



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Waldzustandsbericht 2019

ForstBW 



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM
UND VERBRAUCHERSCHUTZ

Waldzustandsbericht 2019 für Baden-Württemberg



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)

Nicole Augustin (University of Bath, England)

Kapitel 5: Horst Delb, Jörg Grüner, Reinhold John, Markus Kautz, Gregor Seitz, Jan Wussler (alle FVA Baden-Württemberg)

Kapitel 7: Axel Albrecht, Hans-Gerd Michiels, Ulrich Kohnle (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

Download:

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

ISSN: 1862-863X

INHALT

1	VORWORT	3
2	DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING	5
	METHODISCHER AUFBAU	6
	INTERNATIONALE EINBINDUNG	7
	TERRESTRISCHE WALDSCHADENSINVENTUR	7
3	ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG	10
	WALDZUSTAND IN BADEN-WÜRTTEMBERG	10
	MORTALITÄT	12
	VERGILBUNG	13
	SCHADSTUFEN	14
	FRUKTIFIKATION	14
	HAUPTBAUMARTEN	15
	SONSTIGE NADEL- UND LAUBBAUMARTEN	18
	REGIONALE VERTEILUNG	19
	ZEITLICH-RÄUMLICHE ENTWICKLUNG	20
4	WITTERUNG	23
	TEMPERATUR UND NIEDERSCHLAG	23
	LANGFRISTIGE KLIMAENTWICKLUNG	25
	BODENFEUCHTE	26
5	WALDSCHUTZSITUATION	28
	SCHADERREGER AN NADELBÄUMEN	28
	SCHADERREGER AN LAUBBÄUMEN	32
6	STOFFEINTRÄGE	36
	STICKSTOFF	36
	REGIONALE VERTEILUNG	37
	SCHUTZ DER WALDBÖDEN	38
7	EIGNUNG UND GEFÄHRDUNG DER HAUPTBAUMARTEN IM KLIMAWANDEL	40
	VULNERABILITÄTSKARTE	40
	ERGEBNISSE: VULNERABILITÄT DER HEUTIGEN WALDBESTÄNDE	41
	BAUMARTENEIGNUNGSKARTEN	41
	ERGEBNISSE: ZUKÜNFTIGE ANBAUEIGNUNG DER HAUPTBAUMARTEN	43
	AUSBlick	45
8	ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	47
9	LITERATURVERZEICHNIS	52
	ANLAGEN	53

1 VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

die Wälder in Baden-Württemberg leisten einen großen Beitrag zum Klimaschutz. Durch eine nachhaltige Waldbewirtschaftung und die Verwendung des Rohstoffes Holz wird ein essentieller Beitrag zur Minderung von schädlichen Klimagasen geleistet. Wälder bieten vielen Tier- und Pflanzenarten einen Lebensraum und stärken so die natürliche Artenvielfalt von Flora und Fauna. Zudem wirken sie ausgleichend auf das Klima und filtern mit ihrer großen Oberfläche Schadstoffe und Feinstäube aus der Luft. Sie regulieren den Wasserhaushalt und sichern das Trinkwasservorkommen, schützen vor Bodenerosion und Lawinen. Besonders im Ländlichen Raum sichern die Wälder Arbeit und Einkommen und bieten einen vielfältigen Erholungs- und Erlebnisraum. Gleichzeitig zeigt sich, wie anfällig Baumarten, die wir bisher als klimaresilient eingestuft haben, unter den Folgen von Hitze, Trockenheit und Sturm in den letzten Jahren leiden.



Nach der extremen Hitze und Dürre des Vorjahres, die zu einer weitgehenden Austrocknung vieler Waldböden und zu starken Schäden an den Bäumen führte, zeigten sich heute erhebliche Schäden in den Wäldern. Die mittlere Kronenverlichtung der Wälder Baden-Württembergs stieg mit 27,5 Prozent auf den bisherigen Höchststand der gesamten Aufnahmeperiode seit 1985. Gegenüber der bereits im Vorjahr angestiegenen Kronenverlichtung bedeutet dies eine weitere Erhöhung um 2,6 Prozentpunkte. Insgesamt gelten damit aktuell 43 Prozent der Waldfläche Baden-Württembergs als deutlich geschädigt.

Die extremen Witterungsverhältnisse der letzten Jahre haben alle Waldbaumarten in ihrer Vitalität beeinträchtigt. Besonders besorgniserregend sind die aktuellen Entwicklungen aber bei den Nadelbaumarten. Aufgrund von Borkenkäferbefall sind in den Trockenjahren 2018 und 2019 enorme Schadholzmengen bei der Fichte angefallen. 2019, im zweiten Trockenjahr in Folge, wurde auch die Tanne vermehrt durch Borkenkäfer geschädigt, nachdem sie das erste Trockenjahr 2018 noch vergleichsweise stabil überstanden hatte. Auch die bereits im vergangenen Jahr beobachteten starken Trockenschäden bei der Kiefer setzten sich in diesem Jahr fort. Vor allem in der Oberrheinebene kommt es zu einem flächigen Ausfall der Kiefer.

Der Zustand der Buche hat sich, nach einer deutlichen Verschlechterung 2018 infolge der starken Fruktifikation, bedingt durch den sommerlichen Wassermangel in diesem Jahr noch einmal weiter verschlechtert. Bei der Eiche führte starker Blattfraß vor allem in den nördlichen Landesteilen regional zu deutlich erhöhten Blattverlusten und zu

einer zusätzlichen Belastung der Bäume. Bei der Esche war aufgrund der sehr trockenen Witterung der letzten Jahre eine geringere Neuinfektion mit dem Erreger des Eschentriebsterbens zu beobachten. Allerdings hat sich der Erreger inzwischen landesweit verbreitet und bringt zahlreiche Eschenbestände zum Absterben, so dass die Mortalitätsrate der Esche weiterhin sehr hoch ist.

Vor dem Hintergrund der dramatischen Situation in den Wäldern fand am 2. September 2019 der baden-württembergische Waldgipfel in Stuttgart statt. Dazu waren Vertreterinnen und Vertreter aus dem Bereich der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft, dem Naturschutz, Bildungseinrichtungen, der Jagd, der Erholung, den kommunalen Landesverbänden, den Regierungsfractionen sowie Vertreterinnen und Vertretern der betroffenen Ressorts eingeladen. Zusammen mit den Teilnehmern wurde der vom Ministerium erarbeitete Entwurf des Notfallplans Baden-Württemberg beraten. Dieser fand bei den Beteiligten eine breite Zustimmung, die ergänzende und wichtige Hinweise beisteuerten. Für die betroffenen Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer soll der Notfallplan eine handfeste und kurzfristig wirksame Unterstützung sein. Mit dem Notfallplan wird die Klimafolgenforschung ausgebaut, gesetzliche Hürden abgebaut, die Kommunikation intensiviert und die Beratung der Waldbesitzer gestärkt.

In den kommenden Wochen wird die Waldstrategie 2050 erarbeitet werden, ein Masterplan, mit dem die längerfristig notwendigen Maßnahmen ausgearbeitet und umgesetzt werden sollen. Die Erarbeitung der Inhalte wird unter intensiver Einbindung aller Waldverbände erfolgen.

Die Erhaltung des Waldes ist eine gesamtgesellschaftliche Herausforderung, die wir gemeinsam meistern werden.

Stuttgart, im Oktober 2019

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

Peter Hauk MdL
Minister für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz

2 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Die Wälder Baden-Württembergs leisten einen großen Beitrag zum Klimaschutz. Durch eine nachhaltige Waldbewirtschaftung und die Verwendung des Rohstoffes Holz wird ein essentieller Beitrag zur Minderung von schädlichen Klimagasen geleistet. Wälder nehmen Kohlendioxid (CO₂) aus der Luft auf und tragen somit aktiv zur Senkung der Treibhausgase in der Atmosphäre bei. Durch die Verwendung des Baustoffes Holz wird zudem eine sinnvolle Speicherung des Kohlenstoffs ermöglicht und es können andere CO₂-verursachende Materialien durch Holzprodukte ersetzt werden (sog. genannter „Substitutionseffekt“). Daneben erfüllen Wälder weitere zahlreiche Schutz- und Erholungsfunktionen. Wälder bieten vielen Tier- und Pflanzenarten einen Lebensraum und stärken so die natürliche Artenvielfalt der Flora und Fauna. Zudem wirken sie ausgleichend auf das Klima und filtern mit ihrer großen Oberfläche Schadstoffe und Feinstäube aus der Luft. Wälder regulieren den Wasserhaushalt und sichern das Trinkwasservorkommen, schützen vor Bodenerosion und Lawinen. Besonders im ländlichen Raum sorgen

die Wälder für Arbeit und Einkommen und bieten gleichzeitig einen vielfältigen Erholungs- und Erlebnisraum.

In Anbetracht der sich aktuell verändernden Klimabedingungen ist es von hoher Dringlichkeit, den Zustand der Wälder, die einwirkenden Umwelteinflüsse sowie die Reaktion des Waldökosystems mit ausreichender Intensität und Kontinuität zu messen, um den Erhalt und die Stabilität der Wälder auch für zukünftige Generationen sicherzustellen.

In Baden-Württemberg wurden Ende der 1970er Jahre nach massiven Schädigungen durch immissionsbedingte Schadstoffeinträge aus der Luft erste Versuchsfelder zur Untersuchung des Gesundheitszustandes der Wälder angelegt. Seither ist das Forstliche Umweltmonitoring stetig weiterentwickelt worden, so dass heute ein umfassendes Untersuchungsprogramm zur Verfügung steht, welches alle Umweltfaktoren, die Einfluss auf das Ökosystem Wald ausüben, mit geeigneter Genauigkeit erfasst (Abb. 1). So ist es heute möglich, langfristige Entwicklungen des Waldzustandes und

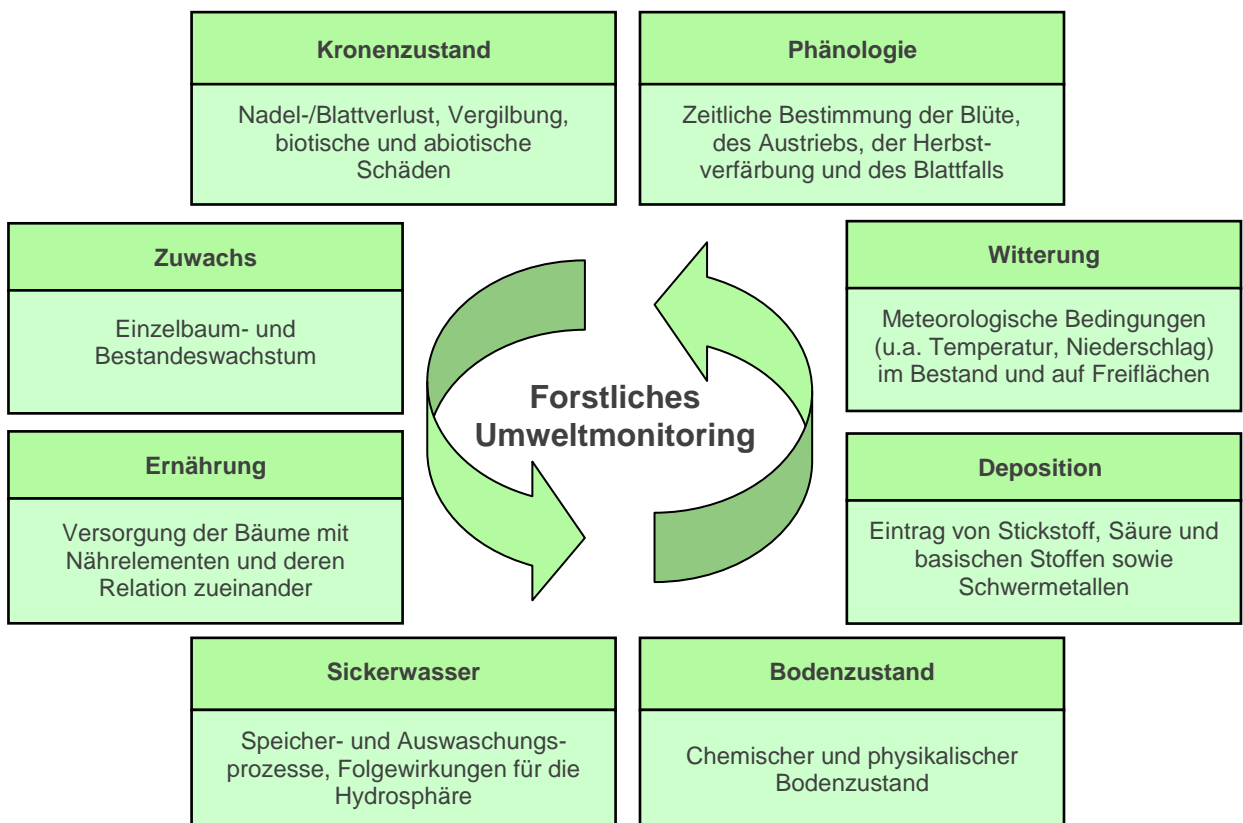


Abb. 1: Themen und Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings

Rasterstichproben

Terrestrische Waldschadensinventur (TWI)

Untersucht den aktuellen Kronenzustand und zeigt die Entwicklung der Wälder auf. Es finden jährliche Erhebungen statt.

Bodenzustandserhebung (BZE)

Untersucht den bodenchemischen Zustand der Waldböden. BZE1: 1989 bis 1992, BZE2: 2006 bis 2008, BZE 3 (geplant): 2022-2024.

Waldernährungsinventur (IWE)

Untersucht den Nährstoffgehalt in den Nadeln bzw. Blättern. Wiederholungsinventur alle fünf bis sieben Jahre. Letzte Erhebung 2017.

Bundeswaldinventur (BWI)

Untersucht das Wachstum und den Vorrat des Waldes.

Versuchsflächen

Intensives Ökosystemmonitoring

Neben der Deposition und des Stoffflusses wird der Wasserhaushalt, das Wachstum, die Ernährung, die Bodenvegetation sowie der Kronenzustand untersucht.

Waldklimastationen

Messung meteorologischer Kenngrößen wie Niederschlag, Temperatur, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit in Waldgebieten.

Depositionsflächen

Messung der Säure- und Stickstoffeinträge mit dem Niederschlag.

Dauerbeobachtungsflächen

Erhebung des aktuellen Kronenzustandes an Fichten und Tannen.

aktuelle Gefährdungspotentiale der Wälder aufzuzeigen und daraus, insbesondere mit Hinblick auf die sich verändernden Klimabedingungen, geeignete Maßnahmen zum Schutz des Waldes abzuleiten. Die Untersuchungsschwerpunkte des Forstlichen Umweltmonitorings umfassen heute einerseits Erhebungen, die den Zustand des Waldbestandes charakterisieren, wie z.B. Kronenzustand, Phänologie, Zuwachs oder Ernährungssituation der Bäume. Andererseits werden aber auch standortsbezogene Einflussgrößen gemessen, wie z.B. Witterung, Stoffeinträge, Bodenzustand und Sickerwasser. Im Zusammenspiel der einzelnen Untersuchungen ergibt sich ein umfassendes Bild zur aktuellen Entwicklung des Waldzustandes in Baden-Württemberg.

Methodischer Aufbau

Das Forstliche Umweltmonitoring gliedert sich methodisch in zwei unterschiedliche Ebenen: die Rasterstichproben und die Versuchsflächen.

Die **Rasterstichproben** liefern aufgrund ihres hohen Stichprobenumfangs und der streng systematischen Auswahl der Stichprobenpunkte flächenrepräsentative

Ergebnisse für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs. Die Lage der Stichprobenpunkte wird allein durch den Abstand des Aufnahmenetzes bestimmt (Abb. 2, links). In der bisherigen Aufnahmeperiode wurden in Baden-Württemberg unterschiedliche Aufnahmeraster (4x4, 8x8 und 16x16 km-Netz) verwendet. Jeder Rasterschnittpunkt im Wald wird als Aufnahmepunkt angelegt, unabhängig von Standort, Baumartenzusammensetzung oder sonstigen Kriterien. Zu den Rasterstichproben zählt die Terrestrische Waldzustandsinventur (TWI), die Bodenzustandserhebung (BZE) und die Immissionsökologische Waldernährungsinventur (IWE). Seit dem Jahr 2005 werden alle Erhebungen der Rasterstichproben im Wald auf dem 8x8 km-Netz sowie auf dem europaweiten 16x16 km-Netz durchgeführt, so dass integrierende Auswertungen zwischen den verschiedenen Erhebungen möglich sind. Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen auf Stichprobenpunkten der Bundeswaldinventur (BWI) Untersuchungen zur Waldentwicklung vorgenommen.

Auf den **Versuchsflächen** werden viele verschiedene Umweltparameter mit einer sehr hohen zeitlichen wie räumlichen Messintensität untersucht. Die räumliche

Lage der 50x50 m großen Versuchsflächen wird im Gegensatz zu den Rasterstichproben entsprechend dem Untersuchungsziel ausgewählt. Hierbei können der Standort, die räumliche Lage oder die Baumartenzusammensetzung ausschlaggebend für die Auswahl sein (Abb. 2, rechts). Zu den Versuchsflächen zählen die Flächen des Intensiven Ökosystemmonitorings, die Waldklimastationen, die Depositionsflächen und die Dauerbeobachtungsflächen. Zusätzlich werden auf waldwachstumskundlichen Flächen Informationen über das Wachstum der Hauptbaumarten auf verschiedenen Standorten gewonnen.

Internationale Einbindung

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

Baden-Württembergs sind insgesamt fünf Flächen des Intensiven Ökosystemmonitorings mit jeweils einem Fichten- und einem Buchenplot Bestandteil des europäischen Umweltmonitoring-Programms (ICP-Forests Level II). Somit stehen die Ergebnisse der Erhebungen in Baden-Württemberg auch für übergreifende Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

Terrestrische Waldschadensinventur

Die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) untersucht den Kronenzustand der Wälder in Baden-Württemberg. An permanent eingerichteten Stichprobenpunkten werden nach einem systematischen Verfahren jeweils 24 Bäume ausgewählt und jährlich hinsichtlich ihres Kronenzustands untersucht. Aus dem beobachteten Kronenzustand und dessen kurz- bis langfristige Veränderung können Rückschlüsse auf die Vitalität der Wälder sowie beeinflussende Umweltfaktoren gezogen werden. Hauptkriterien für die Bewertung des Kronenzustandes sind der Nadel-/Blattverlust (Abb. 3) und der Grad der Vergilbung. Beide Merkmale werden in Fünf-Prozentstufen erhoben und anschlie-

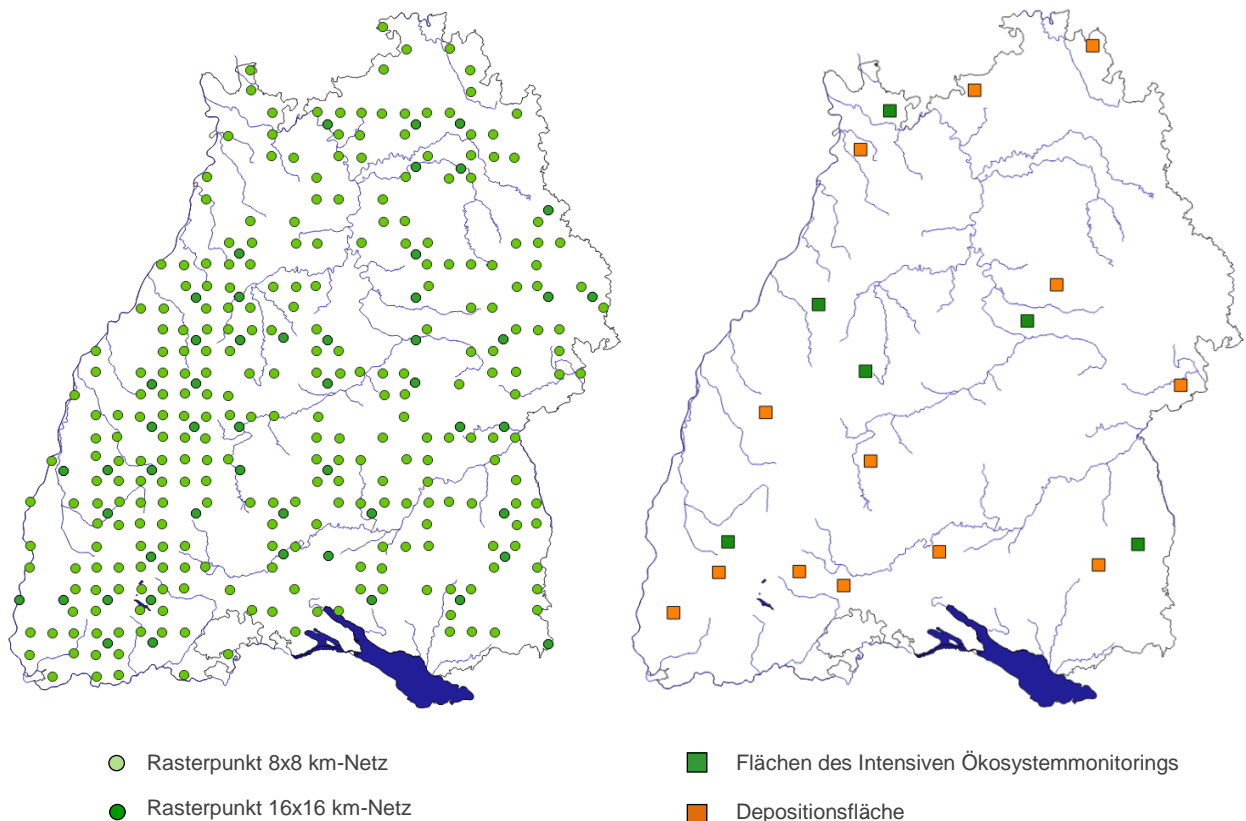


Abb. 2: Räumliche Lage der Rasterstichproben (links) und der Versuchsflächen (rechts)



Abb. 3: Buchen mit unterschiedlicher Kronenverlichtung. Links: 0 Prozent, Mitte: 35 Prozent, rechts: 90 Prozent (aus: AG KRONENZUSTAND 2007)

ßend zu Schadstufen verrechnet (Tab. 1). Zusätzlich werden an jedem Probebaum alle erkennbaren Schäden, die einen Einfluss auf die Baumvitalität ausüben können, erfasst. Hierunter fallen insbesondere Schäden in der Baumkrone oder am Stamm, die durch Insekten- bzw. Pilzbefall verursacht wurden oder auf Witterungsereignisse, wie z.B. Trockenstress, sowie mangelnde Nährstoffversorgung zurückzuführen sind.

Durchführung der TWI 2019

Im Vorfeld der diesjährigen Terrestrischen Waldschadensinventur wurde turnusmäßig das Aufnahmenetz des 8x8 km-Netzes auf Vollständigkeit überprüft. An insgesamt neun Waldstandorten, die bisher nicht Bestandteil der Waldschadensinventur waren, konnten neue Probepunkte angelegt werden. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Aufnahmeplots erhöht sich somit auf 330 Stichprobenpunkte, wodurch die Genauigkeit der Ergebnisse, insbesondere im regionalen Bezug, nochmals verbessert wird.

Die diesjährigen Aufnahmen zur Waldschadensinventur wurden im Zeitraum vom 19. Juli bis 16. August 2019 durchgeführt. An insgesamt 309 der 330 Stichprobenpunkte konnte dabei eine reguläre Aufnahme des Kronenzustandes erfolgen (Abb. 4).

Tab. 1: Schadstufenberechnung

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

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

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

An 21 Stichprobenpunkten musste in diesem Jahr die Erhebung ausgesetzt werden, da nicht genügend Bäume in ausreichender Höhe zur Verfügung standen. Gründe hierfür sind u.a. planmäßige und unplanmäßige (i.d.R. aufgrund von Borkenkäferbefall) Holzerntemaßnahmen und Sturmwurf. Sobald nachfolgende Bestände eine mittlere Höhe von 60 cm erreicht haben, werden diese Stichprobenpunkte wieder in die Waldschadensinventur aufgenommen.

Der Stichprobenumfang der diesjährigen Waldschadensinventur umfasst insgesamt 7.306 Bäume (Tab. 2). Dabei ist gemäß der Baumartenanteile in Baden-Württemberg die Fichte am häufigsten in der Stichprobe vertreten, gefolgt von der Buche. Etwa ein Drittel aller untersuchten Bäume entfallen auf die Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und etwa zwei Drittel auf die Altersgruppe „ab 61 Jahre“.

Tab. 2: Anzahl untersuchter Probestämme der Waldschadensinventur 2019

	Baumalter...		Gesamt
	bis 60 Jahre	ab 61 Jahre	
Fichte	804	1.710	2.514
Tanne	146	720	866
Kiefer	43	234	277
sonstige Nadelbäume	121	151	272
Buche	462	1.292	1.754
Eiche	156	396	552
Esche	130	175	305
sonstige Laubbäume	540	226	766
Gesamt	2.402	4.904	7.306



Abb. 4: Aufnahmepunkt der Waldschadensinventur im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Foto: S. Meining)

Weiterführende Informationen zum Verfahren der Terrestrischen Waldschadensinventur und allen anderen Messprogrammen des Forstlichen Umweltmonitorings in Baden-Württemberg finden Sie unter: www.fva-bw.de

3 ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG

Waldzustand in Baden-Württemberg

Die Situation der Wälder Baden-Württembergs stellt sich im Jahr 2019 als sehr angespannt dar. Durch die sehr trockene und heiße Witterung der letzten beiden Jahre sind die Wälder im Land massiv geschwächt. Die extreme Dürreperiode 2018 führte auf vielen Standorten zu einer tiefreichenden Austrocknung des Waldbodens mit gravierenden Folgen für die Baumvitalität. In Kombination mit fehlendem Regen und hohen Temperaturen traten im Sommer 2019 an allen Hauptbaumarten und in allen Höhenlagen landesweit erhebliche Waldschäden auf.

Vielerorts führten die extreme Witterung und das Vorkommen von Schadinsekten zu einem Absterben zahlreicher Bäume und ganzer Waldbestände. Bei langanhaltendem Wassermangel versuchen Bäume, den Wasserhaushalt über eine möglichst geringe Verdunstung zu steuern. Bei Wasserdefizit werden im Frühjahr kleinere Nadeln bzw. Blätter ausgebildet, um weniger Verdunstungsfläche zu bieten. Zusätzlich kann die Nadel- und Blattmasse bei starker Trockenheit im Laufe des Jahres durch Abwerfen verringert werden. Ist das Wasserdefizit zu groß, reagiert der Baum mit

teilweise ausgetrockneter Baumkrone (Abb. 6) oder stirbt im Extremfall ab. Die langanhaltende Schönwetterperiode während des Sommers mit geringen Niederschlägen und viel Sonnenschein begünstigte zudem die Entwicklung der Borkenkäfer, die sich rasch ausbreiteten und landesweit gravierende Schäden verursachten. Die von Trockenheit geschwächten Fichten und Tannen konnten den massenhaft auftretenden Käfern nichts entgegensetzen, so dass die Schadensfläche landesweit innerhalb kürzester Zeit ein erhebliches Ausmaß annahm.

Die diesjährigen Ergebnisse der Waldschadensinventur belegen den hohen Schädigungsgrad der Wälder in Baden-Württemberg. Mit 27,5 Prozent erreicht die mittlere Kronenverlichtung der Wälder aktuell den bisherigen Höchststand der gesamten Aufnahmeperiode der Waldschadensinventur seit 1985 (Abb. 5). Gegenüber dem Vorjahr stellt dies eine Erhöhung um 2,6 Prozentpunkte dar. Damit ist in zwei aufeinanderfolgenden Jahren eine deutliche Verschlechterung des Waldzustandes in Baden-Württemberg zu erkennen. Ein derartiger Anstieg der Waldschäden über mehrere Jahre hinweg wurde, abgesehen von den immissionsbedingten Waldschäden Ende der 1970er Jahre, im

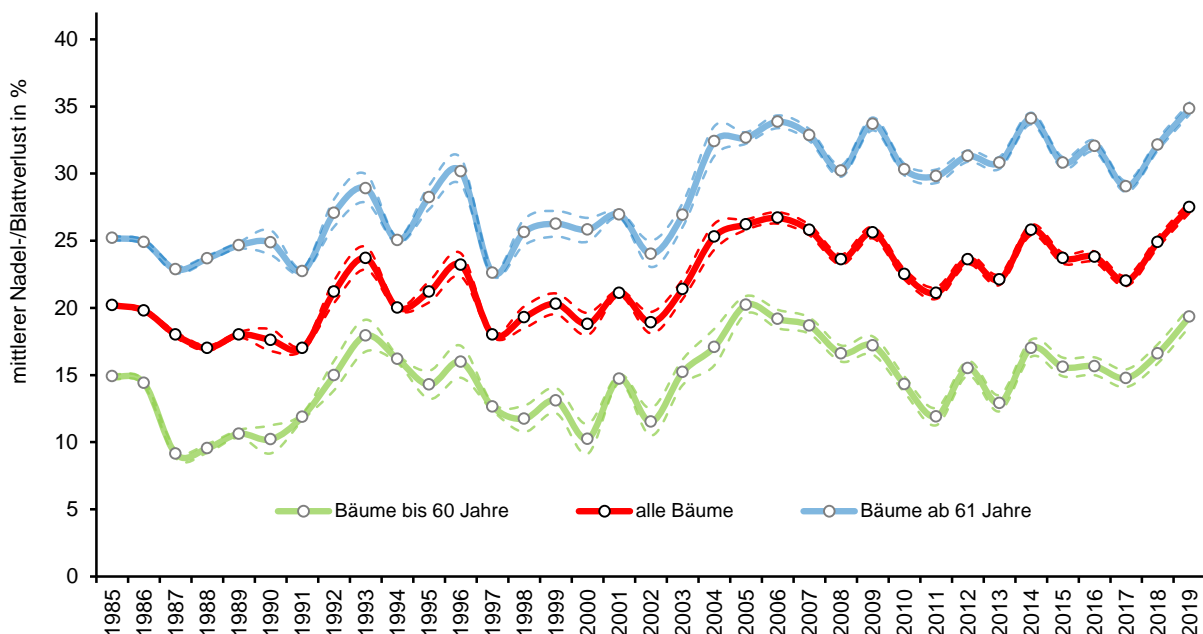


Abb. 5: Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlusts aller Bäume und der Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“. Gestrichelte Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an



Abb. 6: Stark durch Trockenheit geschädigte Buchen im Landkreis Heilbronn (Foto: S. Meining)

bisherigen Verlauf lediglich 1992/1993 bzw. 1995/1996 sowie in den Jahren 2003 bis 2006 festgestellt. Während die ersten beiden Schadereignisse vornehmlich durch Sturmwürfe (Vivian/Wiebke 1990) mit anschließendem Borkenkäferbefall sowie durch regional massiven Raupenschadfraß an der Eiche (1993 und 1996) verursacht wurden, ist der deutliche Anstieg der Waldschäden in den frühen 2000er Jahren auf klimatische Änderungen zurückzuführen. Nach dem Trockenommer 2003 wurde ähnlich wie nach der aktuellen Dürreperiode bei nahezu allen Baumarten eine Verschlechterung des Kronenzustandes mit Trocknissschäden und nachfolgendem massiven Borkenkäferbefall festgestellt. Seitdem ist keine Erholung des Waldzustandes auf das ursprüngliche Schadniveau eingetreten. Unter anderem, weil Belastungen, wie starke Fruchtausbildung, Insekten- und Pilzbefall sowie eine Versauerung der Waldböden im Zusammenspiel mit vermehrt auftretendem Witterungsstress die Widerstandsfähigkeit der Wälder zunehmend verringern.

Der Kronenzustand der Bäume steht in engem Zusammenhang mit dem Baumalter. Während jüngere Bäume im Mittel geringere Kronenschäden aufweisen, ist der Schädigungsgrad bei älteren Bäumen oftmals höher. Langjährige Untersuchungen der Waldschadensinventur belegen einen deutlichen Anstieg der Kronenverlichtung ab einem Alter von etwa 60 Jahren. Die Kronenverlichtung der Altersgruppen „bis 60 Jahren“ und „ab 61 Jahren“ zeigt eine weitgehend parallel verlaufende zeitliche Entwicklung, wenn auch auf unterschiedlich hohem Schädigungsniveau (Abb. 5).

Mortalität

Das auffälligste Anzeichen eines geschwächten Waldzustandes ist das vollständige Absterben von Bäumen. Die Waldschadensinventur erfasst sowohl alle stehend toten als auch alle bereits entnommenen Bäume der Stichprobe. Die jährliche Mortalitätsrate gibt den Anteil der Bäume an, die seit der letzten Erhebung abgestorben und noch am Aufnahmepunkt stehend vorhanden sind.

Die Aufnahmen der Waldschadensinventur zeigen für das Jahr 2019 einen sehr starken Anstieg an aktuell abgestorbenen, stehend toten Bäumen. Die aktuelle Mortalitätsrate übersteigt das langjährige Mittel, berechnet für das einheitliche 8x8 km-Aufnahmenetz ab 2005, um 200 Prozent (Abb. 7). Insgesamt sind 0,7 Prozent aller aufgenommenen Bäume der Waldschadensinventur seit der letzten Aufnahme im Jahr 2018 abgestorben.



Abb. 8: Durch Borkenkäfer abgestorbene Fichten im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Foto: S. Meining)

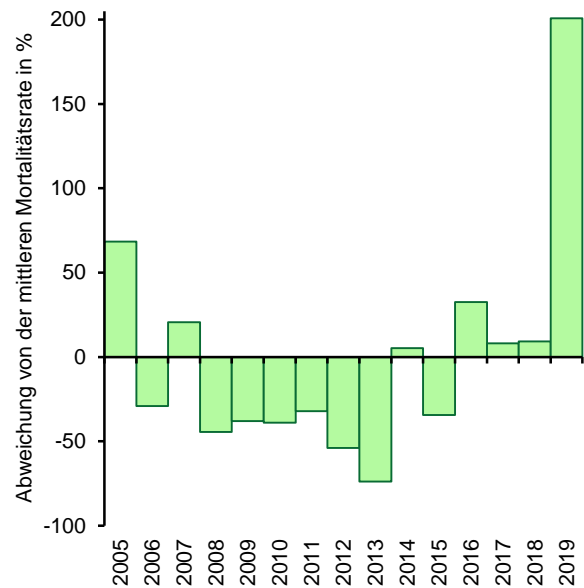


Abb. 7: Prozentuale Abweichung der Mortalitätsrate im Vergleich zum langjährigen Mittel (berechnet auf dem einheitlichen 8x8 km-Netz seit 2005)

Vor allem der massive Befallsdruck von Fichten- und Tannenborkenkäfern (Abb. 8) sowie der nach wie vor dramatische Krankheitsverlauf des Eschentriebsterbens sorgen dieses Jahr für eine sehr hohe Anzahl an toten Bäumen in den Wäldern Baden-Württembergs. Zusätzlich erhöht das Kiefernsterben in der Oberrheinebene sowie eine erhöhte Absterberate der Buche, z.B. in der Vorbergzone des Schwarzwaldes oder im Kraichgau, aktuell die Mortalitätsrate.

Zum Aufnahmezeitpunkt der Waldschadensinventur bereits entnommene Bäume werden ebenfalls im Rahmen der Erhebung erfasst und der Grund ihres Ausscheidens bestimmt. Für das Jahr 2019 ergibt sich, wie bereits für das Jahr 2018, im Vergleich zu den Vorjahren ein Anstieg der Entnahmekquote. Dabei zeigt sich eine deutliche Zunahme des Anteils an Bäumen, die aus biotischen und abiotischen Gründen entnommen wurden. Der Anteil an Fichten ist dabei, bedingt durch den massiven Borkenkäferbefall und lokale Schneebruchschäden, v.a. im Nordschwarzwald, deutlich erhöht.

Vergilbung

Eine Vergilbung von Nadeln und Blättern weist auf eine Störung des Vitalitätszustandes der Bäume hin, die oftmals durch einen akuten Nährstoffmangel verursacht wird. In den letzten Jahren hat die Vergilbung in den Wäldern Baden-Württembergs stark abgenommen. Während der Waldschadensinventur 2019 traten lediglich auf 1,9 Prozent der Waldfläche Bäume mit in der Regel geringen Vergilbungserscheinungen auf (Abb. 9). Einige Laubbaumarten wie Vogelbeere, Buche, Linde oder Hainbuche zeigten während des Sommers vereinzelt eine vorzeitige Gelbverfärbung der Blätter, welche vor allem auf das hohe Wasserdefizit zurückzuführen ist.

Zu Beginn der 1980er Jahre waren Vergilbungsercheinungen insbesondere an Fichten und Tannen auf exponierten Mittelgebirgslagen des Schwarzwaldes und Odenwaldes noch weit verbreitet. Eine klassische Nadelvergilbung tritt vor allem bei Magnesiummangel der Bäume auf. Die seinerzeit hohen Schadstoffeinträge („Saurer Regen“) führten zu einer langfristigen Versauerung der Waldböden und damit zu einer Auswaschung wichtiger Nährelemente. Seither sind durch grenzüberschreitende Maßnahmen zur Luftreinhaltung die Säureeinträge deutlich zurückgegangen. Zudem sorgen forstliche Maßnahmen, wie z.B. die Kalkung stark anthropogen versauerter Waldstandorte sowie die Förderung von Mischbeständen, für eine Verbesserung der Bodenqualität und damit für eine bessere Nährstoffversorgung der Waldbäume.

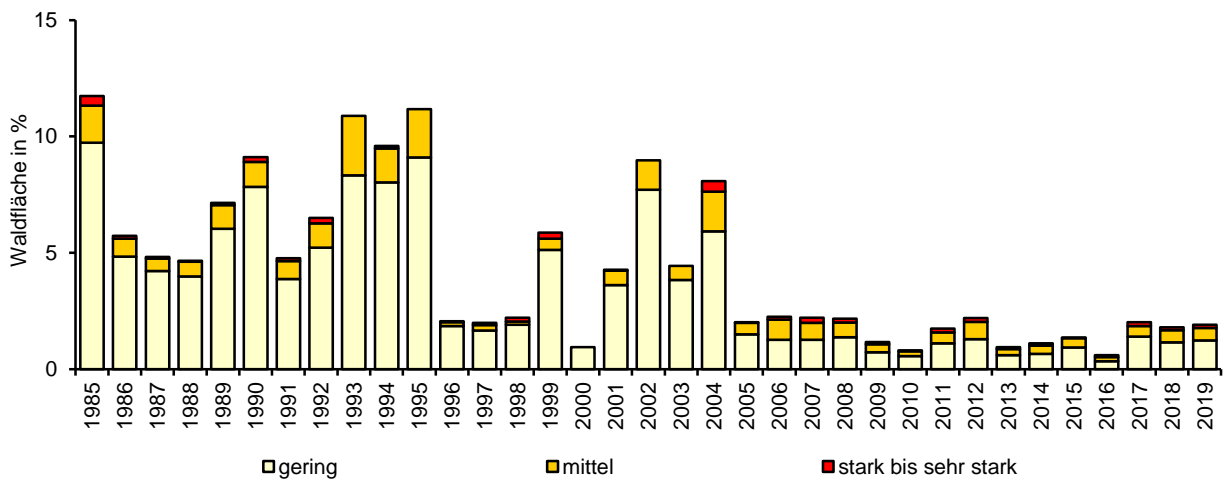


Abb. 9: Anteil der vergilbten Waldfläche in Baden-Württemberg getrennt nach den Erhebungsstufen gering, mittel und stark bis sehr stark vergilbt

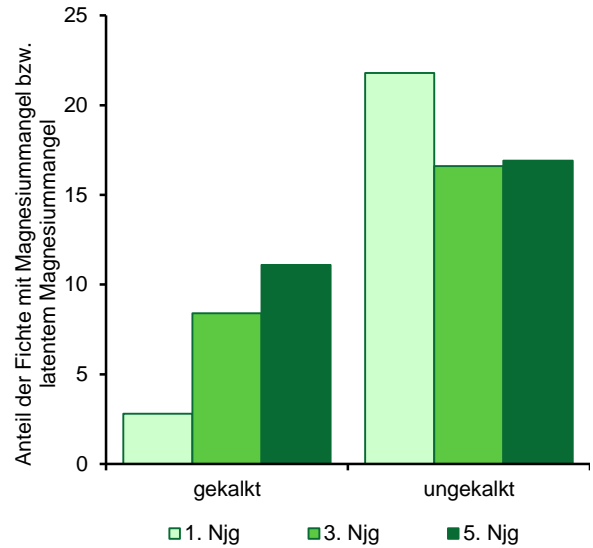


Abb. 10: Anteil der Fichten mit Mangel bzw. latentem Mangel an Magnesium in den Nadeln. Getrennt nach gekalkten und nicht gekalkten Standorten im ersten, dritten und fünften Nadeljahrgang (Njg)

Daten der Immissionsökologischen Waldzustandserfassung (IWE) belegen den positiven Effekt der Waldkalkung mit magnesiumhaltigem Dolomitskalk auf die Ernährungssituation der Wälder. Fichten auf gekalkten Standorten weisen eine deutlich bessere Magnesiumversorgung in den Nadeln auf, als auf ungekalkten Waldflächen. Während auf gekalkten Flächen der Anteil mit Magnesiummangel bzw. mit latentem Magnesiummangel in den untersuchten Nadeljahrgängen gering ist, zeigt sich auf den ungekalkten Flächen ein vielfach erhöhter Anteil an Fichten mit Nährstoffmangel (Abb. 10).

Schadstufen

In Form der Schadstufen, welche die Parameter „Kronenverlichtung“ und „Vergilbung“ kombinieren (vgl. Tab. 1), können die Ergebnisse der Waldschadensinventur schnell und im Überblick dargestellt werden. Aktuell gelten insgesamt 43 Prozent der Wälder Baden-Württembergs als deutlich geschädigt (Schadstufe 2 bis 4) – fünf Prozentpunkte mehr als noch im Jahr 2018 (Abb. 11). In der gesamten Aufnahmeperiode wurde dieser Wert lediglich im Jahr 2006 knapp überschritten. Dagegen geht der Anteil der ungeschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg um fünf Prozentpunkte auf nur noch 20 Prozent zurück und erreicht damit aktuell den zweitniedrigsten Wert der gesamten Zeitreihe. Die Waldfläche mit schwach geschädigten Bäumen bleibt mit 37 Prozent gegenüber dem Vorjahr unverändert.

Die Darstellung des Waldzustandes mit Hilfe der Schadstufen verdeutlicht die massive Verschlechterung des Waldzustandes seit den frühen 2000er Jahren. Während der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche insbesondere in Folge des trocken-heißen

Sommers 2003 stark ansteigt, verringert sich der Anteil der ungeschädigten Waldfläche erheblich.

Fruktifikation

Nach der außergewöhnlich starken Fruchtausbildung der Waldbäume im vergangenen Jahr ist bei den meisten Baumarten im Jahr 2019 nur ein geringer Fruchtbehang zu erkennen. Aktuell weisen die Bäume überwiegend keine frischen Fruchtstände auf.

Eine starke Fruchtausbildung bedeutet für die Bäume immer eine hohe physiologische Belastung. Große Mengen an Nährstoff- und Energiereserven der Bäume werden für die Ausbildung der Früchte wie Bucheckern, Eicheln und Zapfen benötigt. Oftmals wird in starken Fruktifikationsjahren das vegetative Wachstum zugunsten der Fruchtausbildung reduziert, was häufig mit einer Verringerung der Blattmasse, der Seitenverzweigung oder des Zuwachses einhergeht. Insbesondere bei der Baumart Buche ergibt sich ein enger Zusammenhang zwischen starker Fruktifikation und erhöhter Kronenverlichtung. Abbildung 12 zeigt für die Jahre 2017 bis 2019 den mittleren Blattverlust der

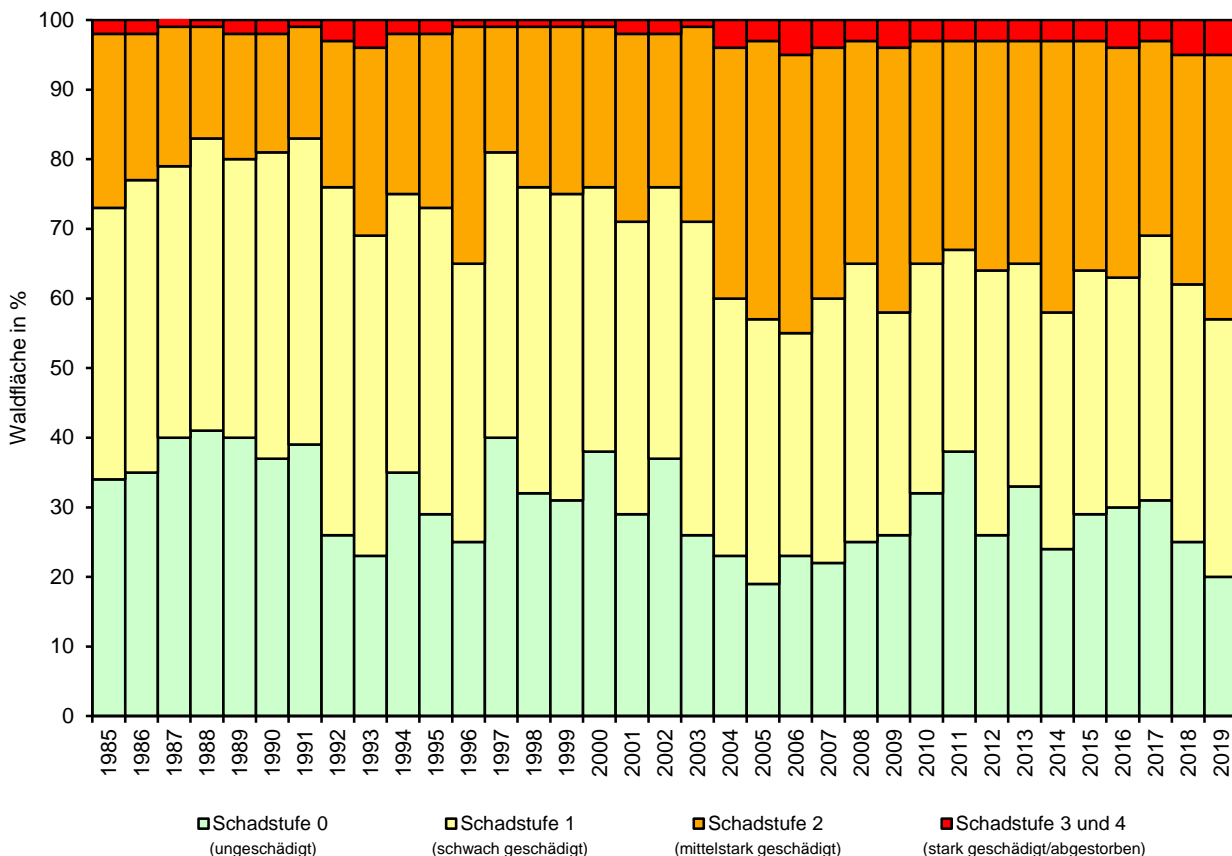


Abb. 11: Schadstufenverteilung von 1985 bis 2019

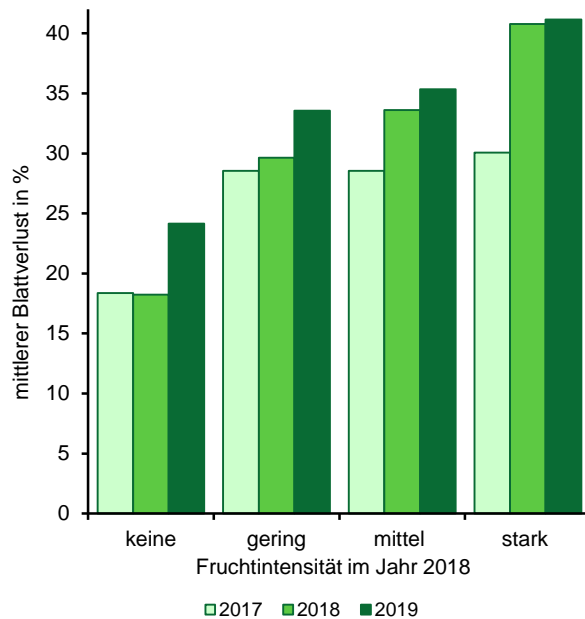


Abb. 12: Mittlerer Blattverlust der Buchen in den Jahren 2017 bis 2019 gruppiert nach der Fruktifikationsintensität des Jahres 2018

durchgehend aufgenommenen Buchen gruppiert nach der Fruktifikationsintensität des Jahres 2018. Im Jahr 2018 weisen die Buchen mit starker Fruktifikation einen deutlich höheren Anstieg des Blattverlusts auf als Buchen mit geringem bzw. ohne Fruchtansatz. Im darauffolgenden Jahr 2019 erhöht sich die Kronenverlichtung dieser Buchen nur gering, während die Buchen, die 2018 nicht oder nur gering fruktifiziert haben, einen stärkeren Anstieg der Kronenverlichtung aufzeigen. Die physiologische Entlastung nach einer starken Fruchtausbildung ist also auch in extremen Dürre Jahren bei der Buche erkennbar, wenngleich dies in diesem Jahr nicht wie üblich zu einer Regeneration der Buchenkronen, sondern vielmehr lediglich zu einer Abmilderung der Schäden beiträgt. Eine Zunahme der Fruchtausbildung an Intensität und Häufigkeit, wie in den letzten Jahren beobachtet, kann bei der Buche zu einer zusätzlichen Belastung der Vitalität führen.

Hauptbaumarten

Bei allen Hauptbaumarten Baden-Württembergs wurden im Jahr 2019 erhebliche Belastungen durch Trockenstress festgestellt. Fichten und Tannen waren zudem massiv durch verschiedene Borkenkäferarten bedroht, die sich aufgrund der günstigen Witterung

schnell ausbreiten konnten und zahlreiche Bäume mit ihrem Befall zum Absterben brachten. Während die meisten Baumarten bereits im Sommer 2018 eine Verschlechterung des Kronenzustands aufwiesen, ist bei der Tanne erst im Jahr 2019 ein Anstieg der mittleren Kronenverlichtung zu verzeichnen (Abb. 14). Für die Esche, die nach wie vor stark durch das Eschentriebsterben geschwächt ist, zeigt sich, nach einer erheblichen Verschlechterung im Jahr 2018, aktuell eine leichte Verbesserung des Kronenzustandes.

Die **Fichte** ist besonders anfällig gegenüber Trockenheit. Als flachwurzelnde Baumart ist sie auf ausreichende Niederschläge angewiesen, da es ihr kaum möglich ist, tiefere Bodenschichten zu durchwurzeln. Bei ausgeprägtem Wasserdefizit sind häufig verkürzte Triebe und Nadeln sowie ein Abwurf älterer Nadeljahrgänge zu beobachten. Auch findet sich häufig Trockenreiß in der Krone. Die Kronenverlichtung der Fichte



Abb. 13: Einbohrlöcher und adulter Käfer des Buchdruckers im Größenvergleich einer Ein-Cent-Münze (Foto: S. Meinung)

erhöht sich infolgedessen in diesem Jahr um 3,0 Prozentpunkte auf 24,2 Prozent. Zudem führte die extrem trocken-warme Witterung der beiden letzten Jahre zu einer massiven Ausbreitung der Fichtenborke-Käfer. Ausgehend von einfach zu besiedelndem Sturmschadholz kam es landesweit bereits im Jahr 2018 bei hohen Frühjahrstemperaturen zu einem sehr frühen Ausflug und einer schnellen Ausbreitung der Käfer, die sich im Jahr 2019 trotz kühl-feuchter Witterung im Mai noch verstärkte. Vor allem der Buchdrucker (Abb. 13), aber auch der Kupferstecher verursachten so erheblichen Schaden in Fichtenbeständen.

Nachdem der Kronenzustand der **Tanne** im Jahr 2018 trotz langer Trockenperiode noch nahezu unverändert blieb, ist für 2019 eine deutliche Verschlechterung feststellbar. Der mittlere Nadelverlust der Tannen erhöht sich gegenüber dem Vorjahr um 4,4 Prozentpunkte auf aktuell 23,5 Prozent und liegt damit nur noch knapp unterhalb des Verlustwertes der Fichte. Im Gegensatz zur Fichte ist es der Tanne mit ihrem starken Wurzelwerk möglich, auch tiefere und länger wasserführende Bodenschichten zu erreichen. Dadurch waren 2018 kaum Kronenschäden bei der Tanne sichtbar. Jedoch war die Wasserversorgung

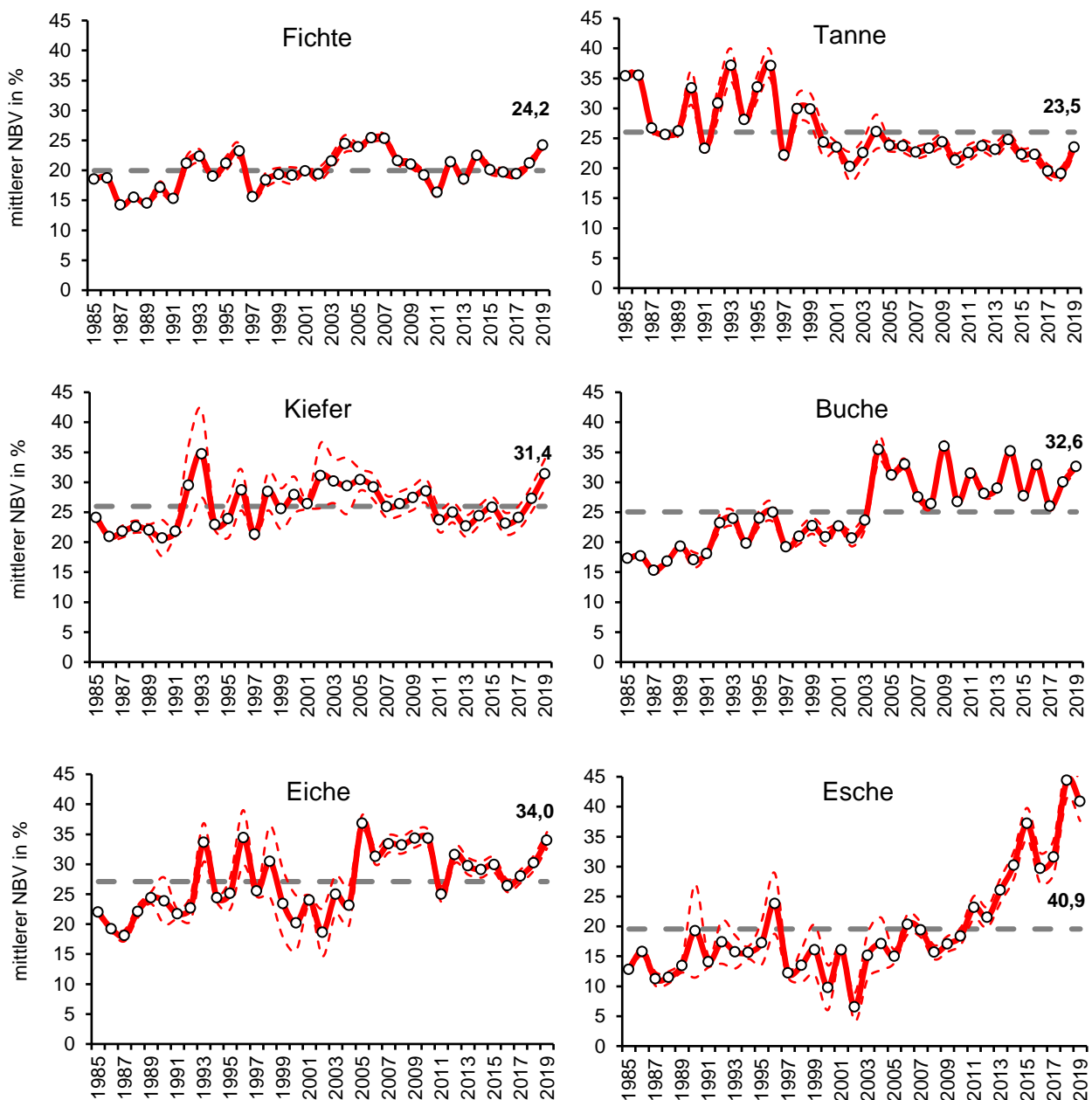


Abb. 14: Mittlerer Nadel-/Blattverlust (NBV) der Hauptbaumarten. Gestrichelte graue Linien geben das langjährige Mittel an, gestrichelte rote Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an

während des Sommers 2019 erneut derart angespannt, dass auch die Tanne verbreitet Trockenstresssymptome zeigte. Verstärkend kommt hinzu, dass die Tanne vielerorts stark von der Mistel befallen ist. Die wärmeliebende Mistel wächst mit ihren Senkerwurzeln in das Kambium der Tanne ein und entzieht dem Baum Wasser sowie darin gelöste Nährelemente. Insbesondere in Trockenjahren kann sich dies belastend auf die Vitalität der Bäume auswirken. In Baden-Württemberg weist etwa jede fünfte Tanne Misteln in der Baumkrone oder am Stamm auf. Stark angestiegen ist zudem der Befall durch verschiedene Tannenborkenkäfer, die im Verlauf des Sommers 2019 zu einem erheblichen Schadholzanfall führten.

Die **Kiefer** ist mit 31,4 Prozent die Nadelbaumart mit der höchsten Kronenverlichtung. Gegenüber dem Vorjahr steigt die mittlere Kronenverlichtung um 4,1 Prozentpunkte erneut stark an. Vor allem auf den trockenen, sandig-kiesigen Standorten der Oberrheinebene kommt es in den letzten Jahren verstärkt zu einem großflächigen Ausfall der Kiefer (Abb. 15). Die wenig wasserhaltenden und schwer durchwurzelbaren Böden sind dort durch die extreme Dürre der letzten Jahre so stark ausgetrocknet, dass die Kiefer unter erheblichem Trockenstress leidet und oftmals abstirbt. Ein zusätzlicher Befall durch die Kiefernmistel erhöht zudem das Trockenstressrisiko.

Nachdem der Zustand der **Buche** bereits im Vorjahr stark von Trockenstress und starker Fruktifikation belastet war, zeigt sich auch in diesem Jahr wieder eine Verschlechterung des Kronenzustandes. Der mittlere Blattverlust der Buchen erhöht sich gegenüber dem vergangenen Jahr um 2,6 Prozentpunkte auf 32,6 Prozent. Die Buche reagiert auf Trockenheit meist unmittelbar mit einem Zusammenklappen der obersten Blätter, um ihren Wasserhaushalt zu regulieren. Bei länger anhaltendem Wassermangel wird zudem häufig eine verfrühte Verfärbung der Blätter oder auch das Abwerfen grüner Blattmasse beobachtet, was sich u.a. negativ auf die Nährelementversorgung des Baumes auswirkt. Während des Sommers 2019 wurde an zahlreichen Buchen ein Absterben der Oberkrone beobachtet. Auf einigen flachgründigen bzw. schlecht durchwurzelbaren Standorten kam es zudem zu einem Absterben ganzer Baumgruppen. Aufgrund der glatten



Abb. 15: Stark geschädigte und abgestorbene Kiefern in der Oberrheinebene bei Breisach (Foto: S. Meining)

Rinde sind besonders stark besonnte Buchenstämme anfällig gegenüber hoher Sonneneinstrahlung, wodurch die Rinde aufplatzt und sich Stammpilze ansiedeln können (sogenannter „Sonnenbrand“ der Buchen).

Auch für die **Eiche** ist im Jahr 2019 eine deutliche Verschlechterung des Kronenzustandes festzustellen. Im Vergleich zum Vorjahr steigt der mittlere Blattverlust der Eichen um 3,8 Prozentpunkte auf 34,0 Prozent an. Wie bereits im letzten Jahr sorgte wiederum starker Blattfraß regional für deutliche Schäden. Vor allem im Kraichgau und in der Hohenloher Ebene wurden im Sommer 2019 Schäden durch verschiedene Schmetterlingsraupen, insbesondere von Frostspanner-Arten, Schwammspinner und Eichenprozessionsspinner, festgestellt. Zudem ist der Befall durch den Eichenmehltau-Blattpilz gegenüber den vergangenen Jahren wieder angestiegen. Auch die Auswirkungen der



Abb. 16: Eiche mit absterbenden Ästen in der Oberkronen im Rhein-Neckar-Kreis (Foto: S. Meining)

Trockenperiode 2018/2019 zeichnen sich im Kronenzustand der Eichen ab, wenngleich sie durch ihr sehr tiefreichendes Wurzelwerk längere Trockenphasen besser als andere Baumarten überstehen können. Im Verlauf des Sommers 2019 wurden auch bei Eichen typische Trockenstressreaktionen wie eine Braunfärbung der Blattränder, das Abwerfen von grünem Laub oder das Absterben ganzer Kronenteile beobachtet (Abb. 16). Eine erhöhte Mortalität wurde für die Eiche während der Waldschadensinventur 2019 jedoch nicht festgestellt.

Die **Esche** ist weiterhin durch den landesweit vorkommenden pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens massiv geschädigt. Zwar fand aufgrund der sehr trockenen Witterung im letzten Jahr kaum eine Neuinfektion der Blätter statt, jedoch sind in vielen Eschenkronen anhaltend deutlich sichtbare Symptome der Erkrankung zu erkennen. Die Ergebnisse der

Waldschadensinventur bestätigen diese Entwicklung. Im Vergleich zum Vorjahr verringert sich der mittlere Blattverlust der Eschen um 3,5 Prozentpunkte, bleibt jedoch mit 40,9 Prozent weiterhin auf einem sehr hohen Schadniveau. Seit einigen Jahren ist durch die starke Ausbreitung des Eschentriebsterbens eine zunehmende Mortalität und Entnahme stark geschädigter Eschen festzustellen. Neben den typischen Symptomen des Triebsterbens in den Eschenkronen treten an den Stämmen der Eschen Stammfußnekrosen auf, die massiv zur Destabilisierung der Eschenbestände beitragen.

Sonstige Nadel- und Laubbaumarten

Die extreme Witterungssituation führt auch bei der Gruppe der **sonstigen Nadelbaumarten** (Douglasie, Europäische und Japanische Lärche) zu einer Verschlechterung des Kronenzustandes. Der mittlere Nadelverlust dieser Gruppe erhöht sich um 3,6 Prozentpunkte auf 26,1 Prozent (Abb. 17, links). Die im Durchschnitt deutlich jüngeren Douglasien weisen einen geringeren Nadelverlust auf als die insgesamt älteren Lärchen. Im Vergleich zum Vorjahr hat sich der Kronenzustand der Douglasien kaum verändert, jedoch wurden an der Baumart bereits im Sommer 2018 deutliche Trockenstresssymptome und eine höhere Kronenverlichtung beobachtet. Die Lärchen zeigten dagegen auf das Wasserdefizit während des Sommers 2018 oftmals keine direkte Reaktion in der Baumkrone. Erst im aktuellen Jahr weisen die Lärchen einen erhöhten Nadelverlust auf.

Der Kronenzustand der **sonstigen Laubbaumarten** verschlechtert sich im Jahr 2019 ebenfalls. Gegenüber dem Vorjahr erhöht sich der mittlere Blattverlust um 2,1 Prozentpunkte (Abb. 17, rechts). Mit 22,1 Prozent bleibt die mittlere Kronenverlichtung allerdings weiterhin auf einem vergleichsweise geringen Schadniveau, was sich durch den hohen Anteil an jungen Bäumen in dieser Baumartengruppe erklärt. Die sonstigen Laubbäume setzen sich aus einer großen Anzahl verschiedenster Baumarten zusammen. Die häufigste Baumart ist dabei mit Abstand der Bergahorn, gefolgt von der Hainbuche und der Roteiche. Zusammen nehmen diese drei Baumarten mehr als die Hälfte der sonstigen

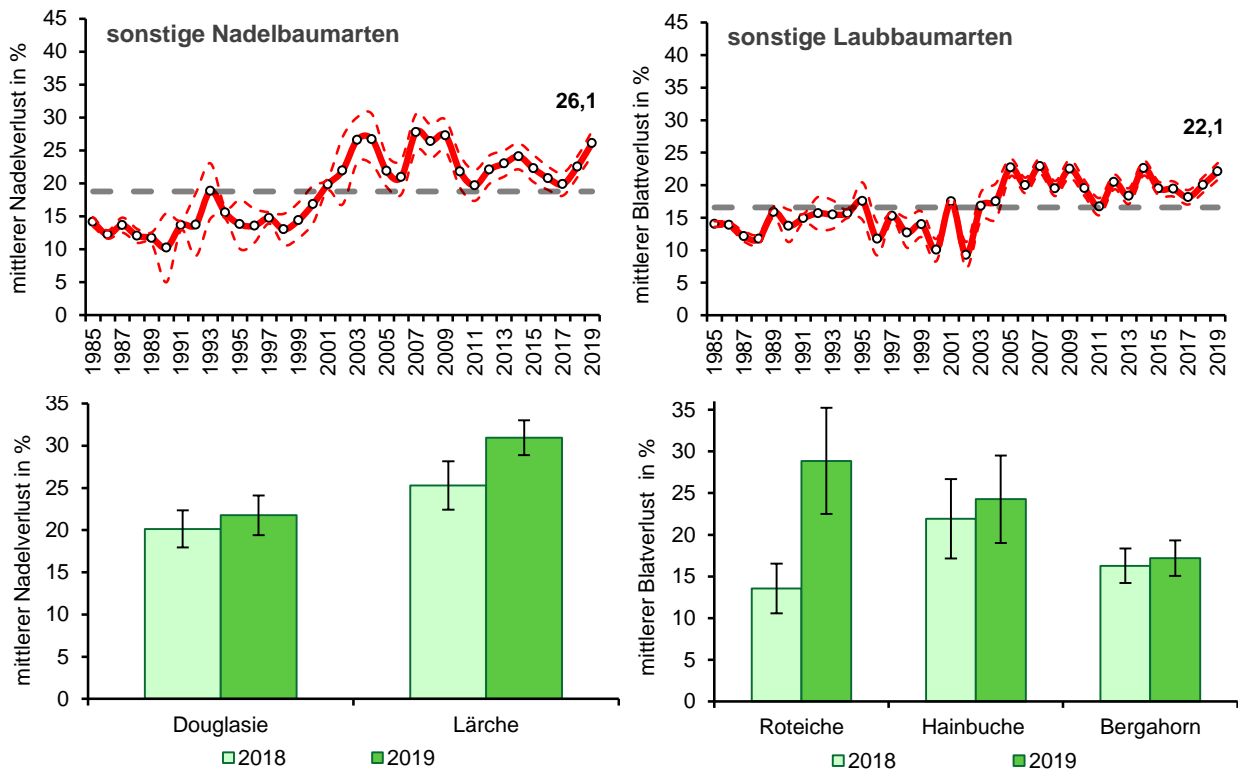


Abb. 17: Oben: Mittlerer Nadel-/Blattverlust der sonstigen Nadelbaumarten (links) und sonstigen Laubbaumarten (rechts). Gestrichelte graue Linien: langjährige Mittel; gestrichelte rote Linien: Vertrauensbereich von 95 Prozent. Unten: Mittlerer Nadel- bzw. Blattverlust der häufigsten Baumarten der jeweiligen Gruppe im Vergleich der Jahre 2018 und 2019

Laubbäume in der Stichprobe der Waldschadensinventur ein. Während bei den Baumarten Bergahorn und Hainbuche in den letzten beiden Jahre lediglich ein leichter Verschlechterungstrend der Baumkronen erkennbar ist, ist bei der Roteiche aktuell ein deutlicher Anstieg der Kronenschäden zu festzustellen. Dies ist zum einen durch den verstärkten Blattfraß verschiedener Schmetterlingsraupen und zum anderen durch Trockenschäden (erhöhter Anteil an Trockenreisig) begründet.

Sowohl bei den sonstigen Nadel- als auch bei den sonstigen Laubbaumarten wird im zeitlichen Verlauf der Kronenverlichtung die sprunghafte Erhöhung des Schadniveaus der Bäume Anfang der 2000er Jahre deutlich. Seither ist keine wesentliche Erholung des Kronenzustandes beider Baumartengruppen auf das vorherige Schadniveau zu verzeichnen.

Regionale Verteilung

Für die einzelnen Hauptbaumarten ergeben sich in der Verteilung der Waldschäden für das Jahr 2019 unterschiedliche Schadensschwerpunkte innerhalb Baden-Württembergs (Abb. 18). Bei der Fichte fallen vor allem im Schwarzwald zusammenhängende Gebiete mit höheren Nadelverlusten auf. Besonders stark betroffen sind die Regionen Südschwarzwald/Hochrhein und der Mittlere Schwarzwald. Die Tanne weist im Vergleich zur Fichte einen insgesamt geringeren Schädigungsgrad auf. Ein Schadensschwerpunkt der Tanne bildet sich aktuell im Mittleren Schwarzwald aus. Bei der Kiefer ist eine extreme Schädigung mit hohen Ausfallraten am Oberrhein und hohen Nadelverlusten im Mittleren Schwarzwald zu verzeichnen. Einen zweiten Schadensschwerpunkt der Kiefer bildet das Taubertal im nordöstlichen Teil Baden-Württembergs. Für die Buche ist im Jahr 2019 ein großflächiges Schadensareal über weite Regionen Baden-Württembergs zu erkennen: Neben der Vorbergzone des Schwarz-

waldes sind weite Teile des Neckarlandes bis zur Hohenloher Ebene sowie der Hochrhein und die Bodenseeregion zu nennen, in der die Buche aktuell hohe Blattverluste aufweist. Dagegen sind auf der Schwäbischen Alb vergleichsweise geringe Kronenschäden feststellbar. Der Schadensschwerpunkt der Eiche liegt 2019 vor allem in den östlichen Landesteilen. Stärkere Kronenschäden sind überwiegend auf der Ostalb und in Oberschwaben feststellbar. Aber auch im Südwesten Baden-Württembergs zeichnet sich für die Eiche ein weiterer Schadensschwerpunkt ab. Dagegen sind die starken Kronenschäden der Esche, ausgelöst durch das Eschentriebsterben, mittlerweile nahezu landesweit verbreitet. Zusammenhängende Areale mit geringen Schäden zeigen sich lediglich noch im Kraichgau, auf der Ostalb sowie im Bodenseeraum.

Die regionale Verteilung der Kronenverlichtung wird für ganz Baden-Württemberg mit multivariaten Modellen für alle Hauptbaumarten dargestellt. 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.

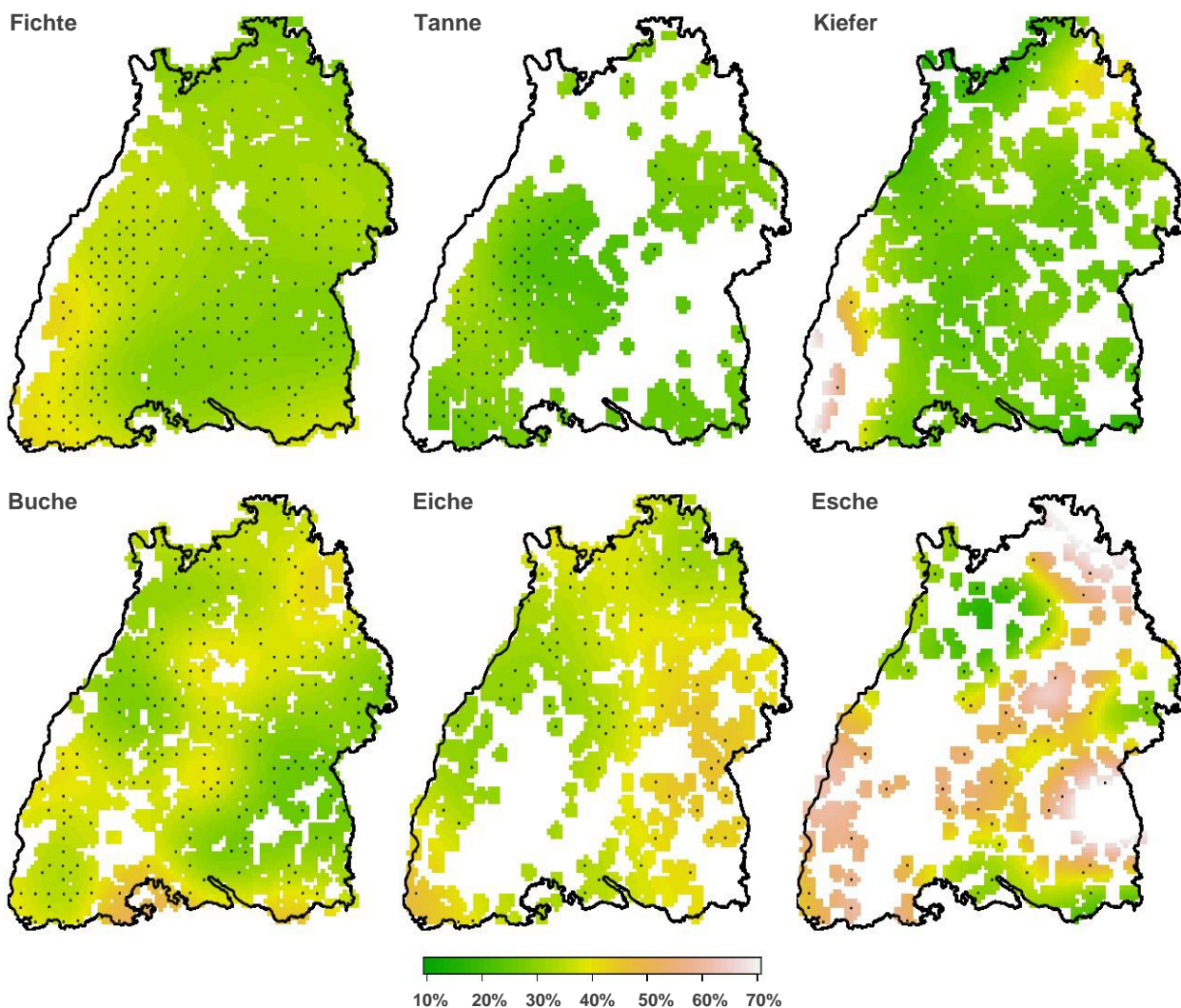


Abb. 18: Räumliche Verteilung der Nadel-/Blattverluste der Hauptbaumarten Baden-Württembergs, altersbereinigt auf das mediane Alter der jeweiligen Baumart

Zeitlich-räumliche Entwicklung

Zu Beginn des Untersuchungszeitraums Mitte der 1980er Jahre zeigten die Ergebnisse der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg erhöhte Schädigungsgrade. Aufgrund ihrer Lage waren vor allem exponierte Standorte der Mittelgebirge im Schwarzwald, im Schwäbisch-Fränkischen Wald und im Odenwald durch Schadstoffbelastung aus der Luft stark belastet (Abb. 19). Massive Schädigungen mit hohen

Absterberaten wurden insbesondere an der Tanne beobachtet, die als sensitive Baumart gegenüber hohen Schwefeldioxidkonzentrationen in der Luft gilt. Aber auch die Fichte reagierte auf die zunehmende Versauerung der Waldböden mit verringerter Durchwurzelung des Bodens und Schäden in der Baumkrone. Ebenso zeigten sich zu Beginn der Erhebungsperiode regional erhöhte Kronenschäden bei der Kiefer. Infolge einer erfolgreichen Luftreinhaltepolitik mit zahlreichen Maßnahmen zur Verbesserung der Luft-

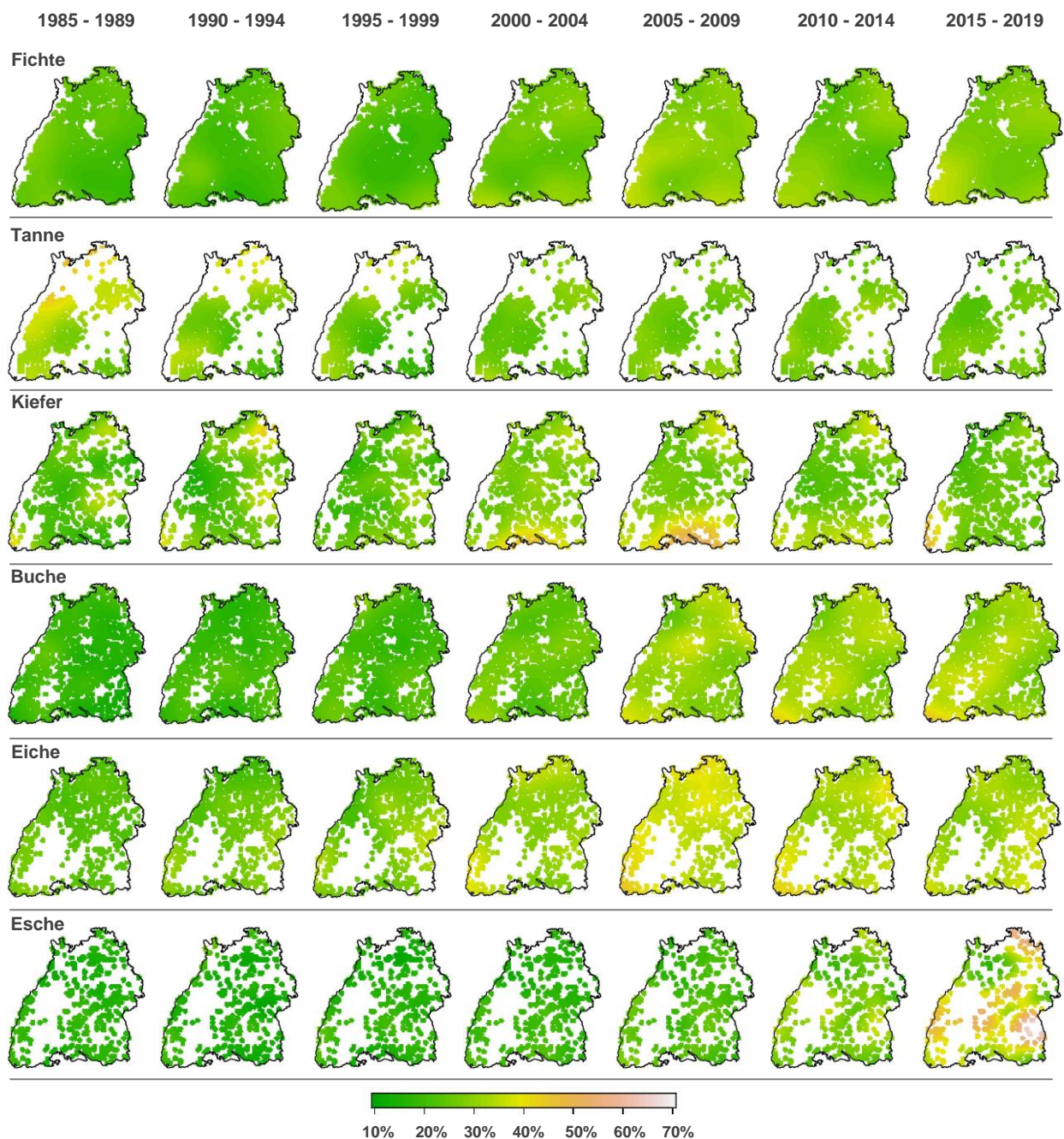


Abb. 19: Räumliche Verteilung der Nadel-/Blattverluste der Hauptbaumarten Baden-Württembergs als vierjähriges Mittel von 1985 bis 2019. Altersbereinigte Darstellung des Raum-Zeit-Modells

qualität, wie z.B. dem Einbau von Entschwefelungsanlagen in der Großindustrie oder der Einführung des Katalysators beim Auto, konnte der Schadstoffeintrag in die Wälder drastisch gesenkt werden. Die gezielte Kalkung anthropogen versauerter Waldstandorte sowie die Förderung von Mischbeständen führten zusätzlich zu einer entscheidenden Erholung der Waldböden und damit zu einer verbesserten Nährstoffversorgung der Bäume. Die Kronenschäden der Bäume verringerten sich und es kam insgesamt bis Ende des letzten Jahrhunderts zu einer deutlichen Erholung des Waldzustandes.

Anfang der 2000er Jahre war in Baden-Württemberg eine grundlegende Verschiebung der Waldschadensareale infolge der klimatischen Veränderungen zu beobachten. Höhere Kronenverlichtungen beschränkten sich jetzt nicht mehr nur auf stark versauerte, kristalline Standorte der Mittelgebirge, sondern waren nun auch, wie beispielsweise bei der Fichte, auf den basenreicheren Waldböden des Neckarlandes zu finden. Die verstärkt auftretende trocken-warme Witterung führte zudem auch bei den Laubbaumarten Buche und Eiche erstmals zu zusammenhängenden Schadgebieten in Baden-Württemberg. Zunächst waren lediglich kleinere Gebiete im Südwesten bzw. in den nördlichen Landesteilen betroffen. Nach dem Extremsommer 2003 weiteten sich die Schadareale mit hohen Blattverlusten für Buche und Eiche aber rasch aus und nahmen in der Periode 2005 bis 2009 im Mittel weite Teile des Landes ein. Auch bei der Fichte und Kiefer waren nun wieder deutlich Regionen mit erhöhten Kronenschäden zu erkennen. In den nachfolgenden Jahren erholte sich der Kronenzustand der Bäume leicht. Das Ausmaß der Flächen mit hohen Kronenschäden ging bei den meisten Baumarten etwas zurück. Im Gegensatz hierzu traten bei der Esche erst ab den 2010er Jahren aufgrund des Eschentriebsterbens in mehreren Regionen Baden-Württembergs hohe Blattverluste auf.

In der Periode 2015 bis 2019 wurden bei der Fichte vor allem im mittleren und südlichen Schwarzwald erhöhte Schäden beobachtet. Dagegen zeigte sich die Tanne nach der deutlichen Erholung von den immissionsbedingten Waldschäden ab Mitte der 1990er Jahre weiterhin als sehr stabil. Die Kiefer wies in der Periode

2015 bis 2019 lediglich am Oberrhein massive Kronenschäden auf. Die bestehenden Schadareale der Laubbaumarten Buche und Eiche verschoben sich im Vergleich zur vorherigen Periode etwas. Während die Buche vor allem im Schwarzwald, dem Westteil der Schwäbischen Alb und in Teilen des Neckarlandes erhöhte Kronenschäden aufwies, lag bei der Eiche ein größeres Schadareal im südöstlichen Landesteil. Das Schadareal der Esche vergrößerte sich derweil massiv und erfasste, bis auf wenige Ausnahmen, nahezu die gesamte Landesfläche.

4 WITTERUNG

Nach der sehr trockenen und heißen Witterung des Vorjahres mit langanhaltenden Schönwetterperioden und in Folge stark ausgetrockneten Waldböden, verlief das Jahr 2019 etwas günstiger, wenngleich die Wälder in vielen Regionen auch im Verlauf des Sommers 2019 erneut unter einem erheblichen Trockenstress litten. Vielerorts reichten die Niederschläge nicht aus, um das erneut aufkommende Wasserdefizit auszugleichen. Auch verlängert sich die Vegetationszeit der Waldbäume infolge des seit Jahren beobachteten Temperaturanstiegs, wodurch die Bäume übers Jahr gesehen mehr Bodenwasser verbrauchen und der Wasserhaushalt der Wälder, bei ohnehin schon angespannter Wasserverfügbarkeit, zusätzlich belastet wird.

Temperatur und Niederschlag

In insgesamt zehn aufeinanderfolgenden Monaten (Februar bis November) lag die Niederschlagsmenge im Jahr 2018 unterhalb des vieljährigen Mittels (Abb. 20). Erst ausgiebige Regenfälle im Dezember beendeten diese extrem lange Dürreperiode. Das Jahr 2019

begann im Landesdurchschnitt nass und eher kühl. Dagegen war der Februar mit über 60 Prozent Niederschlagsdefizit gegenüber dem vieljährigen Mittel wiederum ausgesprochen trocken und sehr mild. Die milde Witterung setzte sich auch im März fort. Ende des Monats wurden in Freiburg Tageshöchsttemperaturen von über 21 Grad Celsius gemessen (DWD 2019a). Die Niederschläge lagen dabei knapp über dem Mittelwert. Während die erste Aprilhälfte landesweit eher zu kühl war, herrschten in der zweiten Monatshälfte meist überdurchschnittliche Temperaturen, welche erstmals im laufenden Jahr die Waldbrandgefahr deutlich ansteigen ließen. Zudem begünstigten die fröhsommerlichen Temperaturen einen frühen Austrieb der Bäume. Dementsprechend hoch war das Spätfrostisiko bei nächtlichen Minusgraden Anfang Mai. Jedoch traten nur regional einzelne Schädigungen auf. Insgesamt war der Mai landesweit im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich zu kalt und etwas zu nass. Örtlich führten einzelne Starkregenereignisse mit mehr als 100 Liter pro Quadratmeter zu Hochwasser und Überschwemmungen. Diese hohen, in kurzer Zeit

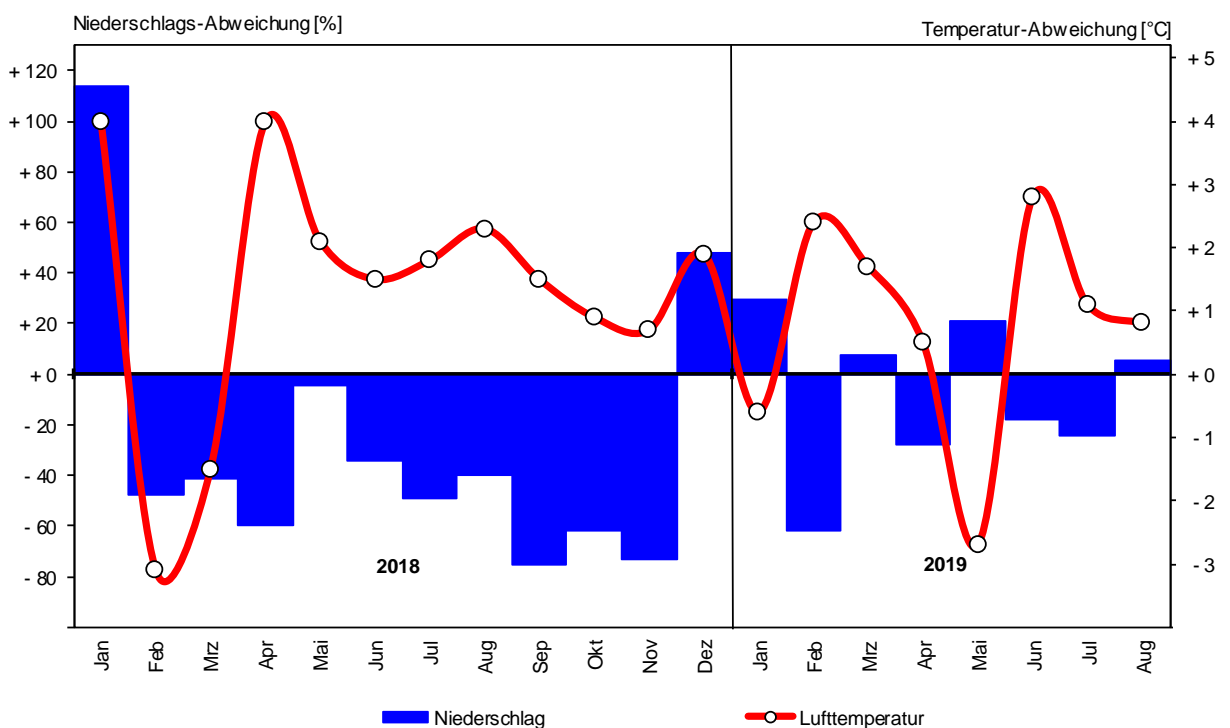


Abb. 20: Niederschlags- und Temperaturabweichung für Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)

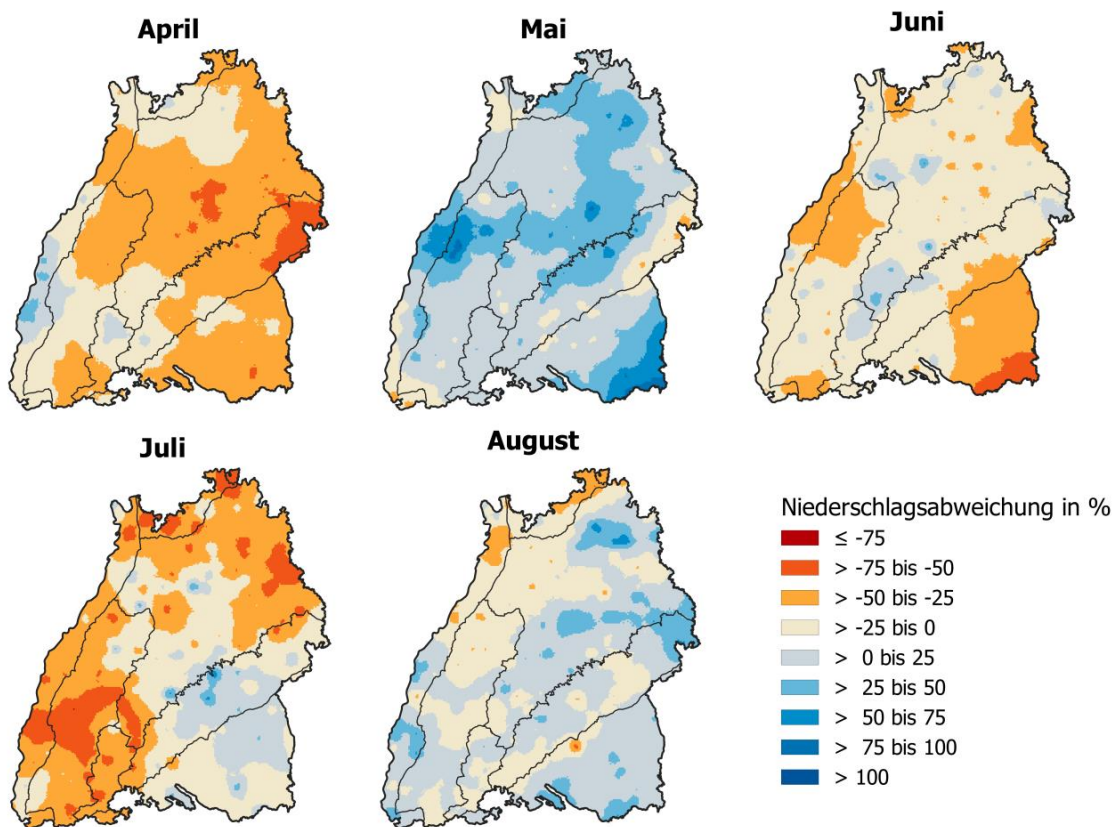
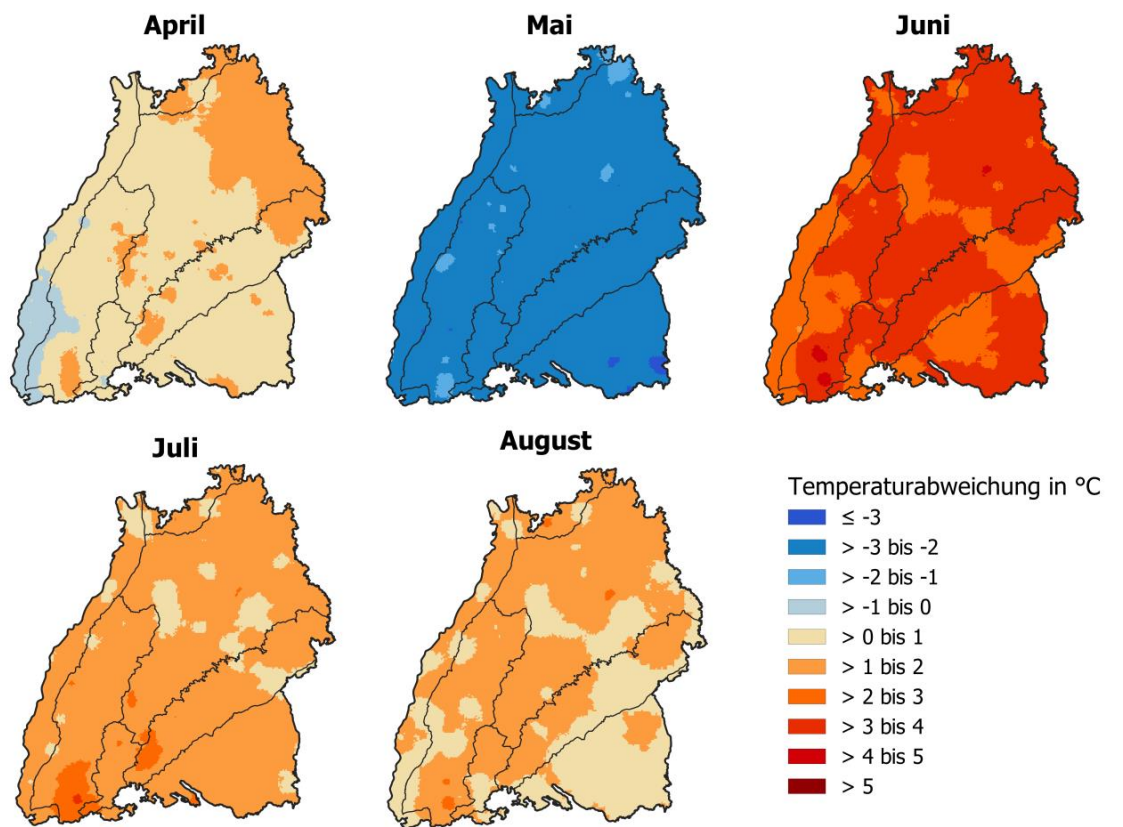


Abb. 21: Regionale Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) der Monate April bis August 2019 vom langjährigen Mittel in Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)

Klimatologische Referenzperioden umfassen in der Regel 30 Jahre, damit die statistischen Kenngrößen der verschiedenen klimatologischen Parameter mit befriedigender Genauigkeit bestimmt werden können (DWD 2019b). Die monatlichen Mittelwerte der Temperatur und des Niederschlags werden in diesem Bericht mit der Referenzperiode 1981-2010 in Beziehung gesetzt.

auftretenden Regenmengen konnten von den Waldböden nur teilweise aufgenommen werden und flossen oftmals oberflächlich ab, ohne eine tiefreichende Erhöhung des Bodenwassergehalts zu bewirken. Nichtsdestotrotz förderte die kühl-feuchte Witterung in der ersten Maihälfte die Waldvitalität direkt durch eine erhöhte Wasserzufuhr und indirekt durch eine verzögerte Entwicklung der Borkenkäferpopulation. Im Juni stiegen die Lufttemperaturen und damit auch die Ausflugszahlen der Käfer wieder rasant an. Im Mittel wurde bundesweit die höchste Junitemperatur seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881 gemessen (DWD 2019a). In Baden-Württemberg lag die Temperaturabweichung mit 3,1 Grad Celsius über dem vieljährigen Mittel ebenfalls sehr hoch. Auch der Juli war landesweit zu warm und zu trocken, mit einer ausgeprägten Hitzewelle Ende des Monats und Lufttemperaturen knapp unter 40 Grad Celsius, die teilweise zu akuten Trocknisschäden an den Bäumen führten (Abb. 22). Erst im August kam es zeitweise zu flächigen Regenfällen, die bis dahin im Sommer 2019 fast völlig fehlten. Im letzten Monatsdrittel setzte sich allerdings wieder eine trocken-heiße Witterung durch. Die regionale Verteilung der Temperatur- und Niederschlagsabweichung für die Monate April bis August 2019 ist in Abbildung 21 dargestellt. Vor allem beim Niederschlag traten erhebliche regionale Unterschiede im Land auf. Bereiche mit unterdurchschnittlicher und überdurchschnittlicher Niederschlagsabweichung wechselten sich kleinräumig je nach Verlauf der Regenfronten ab. Dagegen waren die räumlichen Unterschiede im Land bezüglich der Lufttemperatur

weniger auffällig. Hier fielen vor allem im Mai die landesweit stark unterdurchschnittliche und im Juni stark erhöhte Lufttemperatur auf.

Langfristige Klimaentwicklung

In der langfristigen Beobachtung der Witterungsdaten für die Monate Mai bis September zeigt sich in den vergangenen drei Jahrzehnten ein deutlicher Anstieg der Lufttemperatur (Abb. 23, oben). Seit 1988 wiesen lediglich drei Jahre eine kältere Durchschnittstemperatur im Vergleich zur langjährigen Referenzperiode auf. Dagegen waren alle anderen Jahre seit 1988 zum Teil deutlich wärmer. Eine so starke Häufung von warmen Jahren mit einer derartig hohen Temperaturabweichung in der Vegetationszeit wurde in der gesamten Zeitreihe bisher noch nie beobachtet.

Die Niederschlagsentwicklung in der Vegetationszeit zeigt im langjährigen Trend nahezu keine Veränderung, wobei extrem trockene Jahre wie 2018, 2015 und 2003 aus dem Witterungsgeschehen der letzten Jahre herausragen (Abb. 23, unten). Im Gegensatz zur Lufttemperatur gibt es jedoch in der Entwicklung der Niederschläge keine extreme Häufung auffällig trockener Jahre.



Abb. 22: Trocknisschäden an Buchen während des Sommers 2019 im Landkreis Esslingen (Foto: S. Meining)

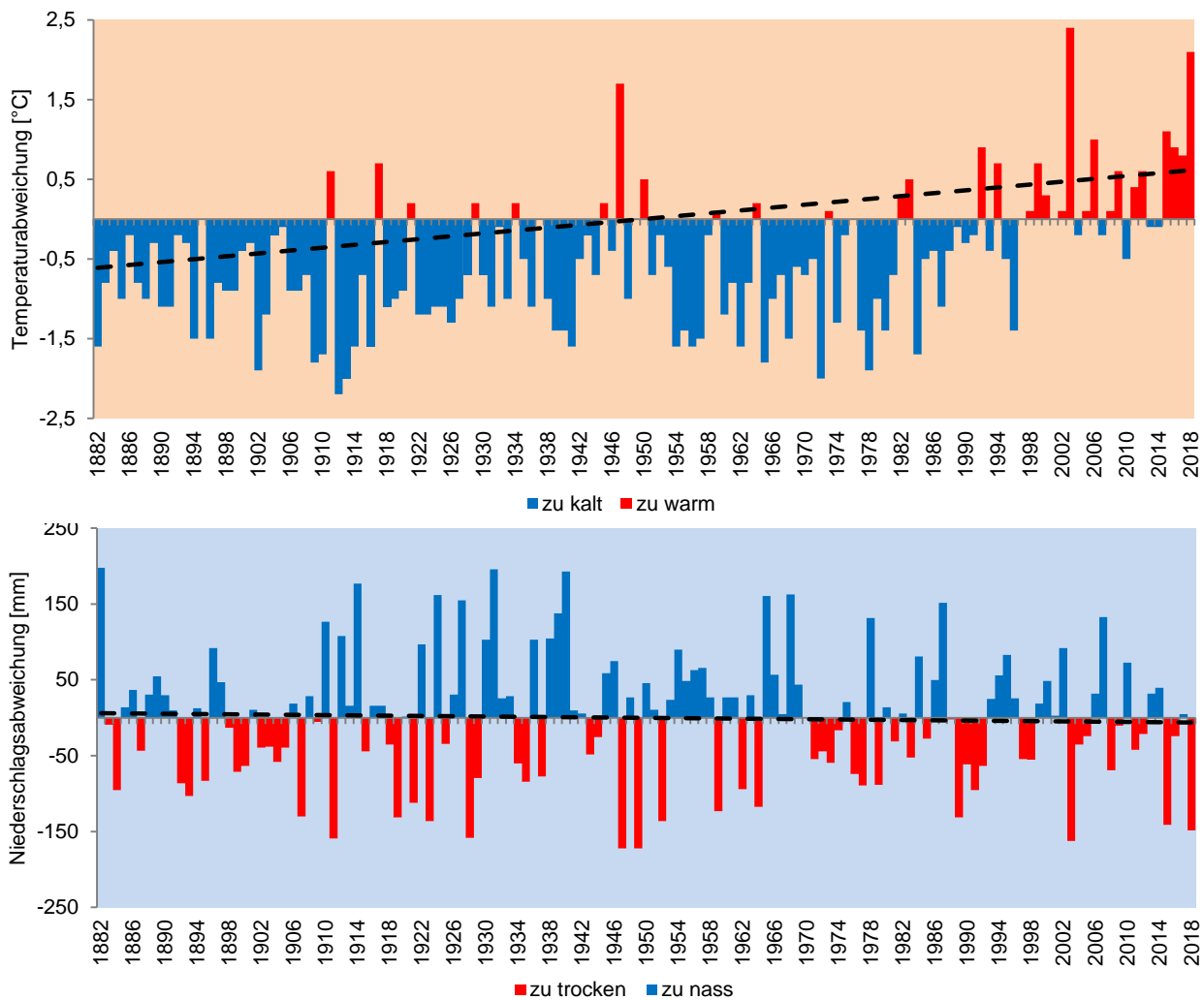


Abb. 23: Temperatur- und Niederschlagsabweichung der Monate Mai bis September in Baden-Württemberg. Gestrichelte Linie: langfristiger Trend (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)

Bodenfeuchte

Auf den Intensivmessflächen des Forstlichen Monitorings in Baden-Württemberg wird als standortcharakterisierende Größe unter anderem die Bodenfeuchte in den Waldböden gemessen. Abbildung 24 zeigt die Bodenfeuchte der Fichtenversuchsflächen bei Heidelberg (Odenwald) und im Conventwald (Südschwarzwald) vergleichend für die Jahre 2018 und 2019. Gemessen wurde jeweils in einer Bodentiefe von 30 und 60 cm, also im Hauptwurzelsraum der Fichten. Für das Jahr 2018 (gelbe Linie) wird auf beiden Versuchsflächen die extreme Dürreperiode mit mehreren aufeinanderfolgenden Monaten unterdurchschnittlicher Wasserverfügbarkeit im Boden deutlich. Die hohen Temperaturen im Sommer 2018 führten in Kombination mit hoher Sonneneinstrahlung und geringen Niederschlägen zu einer starken Austrocknung der

Böden. Die gemessene Bodenfeuchte im Hauptwurzelsraum lag in den Monaten Juli und August auf beiden Flächen deutlich unter dem Mittelwert der Vergleichsperiode von 2010-2017 (schwarze Linie) und blieb bis November 2018 außergewöhnlich angespannt. Erst Ende des Jahres 2018 erhöhte sich die Bodenfeuchte in Folge vermehrten Niederschlags wieder. Im Zusammenspiel mit hohen Temperaturen und starker Sonneneinstrahlung, erhöhter Transpiration der Waldbestände und fehlenden Niederschlägen sank die Bodenfeuchte in den Sommermonaten 2019 (rote Linie) wieder zeitweise in einen für die Wasserversorgung der Bäume kritischen Bereich. Allerdings waren die Phasen einer starken Bodentrockenheit auf den Versuchsflächen Heidelberg und Conventwald im Gegensatz zum Jahr 2018 deutlich kürzer, da einzelne Niederschlagsereignisse zwischenzeitlich für eine Wiederbefeuchtung der Waldböden sorgten.

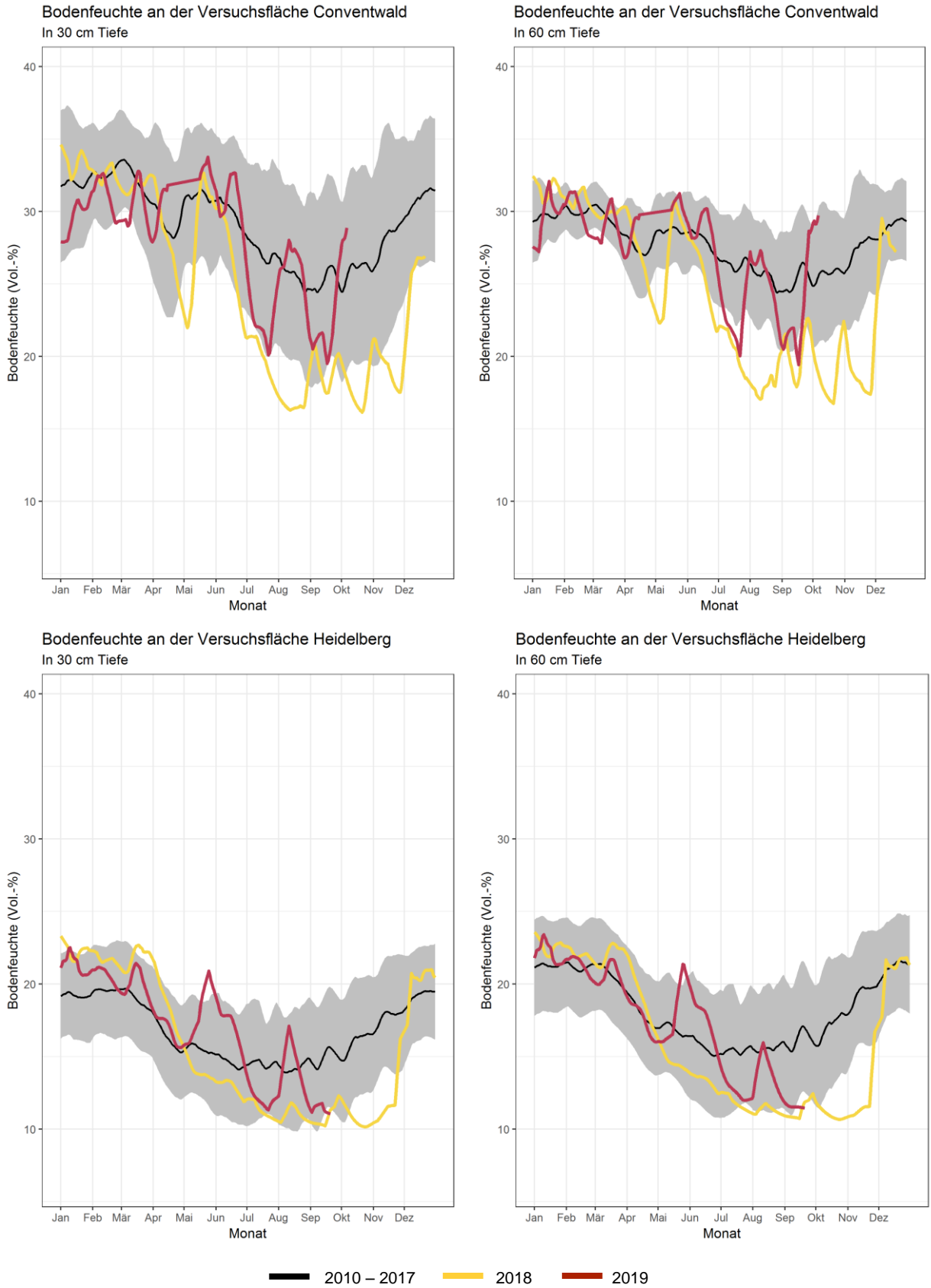


Abb. 24: Bodenfeuchtemessungen in verschiedenen Bodentiefen (links: 30 cm , rechts: 60 cm) der Versuchsflächen Conventwald (Südschwarzwald) und Heidelberg (Odenwald) im Vergleich der Jahre 2018 und 2019 (bis September). Schwarze Linie: Mittelwert der Jahre 2010 bis 2017. Grauer Bereich: einfache Standardabweichung

5 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 schwankendem 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 2019 besonders auffälligen biotischen Einflüsse angesprochen.

Schaderreger an Nadelbäumen

Fichte

In Bezug auf die Borkenkäfer war die Ausgangssituation für 2019 nach einer Reihe trocken-warmer Jahre und der extremen Dürre im Vorjahr 2018 im ganzen Land sehr bedrohlich. Trotz durchgeführter Maßnahmen zur Reduzierung der Borkenkäfer-Ausgangs-

dichten musste nach den Erfahrungen der Kalamität des extremen Dürrejahres 2003 für die Vegetationsperiode 2019 weiter mit einer erheblichen Käfergefahr gerechnet werden. Aufgrund der 2018 landesweit nur mit Ausnahme der höchsten Schwarzwaldgipfel vollständig entwickelten drei Generationen und dem folgenden vergleichsweise milden Winter sind außerordentlich hohe Populationsdichten in das Frühjahr gekommen. Außerdem sind vielerorts großflächig Schneebruchschäden angefallen, insbesondere im Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb, dort vor allem in der Region Großer Heuberg, und in Oberschwaben. Besonders in den nordöstlichen Landesteilen sowie im südlichen Schwarzwald kam es infolge des Sturmtiefs „Eberhard“ im März 2019 erneut zu Windwürfen und größeren Mengen liegenden Schadholzes. Somit bestand die Gefahr, dass die außerordentlich hohe Anzahl von Käfern erneut auf ideales Brutmaterial stößt und damit eine wiederholte Massenvermehrung begünstigt wird.



Abb. 25: Borkenkäfer-Befall von Fichten und Tannen im Landkreis Waldshut-Tiengen, August 2019 (Foto: M. Burger)

Borkenkäfer:

Wissenswertes zur Biologie des Buchdruckers

Der Borkenkäfer mit der größten Bedeutung ist der Buchdrucker (*Ips typographus*). Als einer der wichtigsten biotischen Schadfaktoren in Europa vermehrt er sich unter der Rinde von Fichten mit Stammdurchmessern von mehr als 20 cm. Bevorzugt befallen werden vorgeschädigte, z.B. durch Dürre gestresste oder windgebrochene Bäume, welche dann in ihrer Abwehrkraft (Harzfluss) gegenüber den Einbohrungen gehemmt sind.

Die Aktivitätsmonate des Buchdruckers sind April bis September. Von Oktober bis März überwintert der Käfer meist unter der Rinde, z.T. auch in der Bodenstreu. Die Phänologie des Buchdruckers ist sehr stark temperaturgesteuert – ein Fakt, der ihn zum potentiellen Gewinner eines sich erwärmenden Klimas macht: So vollzieht sich der Schwärmflug oberhalb einer Lufttemperatur von 16 °C (Optimum 22-26 °C) und die Entwicklung zum Käfer bei einer Rindentemperatur von >8 °C (Optimum 29-30 °C). Wärmer werdende Sommer senken deshalb die Entwicklungszeit im Baum (6-10 Wochen), erhöhen die mögliche Generationenanzahl (bis zu drei pro Jahr) und damit die Populationsdichte sowie das Befallsrisiko.

Neubefall tritt vorwiegend in der Nähe (100-300 m) von Vorbefall auf, denn die Käfer brauchen hohe Schwärmdichten, um vitale Fichten letztlich erfolgreich zu befallen. Massenvermehrungen dauern in der Regel einige Jahre an und werden dann durch Faktoren wie ungünstige Witterung, hohe Feindpopulationen (Schlupfwespen, Buntkäfer), Abnahme von verfügbaren Wirtsbäumen und wirksame Managementmaßnahmen (Befallssanierung) eingedämmt.



Die Entwicklung und der Verlauf der Flugaktivitäten der wichtigsten Fichtenborkenkäfer, Buchdrucker und Kupferstecher, wird im Rahmen des Borkenkäfer-Monitorings mit Hilfe wöchentlicher Kontrollen der Brutentwicklung an Beobachtungsbäumen und mit Pheromonfallen überwacht. Darauf bauen fortlaufende Empfehlungen zu einem effektiven Borkenkäfer-Management in Wäldern mit hohem Fichtenanteil auf. In der Vegetationsperiode 2019 setzte der erste Schwärmflug in den tieferen Lagen im April ein. Die kühl-feuchte Witterung Anfang Mai verzögerte jedoch die Käferentwicklung, so dass in den höheren Lagen erst ab Mitte Mai die Entwicklung einsetzte. Doch sorgte die im Juni und Juli außerordentlich trockene und warme Witterung wieder für eine rasche Entwicklung der Käfer, infolgedessen im Verlauf des Sommers je nach Höhenlage und Exposition zwei bis drei Buchdrucker-Generationen angelegt und entwickelt wurden. Dies entspricht weitgehend der durchschnittlichen phänologischen Entwicklung der vergangenen Jahre, mit Ausnahme der Extremjahre 2003 und 2018. Beim Kupferstecher wurden in diesem Jahr zwei Generationen entwickelt. Die insgesamt hohen Populationsdichten beider Arten haben in Verbindung mit der Schwächung der Fichten infolge der stark angespannten Wasserversorgung im Hochsommer vielerorts wieder zu erheblichem Stehendbefall lebender Fichten geführt (Abb. 25).

Aktuell (Stand Anfang Oktober 2019) liegt die insektenbedingte Schadh Holzmenge bei der Baumart Fichte bereits bei rund 1,5 Mio. Festmeter (Fm) Schadh Holz (Abb. 26). Somit ist zu erwarten, dass die Jahressumme 2019 über dem letztjährigen Wert von etwa 1,6 Mio. Fm liegen wird. Folglich ist für 2020 und womöglich auch für die Folgejahre weiter mit einer ausgesprochen kritischen Borkenkäferlage zu rechnen. Es ist deshalb unbedingt erforderlich die Ausgangspopulation für das nächste Jahr möglichst weit zu reduzieren. In den betroffenen Betrieben muss die Schwerpunktsetzung im Herbst und Winter weiter eindeutig auf der rechtzeitigen Entfernung der mit überlebensfähigen Jungkäfern besetzten Überwinterungsbäume durch Kontrolle, Aufarbeitung und Abfuhr aller befallenen Stämme aus dem Wald liegen. Allerdings ist die derzeitige Problemlage ausgedehnter Borkenkäfer-Kalamitäten infolge von Sturmschäden und Dürren in den Sommern 2018 und 2019 großräumig in ganz Europa gegeben. Wenn dann Kontingente für mechanisch-technische Maßnahmen im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes (Transportkapazitäten, Holzabsatz- oder Lagermöglichkeiten, Holzhacker und Entrindungsmaschinen für das rechtzeitige Unschädlichmachen aller mit Käferbrut befallenen Stämme) knapp werden, muss zum Schutz der Wälder im äußersten Fall auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Erwägung gezogen werden.

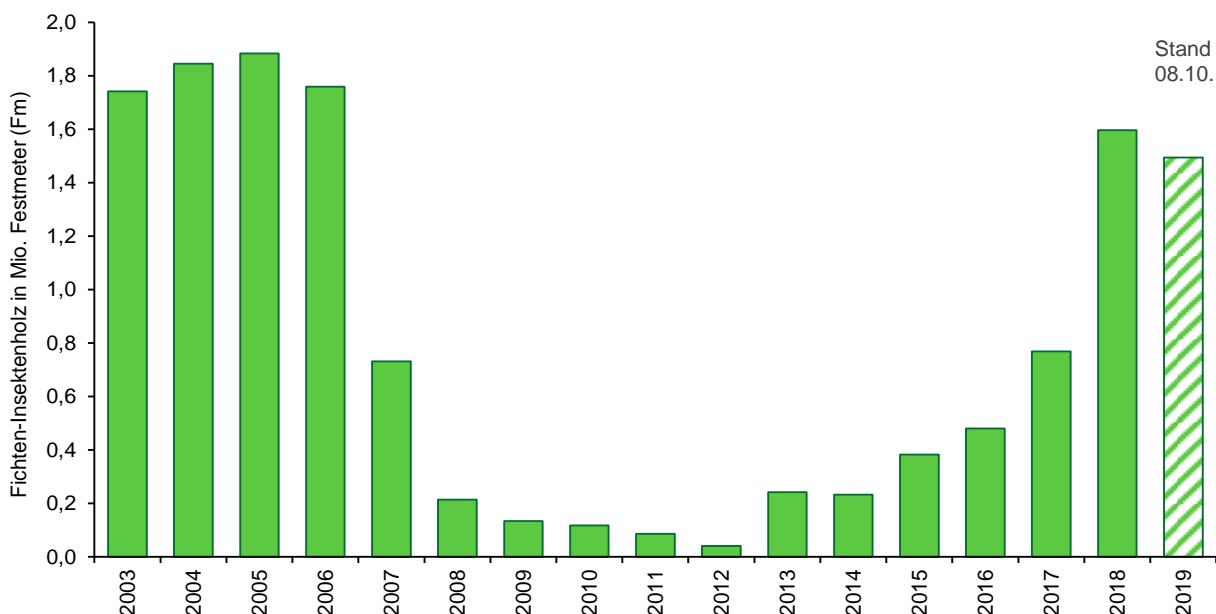


Abb. 26: Mit der Nutzungsursache „Insekten“ bei der Baumart Fichte in Baden-Württemberg angefallenes Schadh Holz über alle Waldbesitzarten; 2003 bis 2018: Jahressummen; 2019: Stand bis zum 08. Oktober.

Tanne

Auch die Weißtanne zeigt erhebliche Schäden durch Borkenkäferbefall vor allem im Schwäbisch-Fränkischen Wald, im mittleren und südlichen Schwarzwald sowie in der Bodenseeregion auf. Die Kronen verfärben sich rot und die Bäume sterben in der Regel ab (Abb. 27). Nachdem trocken-warme Sommer regional bereits zuvor schon zu einem höheren Schadholzanfall geführt hatten, sind ausgehend von den Sommerdürren in den Jahren 2018 und 2019 die Schäden noch einmal deutlich angestiegen (Abb. 28).

Dies erfolgte insbesondere dort, wo die Tannen bereits chronisch vitalitätsmindernd intensiv von Misteln parasitiert sind. Die so geschwächten Bäume sind besonders oft von Borkenkäfern, vor allem Kleinem und Krummzähmigem Tannenborkenkäfer, befallen. Durch die Ausbildung von zwei Generationen und Geschwisterbruten befinden sich die Tannenborkenkäfer aktuell in Massenvermehrungen. Unter diesen Umständen geht jetzt auch von den befallenen Tannen ein hohes Infektionsrisiko für umliegende Bestände aus. Davon ausgehend können in der Nähe weitere Käfernester entstehen, wobei häufig auch der Tannenrüssler beteiligt ist.

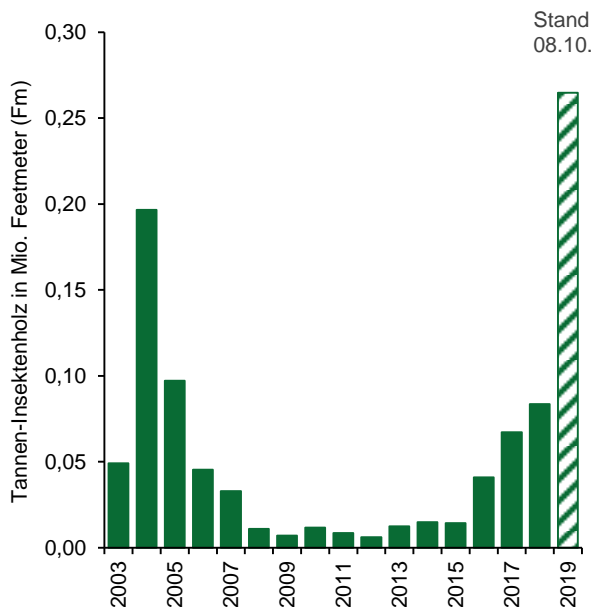


Abb. 28: Mit der Nutzungsursache „Insekten“ bei der Baumart Tanne in Baden-Württemberg angefallenes Schadholz über alle Waldbesitzarten; 2003 bis 2018: Jahressummen, 2019: Stand bis zum 08. Oktober



Abb. 27: Infolge von Käferbefall abgestorbene Weißtannen im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald, Juni 2019 (Foto: H. Delb)

Kiefer

Die Kiefernbestände in der Oberrheinebene leiden seit Jahren unter einem komplexen Schadgeschehen. Vor allem in Zusammenhang mit Trockenstress und lange bis in den Herbst anhaltender trocken-warmer Witterung führte dies bereits in der Vergangenheit zu erhöhten Mortalitätsraten. Aufgrund der Dürren in 2018 und 2019 ist dies jedoch noch einmal gravierend verstärkt worden. Im Wuchsgebiet Oberrheinisches Tiefland lag der Schadholzanfall bis Anfang Oktober 2019 bei insgesamt 114.000 Fm. Das Diplodia-Triebsterben hat in Verbindung mit der extremen Trockenheit einen deutlichen Anteil an dem aktuellen Schadgeschehen. Der Trockenstress wird oft durch den chronischen Mistelbefall erheblich verstärkt. Es ist zu befürchten, dass in diesem Zusammenhang auch das Ausmaß von Borken-, Pracht- und Bockkäferbefall in den nächsten Jahren ansteigen wird. In Anbetracht der Massenvermehrung des Waldmaikäfers auf nahezu gleicher Fläche steht die Waldwirtschaft in der nördli-



Abb. 29: Afterraupen der Kiefernbuschhornblattwespe im Hardtwald, September 2019 (Foto: B. Schneble)

chen Oberrheinebene auf den trockenen Sandstandorten in den Hardtwäldern vor einer großen Herausforderung. Aber auch andernorts, wie zum Beispiel auf wenig wasserspeichernden Kiesstandorten bei Breisach, stehen die Waldkieferbestände flächig vor dem Aus. Die Baumart Kiefer scheint in der gesamten Oberrheinebene dauerhaft gefährdet zu sein.

Im Spätsommer 2019 ist zudem in der nördlichen Oberrheinebene auf ausgedehnten Waldflächen die Kiefernbuschhornblattwespe (Abb. 29) in einem seit langer Zeit nicht mehr beobachteten Ausmaß und mit erheblichen Fraßschäden an den Kiefernadeln aufgetreten. Inwiefern dies ein erstes Anzeichen ist, dass sich im Rahmen der sich auflichtenden Waldbestände wieder Massenvermehrungen der sogenannten Kieferngrößschädlinge wie Forleule, Kiefernspinner, Kiefernspanner, Kiefernbuschhornblattwespe oder Nonne einstellen könnten, bleibt abzuwarten. Aufgrund der starken Vorschädigung der Kiefern durch die letzten beiden Dürrejahre ist eine Regeneration der betroffenen Kiefern jedoch in Frage gestellt.

Douglasie und Lärche

Vierorts sind nach Befall durch die Rußige Douglasienschütte in den Vorjahren immer noch viele Bäume mit sehr schütterten Kronen vorzufinden. An solchermaßen geschwächten Douglasien wurden verstärkt auch weitere Schadorganismen diagnostiziert. Als pilzliches Schwächepathogen vor allem *Diplodia pinea*, das gemeinhin deutlich häufiger an Kiefer vorkommt,

und als weiterer Schaderreger die aus Nordamerika stammenden invasiven Douglasien-Gallmücken (*Contarinia spp.*). Infolge der Dürren aktuell mit roten Kronen zeichnende Douglasien weisen gegenwärtig auch Befall durch Borkenkäfer wie beispielsweise Kupferstecher oder Furchenflügler Fichtenborkenkäfer auf. In vielen Regionen hat auch der Lärchenborkenkäfer sehr von der trocken-warmen Witterung profitiert, so dass zum Teil erheblicher Stehendbefall an Lärchen festgestellt wurde.

Schaderreger an Laubbäumen

Buche

Nach dem Laubaustrieb im Frühjahr 2019 haben sich in vielen Buchenbeständen gravierende Schäden gezeigt. Vielerorts sind in den Kronen einzelbaumweise bis flächige Vitalitätsverluste und absterbende Buchen zu beobachten. Doch ist das Ausmaß lokal sehr unterschiedlich. Betroffen sind vor allem Bäume, die auf schlecht wasserversorgten Standorten, an Bestandesrändern oder in aufgelichteten Buchenwäldern durch Niederschlagsdefizite, langanhaltende Hitze und hohe Sonneneinstrahlung in Verbindung mit einer starken Fruchtbildung 2018 stark in ihrer Vitalität beeinträchtigt waren.

Diese Bäume wiesen im letzten Jahr bereits im August verfärbtes Laub oder oft vollständig entlaubte Kronen auf. Während die Buchen einen hohen Anteil der verfügbaren Energie- und Nährstoffreserven für die Ausbildung einer starken Fruktifikation benötigten, erfolgte der frühe Verlust an grünen Blättern entgegen des üblichen Vorgangs beim Laubabwurf im Herbst weitgehend ohne Nährstoffrückführung. Aus diesem Grund fehlten den betroffenen Buchen im Sommer 2018 die Kraft zur Ausbildung ausreichend vitaler Knospen und im Frühjahr 2019 die benötigten Reservestoffe. Darüber hinaus deuten in den letzten fünf Jahren erheblich verkürzte Jahrestriebe darauf hin, dass die Vitalität dieser Buchen bereits schon in den Vorjahren aufgrund trockener Phasen sehr eingeschränkt war. Meist ältere Buchen weisen aktuell abgestorbene und absterbende Kronen mit nur noch wenig belaubten Ästen auf. Dort finden sich an exponierten Stammteilen auch Sonnenbrand, aufplatzen- de Rinde (Abb. 30), Rindennekrosen, Schleimfluss-

flecken und Astabbrüche. Die Schwächung führt in den Kronen zur Aktivierung von Pilzen, die bis dato symptomlos im Gewebe vorhanden waren, auf jetzt schädigende Weise wachsen und Rindennekrosen bzw. Holzfäulen selbst verursachen oder andere Schadpathogene begünstigen. So werden häufiger Schlauchpilze (z.B. *Neonectria*, *Biscogniauxia*, *Hypoxyton*) im Rindengewebe und Ständerpilze (z.B. *Stereum*, *Bjerkandera*, *Schizophyllum*, *Fomes*, *Pleurotus*) im Holzgewebe diagnostiziert. Das Holz befallener Bäume kann durch Fäulnis schnell an Stabilität verlieren und führt dann vor allem zu Problemen in der Arbeits- und Verkehrssicherheit. Auch die Holzqualität lässt infolge der Infektion häufig schnell nach.

Der gesamte Umfang der Schäden wird sich erst nach Beginn der Aufarbeitung im Herbst detailliert beziffern lassen. Das Gefährdungspotential des in manchen Buchenwäldern beobachteten Kleinen Buchenborkenkäfers und der Buchenprachtkäfer darf nach dieser gravierenden Schwächung nicht unterschätzt werden. Lange trocken-warme Perioden wie in 2018 und 2019 können die Entwicklungszeiten der Käfer beschleunigen und zu einem Anstieg der Populationsdichte führen. Gleichzeitig sind trockenheitsgestresste und wenig abwehrbereite Buchen der ideale Lebensraum für diese Rindenbrüter. Erfahrungsgemäß kann sich vor allem der Buchenprachtkäfer nach derartigen Ereignissen noch einige Jahre chronisch schädigend einstellen, wobei vor allem lockere Waldränder und aufgelichtete Bestände gefährdet sind.

Eiche

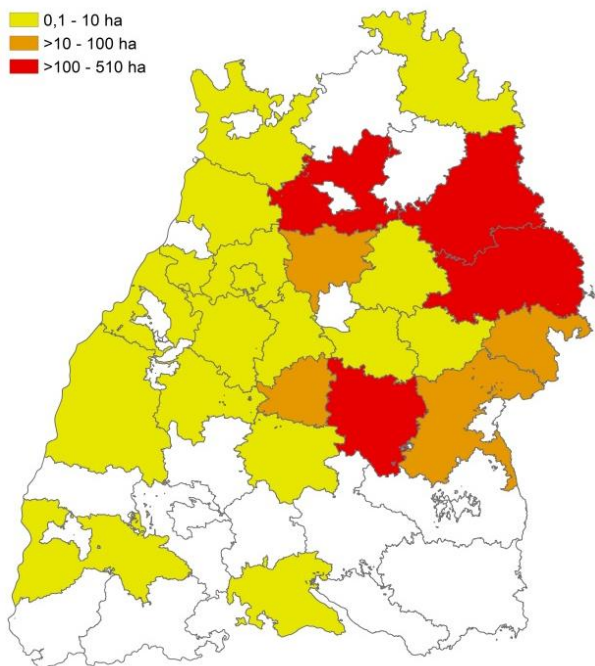
Der Eichenprozessionsspinner ist auf einer Fläche von rund 1.200 Hektar in ganz Baden-Württemberg, mit einem Schwerpunkt im Neckarland, von anhaltend großer Bedeutung (Abb. 31, links). Von den Brennhaaren der Raupen gehen Gesundheitsgefahren für Mensch und Tier aus. Die Fraßschäden an den Blättern können aber auch zu erheblichen Beeinträchtigungen des Gesundheitszustandes des Waldes führen. In diesem Zusammenhang ist auch der Schwammspinner zu nennen, der in diesem Jahr mit rund 400 Hektar im Neckarland auf großer Fläche erhebliche Fraßschäden verursacht hat (Abb. 31, rechts). Auch die Eichen-Fraßgesellschaft mit Frostspanner und Eichenwickler ist auf einer Fläche von



Abb. 30: Buche mit aufgeplatzter Rinde, abgestorbener Krone und Pilzbefall im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald, Juni 2019 (Foto: J. Grüner)

rund 400 Hektar durch auffällige Blattschäden in Erscheinung getreten. Mit dem Vorkommen blattfressender Insekten korrespondiert meist auch ein Befall durch den Eichenmehltau, denn der nach Fraß zur Regeneration auftretende junge Neuaustrieb wird je nach Witterung im Sommer sehr häufig von diesem Blattpilz befallen. Dadurch wird die Assimilationsleistung der Bäume über weite Phasen erheblich reduziert. So verstärkt sich die durch Raupenfraß und Dürren bedingte Schwächung der Eichen wesentlich. Um Fraßschäden zu verhindern und somit die Eichen zu schützen, wurden im Frühjahr 2019 rund 200 Hektar der betroffenen Waldfläche aus der Luft mit einem Bakterienpräparat behandelt. In der Oberrheinebene sind lokal wieder hohe Populationen des Eichenprachtkäfers vorhanden, der als Folgeschädling nach Dürre und Fraßschäden geschwächte Eichen befallen und durch den Larvenfraß unter der Rinde zum Absterben bringen kann.

Eichenprozessionsspinner



Schwammspinner

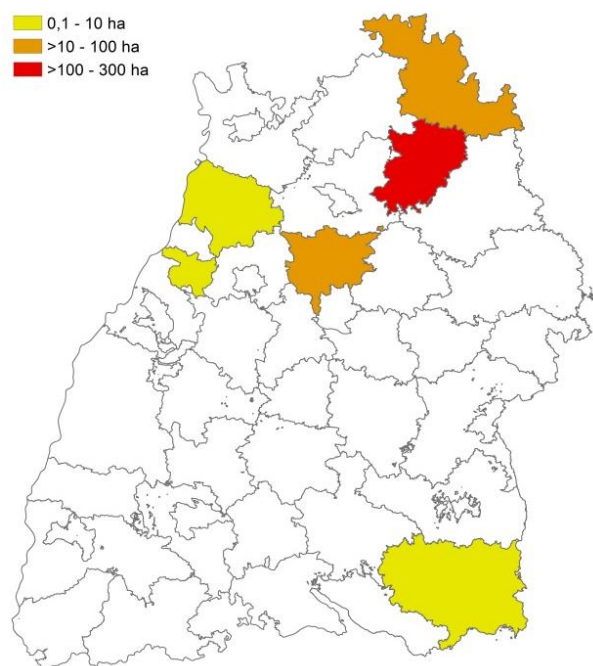


Abb. 31: Meldungen des Eichenprozessionsspinners (links) und des Schwammspinners (rechts), Stand August 2019 (Quelle: Digitales Waldschutz-Meldesystem Baden-Württemberg)

Esche

Das Eschentriebsterben ist nach wie vor eine sehr bedeutende Baumkrankheit, auch wenn in diesem Jahr die in der Krone erkennbaren Schadsymptome des Eschentriebsterbens etwas zurückgegangen sind. Erst in der zweiten Hälfte der Vegetationszeit wurden frische Blattinfektionen deutlich. Dies hängt mit den vergleichsweise schlechten Infektionsbedingungen durch langandauernde sommerliche Trockenperioden in den letzten Jahren zusammen und ist deshalb nur als eine Art Atempause zu werten. Bestehende Triebinfektionen aus vorangegangenen Jahren setzen den infizierten Eschenindividuen nach wie vor zu. Das Eschentriebsterben bedroht weiterhin alle Altersklassen in allen Regionen des Landes. Besondere Besorgnis erregt das zunehmende Vorkommen von Stammfußnekrosen, insbesondere auf nassen Standorten. Hier kommt es oft zusätzlich zu Hallimasch-Infektionen, welche eine relativ rasche Stockfäule mit Bruchgefährdung nach sich ziehen. 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 offenbar genetisch bedingte Resistenz gegen das

Triebsterben zeigt. Deshalb müssen Bäume, die ohne Ersatztriebe eine ausreichend vitale Belaubung und keine Stammfußnekrosen aufweisen, für den Aufbau einer künftig gesünderen Generation erhalten bleiben. Bei anstehenden Eingriffen sind bevorzugt anfällige Eschen zu entnehmen, die sowohl anhand des typischen Triebsterbens als auch an Stammfußnekrosen zu erkennen sind.

Ahorn

Da die Krankheitssymptome des aus Nordamerika stammenden pilzlichen Erregers der Ahorn-Rußrindenkrankheit (*Cryptostroma corticale*) nach außergewöhnlich langen und trockenen Sommern verstärkt auftreten, wurden sie in letzter Zeit auffälliger. Die Krankheit ist nach dem Dürrejahr 2018 über 2019 hinweg häufiger auch flächig schadensverursachend in Erscheinung getreten. Vornehmlich treten hier 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 Holzentwertung 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 bisher ausschließlich dort auf, wo die Baumart standortsbedingt einem erhöhten Trockenstress ausgesetzt ist oder bereits andere Schadpathogene wie z.B. Hallimasch für eine Prädisposition gesorgt haben. Im Verlauf der Krankheitsentwicklung werden unter der Rinde großflächige Sporenlager angelegt, in denen sehr große Sporenmengen gebildet werden (Abb. 32).

Im Zusammenhang mit der Ahorn-Rußrindenkrankheit können sich auch für Menschen gesundheitliche Probleme (Fieber, Reizhusten) v.a. durch Einatmen ergeben, allerdings nur bei langanhaltendem, intensivem Kontakt mit den Pilzsporen. Bei den wenigen bislang klinisch dokumentierten Patienten handelt es sich um Arbeiter, die über mehrere Jahre mit dem Häckseln, Entrinden oder Sägen von Ahornstämmen beschäftigt waren.

Esskastanie

Der Esskastanien-Rindenkrebs mit dem pilzlichen Schaderreger *Cryphonectria parasitica* stellt für die Esskastanie seit Jahren eine ernstzunehmende Bedrohung dar. Im Zusammenhang mit Trockenstress mehren sich regional Meldungen zu dieser Erkrankung. Durch einen spezifischen Virusbefall können die krankheitsauslösenden Pilze ihre hohe Aggressivität einbüßen, so dass zukünftig eine Abschwächung des Krankheitsverlaufs möglich ist. Eine weitere Gefahr für die Esskastanie stellt die Japanische Esskastanien-Gallwespe dar, deren Ausbreitung nicht mehr aufzuhalten ist. Allerdings geht der Gallwespenbefall in den Esskastanienwäldern im südlichen Alpenraum aufgrund einer Parasitierung durch eine in Italien freigesetzte, ebenfalls aus China stammende Schlupfwespe (*Torymus sinensis*) bereits wieder zurück. Aufgrund bereits bestätigter Nachweise dieses Gegenspielers im benachbarten Elsass ist eine Ausbreitung auch auf die östliche Seite des Oberrheingrabens denkbar.

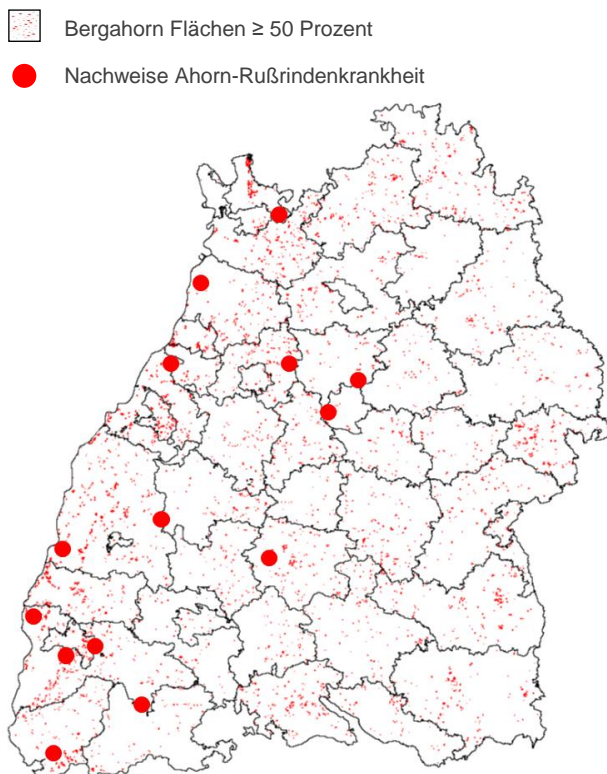


Abb. 32: Links: Bestätigte Nachweise für den Erreger *Cryptostroma corticale* aus Beratungsfällen und Untersuchungsbeständen in Baden-Württemberg. Rechts: Befall von *Cryptostroma corticale* an Bergahorn mit Anlage der sporenbildenden Schicht direkt unter der aufbrechenden äußeren Rinde (Foto: J. Grüner)

6 STOFFEINTRÄGE

Mit Beginn der Industrialisierung ist die Schadstoffbelastung der Luft stark angestiegen. Wälder sind davon im erhöhten Maße betroffen, da sie aufgrund ihrer großen Kronenoberfläche besonders viele Luftschadstoffe aufnehmen können. Gegenüber anderen Landnutzungsformen filtern Wälder das zwei- bis dreifache an Schadstoffen und Feinstäuben aus der Luft heraus, welche mit dem Regen in den Waldboden eingetragen und dort über Jahre angereichert werden. Dies führt langfristig zu einer starken Belastung der Wälder. Insbesondere der hohe Eintrag von Schwefel- und Stickstoffverbindungen wirkte lange Zeit versauernd auf die Wälder und Waldböden in Baden-Württemberg („Saurer Regen“) ein. Die Schwefeleinträge nahmen seit Anfang der 1980er Jahre infolge der weitreichenden Installation von Filteranlagen sowie der Verwendung schwefelarmer Brennstoffe kontinuierlich ab und liegen inzwischen wieder auf einem vorindustriellen Niveau. Demgegenüber liegt der Stickstoffeintrag in weiten Teilen Baden-Württembergs nach wie vor über der ökologischen Belastungsgrenze der Wälder.

Stickstoff

Stickstoff ist ein Hauptnährelement der Bäume, welches das vegetative und generative Wachstum maßgeblich steuert. Ein übermäßiger Stickstoffeintrag hat allerdings gravierende Folgen für das gesamte Waldökosystem.

Stickstoffverbindungen werden vor allem in der Landwirtschaft durch intensive Nutztierhaltung, durch den Individualverkehr sowie von der Industrie und bei der Energieerzeugung verursacht. Hohe Stickstoffeinträge führen in den Wäldern zu einer nachhaltigen Versauerung der Böden, wenn überschüssiger Stickstoff, der nicht von den Pflanzen aufgenommen werden kann, als Nitrat aus dem Boden ausgewaschen wird. Gleichzeitig werden dabei wichtige Nährelemente der Pflanzen, wie z.B. Magnesium-, Calcium- oder Kaliumionen, aufgrund ihrer gegensätzlichen Polarität gelöst und in tieferliegende Bodenschichten verlagert oder ebenfalls ausgewaschen. Die natürliche Filter- und Pufferkapazität der Böden wird dadurch eingeschränkt,

Gefahren eines starken Stickstoffeintrags

- Bodenversauerung und Nährstoffverarmung der Böden
- Verlust an Biodiversität
- Mangelercheinung im Ernährungszustand der Wälder
- Geringeres Wachstum der Feinwurzeln und dadurch erhöhte Anfälligkeit gegenüber Sturmwurf und Trockenheit
- Erhöhte Anfälligkeit gegenüber Baumkrankheiten und Schädlingen
- Nitratausträge in Grund- und Oberflächenwasser

wodurch Schadstoffe ungefiltert den Waldboden durchlaufen und ins Grundwasser gelangen können. Bei starker Bodenversauerung können zudem giftige Aluminiumionen und Schwermetalle freigesetzt werden, die das Wurzelwachstum der Bäume schädigen und ebenfalls zu einer Belastung des Grundwassers führen können.

Hohe Stickstoffeinträge tragen außerdem erheblich zum Verlust der Biodiversität bei. Stickstoffliebende Arten werden gefördert, während Arten, die auf stickstoffarme Böden angewiesen sind, zurückgedrängt werden. Insbesondere in stickstoffempfindlichen Waldgesellschaften sind hierdurch gefährdete Pflanzenarten vielfach stark bedroht.

Zur Beurteilung der atmosphärischen Eintragshöhe wurden Schwellenwerte festgelegt (sog. „Critical Loads“), bei deren dauerhafter Überschreitung negative Auswirkungen auf die betroffenen Ökosystemen zu erwarten sind. Für Wälder der gemäßigten Zone liegen diese Schwellenwerte bei 10 bis 15 kg pro Hektar (BOBBINK UND HETTELINGH 2010). Die Berechnung der Stickstoffeintragsraten in die Wälder Baden-Württembergs von 1881 bis 2016 belegt den starken Anstieg der Belastung bis Anfang der 1980er Jahre (Abb. 33). Seither ist infolge von Luftreinhaltemaßnahmen ein rückläufiger Trend erkennbar.

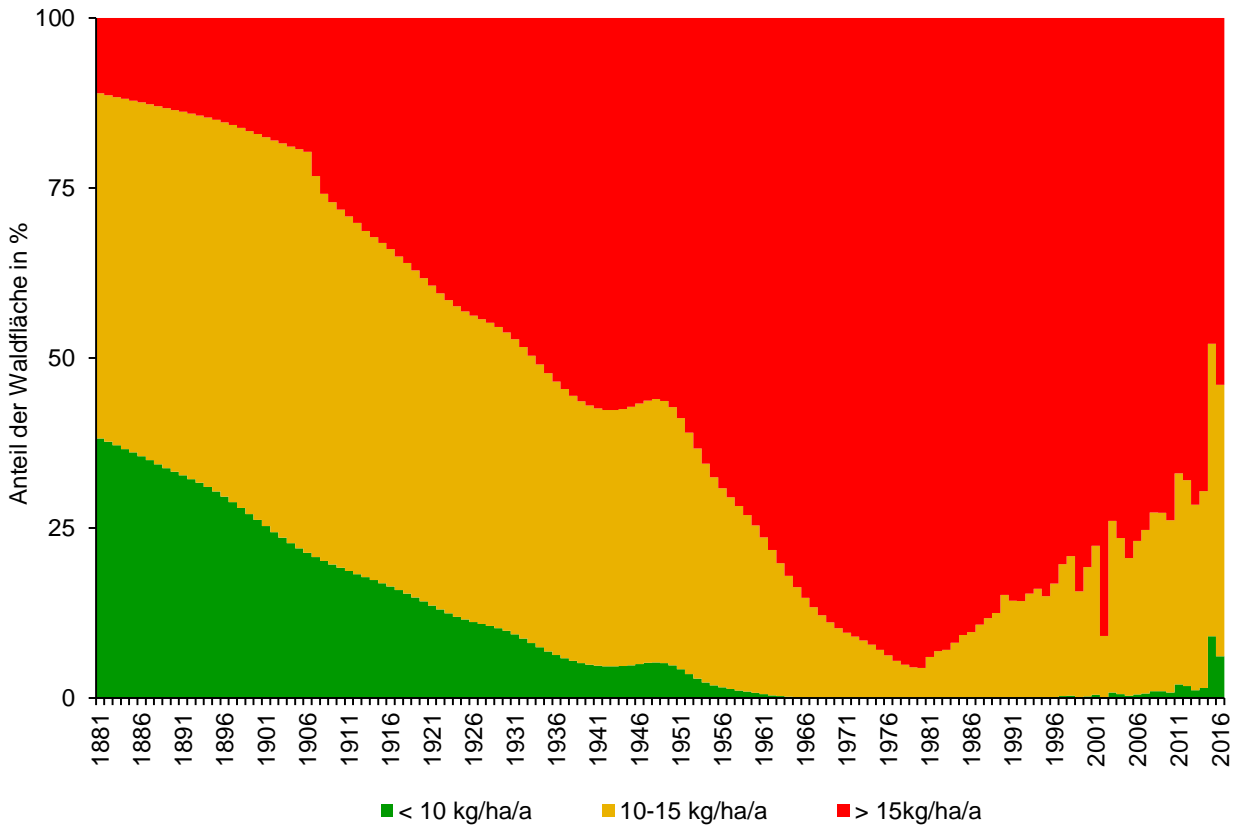


Abb. 33: Stickstoffeintragungswerte in die Wälder Baden-Württembergs. Modellierung auf der Basis von SCHÖPP et al. (2003)

Trotz dieser positiven Entwicklung werden die kritischen Schwellenwerte für den Stickstoffeintrag auf großer Fläche weiterhin überschritten. Aktuell werden auf etwa 55 Prozent der Waldfläche Baden-Württembergs jährlich mehr als 15 kg Stickstoff pro Hektar eingetragen. Nur auf knapp zehn Prozent der Waldfläche liegen die Stickstoffeinträge in einem ökosystemverträglichen Bereich von unter 10 kg pro Hektar und Jahr.

Vor dem Hintergrund anhaltend hoher Stickstoffeinträge werden durch die FVA im Rahmen eines Forschungsprojekts die derzeit angewandten Grenzwerte für kritische Stickstoffeinträge überprüft. Diese sollen stärker als bisher zwischen den unterschiedlich stickstoffempfindlichen Waldgesellschaften differenzieren. Hierfür werden zeitgleiche Erhebungen von Vegetationsdaten und Standorts- bzw. Bodenkennwerten in ausgewählten Waldgesellschaften Baden-Württembergs entlang eines an der Vegetation orientierten Stickstoffgradientens durchgeführt.

Regionale Verteilung

Auf den Depositionsmessflächen der FVA wurden im Jahr 2018 zwischen 7,0 und 26,6 kg Stickstoff pro Hektar eingetragen (Abb. 34). Niedrige Eintragungswerte sind vorwiegend im Windschatten des Schwarzwaldes und des Odenwaldes zu finden („Löffingen“ bzw. „Tauberbischofsheim“). Dagegen weisen die Versuchsflächen im westlichen Oberschwaben („Ochsenhausen“), Odenwald („Heidelberg“) und im Schwarzwald („Schauinsland“ und „Rosenfeld“) die höchsten Stickstoffeinträge auf. Der Schadstoffeintrag in immergrüne Fichtenwälder ist dabei aufgrund der stärkeren Filterleistung gegenüber den laubabwerfenden Buchenwäldern deutlich erhöht. Auf 16 der 19 Fichtenflächen des Messnetzes lagen die Einträge damit über dem kritischen Wert von 15 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr. Demgegenüber wurde dieser Wert nur auf einer der fünf Buchenflächen des Messnetzes überschritten. Innerhalb Baden-Württembergs zeigt die Zusammensetzung des Stickstoffeintrags ausgeprägte räumliche Unterschiede. Während an Versuchsflächen in stark landwirtschaftlich geprägten Regionen der

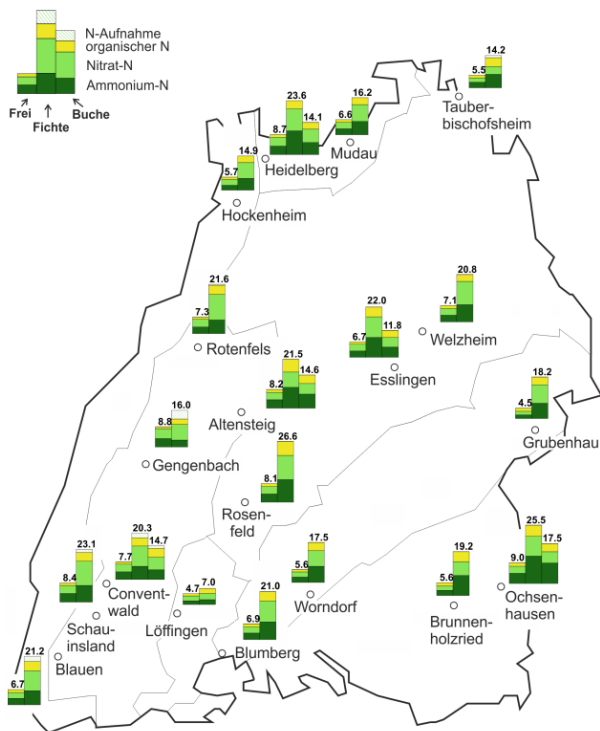


Abb. 34: Regionale Verteilung der Stickstoffeinträge 2018 in die Wälder Baden-Württembergs für Freiland, Fichte und Buche (Stickstoffaufnahme berechnet nach ULRICH 1991)

Ammoniumanteil überwiegt (z.B. in Oberschwaben), ist auf exponierten Lagen ein hoher Eintrag von Verkehrs- und Industrieabgasen in Form von Stickoxiden festzustellen (z.B. im Nordschwarzwald).

Schutz der Waldböden

Auch wenn in den letzten Jahrzehnten der Säureeintrag in die Wälder Baden-Württembergs gesenkt werden konnte, sind die Wälder weiterhin durch die noch vorhandene Bodenversauerung belastet. Die zu hohen Stickstoffeinträge aus der Luft verschärfen diese Problematik zusätzlich. Um eine vollständige Regeneration der Waldböden zu gewährleisten wurde deshalb für Baden-Württemberg ein langfristiges Kalkungskonzept entwickelt, das nicht nur die aktuellen Säureeinträge neutralisiert, sondern auch die im Boden gespeicherten Säuremengen abbaut (v. WILPERT 2014). Ziel dabei ist es, den Boden soweit zu regenerieren, dass er seine ursprünglichen Funktionen wieder erfüllen kann und somit insgesamt die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegenüber anderen Belastungen (wie z.B.

Folgen des Klimawandels) erhöht wird. Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung in Baden-Württemberg (BZE 2) belegen den positiven Effekt der regenerativen Bodenschutzkalkung auf anthropogen versauerten Waldstandorten. Die Calcium- und Magnesiumvorräte im Oberboden sind demnach auf gekalkten Standorten signifikant höher als auf ungekalkten Waldflächen (HARTMANN et al. 2016). Zudem wirken sich eine naturnahe Bewirtschaftung der Wälder mit einer Förderung standortgerechter Mischwälder sowie eine nährstoffschonende Holzernte positiv auf die Waldbodenentwicklung aus.

Langfristig angelegte Untersuchungen zur Bodenschutzkalkung an der Versuchsfläche Ochsenhausen (Oberschwaben) zeigen die Wirkung unterschiedlicher Kalkungsgaben auf die Wälder. Hierbei wurden im Jahr 1994 benachbarte Versuchspartellen mit einer Größe von jeweils 0,25 Hektar sowohl mit einer Dolomitzkalkung (10 Tonnen pro Hektar) als auch mit einer Dolomit-Kaliumsulfatmischung (6+1 Tonnen pro Hektar) und einer Holzschaschemischung (10 Tonnen pro Hektar) behandelt und eine ungekalkte Variante als „Nullfläche“ angelegt.

Bodenanalysen zeigten 20 Jahre nach der Ausbringung der Kalkungsgaben eine z.T. deutliche Verbesserung des chemischen Milieus auf den Kalkungsflächen gegenüber der Nullfläche (RUBIN 2014). Die Basensättigung im Oberboden erhöhte sich am stärksten auf der Holzschaschevariante. Aber auch die Versuchspartellen mit Dolomitzkalk und mit Dolomit-Kaliumsulfatmischung zeigten einen klaren Anstieg der Basensättigung im Oberboden. Die Behandlung mit basisch wirksamen Substanzen, wie Dolomit und Holzschasche, bewirkten zudem eine deutliche Verbesserung der Lebensbedingungen von Bodenorganismen wie z.B. Regenwürmern. Ebenso konnten anhand von Nadelanalysen positive Auswirkungen auf den Ernährungszustand der Bäume aufgezeigt werden. Für die Nährelemente Calcium und Magnesium ist eine schnelle Erhöhung der Konzentration in den Nadeln auf der mit Dolomitzkalk behandelten Fläche erkennbar (Abb. 35). In leicht abgeschwächter Form gilt dies auch für die Fläche mit Dolomit-Kaliumsulfat. Bei der Holzschascheaufbringung zeigt sich für Calcium eine ähnlich schnelle Erhöhung wie beim Dolomit. Hingegen erhöhen sich die Magnesiumgehalte im Vergleich zur Nullfläche erst mit

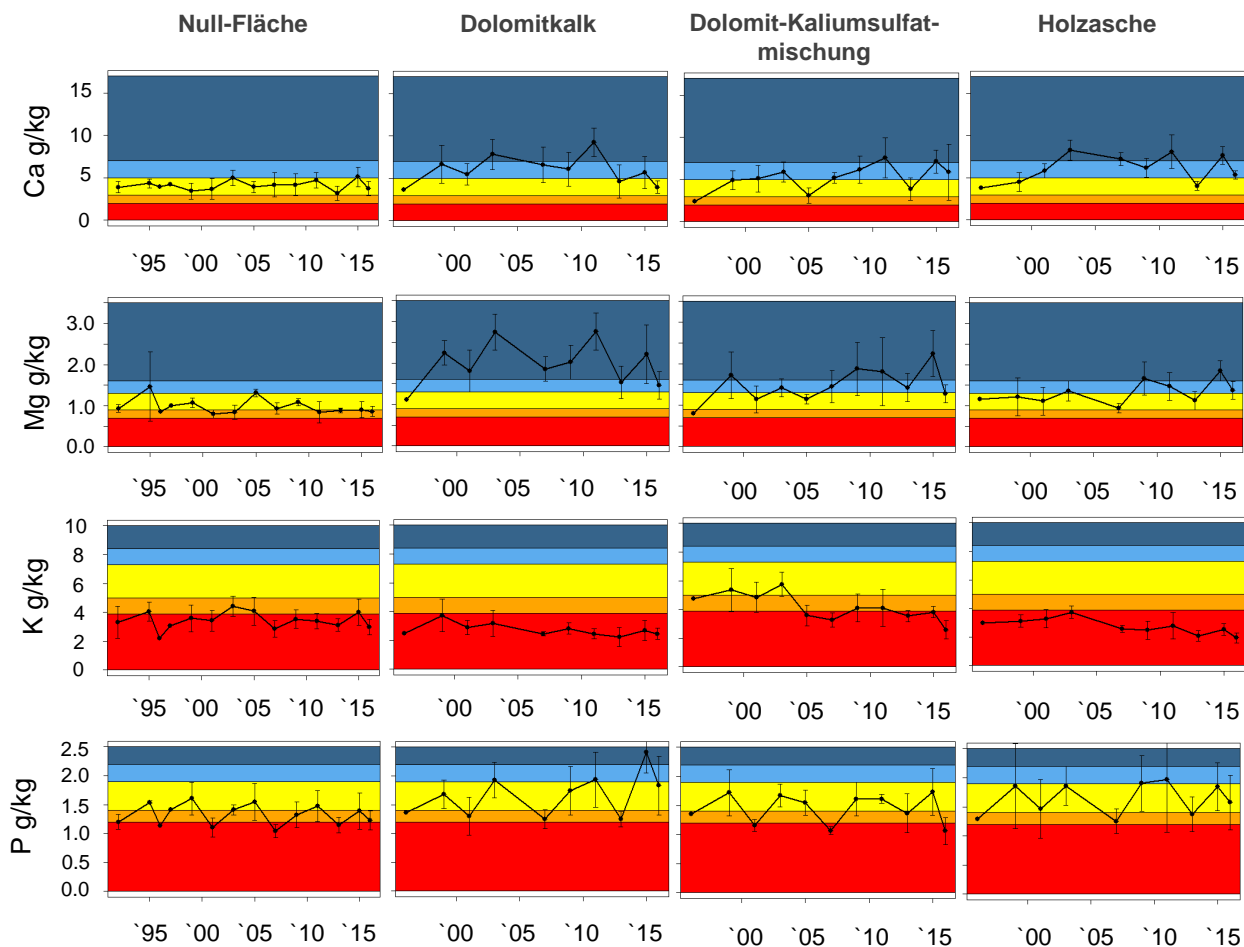


Abb. 35: Entwicklung der Nadelspiegelwerte (Fichte, 1. Nadeljahrgang) auf den Kalkungsversuchsflächen „Ochsenhausen“ von 1992 (Nullfläche) bzw. 1996 (Kalkungsvarianten) bis 2016. Die Bewertungen reichen von „rot“ = mangelhaft bis „blau“ = luxurierend (nach EVERS 2018)

einigen Jahren Verzögerung, was auch auf die geringeren Anteile an Magnesium in der Holzasche zurückzuführen ist. Die Nährelementversorgung mit Kalium bleibt auf den meisten Versuchspartellen überwiegend im Mangelbereich. Lediglich auf der Parzelle mit Dolomit-Kaliumsulfatmischung ist in den ersten Jahren nach der Behandlung ein deutlicher Anstieg der Kaliumkonzentration in den Nadeln feststellbar. Die nach wie vor angespannte Kaliumversorgung der Bäume auf den anderen behandelten Flächen kann vermutlich auf die gewählte Dosierungsmenge und auf eine Aufnahmekonkurrenz zu Calcium bzw. Magnesium zurückgeführt werden. Die Versorgungssituation der Bäume mit dem Nährelement Phosphor ist dagegen auf allen Versuchspartellen gegenüber der Nullfläche verbessert. Besonders auf den mit Dolomit und Holzasche behandelten Flächen zeigt sich der Phosphorgehalt in den Nadeln als leicht erhöht. Dies deutet auf eine verbesserte Phosphoraufnahme (Mobilisie-

rung von Phosphor aus der Humusaufgabe, verbesserte Feinwurzelschließung) als Folge der Kalkung hin, da kein Phosphor (Dolomit-Varianten) oder nur geringe Mengen (Holzasche) ausgebracht wurden. Insgesamt ist festzuhalten, dass die ausgebrachten Kalkungsgaben in Form von Dolomit, Dolomit-Kaliumsulfatmischung und Holzaschemischung zu einer Stabilisierung der Wälder geführt und eine Verbesserung der Ernährungssituation der Bäume für die Nährelemente Calcium, Magnesium und Phosphor bewirkt haben.

7 EIGNUNG UND GEFÄHRDUNG DER HAUPTBAUMARTEN IM KLIMAWANDEL

Hohe Nadel- und Blattverluste, Dürre- und Käferbäume, aktuell hohe zufällige Nutzungen in vielen Forstbetrieben: im Klimawandel müssen wir uns die Frage stellen, welche Wälder besonders gefährdet und welche Baumarten langfristig zukunftsfähig sind. Eine Antwort darauf können die neuen Karten zur Anbaueignung der Hauptbaumarten und zur aktuellen Vulnerabilität (= Verletzbarkeit, Gefährdung) geben, die durch die FVA in diesem Jahr veröffentlicht wurden. Hierfür wurden wichtige Eignungskriterien (z.B. Verbreitungsareal der Baumart) und klimawandelbezogene Risikofaktoren (z.B. Wassermangel, Sturm, Borkenkäfer) berücksichtigt und zu einer Gesamtbeurteilung der Baumarteneignung bzw. der Vulnerabilität zusammengeführt. Die Vulnerabilitäts-

karten wurden für alle Waldflächen in Baden-Württemberg angefertigt, die im Zuge einer Baumartenklassifikation den Hauptbaumarten Fichte, Buche, Tanne und Traubeneiche zugeordnet wurden. Die Baumarteneignungskarten wurden für standortskartierte Waldflächen in Baden-Württemberg erstellt. Die Informationen aus den Vulnerabilitäts- und Baumarteneignungskarten ergänzen sich. Die Vulnerabilitätskarte identifiziert im ersten Schritt die gegenwärtig am stärksten gefährdeten Wälder als prioritäre Ansatzpunkte, an denen dann Anpassungsmaßnahmen bzw. Waldumbau durchgeführt werden müssen. Die Beurteilung der zukünftigen Anbaueignung mit Hilfe der Baumarteneignungskarten ist dabei eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Baumartenwahl. Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Hauptbaumarten Fichte, Buche, Traubeneiche und Tanne vorgestellt. Da das Vorkommen der Stieleiche im Gegensatz zur Traubeneiche weniger durch großräumige Klimaverhältnisse geprägt ist, wurde keine neue Eignungskarte unter Klimawandel für diese Baumart erstellt. Auch für Douglasie, Kiefer und andere Baumarten liegen bisher noch keine vergleichbaren Karten vor.

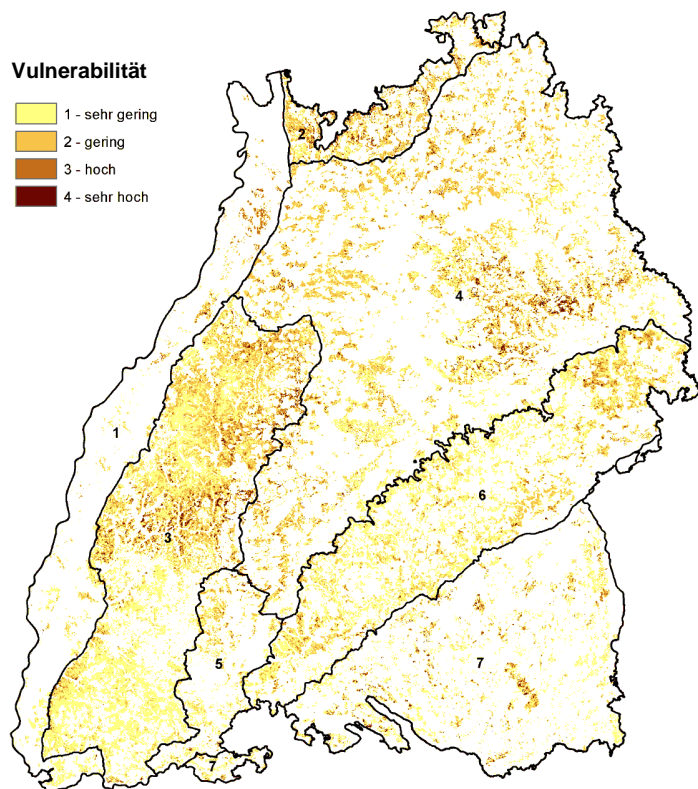


Abb. 36: Landesweite Vulnerabilität für den Gesamtwald. Dargestellt sind nur Flächen, in denen eine der Hauptbaumarten Fichte, Buche, Tanne und Traubeneiche bestandesprägend ist. Die Ziffern bezeichnen die Wuchsgebiete: 1: Oberrheinisches Tiefland, 2: Odenwald, 3: Schwarzwald, 4: Neckarland, 5: Baar-Wutach, 6: Schwäbische Alb, 7: Südwestdeutsches Alpenvorland.

Vulnerabilitätskarte

Die Vulnerabilitätskarte zeigt auf, wie stark heutige Waldbestände durch klimawandeltypische Mortalitätsrisiken gefährdet sind. Für die Kartendarstellung wurde mit Hilfe eines multikriteriellen Verfahrens ein Vulnerabilitätswert berechnet, der die Gesamtgefährdung durch gleichzeitige Bewertung der einzelnen klimawandelbedingten Teilrisiken bewertet (CULLMANN 2019, NIELSEN und JENSEN 2009). Die berücksichtigten Teilrisiken sind Sturmschadensrisiko, Buchdruckerisiko bei Fichte, Trockenstress und Artverbreitung (Baumartenvorkommen). Die Vulnerabilitätskarte ist zur Unterstützung der kurz- und mittelfristigen Waldbauplanung (1 bis 10 Jahre) gedacht. Sie identifiziert die aktuell besonders gefährdeten Bereiche, in denen

Tab. 3: Flächenbelegung der Vulnerabilitätsklassen der Hauptbaumarten und deren waldbauliche Bewertung

Klasse	Name	Bewertung	betroffene Fläche in %	betroffene Fläche in ha
4	sehr hoch	umgehend umbaudringlich	5,0	42.673
3	hoch	mittelfristig umbaudringlich	9,0	77.698
2	gering	wenig vulnerabel, Baumartenanteile sukzessive zugunsten besser geeigneter Baumarten reduzieren	41,5	356.360
1	sehr gering	nicht vulnerabel	44,5	382.959
			berurteilte Gesamtfläche	859.690

zielgerichtete Anpassungsmaßnahmen wie beispielsweise Verjüngungsplanungen vordringlich ansetzen sollten. Die Karte stellt dazu die Vulnerabilität in vier Klassen von sehr gering bis sehr hoch dar (Abb. 36). In Ergänzung zur Betrachtung der möglichen Anbaueignung von Baumarten in der Baumarteneignungskarte (s.u.) liefert die Vulnerabilitätskarte eine konkrete Gefährdungsbeurteilung der derzeit existierenden Bestände. Die Vulnerabilitätskarte wurde in einer Horizontalauflösung von 250 m erstellt und bezieht sich auf die heute aktuellen klimatischen Verhältnisse.

Ergebnisse: Vulnerabilität der heutigen Waldbestände

Die Vulnerabilitätskarte weist für die heutigen Bestände regionale Schwerpunkte mit besonders hoher Gefährdung im mittleren Schwarzwald, im nördlichen Oberrhein, im Odenwald sowie im Schwäbisch-Fränkischen Wald auf (Abb. 36). Zerstreut sind hohe Vulnerabilitäten auch auf der Schwäbischen Alb und im Südwestdeutschen Alpenvorland zu finden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Darstellung baumartenübergreifend ist und damit eine schnelle landesweite Übersicht über besondere Schwerpunkte für die vier berücksichtigten Hauptbaumarten zusammenfasst. Wälder, die in die höchste Vulnerabilitätsklasse 4 eingestuft wurden, bilden vorrangig Ansatzpunkte für

Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Hier kommen ein oder gleichzeitig mehrere Risikofaktoren so stark zum Tragen, dass die dort aktuell prägende Hauptbaumart als instabil bis hochgradig störungsanfällig einzustufen ist (Tab. 3). Dies trifft auf ca. fünf Prozent (ca. 42.700 Hektar) der beurteilten Waldfläche zu. Hier besteht dringender Handlungsbedarf für einen zügigen Umbau der Flächen in klimastabilere Bestände.

Wälder, die in die zweithöchste Vulnerabilitätsklasse 3 eingestuft wurden (neun Prozent der beurteilten Waldfläche bzw. ca. 77.700 Hektar), sollten zwar mittelfristig ebenso angepasst bzw. umgebaut werden. Aufgrund der etwas geringeren Vulnerabilität ist hier der Handlungsbedarf jedoch noch nicht ganz so akut. Insgesamt 86 Prozent der beurteilten Waldfläche wurden in die Vulnerabilitätsstufen 1 und 2 eingestuft, das bedeutet, dass auf diesen Flächen nur eine geringe bzw. sehr geringe aktuelle Gefährdung vorliegt und kein dringender Handlungsbedarf besteht.

Baumarteneignungskarten

Die Baumarteneignungskarten wurden in einer Horizontalauflösung von 62,5 m erstellt. Diese feine räumliche Auflösung stammt aus der Rasterisierung der Standortkartierung, die als Anfangszustand in die Dynamisierung der Eignungsbeurteilung einfließt. Die

Tab. 4: Klimaszenarien des 5. IPCC-Sachstandsberichts der Vereinten Nationen (UN)








Bezeichnung	RCP 4.5	RCP 8.5
Treibhausgaskonzentration im Jahre 2100	650 ppm CO ₂ -äq	1370 ppm CO ₂ -äq
Strahlungsantrieb 1850 bis 2100	4,5 W/m ²	8,5 W/m ²
Anstieg der globalen Mitteltemperatur bis zum Jahr 2100 (im Vgl. zum vorindustriellen Zustand)	2,6 °C	4,8 °C
klimatische Einstufung	mittel	sehr hoch

klimawandelbedingten Veränderungen der Standortskriterien wurden überwiegend mit einer räumlichen Auflösung von 250 m modelliert und für die mittlere (2021 bis 2050) und ferne Zukunft (2071 bis 2100) und für die Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 erstellt. Diese aktuellen Szenarien des Weltklimarats (IPCC 2013) stellen die mögliche Klimaentwicklung unter verschiedenen Annahmen zur globalen Entwicklung dar (Tab. 4). Das Szenario 8.5 bezeichnet dabei eine anthropogene Erhöhung des Strahlungsantriebs im Vergleich zum vorindustriellen Zeitraum um 8,5 Wm⁻² und ist das extremste und pessimistischste Szenario, welches zum aktuellen Stand jedoch auch als das

realistischste Szenario gelten muss. Dagegen wird in Szenario 4.5 angenommen, dass spätestens Mitte des 21. Jahrhunderts die Erhöhung des Strahlungsantriebs bei 4,5 Wm⁻² stagniert (IPCC 2013).

Die Baumarteneignungskarten sind klimadynamisch konzipiert und stufen damit die vier betrachteten Baumarten hinsichtlich ihrer forstlichen Anbaueignung unter sich ändernden Klimabedingungen ein. Sie wurden erstellt als waldbauliche Entscheidungshilfe für die Baumartenwahl und dienen damit der langfristigen Waldentwicklungsplanung (> 10 Jahre). Im Sinne einer Potentialbetrachtung wird hierbei die langfristige potentielle Eignung einer Baumart auf den verschiedenen Standorten überprüft. Die Karten eignen sich daher für Baumartenvergleiche quasi „auf der grünen Wiese“ – die aktuelle Bestockungssituation bleibt dabei unberücksichtigt. Die Kombination aus herkömmlicher Standortkartierung und modellbasierter Einschätzung der klimadynamischen Eignungskriterien liefert im Endergebnis die Einschätzung der Baumarteneignung im Klimawandel, unter Berücksichtigung waldbaulicher und standortkundlicher Erfahrungen. Die Darstellung der klimadynamischen Baumarteneignung erfolgt in Ampelfarben, abgestuft in sieben Klassen von geeignet bis ungeeignet (Tab. 5). Die Klassenbildung fügt sich damit nahtlos in das baden-württembergische Verfahren zur Beurteilung der Baumarteneignung der Forstlichen Standortkartierung ein (ALDINGER und MICHELS

Tab. 5: Stufen der Baumarteneignung und die waldbauliche Bewertung der vier Hauptstufen

Eignungsstufe	Waldbauliche Bewertung
 geeignet	keine standortsbedingten Einschränkungen für Anbau und Bewirtschaftung der Baumart
 geeignet bis möglich	Zwischenstufe
 möglich	Bewirtschaftung als führende Baumart ist unter Beachtung von Einschränkungen möglich
 möglich bis wenig geeignet	Zwischenstufe
 wenig geeignet	Baumart nur als Beimischung mit einem Anteil von nicht mehr als 20 bis 30 Prozent
 wenig geeignet bis ungeeignet	Zwischenstufe
 ungeeignet	Baumart sollte allenfalls einzeln beigemischt werden oder als Zeitmischung vorhanden sein

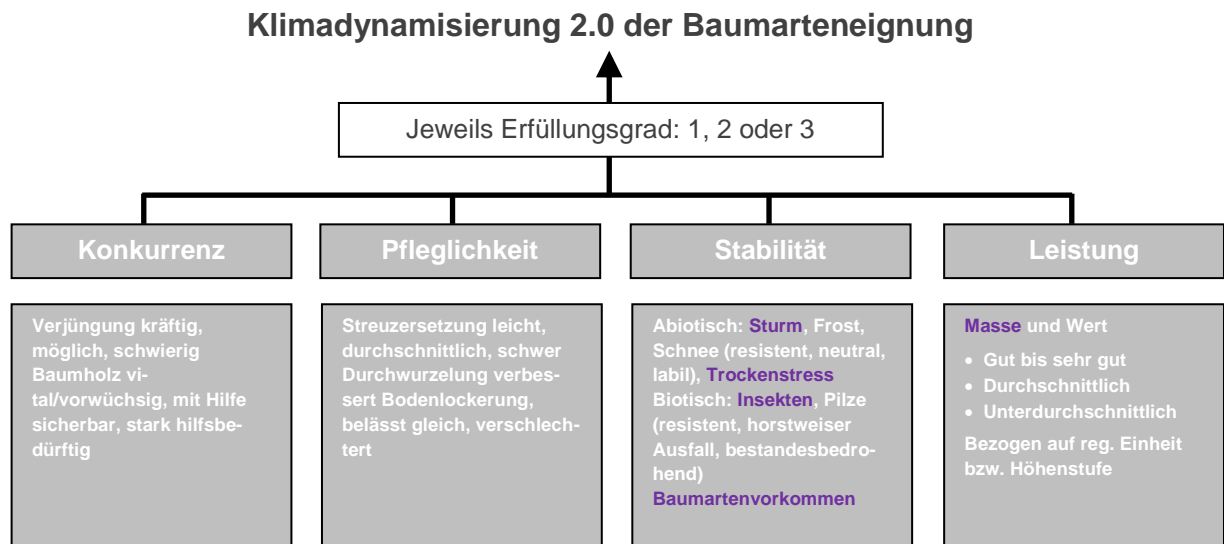


Abb. 37: Schema der dynamisierten Einschätzung der Baumarteneignung im Klimawandel. Farblich violett hervorgehobene Teilkriterien werden im weiterentwickelten Verfahren nun klimadynamisch abgebildet. Alle anderen Teilkriterien entstammen dem bisher etablierten Verfahren zur Beurteilung der Baumarteneignung nach ALDINGER und MICHIELS (1997)

1997). Die vier Hauptstufen der Klassifizierung werden für praktische Zwecke in der Forsteinrichtung und Waldbauplanung interpretiert. So wird ab Eignungsstufe „möglich bis wenig geeignet“ und schlechter die Verwendung einer Baumart als führende Baumart nicht mehr empfohlen. Mehr Informationen zur Klassifikation und waldbaulichen Bewertung sind unter MICHIELS (2011) und HANEWINKEL et al. (2014) einsehbar.

Die Bewertung der aktuellen Ausgangssituation beruht auf den statischen Einstufungen der forstlichen Standortkartierung. Die bezüglich Klimawandel dynamisierten Eignungskriterien beinhalten die modellbasiert abgeschätzten Veränderungen von Baumartenvorkommen, Bodenwasserhaushalt, Insekten, Sturmrisiko sowie Wuchsleistung. Bei den Insekten wurde das Buchdruckerrisiko stellvertretend für mögliche andere Insektenarten berechnet, deren Risiken derzeit noch nicht modellbasiert abgeschätzt werden können. Abbildung 37 zeigt, wie diese Eignungskriterien in die dynamisierte Gesamtbeurteilung einfließen. Die einzelnen Beurteilungskriterien wurden expertenbasiert mit Hilfe von Entscheidungsbäumen zu einer konsolidierten Gesamtbeurteilung zusammengeführt.

Ergebnisse: Zukünftige Anbaueignung der Hauptbaumarten

Exemplarisch sind in Abbildung 38 die Baumarteneignungskarten für das RCP-Szenario 8.5 und für die ferne Zukunft (2071 bis 2100) dargestellt. Bei der Buche sind auch in der fernen Zukunft die mittleren Eignungsstufen (gelbliche und hellgrüne Farbtöne) prägend (Abb. 38 links oben). Allerdings fallen regional Bereiche mit für die Buche ungeeigneten Flächen (rote Farbgebung) auf. Dies betrifft insbesondere das Oberrheintal, die Baar-Wutach, den Schwäbisch-Fränkischen Wald und Teile des Südwestdeutschen Alpenvorlands. Die Eiche wird im Vergleich zur Buche insgesamt ungünstiger beurteilt. Für die Eiche ungeeignete Flächen sind vor allem im Schwarzwald, dem Schwäbisch-Fränkischen Wald und an der Südostgrenze der Schwäbischen Alb lokalisiert.

Die ungünstige Eignung der Eiche ist darin begründet, dass sie unter den derzeitigen Bedingungen eine gegenüber der Buche vergleichsweise schlechte Konkurrenzkraft aufweist. Die mit dem Klimawandel mögliche Verschiebung der Konkurrenzkraft zwischen beiden Baumarten zugunsten der Eiche konnte im aktuellen Modellansatz jedoch noch nicht berücksichtigt werden.

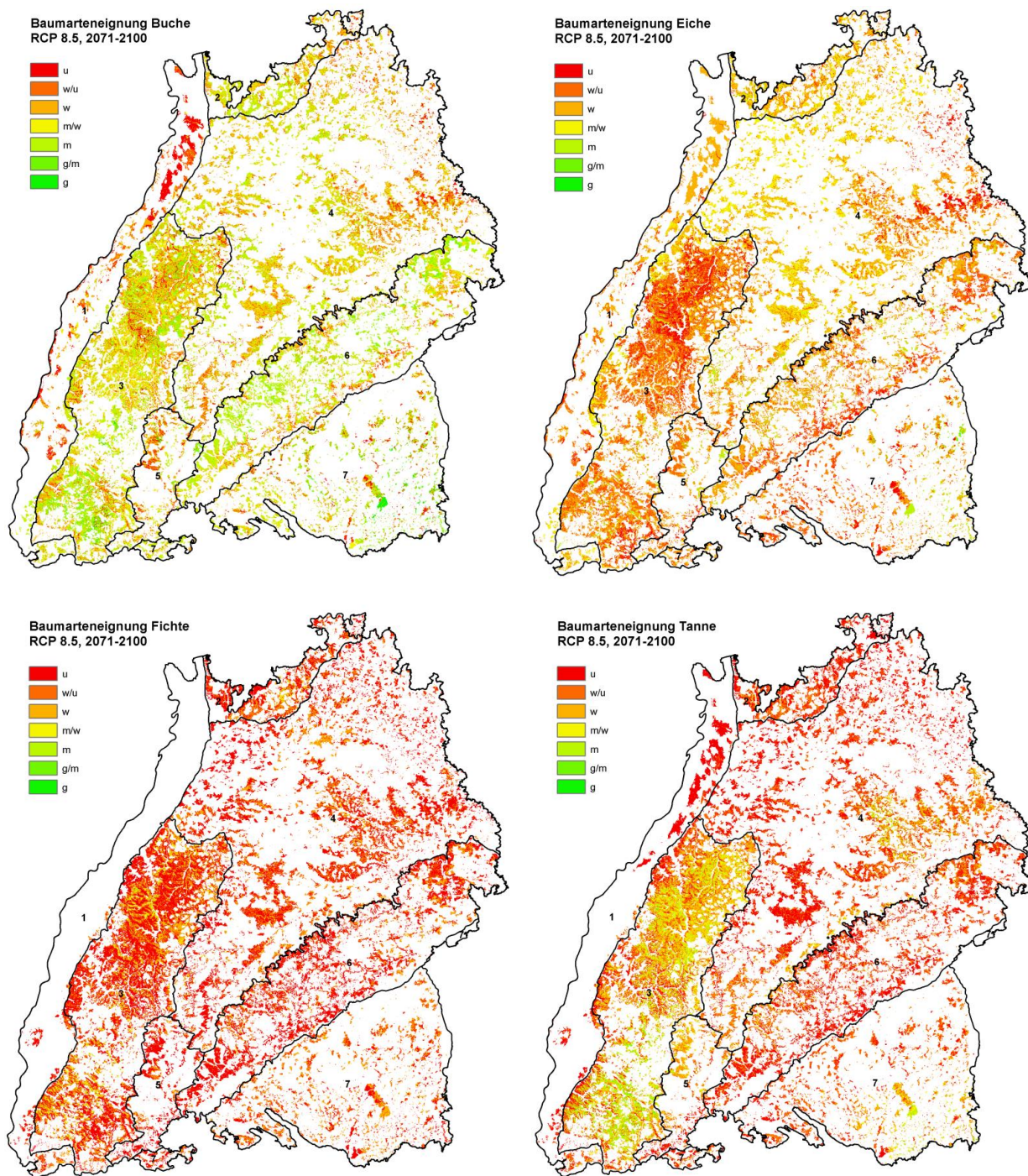


Abb. 38: Baumarteneignungskarten für die vier beurteilten Baumarten und das RCP-Szenario 8.5 für die ferne Zukunft (Bezugszeitraum "Ende des 21. Jahrhunderts"). Die Eignungsstufen entsprechen Tabelle 5. Die Ziffern bezeichnen die Wuchsgebiete: 1: Oberrheinisches Tiefland, 2: Odenwald, 3: Schwarzwald, 4: Neckarland, 5: Baar-Wutach, 6: Schwäbische Alb, 7: Südwestdeutsches Alpenvorland

Im Vergleich zu den Laubbaumarten fällt die Eignungsbeurteilung der Nadelbaumarten insgesamt deutlich schlechter aus. Bei Fichte werden in der fernen Zukunft (RCP 8.5) selbst die mittleren Eignungsstufen so rar, dass die Baumart bei diesem Szenario landesweit als führende Baumart ausfallen und nur noch als Einzel- oder Zeitmischung sinnvoll planbar sein wird. Auch die Tanne erscheint nach dieser Betrachtung selbst im Schwarzwald, im Schwäbisch-Fränkischen Wald und in Teilen des südwestdeutschen Alpenvorlands nur noch in geringem Umfang als führende Baumart geeignet.

In der Gesamtbilanzierung für Baden-Württemberg (Abb. 39) zeigen sich für alle Baumarten deutlich abnehmende Flächenanteile der günstigen Eignungsstufen „geeignet“ bis „möglich“. Betrachtet man die Eignung im RCP-Szenario 8.5 für die ferne Zukunft bis zum Jahr 2100, so ist die Planung von Buche als führender Baumart noch auf ca. 35 Prozent der Fläche möglich. Bei Eiche und Tanne liegt dieser Wert unter zehn Prozent, bei Fichte unter einem Prozent.

Ausblick

Sowohl die Einstufung der aktuellen Vulnerabilität als auch der potentiellen Baumarteneignung unter sich ändernden Klimabedingungen liefern eindeutige Botschaften:

- Die Wälder sind bereits heute so stark vom Klimawandel betroffen, dass in den besonders vulnerablen Bereichen Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden müssen. Die Vulnerabilitätskarten sind hierfür ein geeigneter Wegweiser und verorten die am stärksten betroffenen Waldflächen. Sie legen kurz- bis mittelfristig prioritären Anpassungsbedarf auf über 120.000 ha Fläche nahe.
- Bei allen vier beurteilten Hauptbaumarten ist mittel- bis langfristig grundsätzlich eine deutliche Verschlechterung der Anbaueignung zu konstatieren. Dies ist ein klarer Hinweis darauf, dass hinsichtlich der Baumartenzusammensetzung der Wälder im Südwesten erhebliche Veränderungen zu erwarten sind.

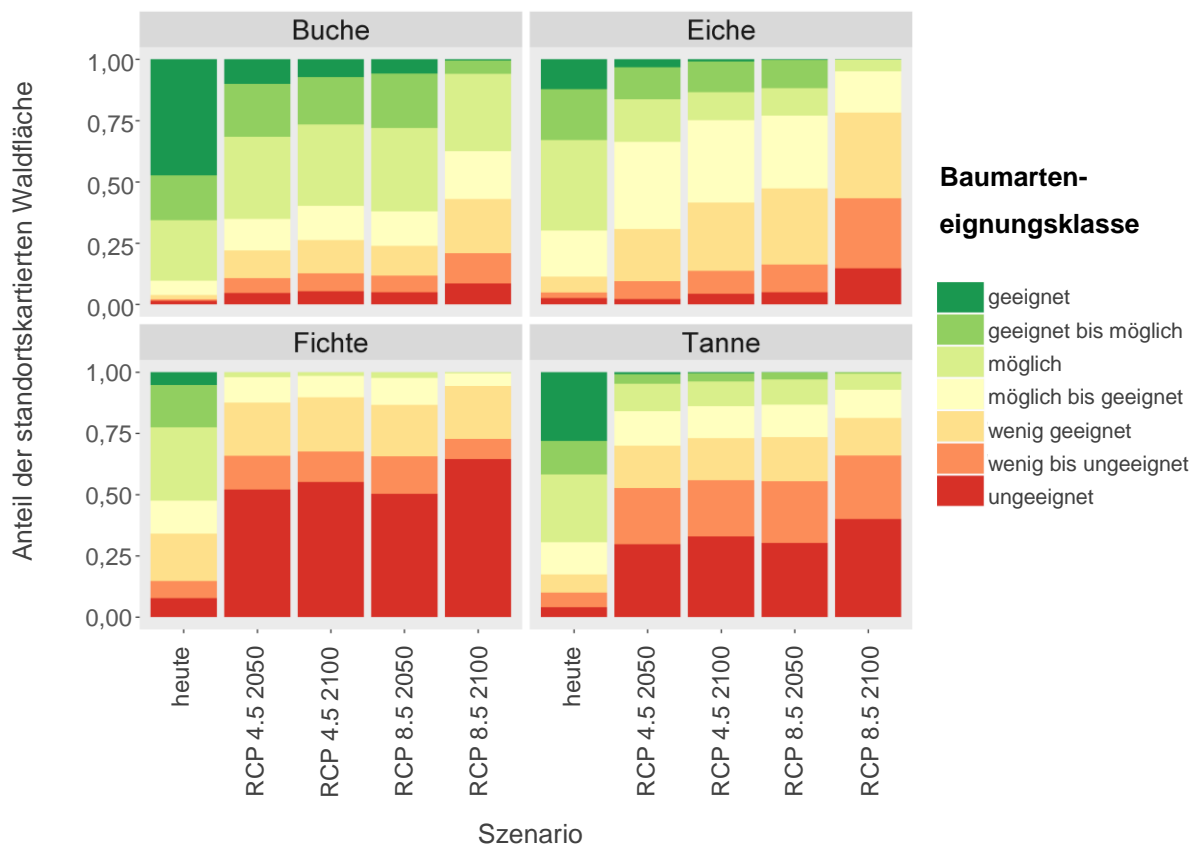


Abb. 39: Gesamtbilanzierung der Baumarteneignung, bezogen auf die standortskartierte Fläche der jeweiligen Baumart. Die Säulengrafiken zeigen je Baumart ausgehend vom heutigen Zustand die Veränderungen zu zwei RCP-Szenarien und zwei Bezugszeiträumen

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten an der FVA sind Fragen nach der Anpassungsfähigkeit von Baumarten und Waldökosystemen sowie nach geeigneten Anpassungsstrategien. Ziel ist es, Wissensgrundlagen zu schaffen, um Wälder und Forstbetriebe zukunftsfester zu machen und um die vielfältigen Ökosystemleistungen auch in Zukunft bereitstellen zu können. Hierfür stehen detaillierte Karten zur Vulnerabilität und Baumarteneignung für ganz Baden-Württemberg zur Verfügung.

Nähere Infos: <http://klimakarten.fva-bw.de/>

Mehr als deutlich ergeben sich diese Folgerungen aus dem RCP-Szenario 8.5, dessen Eintreten bei Beibehaltung der aktuellen Entwicklungen wahrscheinlich ist. Realistischer Weise sind auch unter Szenario 4.5 entsprechende Folgen zu erwarten, wenn auch in leicht abgeschwächter Form. Insbesondere die Buche fände dann noch etwas günstigere Bedingungen vor. Ergebnis aller Szenarien ist allerdings, dass selbst die baden-württembergischen Charakterbaumarten Buche und Tanne in bewirtschafteten Wäldern gegen Ende des 21. Jahrhunderts keine so dominierende Rolle wie bislang mehr einnehmen können.

Die Eignungsbeurteilung anderer als der vier hier dargestellten Baumarten ist unterschiedlich weit vorangeschritten. Auf der Grundlage langjähriger Forschung und Anbauerfahrung liegen positive Einschätzungen für einige Alternativbaumarten, z.B. für die Douglasie, die Roteiche oder die Schwarzkiefer, vor. Allerdings sind diese Einschätzungen hinsichtlich der klimatischen Eignung nicht so verlässlich wie für die vier Hauptbaumarten, da bislang keine Artverbreitungsmodelle für diese Arten angefertigt wurden.

Systematische Anbauerfahrungen für viele weitere potentiell klimaanpassungsfähige Baumarten gibt es kaum. Für insgesamt 25 heimische und nicht-heimische mögliche Alternativbaumarten wurde deshalb die zukünftige Anbaueignung in einem ersten Schritt anhand eines literaturbasierten Vergleichs beurteilt in Form von Artensteckbriefen durch die FVA veröffentlicht (DE AVILA und ALBRECHT, 2018). Mit Hilfe einer multikriteriellen Analyse wurden die betrachteten Arten in eine Rangfolge möglicher Eignung unter Klimawandel gebracht. Obwohl diese Rangfolge nur eine erste, noch nicht standortsdifferenzierte Grobeinschätzung der allgemeinen Eignung darstellt, erscheinen prinzipiell die Arten Tulpenbaum, Baumhasel, Edelkastanie, Hainbuche und Sandbirke aussichtsreiche Baumarten für weitere Forschungsarbeiten (ALBRECHT und DE AVILA, 2019). Etwas abgestuft, aber immer noch aussichtsreich in ihrer Eignung sind die Elsbeere, die Japanische Lärche und die Robinie.

Für die verlässlichere und standortsspezifische Identifizierung zukunftsfähiger Baumarten stehen noch viele Forschungsarbeiten aus: Zunächst sollten noch deutlich mehr Arten untersucht werden. Des Weiteren sollte die einzelbaumweise Anpassungsfähigkeit unserer heutigen Hauptbaumarten stärker und systematisch untersucht werden. Und schließlich ist das Anpassungspotential durch Verwendung geeigneter Herkünfte für viele Arten noch nicht ausreichend geklärt.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Belastung der Wälder durch Dürre und Hitze

Nachdem bereits das Jahr 2018 durch eine sehr heiße und trockene Witterung gekennzeichnet war, wurden auch während der Sommermonate 2019 ausgesprochen hohe Lufttemperaturen gemessen. Deutschlandweit war der Sommer 2019 der drittwärmste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881. Lediglich in den Jahren 2003 und 2018 war es im Bundesdurchschnitt noch etwas wärmer. In Baden-Württemberg erreichten die Temperaturen zwar nicht die Höchstwerte anderer Bundesländer, allerdings lag die Durchschnittstemperatur mit 18,9 Grad Celsius auch hier deutlich über dem langjährigen Mittel. Zudem war der Sommer 2019 landesweit wieder zu trocken, obgleich in Baden-Württemberg bundesweit noch die höchsten Niederschlagsmengen zu verzeichnen waren. Nach der extremen Dürreperiode des Jahres 2018 mit zehn aufeinanderfolgenden Monaten, in denen unterdurchschnittlich wenig Niederschlag fiel, führte das erneut auftretende Wasserdefizit im Sommer 2019 zu einer erheblichen Belastung der Waldbestände in Baden-Württemberg.

Zunehmende Kronenverlichtung bei allen Hauptbaumarten

Der Waldzustand in Baden-Württemberg ist im Jahr 2019 weiterhin stark angespannt. Nach der extremen Hitze und Dürre des Vorjahres, die zu einer weitgehenden Austrocknung vieler Waldböden und zu starken Schäden an den Bäumen führte, zeigten sich auch im Jahr 2019 erhebliche Schäden in den Wäldern. Häufig bildeten die Bäume in diesem Frühjahr auffällig kleine Nadeln bzw. Blätter aus. Als typische Symptome von Trockenstress wurden bei den diesjährigen Aufnahmen außerdem vielerorts eine frühzeitige Verfärbung bzw. ein frühzeitiger Abwurf der Nadeln bzw. Blätter, insbesondere bei Buche und Hainbuche, aber auch bei Fichte festgestellt. Nicht selten wurde auch ein erhöhter Anteil an trockenen Zweigen und Ästen

innerhalb der Baumkronen beobachtet. Die mittlere Kronenverlichtung der Wälder Baden-Württembergs stieg mit 27,5 Prozent auf den bisherigen Höchststand der gesamten Aufnahmeperiode seit 1985. Gegenüber der bereits im Vorjahr angestiegenen Kronenverlichtung bedeutet dies eine weitere Erhöhung um 2,6 Prozentpunkte. Insgesamt gelten damit aktuell 43 Prozent der Waldfläche Baden-Württembergs als deutlich geschädigt.

Die hohe Belastung der Wälder durch die extreme Witterungssituation der vergangenen beiden Jahre zeigt sich im Kronenzustand aller Hauptbaumarten. Die mittlere Kronenverlichtung der Fichte erhöht sich dieses Jahr im Vergleich zum Vorjahr um 3,0 Prozentpunkte auf 24,2 Prozent. Neben reinen Trockenstresssymptomen, die sich negativ auf den Benadelungsgrad der Fichte auswirken, wird der Kronenzustand der Fichte durch den massiven Borkenkäferbefall beeinflusst. Das trifft in diesem Jahr ebenso auf die Tanne zu, die als vergleichsweise tiefwurzelnende Baumart im vergangenen Trockenjahr 2018 noch deutlich weniger beeinträchtigt war als die flachwurzelnende Fichte. Nach dem relativ unveränderten Kronenzustand im Vorjahr zeigt die Tanne 2019 einen Anstieg der mittleren Kronenverlichtung um 4,4 Prozentpunkte auf 23,5 Prozent. Für die Kiefer erweisen sich vor allem die trockenen und sandig-kiesigen Standorte der Oberrheinebene zunehmend als problematisch. Hier kommt es zu sehr starken Kronenschäden und flächigem Ausfall. Landesweit erhöht sich die mittlere Kronenverlichtung der Kiefer um 4,1 Prozentpunkte auf 31,4 Prozent. Auch bei der Buche ist in diesem Sommer erneut eine Verschlechterung des Kronenzustandes zu beobachten, nachdem die Buche bereits im letzten Jahr durch intensive Fruchtausbildung und Trockenstress stark belastet war. Der mittlere Blattverlust erhöht sich gegenüber dem Vorjahr um 2,6 Prozentpunkte auf 32,6 Prozent. Insbesondere auf flachgründigen Standorten war oftmals ein Absterben der Oberkrone und im Extremfall ein Absterben ganzer Buchengruppen zu beobachten. Bei der Eiche führte starker Blattfraß regional zu deutlich erhöhten Blattverlusten und zu einer zusätz-

lichen Belastung der Bäume. Vor allem in den nördlichen Landesteilen wurden z.T. erhebliche Schäden durch verschiedene Schmetterlingsraupen festgestellt. Zudem ist die Eiche trotz ihres kräftigen und tiefreichenden Wurzelwerks nicht vor Trockenstress gefeit. 2019 erhöht sich die mittlere Kronenverlichtung der Eiche um 3,8 Prozentpunkte auf 34,0 Prozent. Die Baumart Esche steht weiterhin unter besonderer Beobachtung, da sie seit etwa zehn Jahren massiv durch den pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens geschädigt wird. Mittlerweile hat sich der Erreger landesweit verbreitet und bringt zahlreiche Eschenbestände zum Absterben, so dass die Mortalitätsrate der Esche weiterhin sehr hoch ist. Infolge der sehr trockenen Witterung der letzten Jahre kam es allerdings nur zu einer geringen Neuinfektion der Blätter, so dass sich die mittlere Kronenverlichtung der Eschen aktuell um 3,5 Prozentpunkte auf 40,9 Prozent verringert. Dies sollte jedoch nicht über die weiterhin hohe Gefährdung der Esche hinwegtäuschen.

Borkenkäferalarm

Die extremen Witterungsverhältnisse der letzten Jahre haben alle Waldbaumarten in ihrer Vitalität beeinträchtigt. Besonders besorgniserregend sind die aktuellen Entwicklungen aber bei den Nadelbaumarten. Aufgrund von Borkenkäferbefall sind in den Trockenjahren 2018 und 2019 enorme Schadholzmengen bei der Fichte angefallen. Die Erfahrungen aus dem „Jahrhundertssommer“ 2003 und den Folgejahren lassen erhöhte Schadholzmengen auch in den nächsten Jahren erwarten. Die diesjährige Borkenkäferentwicklung wurde begünstigt durch die sehr guten Vermehrungsbedingungen für den Borkenkäfer im zurückliegenden Jahr, die guten Überlebenschancen im milden Winter 2018/19 sowie die vergleichsweise große Menge an geeignetem Brutraum infolge von Schnee- und Windbruch. Die kühl-feuchte Witterung in der ersten Maihälfte dieses Jahres bremste zwar kurzzeitig die Entwicklung, jedoch stieg der Schädlingsdruck auf die Waldbestände durch die ausgesprochen warm-trockene Sommerwitterung innerhalb kürzester Zeit rasant an. Landesweit wurden Fichtenbestände von den Borkenkäferarten Buchdrucker und Kupferstecher massiv befallen und stark geschädigt. Daneben trat zudem

vermehrter Käferbefall an der Tanne durch den Kleinen und Krummzahnigen Tannenborkenkäfer auf. Besonders im Schwarzwald und im Schwäbisch-Fränkischen Wald sind häufig die rotscheinenden, von Käfer befallenen Tannen zu sehen. Auch bei der Tanne lassen die bisherigen Käferholzmengen des laufenden Jahres eine Steigerung der Schadholzmenge im Vergleich zum Vorjahr erwarten.

Gefährdung und zukünftige Anbaueignung der Hauptbaumarten

Durch die FVA wurden in diesem Jahr neue Karten zur Beurteilung der Vulnerabilität (Verletzlichkeit, Gefährdung) und der Anbaueignung der Hauptbaumarten Baden-Württembergs veröffentlicht. Mit diesen Karten steht Waldbewirtschaftenden eine umfassende Informationsgrundlage zur aktuellen und zukünftigen Gefährdung der Wälder durch den Klimawandel zur Verfügung, auf deren Basis Anpassungsmaßnahmen für konkrete Waldbestände geplant und priorisiert werden können. Für die Berechnung der in den Karten dargestellten Gefährdungs- bzw. der Eignungsstufen wurden verschiedene klimawandelbezogene Kriterien und Risiken, wie z.B. Trockenstress, Sturmschadensrisiko, Borkenkäferisiko bei der Fichte und Baumartenvorkommen, in einem multikriteriellen Verfahren berücksichtigt.

Die Vulnerabilitätskarte zeigt kleinflächig die Gefährdung der Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Buche und Traubeneiche für die aktuell existierenden Waldbestände und unter den derzeitigen klimatischen Bedingungen. Die Ausweisung besonders stark gefährdeter Wälder in den Karten unterstützt die kurz- und mittelfristige Waldbauplanung, so dass Umbau- und weitere Anpassungsmaßnahmen fokussiert und vordringlich in diesen Beständen durchgeführt werden können. Besondere Gefährdungsschwerpunkte zeigen sich im Mittleren Schwarzwald, in der nördlichen Oberrheinebene, im Odenwald und im Schwäbisch-Fränkischen Wald. Auf ca. 42.700 Hektar der beurteilten Waldfläche ist die jeweils prägende Hauptbaumart als instabil bis hochgradig störungsanfällig zu beurteilen, weshalb hier dringlich mit waldbaulichen Umbaumaßnahmen begonnen werden muss.

Die Baumarteneignungskarten zeigen die zukünftige Anbaueignung der derzeitigen Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Buche und Traubeneiche unter Annahme verschiedener Klimaszenarien (RCP 4.5: mittlere Einstufung, mit mäßigem Temperaturanstieg; RCP 8.5: sehr hohe Einstufung, mit extremem Temperaturanstieg). Sie sollen Waldbesitzenden eine waldbauliche Entscheidungshilfe geben, auf deren Grundlage eine langfristige Waldentwicklungsplanung möglich ist.

Die Ergebnisse zeigen für beide betrachteten Klimaszenarien drastische Änderungen in den Anbaubedingungen der aktuell bestandsbildenden Hauptbaumarten, dies bereits auch in der nahen Zukunft. Naturgemäß am drastischsten fallen die Ergebnisse für das Szenario RCP 8.5 und die ferne Zukunft (2071 bis 2100) aus. Für die Buche sind hier die mittleren Eignungsstufen prägend. Allerdings zeigen sich auch ungeeignete Bereiche im Oberrheintal, im Wuchsgebiet Baar-Wutach, im Schwäbisch-Fränkischen Wald und in Teilen des Alpenvorlandes. Für die Eiche ergeben sich ebenfalls regionale Schwerpunkte, in denen die Anbaueignung stark zurückgeht. Dies sind vor allem Flächen im Schwarzwald, dem Schwäbisch-Fränkischen Wald und an der Südostgrenze der Schwäbischen Alb. Die zukünftige Eignung der Nadelbaumarten ist im Vergleich zu den Laubbaumarten als ungleich schlechter zu bewerten. Die Fichte wird landesweit als bestandesprägende Baumart ausfallen und nur noch als Einzel- oder Zeitmischung sinnvoll planbar sein. Die Tanne ist zukünftig lediglich im Schwarzwald und im Schwäbisch-Fränkischen Wald, und dort nur noch in geringem Umfang, als führende Baumart geeignet.

Die Ergebnisse der Baumarteneignung zeigen für alle berücksichtigten Klimaszenarien, dass selbst für die baden-württembergischen Charakterbaumarten Buche und Tanne die Bedeutung in bewirtschafteten Wäldern bis zum Jahr 2100 deutlich abnehmen wird.

Vulnerabilitäts- und Baumarteneignungskarten ergänzen sich in einer sinnvollen Art und Weise. Mit Hilfe der Vulnerabilitätskarte werden die derzeit am stärksten gefährdeten Waldgebiete identifiziert, an denen Anpassungsmaßnahmen bzw. Waldumbau vordringlich durchgeführt werden müssen. Die Beurteilung der Anbaueignung mit Hilfe der Baumarteneignungskarten

ist dabei eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die zu treffende Baumartenwahl.

Belastung der Wälder durch Säure- und Stickstoffeinträge

Unter dem Eindruck der extremen Witterungssituation der jüngsten Vergangenheit, der großflächig zu beobachtenden trockenheits- und borkenkäferbedingten Waldschäden und der daraus resultierenden akuten Handlungsnotwendigkeit darf nicht vergessen werden, dass neben den klimatischen Stressoren weitere Belastungen auf unsere Wälder einwirken. Die „Versauerungsalast“ in den Waldböden aus den Zeiten des Sauren Regens sowie die anhaltend hohen Stickstoffeinträge in die Wälder stellen neben dem Klimawandel ein weiteres Gefährdungspotential für die Waldgesundheit dar.

Als direkte Folge der Säureinträge zeigten vor allem Tannen, aber auch andere Baumarten, zu Beginn der 1980er Jahre starke Kronenverlichtungen und ausgeprägte, hauptsächlich durch akuten Magnesiummangel verursachte Vergilbungserscheinungen. Während die Kronenverlichtung der meisten Baumarten seit etwa 20 Jahren aufgrund klimatischer Veränderungen angestiegen ist, nahm der Grad der Nadel- bzw. Blattvergilbungen ab. Dies ist eine direkte positive Wirkung der drastischen Reduktion der Schwefelemissionen und der Säureinträge seit Mitte der 1980er Jahre. Die langanhaltend über den Speicher- und Pufferkapazitäten der Wälder liegenden Säureinträge führten jedoch zu einer tiefreichenden Versauerung der Waldböden und schädigten die Waldökosysteme nachhaltig. Langfristig angelegte Untersuchungen zur Bodenschutzkalkung bei Ochsenhausen (Oberschwaben) belegen die positive Wirkung der Kalkung anthropogen versauerter Standorte. Neben einer Erholung des bodenchemischen Bodenzustandes zeigt sich dies in der Reaktivierung der Bodenlebewesen und nicht zuletzt in einem verbesserten Ernährungsstatus der untersuchten Fichten. Auch wenn die Säureinträge durch Schwefelverbindungen erfreulicher Weise inzwischen wieder ein vorindustrielles Niveau erreicht haben, so stellen die anhaltend hohen Stickstoffeinträge eine zunehmende Gefahr für die Waldgesundheit

dar. In weiten Teilen des Landes liegen die aktuellen Stickstoffeinträge über der ökologischen Belastungsgrenze der Wälder. Die Folgen sind einerseits eine fortschreitende Bodenversauerung, die einen entsprechenden Verlust an (basischen) Nährstoffkationen mit sich bringt. Andererseits bergen erhöhte Stickstoffeinträge die Gefahr der Eutrophierung der Waldökosysteme, mit Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung von Wäldern, aber auch auf die Biodiversität von Wäldern. Stickstoffliebende Arten breiten sich verstärkt aus, während stickstoffmeidende und oftmals bereits gefährdete Arten zunehmend verschwinden. Waldbäume profitieren zwar in der Regel zunächst von einem besseren Stickstoffangebot. Bei anhaltend hohen Stickstoffeinträgen können sich jedoch Nährstoffungleichgewichte in der Baumernährung einstellen, wenn andere essentielle Nährelemente nicht in ähnlichem Maße wie Stickstoff zur Verfügung stehen. Dieses Problem stellt sich insbesondere in anthropogen stark versauerten Böden dar, deren Nährstoffvorräte stark abgenommen haben. Hohe Stickstoffeinträge verstärken zudem die Anfälligkeit der Bäume gegenüber Krankheiten und Schädlingen.

Fazit

Die Waldzustandserhebung führt in diesem Jahr zum wiederholten Male vor Augen, welche Veränderungen in unseren Wäldern als Folge des Klimawandels zu erwarten sind. Seit Jahren hohe und diesjährig nochmals deutlich angestiegene Kronenverlichtungsgrade sowie trockenheitsbedingte und biotische Schäden bei allen Hauptbaumarten zeigen, dass die Wälder bereits heute auf die Klimaveränderungen reagieren. Um zukünftig großflächige Schädigungen infolge der Klimaänderung und der Häufung von Witterungsextremen möglichst zu vermeiden, sind mittel- und langfristige Anpassungsmaßnahmen zur Risikominimierung erforderlich. Diese umfassen vordergründig den Waldumbau in Richtung Mischwälder (Risikostreuung), den verstärkten Anbau heimischer, standortangepasster Laubbaumarten, die standortgerechte Naturverjüngung und auch die besondere Berücksichtigung bereits eingeführter Baumarten (u.a. Douglasie, Japanische Lärche, Schwarzkiefer, Roteiche). Insbesondere der Frage, welche Baumarten in einem zukünftigen Klima

noch für eine nutzungsorientierte Bewirtschaftung geeignet sind, hat sich die FVA in den vergangenen Jahren intensiv gewidmet. Vielversprechende Baumarten wie der Tulpenbaum, die Baumhasel, die Edelkastanie, die Sandbirke oder die Hainbuche sollen in nächster Zeit intensiver im Hinblick auf eine mögliche Anbauempfehlung untersucht werden.

Neben diesen mittel- bis langfristig wirksamen Anpassungsstrategien sind kurzfristig verstärkte Anstrengungen erforderlich, um die aktuelle Bedrohung der Fichtenbestände durch den Borkenkäfer einzudämmen. Vordringlich ist hierfür alles zu tun, um die Ausgangspopulation der Borkenkäfer für das nächste Jahr möglichst weit zu reduzieren. In den betroffenen Gebieten sollten in den nächsten Monaten alle erforderlichen Maßnahmen ergriffen werden, die eine Überwinterung der Jungkäfer in den befallenen Fichten verhindert. Dies beinhaltet eine intensive Kontrolle der Bestände und eine gezielte Aufarbeitung und Abfuhr aller mit Jungkäfern besetzten Stämme aus dem Wald. Ist eine rechtzeitige Abfuhr der befallenen Fichten nicht in erforderlicher Zeit möglich, muss zum Schutz des Waldes als letzte Möglichkeit auch ein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Erwägung gezogen werden.

Mit dem Klimawandel ändern sich die Standortbedingungen für unsere Wälder in einer bislang nicht gekannten Geschwindigkeit und hin zu einem Klima außerhalb unseres bisherigen Erfahrungshorizonts. Viele Fragen im Hinblick auf die natürliche Anpassungsfähigkeit der Wälder, die (regional und lokal) zu fokussierende Handlungsdringlichkeit oder das Potential einer durch Waldumbau gelenkten Anpassung können derzeit nicht abschließend beantwortet werden. Die Forschung der FVA wird deshalb auch in den kommenden Jahren einen Schwerpunkt in diesem Bereich haben. So sollen in einer vertiefenden Analyse die abiotischen und biotischen Ursachen in den aktuellen Schadensschwerpunkten aufgearbeitet sowie standortsspezifische Mortalitäts- und Baumarteneignungsmodelle auch von bislang weniger untersuchten Baumarten erstellt werden. Außerdem sollen neben den bislang im Fokus stehenden Auswirkungen auf die Produktionsfunktion von Wäldern auch die klimawandelbedingten Auswirkungen auf weitere Waldfunktionen (insbesondere Biodiversität, Kohlenstoffbindung, Trinkwasserschutz) eingeschätzt werden.

Die Terrestrische Waldschadensinventur ist Teil des umfassenden Forstlichen Umweltmonitorings und dient dabei als Frühwarnsystem, welches zeitnah Veränderungen in der Baumvitalität aufzeigt. Die seit Beginn der 1980er Jahre systematisch und ununterbrochen erhobenen und mit der Zeit deutlich erweiterten Daten des Forstlichen Umweltmonitorings dokumentieren umfassend den Zustand der Waldökosysteme, das standörtliche Klima sowie den Wasser- und Stoffhaushalt. Sie sind eine überaus wertvolle Datengrundlage, um Trends und Fehlentwicklungen erkennen und gegebenenfalls Anpassungsstrategien entwickeln zu können. Hierfür müssen auch potentielle Gefährdungen für Waldökosysteme, die in der aktuellen Klimawandeldebatte in den Hintergrund getreten sind, weiterhin intensiv beobachtet werden. Insbesondere die auf vielen Waldflächen infolge der Bodenversauerung weiterhin abnehmenden Nährstoffvorräte im Boden sowie die anhaltend hohen Stickstoffeinträge in die Wälder geben Anlass zur Sorge. Die aktuellen Trockenschäden und Kalamitäten machen auch vor den Messflächen des Forstlichen Umweltmonitorings nicht Halt. In den nächsten Jahren wird es darum gehen, die Messnetze so zu erhalten und weiter zu entwickeln, dass eine nahtlose Beobachtung der aktuell sehr dynamischen Umweltbedingungen und Reaktionen der Waldbestände gesichert und so die unerlässliche Datenbasis für notwendige Anpassungsstrategien weiter zur Verfügung stehen wird.

9 LITERATURVERZEICHNIS

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

Albrecht, A.T., de Avila, A.L., 2019. Ein Vorschlag zur literaturbasierten Ermittlung möglicher Alternativbaumarten im Klimawandel am Beispiel der Artensteckbriefe in Baden-Württemberg. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 189, S. 129-143.

Aldinger, E., Michiels, H.-G., 1997. Baumarteneignung in der forstlichen Standortskartierung Baden-Württemberg. AFZ/ Der Wald 5, S. 234-238.

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, S. 899-911.

Bobbink R, Hicks K., Galloway J., Spranger T., Alkemade R., Ashmore M., Bustamante M., Cinderby S., Davidson E., Dentener F., Emmet B., Erisman J-W., Fenn M., Gilliam F., Nordin A., Pardo L., de Vries W., 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. Ecological applications 20: 30-59.

Cullmann, D. 2019. Verfahren Multikriterieller Bewertungen - Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilitäten. FVA-Einblick: Wald im Klimawandel. K. v. Teuffel (Hrsg.). Freiburg, Eigenverlang. 2/2019: 15-19.

de Avila, A.L., Albrecht, A., 2018. Alternative Baumarten im Klimawandel: Artensteckbriefe – eine Stoffsammlung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 124 S.

DWD, 2019a. https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html (Stand: 15.10.2019)

DWD, 2019b. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html (Stand: 15.10.2019)

Hanewinkel, M., Cullmann, D.A., Michiels, H.-G., Kändler, G., 2014. Converting probabilistic tree species range shift projections into meaningful classes for management. Journal of Environmental Management 134, S. 153-165.

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.

IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Stocker, T., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. (Eds.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 1535 pp.

Michiels, H.-G., 2011. Abschlussbericht zur dynamischen Baumarteneignungsbeurteilung. FVA, Projektbericht, unveröffentlicht.

Nielsen, T. und F. Jensen 2009. Bayesian Networks and Decision Graphs. New York, Springer. 448 Seiten

Rubin, L., 2014. Die Wirkung unterschiedlicher Basenträger auf Bodenstruktur und Bodenfunktion. Bachelorarbeit im Fachbereich Bodenkunde, Studiengang Umweltnaturwissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 41 S.

Schöpp, W., Posch, M., Mylona, S., Johansson, M., 2003. Long-term development of acid deposition (1880-2030) in sensitive freshwater regions in Europe. Hydrology and Earth System Sciences 7 (4), S. 436-446.

Ulrich, B., 1991. Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Band 24, S. 204-210.

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

ANLAGEN

Anlage 1:

Aufgenommene Baumarten nach Altersgruppen der Waldschadensinventur 2019

Baumart	Anzahl Bäume <61 Jahre	Anzahl Bäume >60 Jahre	Anzahl Bäume insgesamt
Fichte	804	1.710	2.514
Tanne	146	720	866
Thuja	2	0	2
Douglasie	93	48	141
Kiefer	43	234	277
Schwarzkiefer	0	2	2
sonstige Kiefer	0	1	1
Lärche	26	100	126
Eiche	156	396	552
Roteiche	70	9	79
Nuss	1	1	2
Edelkastanie	9	4	13
Robinie	22	8	30
Birke	34	7	41
Buche	462	1.292	1.754
Hainbuche	47	35	82
Linde	27	26	53
Bergahorn	156	94	250
Spitzahorn	38	5	43
Feldahorn	2	4	6
Ulme	9	2	11
Kirsche	22	14	36
Esche	130	175	305
Aspe	4	1	5
Pappel	19	0	19
Roterle	29	12	41
Weiserle	9	0	9
Vogelbeere	35	4	39
Weide	7	0	7
Gesamt	2.402	4.904	7.306

Anlage 2:

Aufnahmedichte der Waldschadensinventur von 1985 bis 2019

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

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

Anlage 3:

Schadstufenverteilung in Prozent von 1985 bis 2019

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