 01.12.2016

Cox, D. R., (1972): Regression Models and Life-Tables. In: *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, Vol. 34, No. 2, pp. 187-220

Delb, H. (2003): Screening zu Hitze- und Dürreschäden in Rheinland-Pfalz 2003. Interner Bericht aus der FVA Baden-Württemberg, Abteilung Waldschutz, 11 S. mit Bildanhang, unveröffentlicht

DWD (2018): <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101334&lv3=101456> (Stand: 17.10.2018)

Eickenscheidt, N., Augustin, N., Wellbrock, N., Dühnelt, P., Hilbrig, L. (2017): Der Kronenzustand in Deutschland. *AFZ-DerWald 2/2017. S. 28-30*

Enderle, R., Fussi, B., Lenz, H. D., Langer, G., Nagel, R., Metzler, B. (2017). Ash dieback in Germany: Research on disease development, resistance and management options. *Dieback of European ash (Fraxinus spp.): consequences and guidelines for sustainable management*, 89-105

Evers, F.H. (1985): Normogramme zur Schätzung und Klassifizierung der Nährelementgehalte in Nadeln und Blättern. Unveröffentlicht.

FVA-BW (Hrsg.) 2018: Holznutzung und Nährstoffnachhaltigkeit – Abschlussbericht zum Projekt „Energieholzernte und stoffliche Nachhaltigkeit in Deutschland (EnNa)“, *Berichte Freiburger Forstliche Forschung*, 101, 400 S., in Druck

Hartmann, P., Buberl, H., Puhmann, H., Schäffer, J., Trefz-Malcher, G., Zirlwagen, D., von Wilpert, K. (2016): Waldböden Südwestdeutschlands, Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen von 1989 – 1992 und 2006 – 2008. *Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter*, 328 S.

Hildebrand, E. E.(1986): Ernährungskundliche Aspekte der Waldbodenstruktur. *Mitteilungen der deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, Bd. 59, S. 383-388

Kramer, H. (1988): *Waldwachstumslehre*. Parey, Hamburg und Berlin, 374 S.

Lüscher, D., Sieber, M. (1990): Die Blütenbildung und ihre Auswirkungen auf die Struktur der Krone. *Schweiz.Z.Forstwes.*, 141/2: S. 147-154.

Meining, S., v. Wilpert, K., Schumacher, J., Delb, H., Hartmann, P., Rubin, L., John, R., Metzler, B., Bublitz, T., Augustin, N. (2014): *Waldzustandsbericht 2014*. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 58 S.

Matschke, J. (1982): Blütenbildung, Fruktifikation und vegetative Vermehrung. In : Lyr, H., Fiedler, H.-J., Tranquillini, W. (ed.): *Physiologie und Ökologie der Gehölze*. 620 S., S. 497-538.

Nussbaumer, A., Waldner, P., Etzold, S., Gessler, A., Benham, S., Margrete Thomsen, I., Bilde Jørgensen, B., Timmermann, V., Verstraeten, A., Sioen, G., Rautio, P., Ukonmaanaho, L., Skudnik, M., Apuhtin, V., Braun, S., Wauer, A. (2018): Impact of weather cues and resource dynamics on mast occurrence in the main forest tree species in Europe. *Forest Ecology and Management*. p.237-251

Paar, U., Guckland, A., Dammann, I., Albrecht, M., Eichhorn, J. (2011): Häufigkeit und Intensität der Fruktifikation der Buche. *AFZ-DerWald*, 6/2011, S. 26-29

v. Wilpert, K. (2014): Begründung, Technik und Wirkung der Bodenschutzkalkung. *FVA-einblick* 1/2014, S. 10-13.

Waldschutzinfo (2/2016): Zehn Jahre Eschentriebsterben im Südwestdeutschland – Gegenwärtig kurze Atempause?. [http://www.fva-bw.de/publikationen/wsinfo/wsinfo2016\\_02.pdf](http://www.fva-bw.de/publikationen/wsinfo/wsinfo2016_02.pdf) (Stand: 17.10.2018)

## ANLAGEN

### Anlage 1:

Aufgenommene Baumarten nach Altersgruppen der Waldschadensinventur 2018

Baumart	Anzahl Bäume <61 Jahre	Anzahl Bäume >60 Jahre	Anzahl Bäume insgesamt
Fichte	732	1.643	2.375
Sitkafichte	0	1	1
Tanne	140	742	882
Thuja	2	0	2
Douglasie	90	45	135
Kiefer	43	246	289
Schwarzkiefer	0	2	2
sonstige Kiefer	0	1	1
Lärche	11	75	86
Europäische Lärche	16	16	32
Japanische Lärche	0	4	4
Eiche	150	396	546
Traubeneiche	1	0	1
Roteiche	70	9	79
Nuss	1	1	2
Edelkastanie	9	4	13
Robinie	22	8	30
Birke	34	7	41
Buche	423	1.280	1.703
Hainbuche	45	36	81
Linde	28	28	56
Bergahorn	152	83	235
Spitzahorn	38	6	44
Feldahorn	2	4	6
Ulme	9	2	11
Kirsche	21	14	35
Esche	120	196	316
Aspe	4	0	4
Pappel	19	0	19
Roterle	29	10	39
Weißerle	11	4	15
Elsbeere	1	0	1
Vogelbeere	36	0	36
Weide	8	0	8
<b>Gesamt</b>	<b>2.267</b>	<b>4.863</b>	<b>7.130</b>

**Anlage 2:**

Aufnahmedichte der Waldschadensinventur von 1985 bis 2018

<b>Jahr</b>	<b>Rasternetz</b>	<b>Anzahl Aufnahmepunkte</b>	<b>Anzahl Probebäume</b>
1985	4x4 km	1.874	41.102
1986	4x4 km	1.923	42.166
1987	8x8 km	784	17.025
1988	8x8 km	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

**Anlage 3:**

Schadstufenverteilung in Prozent von 1985 bis 2018

Jahr	Schadstufe					
	0 nicht 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	4	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