Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

WALDZUSTANDSBERICHT

2020

Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM
UND VERBRAUCHERSCHUTZ

IMPRESSUM

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

Autoren:
Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung, Freiburg)
Heike Puhlmann (FVA)
Peter Hartmann (FVA)
Till Hallas (FVA)
Roland Hoch (FVA)
Nicole Augustin (University of Edinburgh, Großbritannien)

Kapitel 5:
Horst Delb (FVA)
Martin Burger (FVA)
Jörg Grüner (FVA)
Markus Kautz (FVA)
Dominik Wonsack (FVA)
Jan Wußler (FVA)

Kapitel 7:
Petra Adler (FVA)

Titelfoto:
Thomas Weidner (FVA)
Motiv: St. Wilhelmer Tal unterhalb des Feldbergs

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

Tel.: (07 61) 40 18 - 0
fva-bw@forst.bwl.de

Webseite:
www.fva-bw.de

ISSN: 1862-863X

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

SCAN ME

Klimaneutral
Druckprodukt
ClimatePartner.com/12777-2010-1001

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

VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

unsere Wälder leisten nicht nur einen Beitrag für den Klimaschutz, liefern den nachhaltigen Rohstoff Holz und dienen vielen Tieren und Pflanzen als Lebensraum. In Zeiten der Corona-Krise werden die Wälder Baden-Württembergs auch vermehrt von den Bürgerinnen und Bürgern als Rückzugs- und Erholungsort genutzt. Damit nehmen die Waldbesucherinnen und Waldbesucher natürlich auch den Zustand unserer Waldbäume wahr. Wir erleben das dritte Jahr in Folge mit extremer Witterung. Dies geht nicht spurlos an unseren Wäldern vorbei. Die Bäume geraten unter Trockenstress, da die Waldböden tiefgründig ausgetrocknet sind.

Der Kronenzustand hat den schlechtesten Wert seit Beginn der Erhebungen in den 1980er Jahren erreicht. So liegen die Nadel- und Blattverluste bei 28,2 Prozent gegenüber vollkommen gesunden Bäumen. Fast die Hälfte der Wälder Baden-Württembergs weist deutliche Schäden auf.

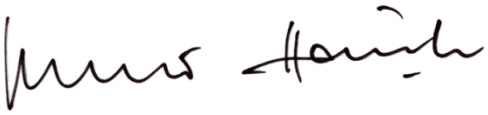
Die besorgniserregende Entwicklung zeigt sich besonders bei unserer häufigsten Baumart, der Fichte. Die Trockenheit und der Borkenkäferbefall setzen der flachwurzelnden Baumart weiter stark zu. Die Folgen sind eine erhöhte Mortalität und die stärksten bisher beobachteten Kronenverlichtungen. Ein Ende der Borkenkäferkalamität ist noch nicht in Sicht.

Dahingegen hat sich der Zustand der Tanne nach den starken Schäden in den 1980er und 90er Jahren stabilisiert mit weiterhin leicht positiven Tendenzen. Die Kronenverlichtung bleibt allerdings auf einem hohen Niveau. Dies zeigt die höhere Trockenheitstoleranz dieser Baumart gegenüber der Fichte an.

Der Zustand der Laubbäume ist differenziert zu bewerten. Die Blattverluste der Buchen und Eschen sind erneut gestiegen. Auf besonders trockenen Standorten haben die Buchen bereits im August vorzeitig ihr Laub abgeworfen. Lichtblicke mit deutlich verbesserten Kronenzuständen konnten für die Eiche nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse des Waldzustandsberichts bestätigen die Dringlichkeit des Handelns, um die Wälder widerstandsfähig für den Klimawandel zu machen. Daher gilt es auch weiterhin mit Hochdruck die beschlossenen Aktionsfelder aus dem Notfallplan umzusetzen und die Waldbesitzenden bei der Bewältigung dieser Zukunftsaufgabe zu unterstützen. Im Zuge der Erarbeitung der Waldstrategie für Baden-Württemberg werden darüber hinaus die in den nächsten Jahren notwendigen Maßnahmen herausgearbeitet, um unsere Wälder zukunftsfähig zu machen.

Stuttgart, im Oktober 2020



Peter Hauk MdL
Minister für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz

INHALT

1 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING 5

Methodischer Aufbau 6
Internationale Einbindung 7
Waldzustandserhebung 7
Qualitätssicherung 8
Durchführung der Waldzustandserhebung 2020 9

2 ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG 10

Mortalität 12
Ausgefallene Bäume 12
Vergilbung 13
Schadstufen 14
Fruktifikation 15
Hauptbaumarten 16
Sonstige Nadel- und Laubbaumarten 21
Regionale Verteilung 23

3 WITTERUNG 24

Temperatur und Niederschlag 24
Bodenfeuchte 26

4 WALDSCHUTZSITUATION 29

Schaderreger an Nadelbäumen 29
Schaderreger an Laubbäumen 32

5 STOFFEINTRÄGE 36

Verteilung der Stickstoffeinträge 37
Bodenversauerung und Regeneration durch Kalkung 38
Bisherige Durchführung der Waldkalkung 39
Wirkung der Waldkalkung 40

6 FERNERKUNDUNG 42

Luftbildbasierte Informationen zur Waldstruktur 42
Drohnenbefliegungen für Intensivbeobachtungsflächen 44
Großflächige satellitenbasierte Schadflächenerhebung 44
Satellitenbasierte Baumartenverteilungskarten 45
Schlussfolgerung und Ausblick 46

7 NOTFALLPLAN FÜR DEN WALD 47

8 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT 50

9 LITERATURVERZEICHNIS 54

ANLAGEN 56

1 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Das Forstliche Umweltmonitoring untersucht den Zustand der Wälder. Dabei werden Veränderungen des Waldökosystems auf einwirkende Umwelteinflüsse intensiv gemessen und dokumentiert, um daraus konkrete Handlungsempfehlungen für die forstliche Praxis und die forstliche Umweltpolitik abzuleiten.

Die mittlerweile seit über 30 Jahren betriebene Erhebung des Forstlichen Umweltmonitorings stellt dabei eine der wichtigsten Datengrundlagen zum Schutz der Wälder dar. Erste Versuchsflächen zur Untersuchung des Vitalitätszustandes der Wälder in Baden-Württemberg wurden bereits Ende der 1970er Jahre nach massiven Schadstoffimmissionen im Schwarzwald eingerichtet.

Kurze Zeit später erfolgten erste Erhebungen des Waldzustandes in Baden-Württemberg auf einem landesweiten Stichprobennetz. Mit den Jahren wurden auch die Versuchsflächen schrittweise ausgebaut und die zeitliche und räumliche Auflösung der Messungen deutlich erhöht.

Die Untersuchungsschwerpunkte des Forstlichen Umweltmonitorings umfassen heute Themen und Messgrößen, die sich zum einen auf den Waldbestand beziehen, wie z. B. Kronenzustand, Phänologie, Zuwachs und Ernährungssituation der Bäume. Zum anderen werden auch Standortsparameter der Wälder erfasst, wie z. B. Witterung, Stoffeinträge, Bodenzustand und Sickerwasser (Abb. 1).

Somit steht ein umfassendes Untersuchungsprogramm zur Verfügung, welches alle Umweltfaktoren, die Einfluss auf das Waldökosystem ausüben, mit geeigneter Genauigkeit erfasst und die Reaktion der Wälder detailliert dokumentiert.

Die Wälder Baden-Württembergs sind in den letzten Jahren aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels einer starken Gefährdung ausgesetzt. Anhaltende Dürre, extreme Hitze sowie gravierende Schäden durch Insekten und Pilze in Kombination mit Sturm-, Spätfrost- und Schneebruchschäden setzen den Wäldern massiv zu.

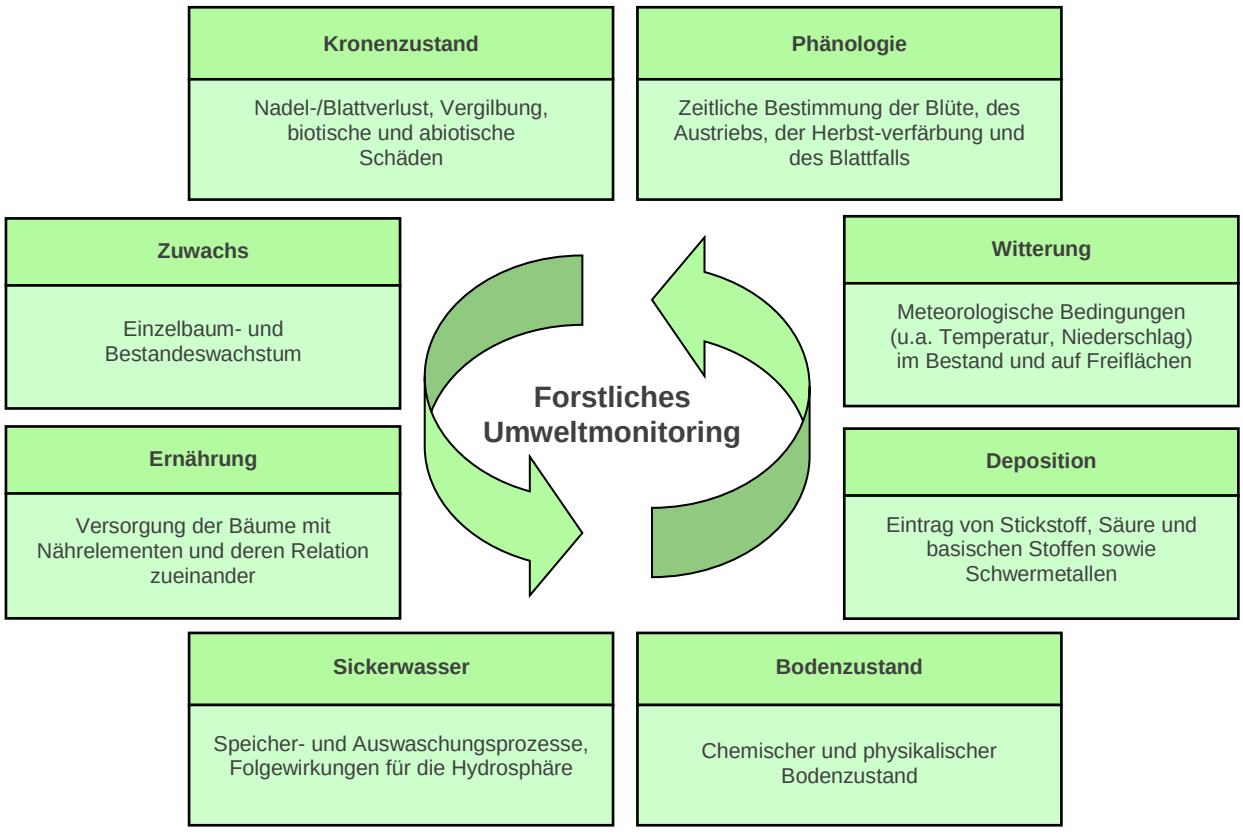


Abb. 1: *Themen und Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings*

Der Schutz der Wälder stellt eine große Herausforderung dar, bei der die vorhandenen Daten des Forstlichen Umweltmonitorings eine wichtige Grundlage für zukünftige Entscheidungen der Waldentwicklung darstellen. Darüber hinaus werden mit dem Schwerpunkt Klimafolgenforschung an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) weitere Untersuchungen auf den Versuchsflächen des Forstlichen Umweltmonitorings initiiert, welche zusätzlich neue Erkenntnisse liefern und Maßnahmen der Forstpraxis wissenschaftlich begleiten.

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 Raster (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 Waldzustandserhebung (WZE), die Bodenzustandserhebung (BZE) und die Immissionsökologische Waldernährungsinventur (IWE). Seit dem Jahr 2005 werden alle Erhebungen der Rasterstichproben auf dem 8x8 km-Netz sowie dem europaweiten 16x16 km-Netz durchgeführt, so dass integrierende Auswertungen zwischen den verschiedenen Erhebungen möglich sind.

Auf den Versuchsflächen werden viele verschiedene Umweltparameter mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung untersucht. Die geografische Lage der 50 x 50 Meter großen Versuchsflächen wird im Gegensatz zu den Rasterstichproben entsprechend dem Untersuchungsziel ausgewählt. Hierbei können der Standort, die Baumartenzusammensetzung oder die Verteilung der Versuchsflächen im Land ausschlaggebend für die Auswahl sein (Abb. 2, rechts).

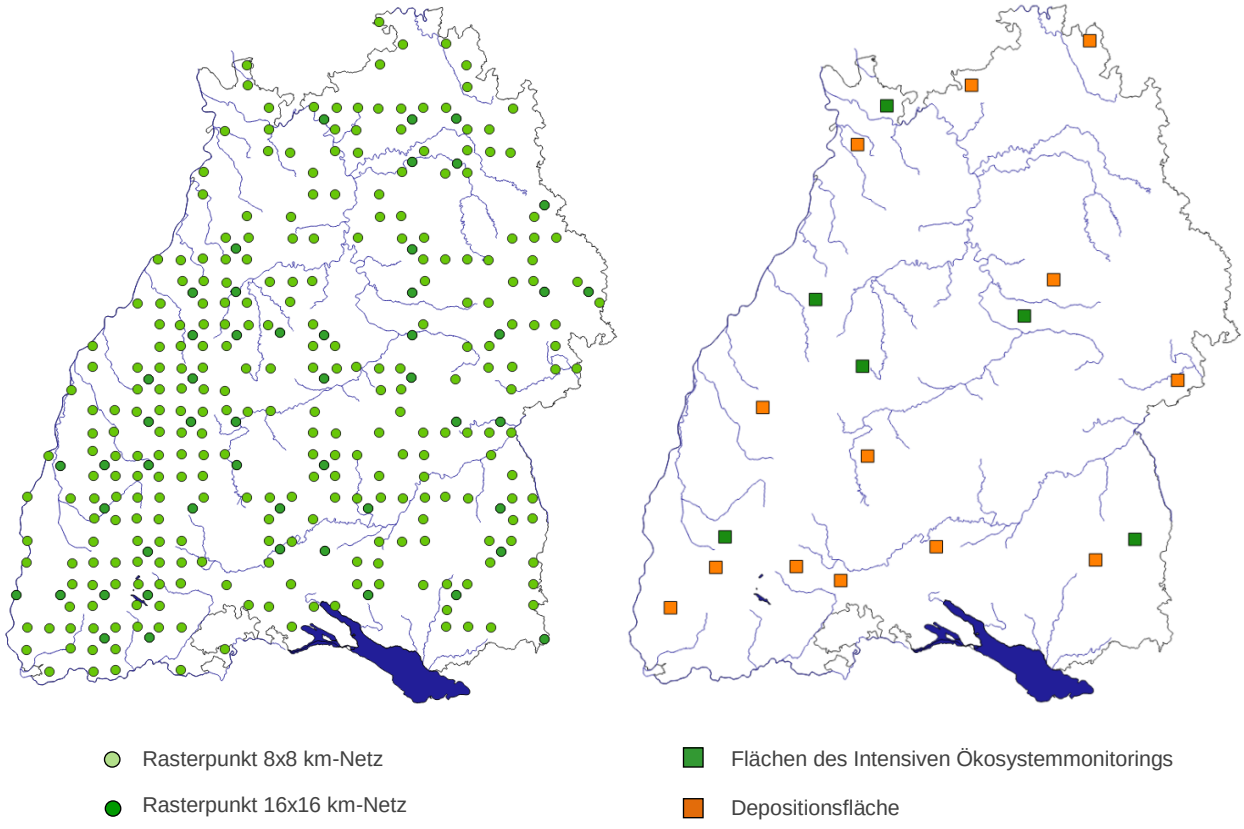


Abb. 2: *Räumliche Lage der Rasterstichproben (links) und der Versuchsflächen (rechts)*

Abb. 3: *Eichenkronen mit ansteigender Kronenverlichtung von links oben nach rechts unten: 5 Prozent, 25 Prozent, 50 Prozent und 90 Prozent Blattverlust (aus: AG KRONENZUSTAND 2007)*

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 Buchenstandort Bestandteil des europäischen Umweltmonitoring-Programms ICP-Forests (Level II). Somit stehen die Ergebnisse der Erhebungen in Baden-Württemberg auch für übergreifende Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

Waldzustandserhebung

Die Waldzustandserhebung (Projekttitel: Terrestrische Waldschadensinventur, TWI) untersucht den Vitalitätszustand der Wälder in Baden-Württemberg. An den Rasterpunkten wird der Kronenzustand zufällig ausgewählter Probebäume an permanent eingerichteten Kreuztrakten in einem Zwei-Personen-Verfahren erhoben. Ein Kreuztrakt besteht in der Regel aus vier räumlich angeordneten Sechs-Baum-Stichproben, so dass insgesamt an jedem Stichprobenpunkt 24 Bäume aufgenommen werden können (Abb. 4). Alle Bäume sind dabei für eine jährliche Ansprache derselben Baumindividuen dauerhaft markiert. Sind zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung Bäume ausgefallen, d.h. nicht mehr stehend am Stichprobenpunkt vorhan-

den, z. B. durch forstliche Nutzung oder Windwurf, werden diese nach einem festgelegtem Verfahren durch Nachbarbäume ersetzt.

Hauptkriterium zur Beurteilung des Kronenzustandes sind der Nadel-/Blattverlust (NBV) und die Vergilbung der Bäume. Beide Merkmale werden in Fünf-Prozentstufen erhoben und anschließend zu Schadstufen verrechnet (Tab. 1). Zusätzlich werden im Rahmen einer differentialdiagnostischen Ansprache alle weiteren Baummerkmale, die den Kronenzustand beeinflussen können, aufgenommen. Hierunter fallen zum einen Schäden an Nadeln, Blättern oder Stamm, welche durch Insekten bzw. Pilze verursacht wurden. Zum anderen werden alle abiotischen Schäden am Baum, wie z. B. Trockenschäden oder Schadsymptome aufgrund mangelnder Nährstoffversorgung erfasst.

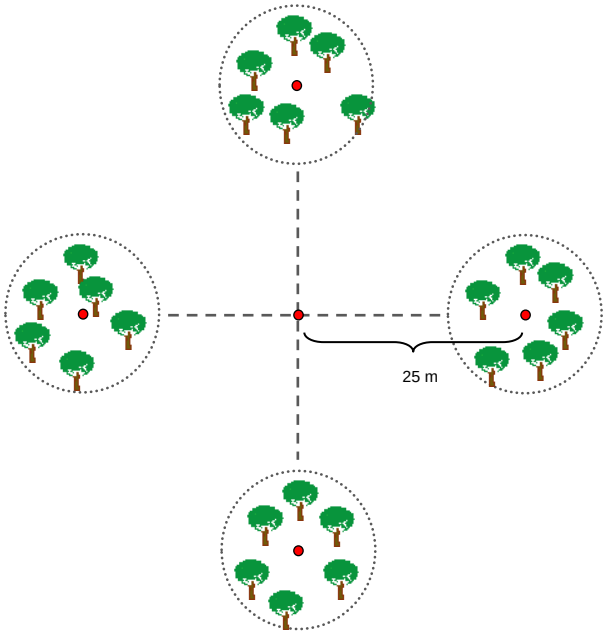


Abb. 4: *Schematischer Aufbau der Stichprobenpunkte der Waldzustandserhebung*

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-/Blatt-verlustklasse	Vergilbungsklasse			
	0	**1**	**2**	**3**
0	0	0	1	2
1	1	1	2	2
2	2	2	3	3
3	3	3	3	3
4	4			

Schadstufe 0:	ungeschädigt	
Schadstufe 1:	schw ach geschädigt	**Warnstufe**
Schadstufe 2:	mittelstark geschädigt	**deutlich geschädigt**
Schadstufe 3:	stark geschädigt	
Schadstufe 4:	abgestorben	

Qualitätssicherung

Eine hohe Datenqualität der Waldzustandserhebung wird in Baden-Württemberg durch zahlreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen gewährleistet. Jeweils vor den Außenaufnahmen der Waldzustandserhebung findet jährlich auf Bundesebene ein Abstimmungskurs der Länder-Inventurleitung statt, um eine einheitliche Ansprache des Kronenzustandes in Deutschland sicherzustellen. Im Anschluss werden die Aufnahmeteams Baden-Württembergs intensiv auf eigens dafür vorbereiten Schulungspfaden durch die FVA vorbereitet. Als Hilfestellung zur Einschätzung der Kronenverlichtung stehen den Aufnahmeteams zudem bundesweit abgestimmte Bilderserien zur Verfügung (Abb. 3). Eine intensive fachliche Begleitung der Außenaufnahmen und eine stichprobenartige Kontrolle der Aufnahmeteams tragen zudem zu einer Qualitätssicherung der Waldzustandsdaten bei.

Auf internationaler Ebene finden ebenfalls regelmäßig Kalibrierungskurse zur weiteren Abstimmung der Erhebungen statt. Zudem wurde im Jahr 2019 wiederholt ein Foto-Vergleichstest zur Waldzustands-

erhebung für Europa und Deutschland durchgeführt, dessen Ergebnisse die hohe Übereinstimmung in der Bewertung der Kronenansprache innerhalb Baden-Württembergs und im gesamten Bundesgebiet bestätigen (MEINING ET AL. 2020).

Durchführung der Waldzustandserhebung 2020

Die diesjährigen Außenaufnahmen zur Waldzustandserhebung fanden im Zeitraum vom 17. Juli bis 14. August statt. Von den insgesamt 330 Stichprobenpunkten des 8x8 km-Netzes konnten dieses Jahr 305 Punkte regulär aufgenommen werden. Ein Stichprobenpunkt wurde bereits im Vorfeld der Waldzustandserhebung aufgrund der Erweiterung eines Bestattungswaldes aufgegeben. An 24 Stichprobenpunkten ruht derzeit die Aufnahme, da nicht mehr genug Bäume in ausreichender Höhe zur Verfügung stehen. Allein in diesem Jahr mussten sieben Stichprobenpunkte aufgrund von Sturmschäden bzw. Borkenkäferbefall ruhend gesetzt werden. Sobald nachfolgende Bestände wieder eine mittlere Höhe von 60 cm erreicht haben, werden diese Stichprobenpunkte wieder in die Waldzustandserhebung aufgenommen.

Tab. 2: *Anzahl untersuchter Probebäume der Waldzustandserhebung 2020 nach Baumarten*

Anzahl/ Prozent	bis 60 Jahre	ab 61 Jahre	Gesamt	Gesamt (%)
Fichte	791	1.597	2.395	33,2 %
Tanne	146	697	845	11,8 %
Kiefer	45	231	276	3,8 %
sonstige Nadelbäume	121	147	268	3,7 %
Buche	457	1.325	1.786	24,8 %
Eiche	162	398	560	7,8 %
Esche	122	176	298	4,1 %
sonstige Laubbäume	544	232	776	10,8 %
Gesamt	**2.388**	**4.803**	**7.191**	**100 %**

Für die Waldzustandserhebung 2020 wurde der Kronenzustand von 7.191 Bäumen in Baden-Württemberg untersucht (Tab. 2). Gemäß den landesweiten Baumartenanteilen ist die Fichte am häufigsten in der Stichprobe vertreten. Dahinter folgen Buche, Tanne, Eiche, Esche und Kiefer. Alle anderen Baumarten werden aufgrund ihres geringeren Vorkommens zu den Baumartengruppen „sonstige Nadelbäume“ und „sonstige Laubbäume“ zusammengefasst. Da das Baumalter einen großen Einfluss auf den Kronenzustand der Bäume hat, werden die Ergebnisse der Waldzustandserhebung getrennt nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ ausgewertet. Bei der Waldzustandserhebung 2020 entfallen etwa ein Drittel aller untersuchten Bäume auf die Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und etwa zwei Drittel auf die Altersgruppe „ab 61 Jahre“.

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

2 ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG

Der Zustand der Wälder in Baden-Württemberg hat sich auch im Jahr 2020 weiter dramatisch verschlechtert. Nach den heißen und trockenen Sommern 2018 und 2019, in denen der Schädigungsgrad der Wälder bereits massiv angestiegen war, steigen die Waldschäden im aktuellen Jahr auf ein bisher nicht erreichtes Ausmaß. Ausgesprochen geringe Niederschläge und hohe Temperaturen führten dazu, dass die Waldböden, wie bereits in den vorangegangen Jahren, vielerorts bis in tiefreichende Bodenschichten austrockneten und die Waldbäume unter Trockenstress gerieten.

Landesweit sorgte das enorme Wasserdefizit, zusammen mit den Folgen der Trockenjahre 2018 und 2019, weitverbreitet für deutlich sichtbare Schäden in den Wäldern. Neben vielen abgestorbenen Bäumen wurde in den Wäldern häufig ein erhöhter Anteil an Trockenästen, eine frühzeitige Welke bzw. Blattverfärbung der Bäume sowie deutlich verkürzte Jahrestriebe beobachtet. Vor allem auf warm-trockenen Standorten, wie Südhängen und Kuppenlagen, leiden die Bäume unter der Trockenheit. Besonders große Schäden mit ausgesprochen viel Schadholz zeigen sich derzeit im Rheintal und im südlichen Schwarzwald.

Anhaltender Trockenstress macht die Wälder anfällig gegenüber Schadinsekten. Im besonderen Maße trifft dies auf den Borkenkäfer zu (Abb. 6). Ausgehend von einer hohen Populationszahl aus dem Jahr 2019 konnten sich vor allem Fichten- und Tannenborkenkäfer großflächig ausbreiten. Begünstigt wurde die schnelle Verbreitung zudem durch die geringe Ausfallrate der Käferlarven während des milden Winters 2019/2020, leicht zu besiedelndes Brutmaterial in Form von häufig kleinflächig angefallenem Sturmholz und die warm-trockene Frühjahrswitterung. Dies führte im Lauf des Sommers zu einem ausgesprochen hohen Befallsdruck und zu einer deutlich erhöhten Absterberate ganzer Fichtenbestände.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020 zeigen im dritten Jahr in Folge eine Verschlechterung des Kronenzustandes der Wälder in Baden-Württemberg. Die mittlere Kronenverlichtung steigt auf 28,2 Prozent (Abb. 5). Ein derart schlechter Zustand der Wälder Baden-Württembergs wurde seit Beginn der Waldzustandserhebung im Jahr 1985 bisher noch nicht festgestellt. Gegenüber dem Vorjahr erhöht sich der Schädigungsgrad somit um weitere 0,7 Prozentpunkte.

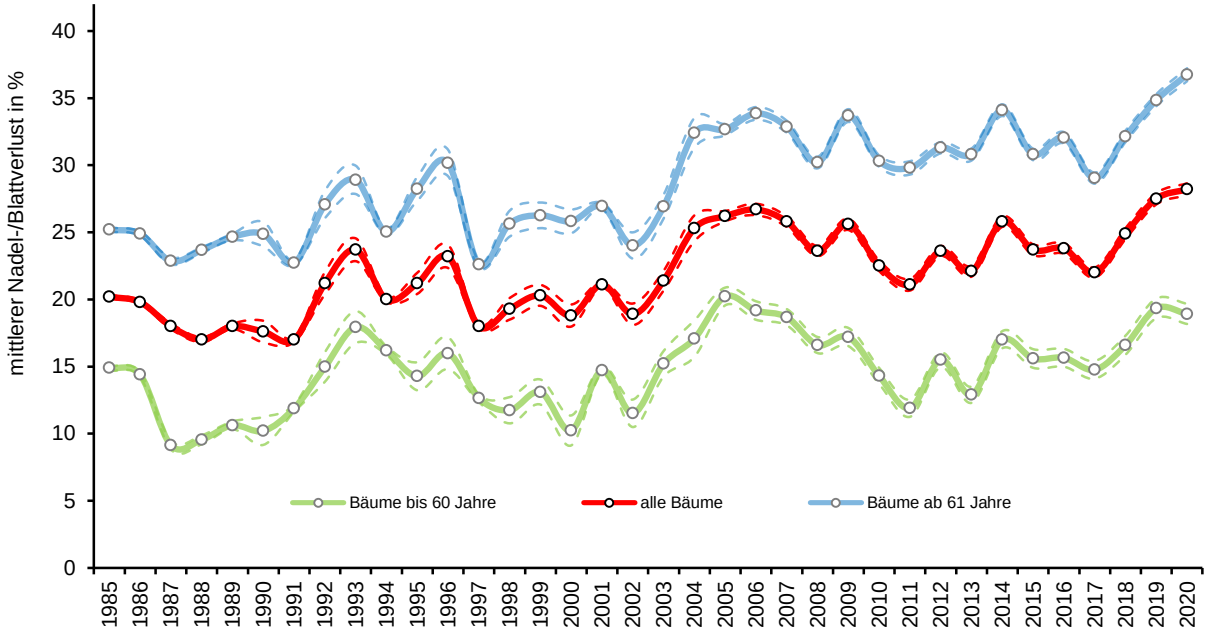


Abb. 5: *Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlusts aller Bäume und der Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“. Gestrichelte Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an.*

Abb. 6: *Frisch vom Borkenkäfer befallene Fichten im Südschwarzwald (Foto: S. Meining).*

Neben Trockenstress und Borkenkäferbefall liegt die Ursache hierfür auch in dem diesjährig außergewöhnlich starken Fruchtbehang der Buche, die in Jahren starker Fruktifikation deutlich kleinere Blätter, eine schlechtere Verzweigung und somit erheblich lichtere Baumkronen ausbildet. Zudem schreitet die Verbreitung verschiedener Pathogene weiter voran. So wird z. B. die Baumart Esche weiterhin durch den erst seit etwa 10 Jahren in Baden-Württemberg vorkommenden pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens sehr stark geschädigt. Zusätzlich verursachten abiotische Ereignisse, wie z. B. das Sturmtief „Sabine“ im Februar oder der Spätfrost Mitte Mai regional erhebliche Schäden in den Wäldern. Eine Abweichung vom allgemeinen Trend zeigt sich bei der Eiche, deren Kronenzustand sich im Vergleich zum Vorjahr aufgrund spürbar geringerer Schäden durch blattfressende Insekten bzw. des Mehltau-Pilzes landesweit verbessert hat.

Jüngere Bäume weisen im Durchschnitt geringere Kronenschäden auf, als dies bei älteren Bäumen der Fall ist. Langjährige Untersuchungen der Waldzustandserhebung zeigen einen deutlichen Anstieg der Kronenverlichtung der Bäume ab einem Alter von etwa 60 Jahren. Die mittlere Kronenverlichtung der beiden Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ verläuft über den gesamten Erhebungszeitraum weitgehend parallel, wobei die älteren Bäume durchweg eine höhere Kronenverlichtung aufweisen (Abb. 5). Im Jahr 2020 steigt die Kronenverlichtung der älteren Bäume vor allem aufgrund des stärkeren Borkenkäferbefalls in Fichten-Althölzern und des erhöhten Fruchtbehangs an Altbuchen stark an. Dagegen verringert sich die Kronenverlichtung der jüngeren Bäume aktuell gegenüber dem Vorjahr geringfügig, was dazu führt, dass der steile Anstieg des Nadel-/Blattverlusts aller Bäume der letzten beiden Jahre etwas abflacht.

Mortalität

Die Mortalitätsrate errechnet sich aus den Bäumen, die seit der letzten Erhebung abgestorben sind, jedoch noch am Stichprobenpunkt der Waldzustandserhebung stehen. Diese stehend toten Bäume erhalten 100 Prozent Nadel-/Blattverlust, werden als abgestorben klassifiziert (Schadstufe 4) und sind weiterhin Bestandteil der Stichprobe. In den vergangenen beiden Jahren ist der Anteil an stehend toten Bäumen in den Wäldern Baden-Württembergs stark angestiegen. Im Jahr 2020 wurden 0,67 Prozent aller aufgenommenen Bäume der Waldzustandserhebung als stehend abgestorben eingestuft (Abb. 7).

Damit liegt die aktuelle Mortalitätsrate in etwa gleichauf mit dem Vorjahreswert und somit erneut mehr als doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel der Jahre 2005 bis 2020. Dies ist vor allem auf die akute Schwächung der Wälder durch die extreme Hitze und Dürre und auf den damit einhergehenden hohen Befall durch Fichten- und Tannenborkenkäfer zurückzuführen. Zudem führt die fortschreitende Ausbreitung des Eschentriebsterbens zu einer hohen Mortalitätsrate.

Sanitäre Hiebsmaßnahmen werden für die verschiedenen Baumarten unterschiedlich vorgenommen, was den Anteil der stehend toten Bäume in den Aufnahmen der Waldzustandserhebung beeinflusst. So werden z. B. frisch von Borkenkäfer befallene Fichten und Tannen nach Möglichkeit schnell aus den Beständen entfernt, um eine weitere Ausbreitung der Käfer zu verhindern.

In einer tiefgreifenden Ursachenanalyse zur erhöhten Baummortalität in den Wäldern Baden-Württembergs sowie der kleinräumigen Ausprägung des Trockenstressrisikos werden derzeit von der FVA die Projekte „Y4DRY“ und „DynWHH“ im Rahmen des Notfallplans für den Wald bearbeitet. Die Modellierung des Standortswasserhaushalts und die Verknüpfung mit Schadmeldungen soll es ermöglichen, die standörtliche und baumartenspezifische Prädisposition für Trockenstress unter sich ändernden Klimabedingungen besser zu bewerten.

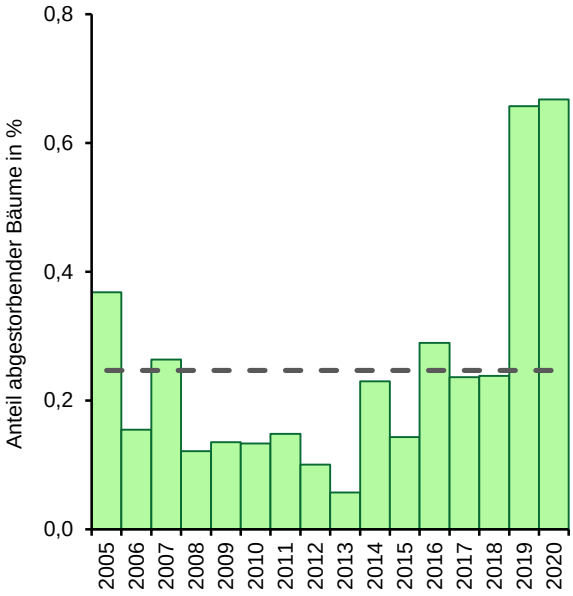


Abb. 7: *Entwicklung der Mortalitätsrate im Vergleich zum langjährigen Mittel (berechnet auf dem einheitlichen 8x8 km-Netz seit 2005)*

Ausgefallene Bäume

Im Rahmen der Waldzustandserhebung werden neben den stehend abgestorbenen Bäumen auch alle Bäume erfasst, die seit der letzten Erhebung aus dem Bestand entfernt worden sind. Diese Bäume sind nicht mehr Bestandteil der Stichprobe und werden nach Möglichkeit durch nächststehende Bäume am Stichprobenpunkt ersetzt. Wie bereits im Vorjahr zeigt sich eine deutliche Zunahme an Bäumen, die aus biotischen und abiotischen Gründen entnommen wurden. Dagegen ist der Anteil an Bäumen, die planmäßig genutzt wurden, im Jahr 2020 stark zurückgegangen. Entnahmen aufgrund einer biotischen Ursache (Insekten- bzw. Pilzbefall) sind insbesondere bei der Fichte zu verzeichnen. Zahlreiche frisch befallene Fichten wurden bereits vor der Waldzustandserhebung aus den Beständen entfernt, um eine weitere Ausbreitung der Borkenkäfer zu verhindern (Abb. 8). Zudem ist der Anteil an Eschen, die durch das Eschentriebsterben stark geschädigt sind und deshalb entnommen wurden, weiterhin sehr hoch. Im Februar 2020 sorgte zusätzlich das Sturmtief „Sabine“ vor allem im Schwarzwald, der Region Schwäbisch Hall und dem Bodenseeraum für massive Sturmschäden, was zu entsprechend hohen außerplanmäßigen Nutzungen führte.

Abb. 8: *Nach Borkenkäferbefall entnommene Probebäume der Waldzustandserhebung, bei denen kurioserweise die unteren Stammstücke mit Baumnummern belassen wurden (Foto: M. Mertz).*

Vergilbung

Die Vergilbung von Nadeln und Blättern ist seit Beginn der Waldzustandserhebung in Baden-Württemberg deutlich zurückgegangen. Zu Beginn der 1980er Jahre war eine Gelbfärbung der Nadeln insbesondere an Fichten und Tannen auf exponierten, oft höher gelegenen Standorten des Schwarzwaldes und des Odenwaldes noch weit verbreitet.

Eine Vergilbung tritt vorwiegend durch einen Mangel an dem Nährelement Magnesium auf, welches auf versauerten Böden den Bäumen oftmals nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Durch eine deutliche Reduktion der Luftschadstoffe konnte der Säureeintrag in die Wälder („saurer Regen“) in den letzten Jahrzehnten erheblich gesenkt werden. Zudem führten und führen forstliche Maßnahmen, wie z. B. Bodenschutzkalkungen auf stark anthropogen versau-

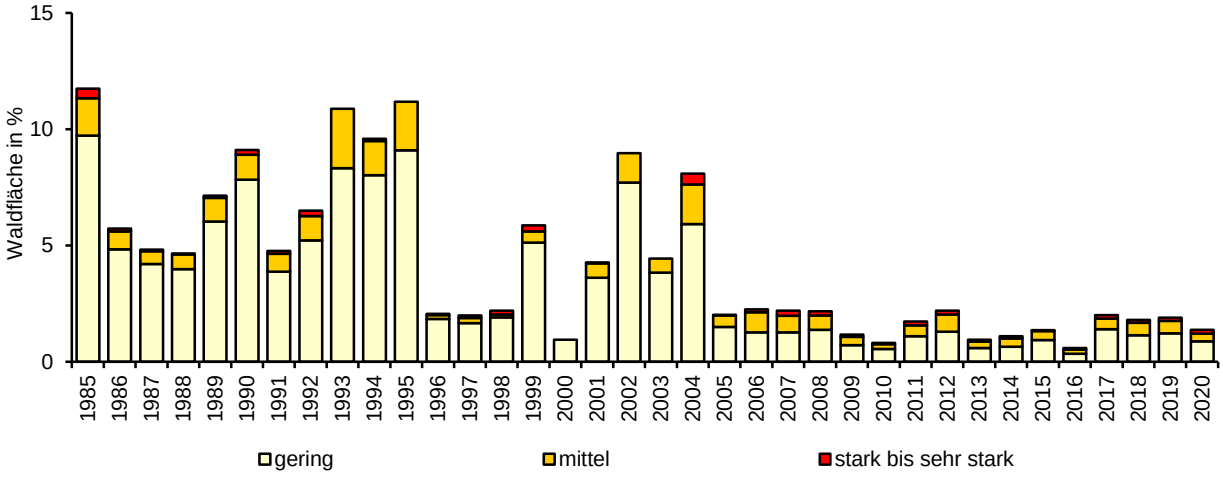


Abb. 9: *Anteil der vergilbten Waldfläche in Baden-Württemberg getrennt nach den Erhebungsstufen gering, mittel, stark bis sehr stark vergilbt*

erten Waldböden sowie der Waldumbau in Richtung stabiler Mischbestände, zu einer Verbesserung der Bodenqualität und einer dadurch verbesserten Nährstoffversorgung der Waldbäume.

Aktuell weisen nur noch 1,5 Prozent der Waldfläche in Baden-Württemberg Vergilbungserscheinungen auf (Abb. 9). Im Sommer 2020 wurde an einigen Laubbaumarten, wie Robinie, Hainbuche, Linde, Birke oder Buche eine vorzeitige Gelbfärbung der Blätter beobachtet, welche vor allem auf das hohe Wasserdefizit und den damit einhergehenden Nährstoffmangel auf zumeist flachgründigen Standorten zurückzuführen ist.

Die deutliche Abnahme der Vergilbungssymptome an Waldbäumen und die Reduzierung der Schadstoffdeposition der letzten Jahrzehnte sollten allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass viele Waldböden in Baden-Württemberg durch jahrelang hohen Schadstoffeintrag langfristig weiterhin stark versauert sind. Zudem liegt vielerorts der Stickstoffeintrag in die Wälder oberhalb der ökologischen Belastungsgrenze. Um eine vollständige Regeneration der Waldböden zu gewährleisten, sind weitere Maßnahmen, wie eine Reduktion der Stickstoffdeposition, Bodenschutzkalkungen sowie waldbauliche Maßnahmen zur verstärkten Begründung artenreicher Mischbestände, nötig.

Schadstufen

Aus der Kombination von „Nadel-/Blattverlust“ und „Vergilbung“ werden die Schadstufen berechnet, die einen schnellen, zusammenfassenden Überblick über den Zustand der Wälder geben (vgl. Tab. 1). Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020 zeigen einen erneuten Anstieg der deutlich geschädigten Waldfläche (Schadstufe 2 bis 4) auf nunmehr 46 Prozent (Abb. 10). In keinem anderen Jahr der bisherigen Aufnahmeperiode wurde eine derart hohe Schadensfläche erreicht. Dabei erhöht sich der Anteil an stark geschädigter bzw. abgestorbener Waldfläche (Schadstufe 3 bzw. 4) auf den bisherigen Höchststand

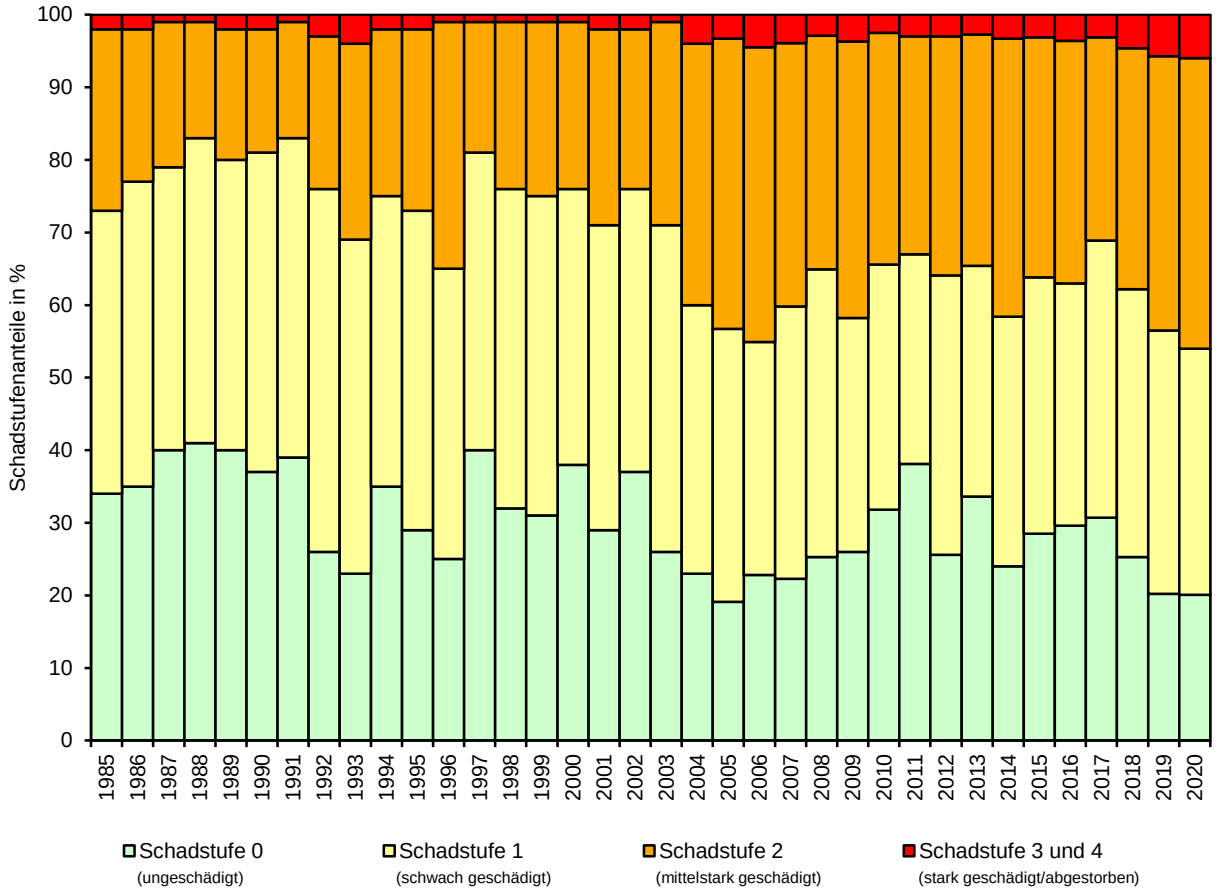


Abb. 10: *Schadstufenverteilung von 1985 bis 2020*

von 6 Prozent. 40 Prozent der Waldfläche gelten als mittelstark geschädigt (Schadstufe 2). Dagegen ist der Anteil an ungeschädigter Waldfläche (Schadstufe 0) mit 20 Prozent ausgesprochen niedrig. Lediglich im Jahr 2005 wurde ein noch geringerer Anteil an ungeschädigter Waldfläche in Baden-Württemberg festgestellt. Die Waldfläche mit schwach geschädigten Bäumen (Schadstufe 1) verringert sich gegenüber dem Vorjahr leicht auf 34 Prozent.

In der zeitlichen Entwicklung ist infolge des sehr heißen und trockenen Sommers 2003 eine merkliche und anhaltende Erhöhung der deutlich geschädigten Waldfläche zu erkennen. Seither wurden die vormals vergleichsweise geringen Flächenanteile an deutlich geschädigten Wäldern von unter 25 Prozent nicht wieder erreicht. Demgegenüber hat sich der Anteil an ungeschädigter Waldfläche in Baden-Württemberg in den letzten Jahrzehnten erheblich verringert.

Fruktifikation

Das Jahr 2020 ist geprägt durch eine starke Fruchtausbildung der Waldbäume (Abb. 11). Vor allem bei den Buchen ist dieses Jahr landesweit ein sehr starker Fruchtbehang erkennbar. Über 70 Prozent aller Buchen im blühfähigen Alter weisen stärkeren Behang von Bucheckern in der Baumkrone auf (Abb. 12, oben). Etwas geringer fällt der Anteil bei der Gruppe der sonstigen Laubbäume aus, in der vor allem die Baumarten Bergahorn und Linde stärker fruktifizieren. Eine mittlere Fruktifikationsintensität ist bei Fichten und Tannen sowie den sonstigen Nadelbäumen zu beobachten. Auch Eichen zeigen nur eine mittlere Fruktifikationsintensität, allerdings wird diese verfahrensbedingt meist unterschätzt, da die Eicheln erst im Verlauf des Sommers ausreifen und zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung Ende Juli in der Baumkrone oftmals kaum sichtbar sind. Bei Kiefern und Eschen ist im aktuellen Jahr ein eher geringerer Fruchtbehang festzustellen.

Anhand der Waldzustandsdaten ist für die meisten Baumarten eine deutliche Zunahme der Fruktifikationsintensität und Häufigkeit innerhalb der vergangenen 10 bis 15 Jahre erkennbar. Am Beispiel der Buche lässt

Abb. 11: *Stark fruktifizierender Buchenzweig (Foto: S. Meining)*

sich dies am besten aufzeigen, da für diese Baumart die längste Zeitreihe mit Daten seit 1991 vorliegt (Abb. 12, unten). Während in der ersten Hälfte der Beobachtungsperiode die Fruktifikation der Buchen deutlich geringer ausfällt und stärkere Fruktifikationsjahre (Mastjahre) in einem Abstand von vier bis fünf Jahren auftreten, ist ab ca. 2009 eine deutliche Änderung im Fruktifikationsgeschehen erkennbar: die Intensität der Fruktifikation nimmt auffallend zu und Mastjahre treten in sehr viel kürzeren Abständen von zwei bis drei Jahren auf.

Die Blüte der Waldbäume und damit die Ausbildung der Früchte werden maßgeblich durch den Witterungsverlauf bestimmt. Neuere Untersuchungen zu Fichte und Buche lassen darauf schließen, dass ein starker Fruchtbehang durch eine kühl-trockene Sommerwitterung zwei Jahre vor der Mast und einem warmen Sommer ein Jahr vor der Mast begünstigt wird (Nuss-

BAUMER ET AL. 2018). Zusätzlich kann die Fruktifikation durch hohe Stickstoffeinträge in die Wälder maßgeblich verstärkt werden (MATSCHKE 1982).

Häufige und intensive Mastjahre stellen für die Waldbäume eine hohe physiologische Belastung dar. Zur Ausbildung der Früchte, wie Bucheckern, Eicheln oder Zapfen, benötigen die Bäume eine große Menge an Energie- und Nährstoffreserven. Nach Umverteilungsprozessen stehen diese dem Baum oftmals für das vegetative Wachstum nicht mehr ausreichend zur Verfügung, weshalb weniger Blattmasse gebildet wird, die Seitenverzweigung abnimmt und letztlich auch das Dickenwachstum der Bäume reduziert ist. Insbesondere bei der Buche wirkt sich ein starker Fruchtbehang direkt auf den Kronenzustand aus. Stark fruktifizierende Buchen weisen eine bis zu 3-fach höhere Kronenverlichtung als Buchen mit geringer Fruktifikation auf (MEINING ET AL. 2018).

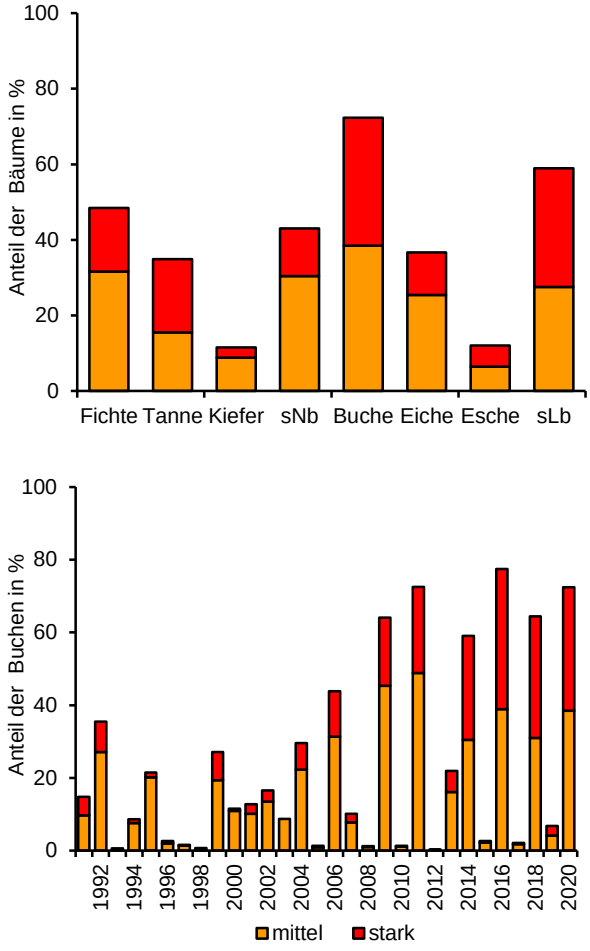


Abb. 12: *Fruktifikationsintensität der Baumarten im Jahr 2020 (oben) und die Entwicklung der Fruktifikationsintensität der Buchen von 1991 bis 2020 (unten)*

Hauptbaumarten

Der Kronenzustand der einzelnen Hauptbaumarten Baden-Württembergs hat sich seit Mitte der 1980er Jahre ganz unterschiedlich entwickelt. Zunächst traten erhöhte Schädigungen der Wälder vor allem auf stark immissionsbelasteten Standorten der Mittelgebirge auf. Besonders betroffen waren damals alle immergrünen Nadelbaumarten auf exponierten Standorten, da sie durch ihre ganzjährige Benadelung einer deutlich höheren Schadstoffbelastung ausgesetzt waren. Massive Schäden wurden insbesondere an der Baumart Tanne beobachtet, die sehr stark auf hohe Schwefeldioxidkonzentrationen in der Luft reagiert. Erst nach der drastischen Reduktion der Luftschadstoffe verringerten sich auch die Waldschäden. Seit Beginn der 2000er Jahre bestimmen erste Auswirkungen des Klimawandels, wie milde Winter, zunehmende Sommertemperaturen und häufigere Dürreperioden, zunehmend den Schädigungsgrad der Wälder. Ein auffälliger Anstieg der Kronenschäden bei nahezu allen Baumarten war die Folge. Die Kronenverlichtung liegt seitdem bei nahezu allen Baumarten meist über dem langjährigen Mittelwert. Als einzige Baumart zeigt die Tanne in den letzten Jahrzehnten eine anhaltende Verbesserung ihres Kronenzustandes.

Fichte

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung machen deutlich, wie anfällig die Fichte speziell in den tieferen und mittleren Höhenlagen gegenüber Trockenstress und damit gegenüber Borkenkäferbefall ist. Mit Dürreperioden und hohen Sommertemperaturen, wie sie aufgrund des Klimawandels häufiger auftreten, kommt sie nur schlecht zurecht. Mit ihrem eher flachgründigen Wurzelwerk ist es ihr nicht möglich, tiefere, eventuell noch wasserführende Bodenschichten zu erschließen. Die Fichte benötigt regelmäßige Niederschläge, ansonsten droht ihr akuter Trockenstress, der sich in diesem Sommer unmittelbar in einer stark erhöhten Mortalität und in einem schlechten Kronenzustand mit viel Trockenreisig, Kurznadeligkeit und/oder vorzeitigem Nadelabwurf zeigte. Der mittlere Nadelverlust der Fichten erhöht sich im Jahr 2020 um 1,6 Prozentpunkte auf 25,8 Prozent (Abb. 13). Damit erreicht das

Schadniveau der Fichte einen neuen Höchststand in der bisherigen Aufnahmeperiode der Waldzustandserhebung. Insgesamt gelten aktuell 40 Prozent der Fichtenfläche als deutlich geschädigt. 38 Prozent sind schwach geschädigt und nur 22 Prozent ungeschädigt (Abb. 14).

Die sehr trockene und warme Witterung der letzten Jahre führte in Verbindung mit auftretendem Windwurf landesweit zu einer massiven Verbreitung der Fichtenborkenkäfer (Buchdrucker und Kupferstecher), die im Verlauf des Sommers 2020 erhebliche Schäden in Fichtenbeständen verursachten. Ausgehend von einer hohen Populationsdichte aus dem Vorjahr konnten sich die Käfer aufgrund der milden Frühjahrswitterung sehr früh und rasch verbreiten, vor allem wenn lokal leicht zu besiedelndes Sturmholz als Brutmaterial zur Verfügung stand. Die trocken-warme Sommerwitterung wirkte dabei deutlich schadensverstärkend. Unter Trockenstress kann der Harzfluss von Fichten nahezu zum Stillstand kommen, was sie zusätzlich anfälliger gegenüber einem Borkenkäferbefall macht, da sie Angriffe des Käfers nur unzureichend abwehren können. Zahlreiche befallene Fichten bzw. ganze Fichtenbestände verfärbten sich in der Folge rot und starben ab. Besonders betroffen waren hierbei der Südschwarzwald, aber auch die Bodenseeregion, der Schwäbisch-Fränkische Wald sowie die Region Hohenlohe.

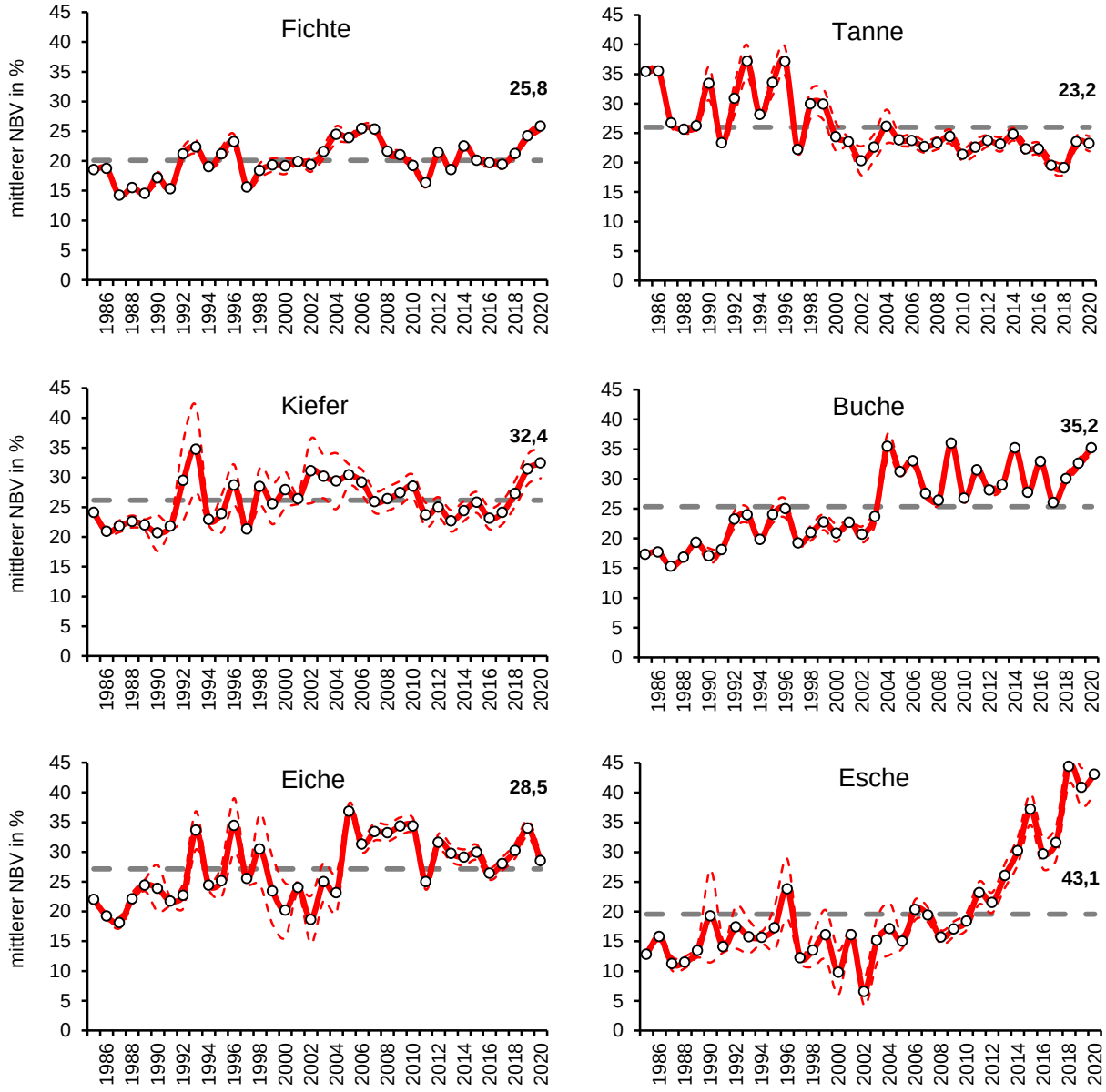


Abb. 13: *Mittlerer Nadel-/Blattverlust (NBV) der Hauptbaumarten (gestrichelte graue Linien geben das langjährige Mittel an, gestrichelte rote Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an)*

Tanne

Nachdem sich der Kronenzustand der Tanne im vergangenen Jahr aufgrund der lang anhaltenden Dürre deutlich verschlechtert hat, ist im Jahr 2020 eine weitgehende Stabilisierung auf diesem Niveau zu verzeichnen. Der mittlere Nadelverlust verringert sich leicht um 0,3 Prozentpunkte auf 23,2 Prozent. 41 Prozent der Tannenflächen sind derzeit deutlich geschädigt. Flächen mit einer schwachen Schädigung nehmen 26 Prozent ein, Tannen ohne Schädigung sind auf 33 Prozent der Waldfläche zu finden.

Im Gegensatz zur flachwurzelnden Fichte ist es der Tanne möglich, auch tiefer liegende und länger wasserspeichernde Bodenschichten zu erschließen, so dass akute Dürrephasen im allgemeinen besser überstanden werden können. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen vor allem für jüngere Tannen im Vergleich zum Vorjahr eine Verbesserung im Kronenzustand. Ältere Tannenbestände sind jedoch auch im Jahr 2020 weiterhin stark durch massiven Befall von verschiedenen Tannenborkenkäferarten betroffen. Besonders in Erscheinung treten hier der Krummzähnige und der Kleine Tannenborkenkäfer, die sich nach dem letztjährigen hohen Vorkommen aufgrund des günstigen Witterungsverlaufs auch im Jahr 2020 stark verbreiten konnten. Vitalitätsmindernd wirkt sich zudem die hohe Parasitierung durch die Tannenmistel aus, die vielerorts büschelweise in den Baumkronen wächst. Mit ihren Senkerwurzeln dringt die Mistel in das Kambium der Tanne ein und entzieht dem Baum Wasser und darin gelöste Assimilate. Insbesondere in Phasen akuten Wassermangels kann sich dies negativ auf den Vitalitätszustand der Tannen auswirken. In den letzten Jahrzehnten wird eine zunehmende Ausbreitung der wärmeliebenden Tannenmistel beobachtet, die inzwischen auch in Tannenbeständen der höheren Lagen zu finden ist. Bei der diesjährigen Waldzustandserhebung wurden an etwa jeder fünften Tanne in Baden-Württemberg Misteln in der Baumkrone beobachtet.

Kiefer

Der Vitalitätszustand der Kiefer hat sich auch im Jahr 2020 weiter verschlechtert. Damit ist im vierten Jahr in Folge ein Anstieg des mittleren Nadelverlustes zu verzeichnen, der von 23,1 Prozent im Jahr 2016 auf mittlerweile 32,4 Prozent im Jahr 2020 angestiegen ist. Gegenüber dem Vorjahr stellt dies eine Erhöhung um 1,0 Prozentpunkte dar. Insgesamt sind 49 Prozent der Kiefern deutlich geschädigt, wovon ein erheblicher Anteil, nämlich sieben Prozent aller aufgenommenen Kiefern, bereits abgestorben war. 40 Prozent der Kiefern gelten als schwach geschädigt und lediglich 11 Prozent als ungeschädigt.

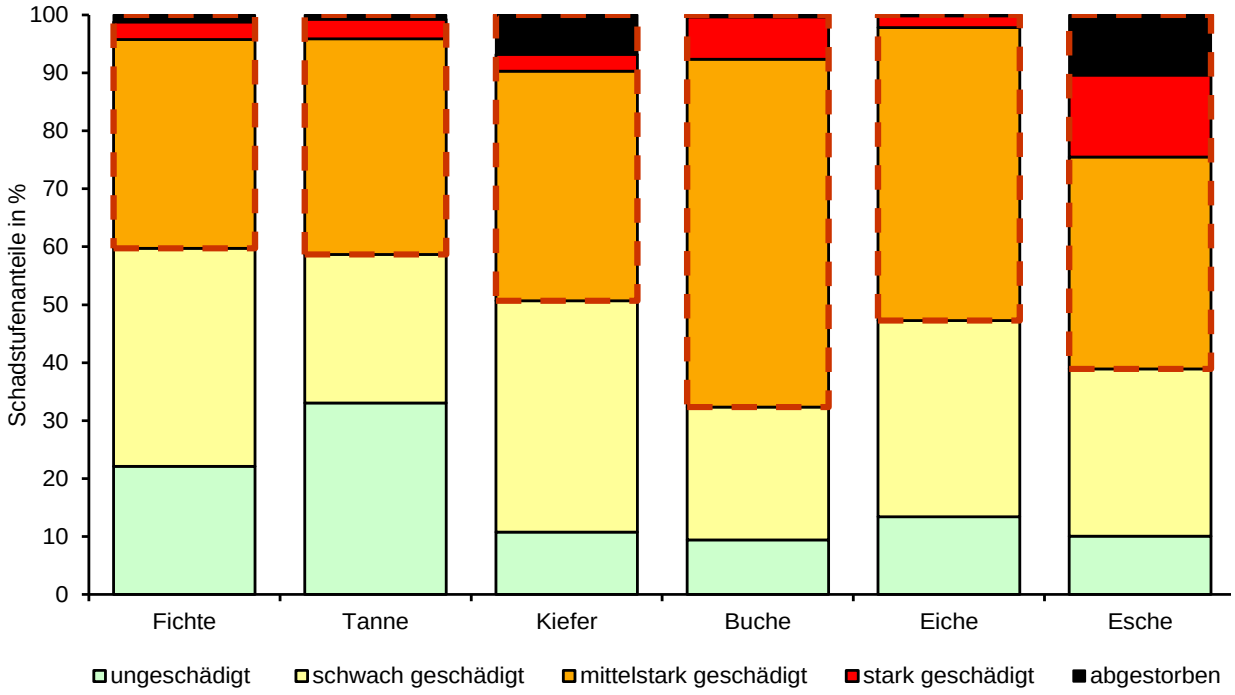


Abb. 14: *Schadstufenverteilung der Hauptbaumarten im Jahr 2020. Die rot gestrichelte Linie umrandet den Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche je Baumart (mittelstark geschädigt bis abgestorben).*

Abb. 15: *Absterbender Kiefernbestand im Rheintal, Landkreis Karlsruhe (Foto: S. Meining)*

Besonders die trockenen, sandig-kiesigen Standorte der Rheinebene verzeichnen seit mehreren Jahren einen großflächigen Ausfall der Kiefernbestände. Die Kiefer ist eine Baumart des kontinental geprägten Klimas, mit frostreichen Wintern und gemäßigten Temperaturen im Sommer. Das ökologische Areal der Kiefer erstreckt sich vom Nordkap über den Balkan bis in die Sierra Nevada. Das Rheintal liegt somit an der Grenze ihres ökologischen Verbreitungsgebiets. Durch die immer häufiger auftretenden milden Winter fehlen der Kiefer wichtige Ruhephasen. Die fortwährende Assimilation der immergrünen Baumart führt insbesondere auf flachgründigen und trockenen Standorten wie im Oberrheinischen Tiefland zunehmend zu Trockenstress. Verstärkend kommt hinzu, dass auf den oftmals lichten Standorten die Kiefern mit einer stark ausgeprägten Begleitvegetation, insbesondere der Brombeere, um Wasser konkurrieren. Zudem sind Kiefern beliebte Wirtspflanzen der Mistel, die halbparasitisch auf den Bäumen wächst und ihnen dringend benötigtes Wasser entzieht. Reicht die vorhandene Wassermenge nicht mehr aus, verfärben sich die Nadeln in kürzester Zeit rot und der Baum stirbt ab (Abb. 15). Dabei können pilzliche Erreger, wie das *Diplodia*-Triebsterben, oder auch holzbrütende Schadinsekten, wie z. B. Borken- oder Prachtkäfer, deutlich schadensverstärkend wirken.

Buche

Der Kronenzustand der Buche hat sich in diesem Jahr ebenfalls verschlechtert. Der mittlere Blattverlust erhöht sich um 2,6 Prozentpunkte auf 35,2 Prozent. Lediglich in den Jahren 2004 und 2009 wurde bisher ein schlechterer Vitalitätszustand der Buchen festgestellt. Mittlerweile gelten 68 Prozent und damit mehr als zweit Drittel der Buchenflächen als deutlich geschädigt. 23 Prozent sind schwach geschädigt und lediglich 9 Prozent weisen keine Schäden auf.

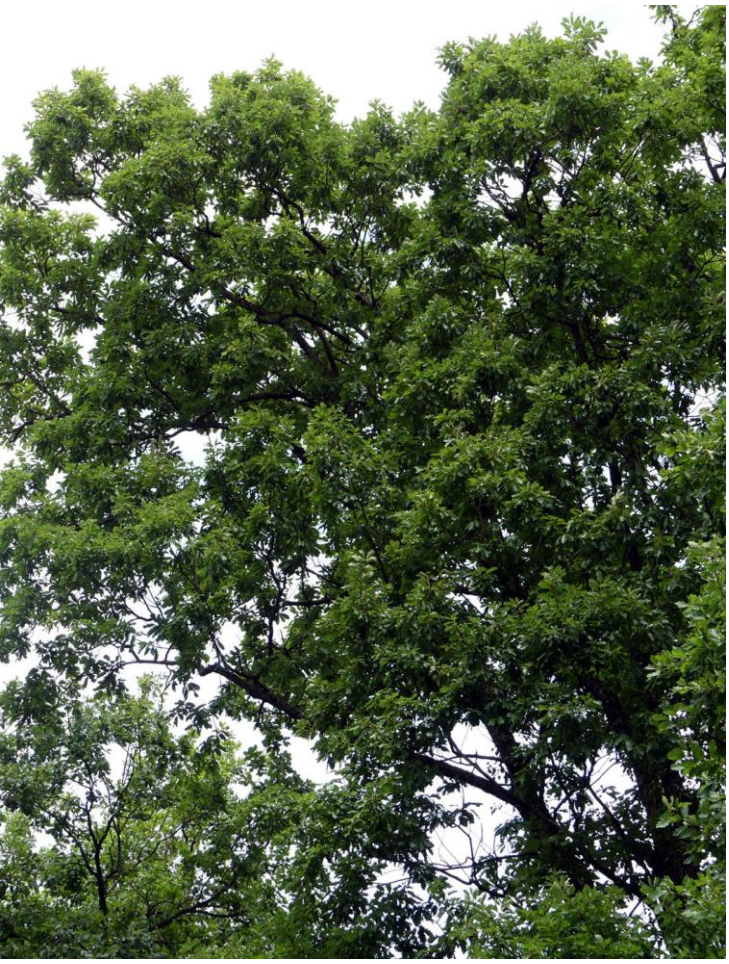


Abb. 16: *Vitale Eiche im Sommer 2020 (Foto: S. Meining)*

Bereits in den letzten beiden Jahren waren in vielen Buchenbeständen Baden-Württembergs in den Baumkronen durch Trockenstress verursachte Schäden festzustellen. Dies setzte sich auch im warm-trockenen Sommer 2020 fort. Aufgrund der anhaltenden Trockenheit wurde in einigen Buchenbeständen bereits Anfang August eine frühzeitige Verfärbung der Blätter beobachtet. Um ihren Wasserhaushalt zu regulieren und weniger Wasser zu verdunsten, klappen die Buchen oftmals ihre Blätter in der oberen Baumkrone zusammen. Dieses Phänomen der sogenannten „Schiffchenbildung“ wurde an über 20 Prozent aller Buchen festgestellt. Zudem warfen einige Buchen, insbesondere auf flächgründigen Standorten, infolge der Trockenheit bereits im Sommer ihre Blätter ab, was negative Folgen für den Nährstoffhaushalt der Bäume hat, da wichtige Assimilate nicht in üblicher Menge eingelagert werden können. Bei vielen älteren Buchen ist zudem ein Absterben einzelner Äste oder ganzer Kronenpartien zu beobachten. Diese können wiederum Eintrittspforten für verschiedene holzzersetzende Pilzarten darstellen, die die Vitalität der Bäume zusätzlich schwächen. Zudem besteht in solchen Buchenbeständen sowohl für Waldbesuchende als auch für Beschäftigte große Gefahr durch Astabbrüche.

Neben dem Trockenstress führt die starke Fruchtbildung der Buchen dieses Jahr zu lichteren Baumkronen. Stark fruktifizierende Buchen weisen in der Regel kleinere Blätter und deutlich weniger Seitenverzweigungen auf. Da die Ausbildung von Bucheckern sehr viel Energie und Nährstoffe benötigt, stellt eine häufige Fruktifikation, wie sie in den letzten Jahren beobachtet wurde, eine außergewöhnliche Belastung für die Buchen dar.

Eiche

Die Eiche zeigt als einzige Hauptbaumart gegenüber dem Vorjahr eine deutliche Verbesserung im Kronenzustand. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 5,5 Prozentpunkte auf 28,5 Prozent. Trotzdem sind 43 Prozent der Eichenflächen weiterhin als deutlich geschädigt einzustufen. 34 Prozent sind schwach geschädigt und lediglich 13 Prozent weisen keine Schäden auf.

Im Vergleich zu vielen anderen Baumarten, wie z. B. der Buche, ist die Eiche, die bei der Waldzustandserhebung als Gruppe von Stiel- und Traubeneiche zusammengefasst wird, deutlich trockenheitstoleranter. Im Speziellen ist es die Traubeneiche, die eher auf trocken-warmen Standorten vorkommt. Vor allem durch ihr tiefreichendes Wurzelwerk kann sie längere Trockenphasen besser überstehen als andere Baumarten. Im Sommer 2020 wurden nur geringe Trockenstressreaktionen in Eichenbeständen, wie Blattverfärbung oder Blatt- bzw. Triebabwurf, beobachtet. Zusätzlich konnten im Gegensatz zum Vorjahr deutlich weniger Schäden durch blattfressende Schmetterlingsraupen, wie Frostspanner, Eichenwickler oder Schwammspinner, festgestellt werden. Drastisch zurückgegangen ist zudem der Befall durch Eichenmehltau, so dass sich das Blattwerk der Bäume dieses Jahr gut entwickeln konnte (Abb. 16). Auch die relativ starke Fruktifikation der Eiche im Sommer 2020 führte nicht unmittelbar zu einer höheren Kronenverlichtung.

Esche

Der Zustand der Eschen in Baden-Württemberg hat sich innerhalb weniger Jahre seit dem erstmaligen Auftreten des Eschentriebsterbens im Jahr 2009 dramatisch verschlechtert. Im Jahr 2020 erhöht sich der mittlere Blattverlust nochmals um 2,2 Prozentpunkte auf 43,1 Prozent. Insgesamt 61 Prozent der Eschenflächen sind aktuell deutlich geschädigt. 29 Prozent sind als schwach geschädigt und 10 Prozent als ungeschädigt klassifiziert. Besonders auffällig ist der ausgesprochen hohe Anteil an stehend abgestorbenen Bäumen, der seit mehreren Jahren kontinuierlich ansteigt und sich aktuell auf insgesamt 10 Prozent der Eschenflächen beläuft.

Der pilzliche Erreger des Eschentriebsterbens mit dem Namen „Falsches Weißes Stängelbecherchen“ (*Hymenoscyphus fraxineus*) infiziert mittels Sporen die Blätter der Esche und dringt in die Triebe des Baumes ein. Dort schädigt er den Holzkörper und verursacht so das typische Absterben einzelner Triebe (Abb. 17). Im fortgeschrittenen Stadium stirbt der ganze Baum ab. Zusätzlich können im Laufe des Befalls Stammfußnekrosen auftreten, die durch Zersetzung des Holzes entstehen. Die Bäume werden instabil und es besteht große Bruchgefahr. Infolge der fatalen Auswirkungen des Eschentriebsterbens ist der Anteil der Eschen in den Wäldern Baden-Württembergs mittlerweile stark rückläufig.

Abb. 17: *Stark geschädigter Eschenbestand mit Symptomen des Eschentriebsterbens (Foto: S. Meining)*

Sonstige Nadel- und Laubbaumarten

Der Kronenzustand der **sonstigen Nadelbaumarten** verändert sich im Jahr 2020 kaum. Im Vergleich zum Vorjahr verringert sich der mittlere Nadelverlust lediglich geringfügig um 0,7 Prozentpunkte auf 25,4 Prozent (Abb. 18, oben). Insgesamt gelten 39 Prozent der sonstigen Nadelbäume als deutlich geschädigt. 41 Prozent sind schwach geschädigt und 20 Prozent ungeschädigt (Abb. 18, Mitte).

Die Gruppe der sonstigen Nadelbaumarten setzt sich im Wesentlichen aus Douglasien und Lärchen (Europäische und Japanische Lärche) zusammen, ergänzt durch einzelne Exemplare der Baumarten Thuja und Schwarzkiefer. Weder bei der Douglasie noch bei der Lärche sind im Jahr 2020 statistisch signifikante Änderungen im Kronenzustand zu erkennen (Abb. 18, unten). Die letzten Jahre haben aber gezeigt, dass auch diese Baumarten unter Trockenstress leiden. Während bei der Douglasie die Kronenverlichtung bereits seit dem Trockenjahr 2018 kontinuierlich ansteigt, wurde bei der Lärche im Sommer 2019 ein deutlicher Anstieg der Kronenschäden festgestellt.

Der mittlere Blattverlust der **sonstigen Laubbaumarten** verringert sich im Jahr 2020 gegenüber dem Vorjahr um 1,0 Prozentpunkte auf nunmehr 21,2 Prozent (Abb. 18, oben). Insgesamt sind 24 Prozent dieser Baumartengruppe deutlich geschädigt. Dagegen gelten 42 Prozent als schwach und 34 Prozent als ungeschädigt (Abb. 18, Mitte).

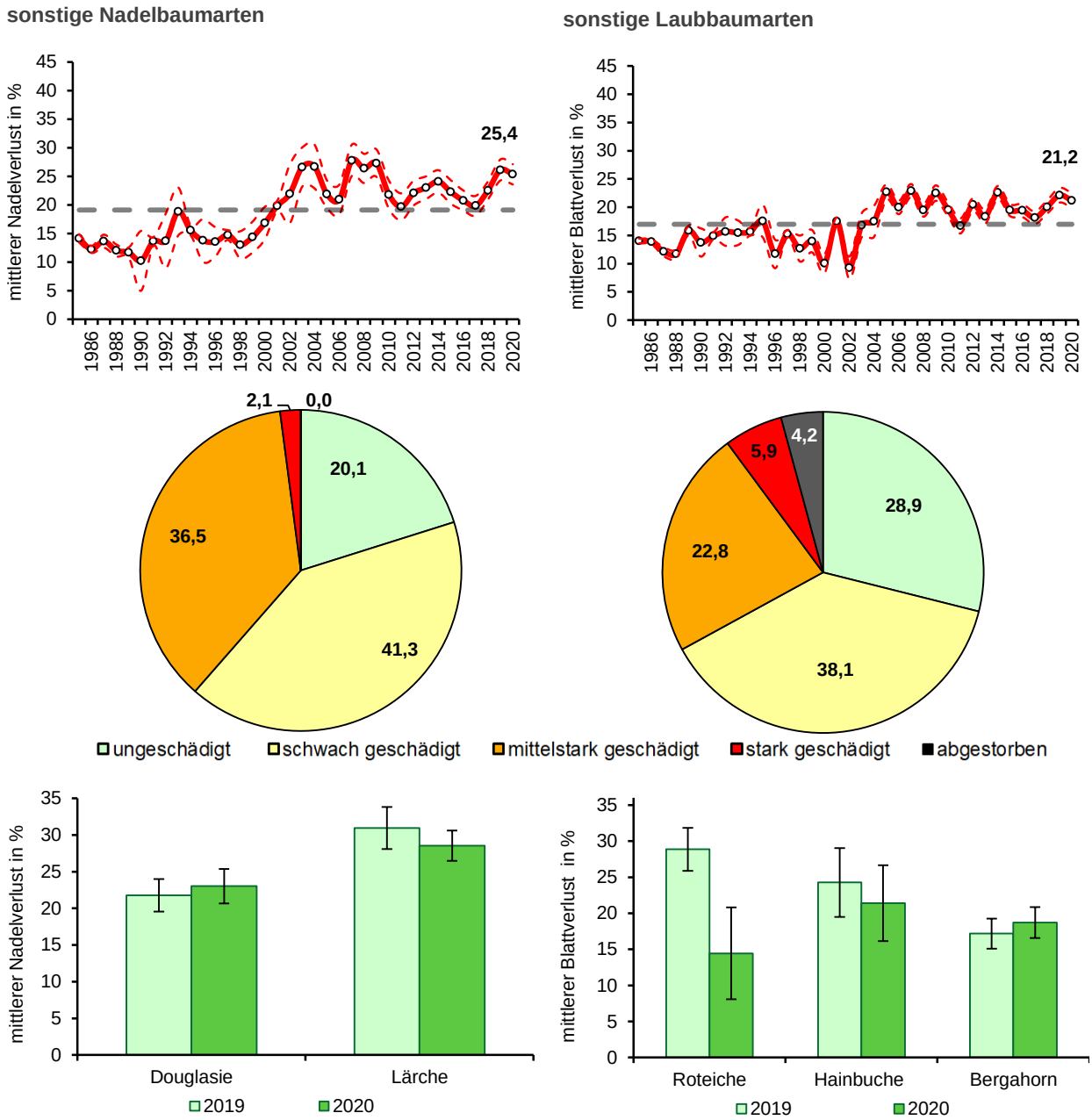


Abb. 18: *Oben: Mittlerer Nadel-/Blattverlust der sonstigen Nadelbaumarten (links) und sonstigen Laubbaumarten (rechts). Gestrichelte graue Linien: langjährige Mittel; gestrichelte rote Linien: Vertrauensbereich von 95 Prozent. Mitte: Schadstufenverteilung der sonstigen Nadelbaumarten (rechts) und sonstigen Laubbaumarten (links). Unten: Mittlerer Nadel-/Blattverlust der häufigsten Baumarten der jeweiligen Gruppe im Vergleich der Jahre 2019 und 2020*

Die Gruppe der sonstigen Laubbaumarten setzt sich aus einer Vielzahl verschiedener Baumarten zusammen. Dabei ist der Bergahorn mit weitem Abstand die am häufigsten vorkommende Baumart, gefolgt von Hainbuche und Roteiche. Zusammen umfassen diese drei Baumarten mehr als die Hälfte der sonstigen Laubbäume in der Stichprobe der Waldzustandserhebung. Während für Bergahorn und Hainbuche aktuell kaum Veränderungen feststellbar sind, ist für die Roteiche eine deutliche Verbesserung des Kronenzustandes im Vergleich zum Vorjahr zu erkennen (Abb. 18, unten). Sozusagen im Gleichschritt mit den anderen Eichen-Arten (Stiel- und Traubeneiche) verringert sich der mittlere Blattverlust der Roteichen in diesem Jahr merklich. Dies ist im Wesentlichen auf den im Vergleich zum Vorjahr stark rückläufigen Blattfraß durch Schmetterlingsraupen zurückzuführen. Zudem zeigt sich auch bei der Roteiche, dass sie im Vergleich zu anderen Baumarten trockenheitstoleranter ist.

Regionale Verteilung

In der regionalen Betrachtung des Waldzustandes zeigen sich für die Hauptbaumarten Baden-Württembergs für das Jahr 2020 weit ausgedehnte Areale mit höheren Nadel-/Blattverlusten, die sich in der räumlichen Verteilung je Baumart unterschiedlich darstellen (Abb. 19).

Bei der Fichte treten vor allem im Schwarzwald zusammenhängende Gebiete höherer Kronenverlichtung auf. Besonders stark betroffen sind die Region Südschwarzwald/Hochrhein und der Mittlere Schwarzwald. Ein weiterer Schadensschwerpunkt zeichnet sich in der Bodenseeregion bzw. im Alpenvorland ab. Dagegen ist bei der Tanne die Schadensintensität deutlich geringer. Höhere Kronenverlichtungen zeigen sich in abgeschwächter Form im Südschwarzwald und im Schwäbisch-Fränkischen Wald. Der Kronenzustand der Kiefer ist vor allem im Rheintal in Verbindung mit hohen Ausfallraten deutlich geschwächt. Einen zweiten Schadensschwerpunkt bildet bei der Kiefer der nordöstliche Teil Baden-Württembergs. Ein großflächiges Schadensareal über weite Teile Baden-Württembergs bildet die Buche im Jahr 2020 aus. Insbesondere im Neckarland und in der Bodenseeregion sind hohe Blattverluste zu erkennen. Dagegen ist die Intensität der Kronenschäden bei der Eiche deutlich geringer, wenngleich auch Areale mit höheren Blattverlusten in Teilen des Neckarlandes und am Hochrhein auffindbar sind. Die durch das Eschentriebsterben ausgelösten Schäden an der Baumart Esche zeigen sich mittlerweile nahezu landesweit. Größere, zusammenhängende Areale mit geringen Schäden sind dagegen im Wesentlichen nur noch im Kraichgau festzustellen.

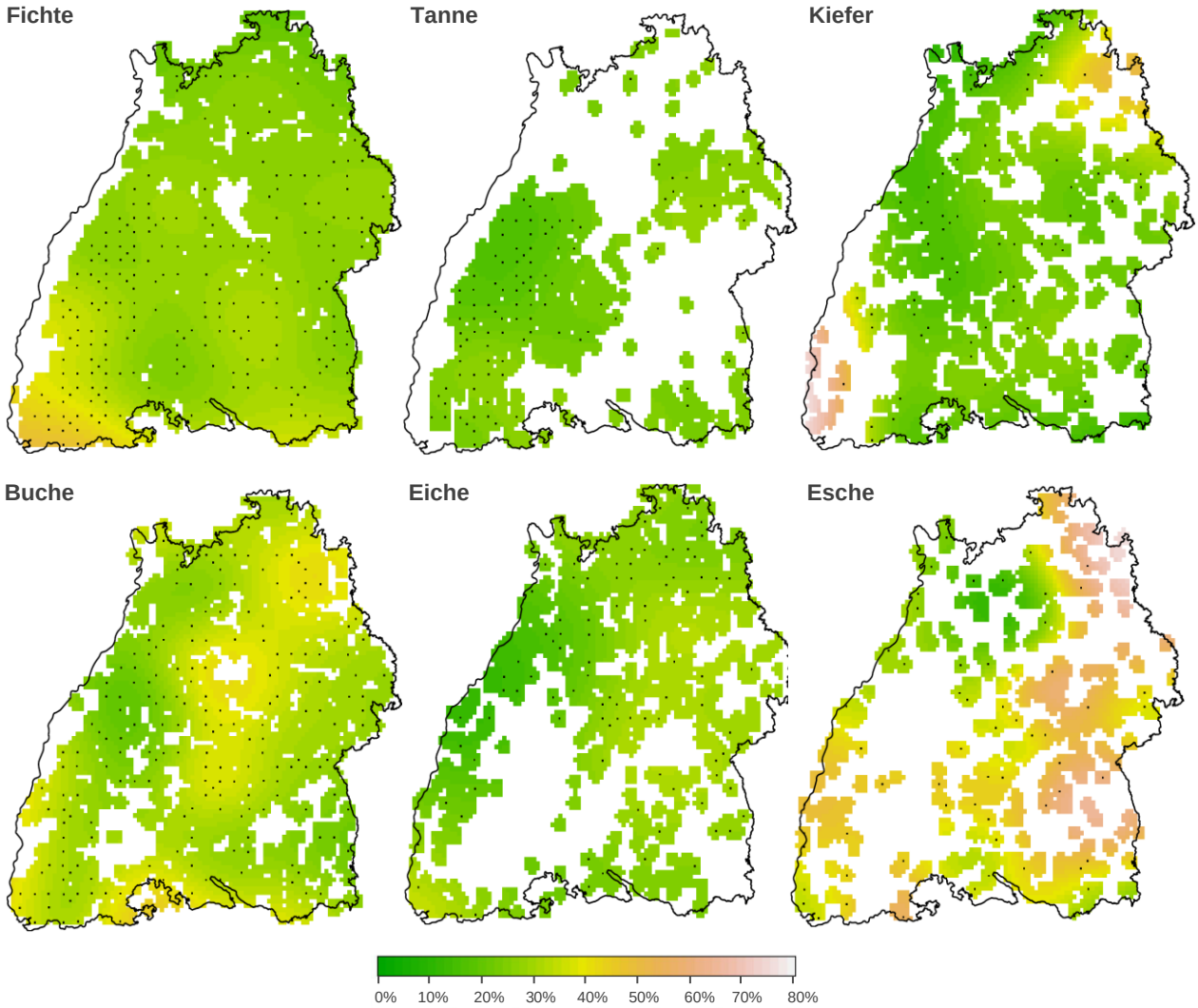


Abb. 19: *Räumliche Verteilung der Nadel-/Blattverluste der Hauptbaumarten Baden-Württembergs, altersbereinigt auf das mediane Alter der jeweiligen Baumart. Auswertungen des multivariaten Raum-Zeit-Models (AUGUSTIN ET AL. 2009)*

3 WITTERUNG

Die Witterung im Jahre 2020 war in Baden-Württemberg im dritten Jahr in Folge deutlich zu warm und erheblich zu trocken. Bereits im Jahr 2018 führte eine außergewöhnlich lange Dürreperiode und hohe Temperaturen zu Witterungsstress in den Wäldern. Von Februar bis November 2018 fielen unterdurchschnittlich geringe Niederschlagsmengen, was zu einer tiefgründigen Austrocknung der Böden führte. Die Witterung im Jahr 2019 zeigte sich vergleichsweise günstiger, jedoch führten meist hohe Temperaturen und wenig Regen zu keiner wesentlichen Entspannung der Trockenheit. Mit dem Jahr 2020 stellt sich in Baden-Württemberg im Jahresverlauf wiederum eine sehr trockene und heiße Witterung ein, die landesweit im Sommer zu Trockenstressreaktionen der Waldbäume führte.

Klimatologische Referenzperioden umfassen in der Regel 30 Jahre, damit die statistischen Kenngrößen der verschiedenen klimatologischen Parameter mit befriedigender Genauigkeit bestimmt werden können (DWD 2020b). Die monatlichen Mittelwerte der Temperatur und des Niederschlags werden in diesem Bericht mit der Referenzperiode 1981-2010 in Beziehung gesetzt.

Temperatur und Niederschlag

Nach durchgehend sehr milden Temperaturen in der zweiten Jahreshälfte 2019 startete das Jahr 2020 ebenfalls mit überdurchschnittlich hohen Lufttemperaturen (Abb. 20). Vor allem der Februar zeigte sich dabei besonders warm. Bundesweit gilt der Februar 2020 als zweitwärmster Februar seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1880. Lediglich im Februar 1990 wurde eine höhere Durchschnittstemperatur gemessen (DWD 2020a). In Baden-Württemberg wurde bundesweit die höchste Februar-Temperatur registriert: am 16. stiegen die Temperaturen in Müllheim südlich von Freiburg auf sommerliche 21,5 Grad Celsius. Dabei fielen im Februar ergiebige

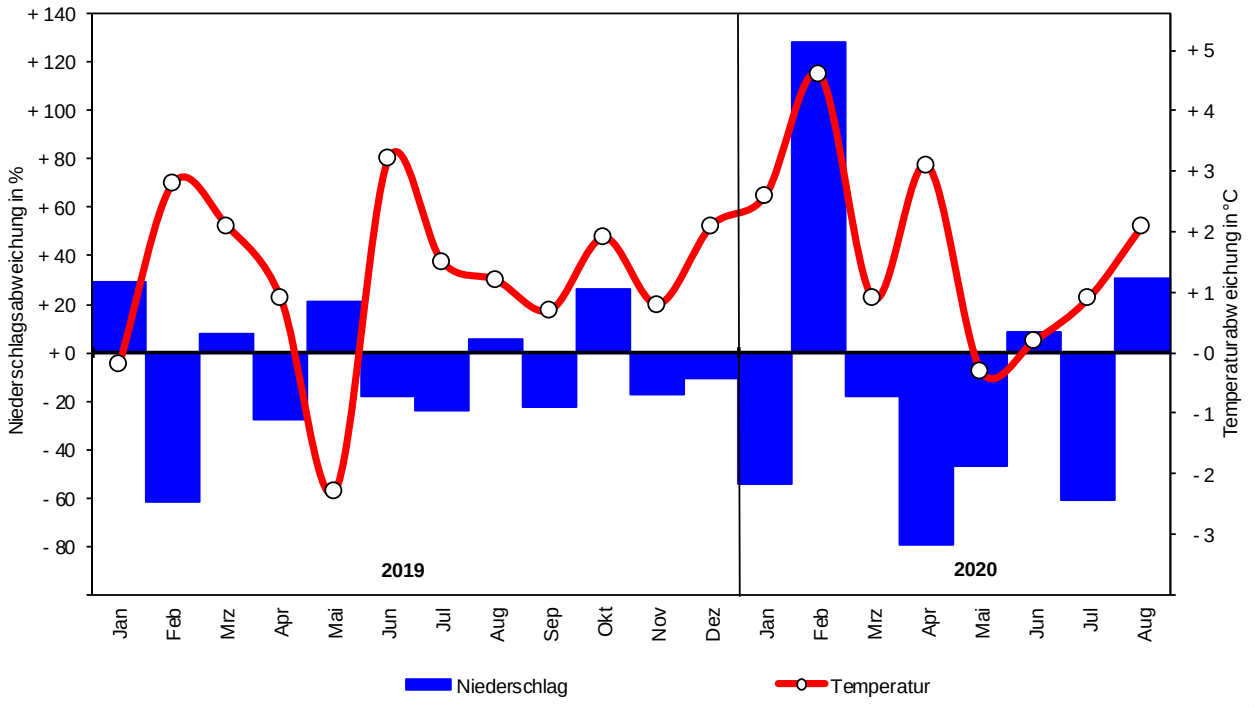


Abb. 20: *Niederschlags- und Temperaturabweichung vom Mittel der Referenzperiode (1981-2010) für Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)*

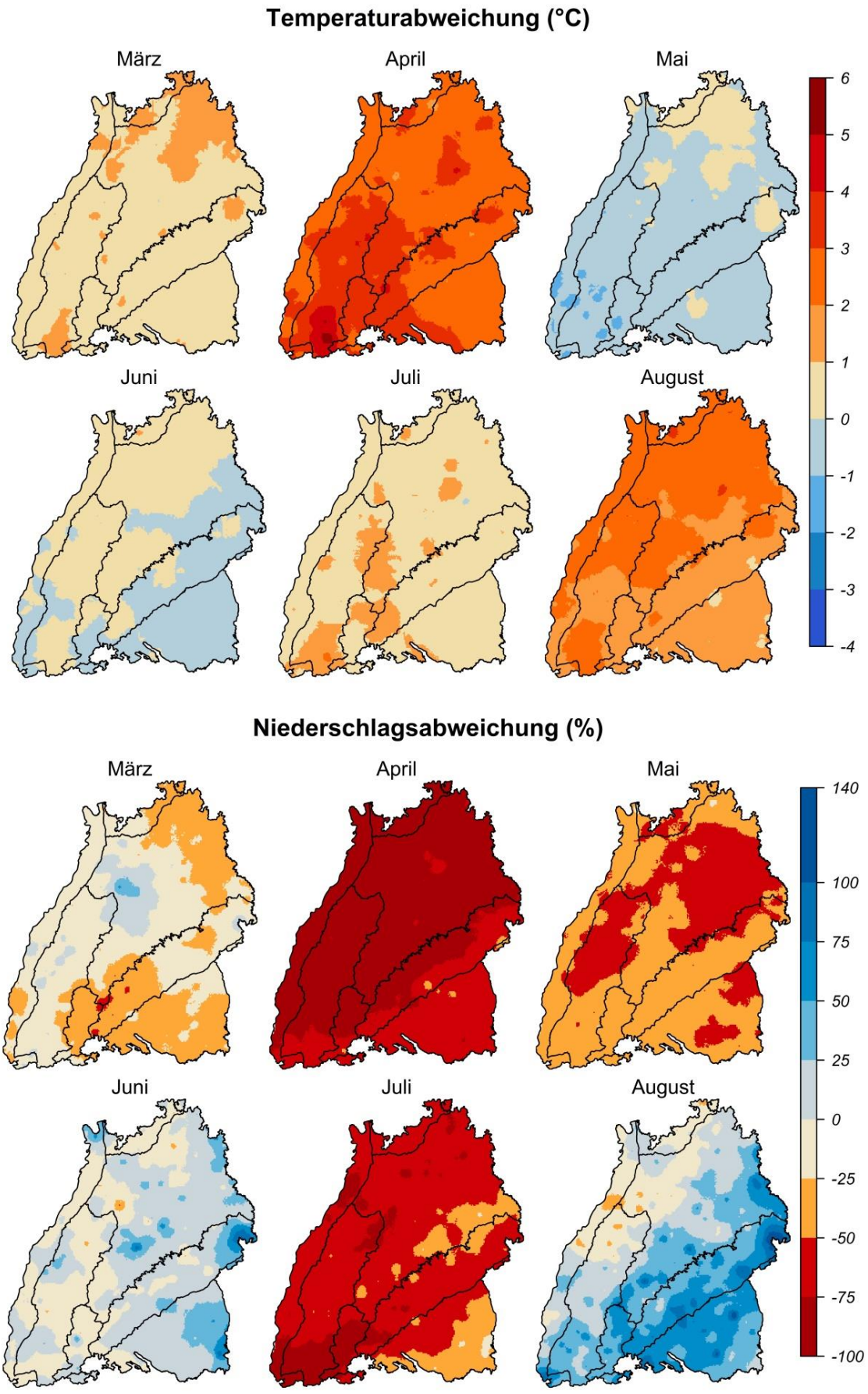


Abb. 21: *Regionale Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) der Monate März bis August 2020 vom Mittel der Referenzperiode (1981-2010) in Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)*

Niederschläge, deren Mengen das vieljährige Mittel um über 120 Prozent übertrafen. Besonders betroffen war dabei der Schwarzwald, wo örtlich einzelne Starkregen an einem Tag mehr als 100 Liter pro Quadratmeter hervorbrachten und dort Hochwasser und Überschwemmungen verursachten. Das Sturmtief „Sabine“ sorgte zudem am 10. Februar für starke Sturmschäden in den Wäldern. In den Monaten März bis Mai sanken die monatlichen Niederschlagsmengen wieder unter das vieljährige Mittel. Vor allem im April war es außergewöhnlich trocken und für die Jahreszeit sehr warm. Landesweit fielen im April durchschnittlich gerade einmal 14,2 mm Niederschlag, was einem Defizit von etwa 80 Prozent entspricht. Nachdem sich die Böden durch die ergiebigen Regenfälle im Februar wieder mit Wasser aufgefüllt hatten, trockneten die Oberböden im April erneut weitgehend aus, weshalb gebietsweise ungewöhnlich früh eine hohe Waldbrandgefahr bestand. Pünktlich zu den Eisheiligen, Anfang / Mitte Mai, sorgte ein massiver Temperatursturz für starke Spätfrostschäden vor allem im Schwarzwald oberhalb von ca. 800 Metern ü. NN. Häufig waren frisch ausgetriebene Buchen, deren Triebe sich infolge braun verfärbten, von den Frostschäden betroffen. Erst im Juni konnten im Mittel wieder leicht überdurchschnittliche Niederschlagsmengen registriert werden. Dabei traten regional größere Unterschiede auf. Während in den westlichen Landesteilen nach wie vor unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen vorherrschten, registrierte der östliche Landesteil zum Teil noch stärkere Regenfälle (Abb. 21). Demgegenüber war der Monat Juli mit lediglich 60 Prozent der üblichen Regenmenge wiederum deutlich zu trocken. Aufgrund der hohen Verdunstung der Vegetation und der geringen Bodenwasservorräte hatten die Wälder regional extrem unter der Trockenheit zu leiden. Im August führte eine mehrtägige Hitzewelle mit Temperaturen von über 35 Grad Celsius überregional zu einer enormen Wärmebelastung. Dabei wurde landesweit eine sehr unterschiedliche Niederschlagsverteilung beobachtet. Während im Oberrheinischen Tiefland und in weiten Teilen des Kraichgaus weiterhin nur geringe Niederschläge fielen, wurden in anderen Landesteilen ausreichende bis überdurchschnittliche Niederschlagsmengen festgestellt.

Bodenfeuchte

Im Rahmen des IpsPro-Verbundvorhabens wurden 2018 im Nationalpark Schwarzwald Bodenfeuchtemessflächen auf repräsentativen, Fichten-dominierten Standorten eingerichtet (Hallas und Puhlmann 2020). Seitdem wird dort die Bodenfeuchte in 30 und 60 cm Tiefe, also im Hauptwurzelraum der Fichten, stündlich und in zehnfacher Wiederholung erfasst. Auf Basis der gemessenen Bodenfeuchte kann der

IpsPro: Risikoprognosen für ein effizienteres Borkenkäfer-Management

Im IpsPro-Verbundvorhaben entwickeln Forschende der FVA Baden-Württemberg, des Staatsbetriebs Sachsenforst und der Universität Hamburg das Borkenkäfer-Frühwarnsystem IpsRisk, mit dessen Hilfe die Abschätzung des Risikos für Buchdruckerbefall verbessert werden soll. Ziel ist es, die aktuelle Gefährdungssituation durch den Buchdrucker in potenziell gefährdeten Fichtenbeständen mit möglichst hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung einschätzen zu können. Hierfür werden verschiedene Teilrisiken, die sich aus Standorts-, Klima- und Wasserhaushaltsverhältnissen, Eigenschaften der Fichtenbestände, der Schwärmaktivität des Buchdruckers, beobachtetem Vorbefall sowie dem Brutraumangebot (z. B. Sturmholz) ableiten, kombiniert. Das resultierende Befallsrisiko durch den Buchdrucker wird in IpsRisk tagesaktuell und standortsgenau in Form einer Warnkarte dargestellt und soll zukünftig Waldbesitzenden, -bewirtschaftenden und weiteren Interessierten frei zugänglich, online zur Verfügung gestellt werden. Somit kann mithilfe von IpsRisk das Borkenkäfer-Management wesentlich effizienter gestaltet werden. Das IpsPro-Verbundvorhaben wird durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, einen Förderträger des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, gefördert.

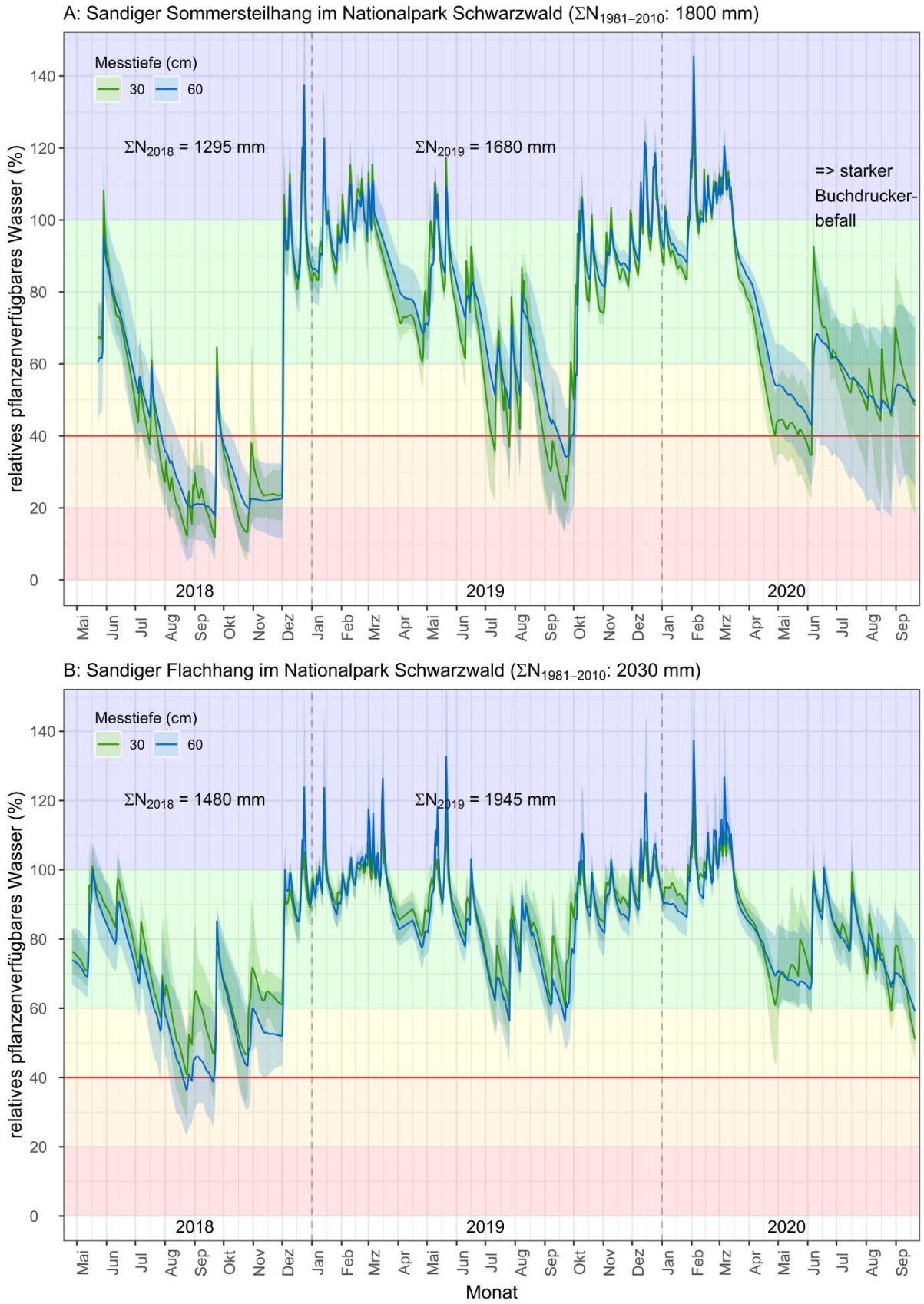


Abb. 22: *Relatives pflanzenverfügbares Wasser in 30 und 60 cm Tiefe auf zwei Versuchsflächen im Nationalpark Schwarzwald (n = 10, Streumaß: 10- und 90-%-Quantil, ∑N: Jahresniederschlag): A) Mäßig frischer sandiger Sommersteilhang (724 m ü. NHN), podsolige Braunerde bis Podsol-Braunerde, schwach bis stark lehmiger Sand, Gründigkeit = 60 cm. B) Mäßig frischer sandiger Flachhang (810 m ü. NHN), podsolige Braunerde bis Podsol-Braunerde, schwach schluffiger Sand, Gründigkeit = 80 cm*

Trockenstress-Indikator „relatives pflanzenverfügbares Wasser im Wurzelraum“ abgeleitet werden, der auch als Anteil an der nutzbaren Feldkapazität bezeichnet und üblicherweise in Prozent angegeben wird. Oftmals wird von Trockenstress gesprochen, wenn der Indikator unter den kritischen Wert von 40 Prozent absinkt, da ab hier viele Bäume ihre Transpiration durch das Schließen der Stomata reduzieren (GRANIER 1999, SPEICH 2019). In Abbildung 22 ist beispielhaft der zeitliche Verlauf des relativen pflanzenverfügbaren Wassers von Mai 2018 bis Mitte September 2020 für zwei unterschiedliche Standorte des Nationalparks dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Wasserverfügbarkeit auf beiden Flächen in diesem Zeitraum verhältnismäßig synchron abfällt und ansteigt. Auf dem sandigen Sommersteilhang (A) sind die Ausschläge allerdings deutlich größer und der kritische Wert von 40 Prozent (rote Linie) wird in allen drei Jahren und insbesondere während der Dürreperiode 2018 unterschritten. Im Gegensatz dazu befindet sich auf dem sandigen Flachhang (B) das relative pflanzenverfügbare Wasser fast durchweg im Optimum (grüner Bereich). Lediglich 2018 trocknete der Boden etwas stärker aus und tangierte leicht den kritischen Bereich. Bemerkenswert ist, dass selbst in der regenreichsten Region Baden-Württembergs, den Hochlagen des nördlichen Schwarzwalds mit teils über 2000 mm Niederschlag, Wassermangel auf vielen Standorten insbesondere in den Sommermonaten zunehmend relevanter wird. Die vielerorts sandigen Böden sind sehr durchlässig und die Wasserspeicherkapazitäten aufgrund ausgesprochen hoher Steingehalte und geringer Bodentiefen sehr gering. Auch im Jahr 2020 trockneten einige Böden das dritte Jahr hintereinander wieder überdurchschnittlich stark aus. Infolgedessen wurde beispielsweise auf dem sandigen Sommersteilhang (A) ab Juni 2020 massiver Borkenkäferbefall beobachtet (Abb. 22). Mittlerweile sind hier fast alle Fichten befallen oder abgestorben. Der Befall könnte die ab Sommer 2020 stark ansteigende Streuung der Bodenfeuchtemesswerte verursacht haben, da an einigen Messpunkten die Transpiration der Baumvegetation stark abnahm oder nach Absterben der Fichten ganz ausblieb. Aufgrund der zunehmenden Relevanz der Wasserversorgung für die Vitalität von Wäldern werden die Versuchsflächen auch nach Projektende durch den Nationalpark Schwarzwald weiterbetrieben.

4 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 2020 bis Redaktionsschluss besonders auffälligen biotischen Einflüsse angesprochen.

Schaderreger an Nadelbäumen

Fichte

In Bezug auf die Borkenkäfer wurde die Ausgangslage für 2020 nach einer Reihe trocken-warmer Jahre und der extremen Dürre in den Vorjahren 2018 und 2019 im ganzen Land als sehr bedrohlich eingeschätzt. Denn in den letzten Jahren waren mit Ausnahme der Höhenlagen landesweit oft drei Generationen vollständig entwickelt, was in Verbindung mit vergleichsweise milden Wintern zu außerordentlich hohen Populationsdichten führte. Demnach musste für die Vegetationsperiode 2020 weiter mit einer erheblichen Käfergefahr gerechnet werden.

Zu Beginn des Jahres 2020 sind besonders infolge des Orkantiefs „Sabine“ im Februar abermals gravierende, oft einzelbaum- oder nesterweise Sturmschäden aufgetreten. Da sich Borkenkäfer in geworfenen oder gebrochenen Bäumen ideal entwickeln können, war zu befürchten, dass sich diese Situation noch einmal wie ein Brandbeschleuniger auswirken könnte. Bis Ende August wurde über alle Waldbesitzarten rund 2,1 Mio. Festmeter (FM) Sturmholz aufgearbeitet. Die Hochlagen des Südschwarzwaldes waren besonders betroffen (Abb. 23), zudem auch der mittlere und nördliche Schwarzwald sowie die Regionen Schwäbisch Hall und Oberschwaben-Bodensee.

Abb. 23: *Nach dem Orkan „Sabine“ geworfene Fichten, April 2020 (Foto: H. Delb)*

Die warme Witterung im April 2020 erlaubte einen außerordentlich frühen Schwärmbeginn, vergleichbar mit dem Jahr 2018. So konnte, infolge der für die Entwicklung der Borkenkäfer insgesamt weiter günstigen Witterung, auch 2020 in den tieferen und mittleren Höhenlagen eine dritte Käfergeneration angelegt werden, die im Spätsommer zu großen Teilen bereits bis in die überwinterungsfähigen braunen Stadien entwickelt waren. In den höheren Lagen bis in die Gipfellagen der Mittelgebirge ist die zweite Käfergeneration bzw. deren Geschwisterbrut aktuell nahezu vollständig entwickelt.

In Verbindung mit der Schwächung der Bäume durch die stark angespannte Wasserversorgung im Sommer 2020 führten die insgesamt hohen Populationsdichten verbreitet wieder zu erheblichem Stehendbefall lebender Fichten (Abb. 24).

Die regionalen Schwerpunkte liegen in der Summe bis in den Spätsommer in den nordöstlichen und südlichen Landesteilen. Die Befürchtung, dass das extrem hohe Schadniveau vom Vorjahr auf Landesebene noch übertroffen werden könnte, hat sich trotz der bis in den September trocken-warmen Witterung bisher nicht bestätigt (Abb. 26). In der Landschaft ist die engagierte Umsetzung eingehender Maßnahmen bei der Sturmholzaufarbeitung und Sanierung akuten Käferbefalls durch die betroffenen Forstbetriebe im Borkenkäfer-Management oft eindrücklich zu erkennen (Abb. 25).

Trotzdem befinden sich die Borkenkäfer-Populationen und somit auch das Schadgeschehen weiter auf einem hohen Niveau. Für das kommende Jahr muss wieder mit einer kritischen Borkenkäferlage gerechnet werden. Deshalb ist weiter jede sich bietende Maßnahme anzustreben, die Käferpopulation soweit wie möglich einzudämmen. In den betroffenen Betrieben muss die Schwerpunktsetzung im Herbst und Winter 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

Abb. 24: *Sanierter Fichtenbestand nach akutem Borkenkäferbefall (im vorderen Bildteil fehlen die deshalb entnommenen Bäume) in Nachbarschaft eines früheren Befalls, wo die Käfer der letzten Generation bereits ausgeflogen sind, weshalb dort keine Sanierung mehr erfolgen musste (hinterer Bildteil), August 2020 (Foto: H. Delb).*

den letzten drei Sommern großräumig in ganz Europa gegeben. Wenn Kontingente für mechanisch-technische Maßnahmen im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes, wie Transportkapazitäten, Holzabsatz- oder Lagermöglichkeiten, Holzhacker und Entrindungsmaschinen für das rechtzeitige Unschädlichmachen aller mit Käferbrut befallenen Stämme knapp werden sollten, muss zum Schutz der Wälder im äußersten Notfall auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Erwägung gezogen werden.

Abb. 25: *Im Rahmen der Sturmholzaufarbeitung und Borkenkäfer-Kalamität sind 2020 zahlreiche Holzlager entstanden, September 2020 (Foto: H. Delb).*

Tanne

Die Weißtanne leidet nach wie vor unter teils erheblichen Schäden durch Borkenkäferbefall. Doch wird das extreme Niveau des Vorjahres in diesem Jahr auf Landesebene voraussichtlich nicht mehr erreicht (Abb. 27). Der Befall tritt insbesondere dort auf, wo die Tannen bereits chronisch vitalitätsmindernd intensiv von Misteln parasitiert sind. Die so geschwächten Bäume sind besonders oft von Borkenkäfern, vor allem Kleinem und Krummzähnigem Tannenborkenkäfer aber auch vom Tannenrüssler befallen. Von den befallenen Tannen geht ein hohes Infektionsrisiko für umliegende Bestände aus, so dass in der Nähe weitere Käfernester entstehen können.

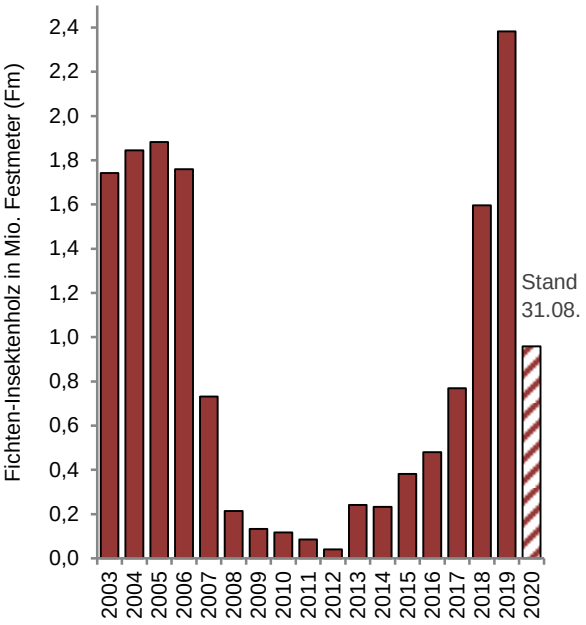


Abb. 26: *Mit der Nutzungsursache „Insekten“ bei der Baumart Fichte in Baden-Württemberg aufgearbeitetes und verbuchtes Schadholz über alle angeschlossenen Waldbesitzenden; 2003 bis 2019: Jahressummen; 2020: Stand bis zum 31. August.*

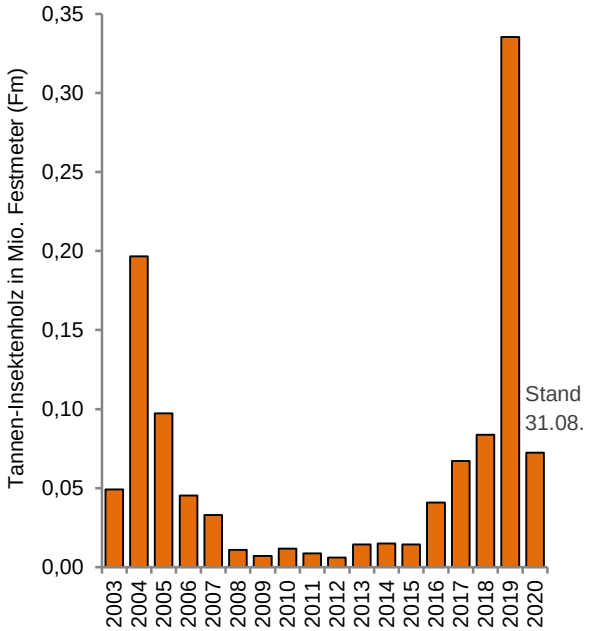


Abb. 27: *Mit der Nutzungsursache „Insekten“ bei der Baumart Tanne in Baden-Württemberg aufgearbeitetes und verbuchtes Schadholz über alle angeschlossenen Waldbesitzenden; 2003 bis 2019: Jahressummen, 2020: Stand bis zum 31. August.*

Kiefer

Die Kiefernbestände in der Oberrheinebene leiden seit vielen Jahren unter einem komplexen Schadgeschehen. Vor allem in Zusammenhang mit der extremen Trockenheit der letzten Jahre führt dies zu erhöhten Mortalitätsraten. Das Diplodia-Triebsterben hat einen deutlichen Anteil an dem aktuellen Schadgeschehen. Der Trockenstress wird oft durch chronischen Mistelbefall erheblich verstärkt. In diesem Zusammenhang können auch Borken-, Pracht- und Bockkäferschäden verstärkend auftreten. In Anbetracht der Massenvermehrung des Waldmaikäfers auf nahezu gleicher Fläche, dessen Wurzelfraß der Engerlinge im Boden die Waldverjüngung erheblich beeinträchtigt, steht die Waldwirtschaft in der nördlichen Oberrheinebene auf den betroffenen, trockenen Sandstandorten in den Hardtwäldern vor einer außerordentlichen Herausforderung. Aber auch andernorts, wie zum Beispiel auf wenig wasserspeichernden Kiesstandorten bei Breisach, stehen Waldkiefernbestände vor dem Aus.

Abb. 28: *Douglasien-„Sterbelücke“ in der nördlichen Oberrheinebene, Schwetzinger Hardt, Juni 2020 (Foto: H. Delb)*

Douglasie

Die Douglasie zeigt sich in den letzten Jahren häufiger in einem besorgniserregenden Zustand. Vielerorts können auffällig schüttere Kronen durchaus in Zusammenhang mit der Rußigen Douglasienschütte stehen. Doch werden an geschwächten Douglasien verstärkt auch weitere Schadorganismen diagnostiziert, wie beispielsweise das pilzliche Schwächepathogen *Diplodia pinea*, das gemeinhin deutlich häufiger an Kiefer vorkommt, oder die aus Nordamerika stammenden invasiven Douglasien-Gallmücken (*Contarinia spp*.). Infolge der aktuellen Dürrejahre mit roten Kronen zeichnende Douglasien weisen gegenwärtig mitunter auch Befall durch Borkenkäfer, wie beispielsweise Kupferstecher oder Furchenflügliger Fichtenborkenkäfer, auf. Die vor allem in der nördlichen Oberrheinebene immer wieder vorzufindenden „Sterbelücken“ abgetrockneter Douglasien (Abb. 28) können mit Dürre, bei hohen Dichten zusätzlich aber auch mit dem Wurzelfraß der Waldmaikäfer-Engerlinge, zusammenhängen.

Die Frage der Pflanzenherkünfte der in unseren Wäldern vorzufindenden Douglasien könnte von großer Bedeutung sein. Da sich diese Baumart zunehmend auch zum Sorgenkind zu entwickeln scheint, ihr demgegenüber aber als Zukunftsbaumart im Klimawandel viel zugetraut wird, soll dem komplexen Schadgeschehen in einem bei der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (ein Projektträger des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft) beantragten, länderübergreifenden Forschungsprojekt interdisziplinär nachgegangen werden.

Schaderreger an Laubbäumen

Buche

Die anhaltenden Dürrejahre haben bei der Buche in einigen Regionen zu erheblichen Vitalitätseinbußen oder zum Absterben mit einem in den letzten Jahrzehnten nie dagewesenen Schadholzanfall geführt (Abb. 29). Auf den ersten Blick scheinen vorwiegend flachgründige Standorte besonders betroffen zu sein. An geschädigten Buchen finden sich neben abgestorbenen Ästen an exponierten Stammpartien oft Sonnenbrand, aufplatzende Rinde, Rindennekrosen, Schleimflussflecken und Astabbrüche. Die Schwä-

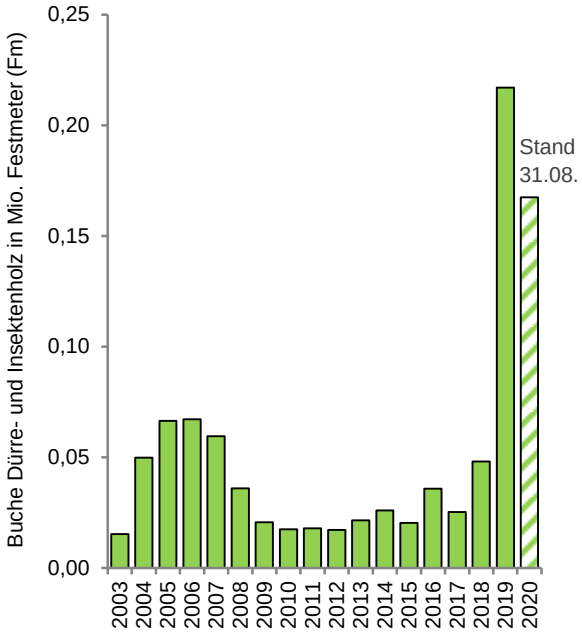


Abb. 29: *Mit der Nutzungsursache „Dürre“ und „Insekten“ bei der Baumart Buche in Baden-Württemberg aufgearbeitetes und verbuchtes Schadholz über alle angeschlossenen Waldbesitzenden; 2003 bis 2019: Jahressummen, 2020: Stand bis zum 31. August (2019 und 2020 sind besonders viele Schadhölzer nicht aufgearbeitet und verbucht worden).*

chung 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 im Rindengewebe und Ständerpilze 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. Das Gefährdungspotential des beobachteten Kleinen Buchenborkenkäfers und der Buchenprachtkäfer darf nach dieser gravierenden Schwächung nicht unterschätzt werden.

Vergleichbar mit dem besonders kritischen Geschehen im Dürrejahr 2018 weisen Buchen auch im trockenwarmen Spätsommer 2020 vielerorts bereits im August verfärbtes Laub oder oft vollständig entlaubte Kronen auf (Abb. 30). Während auch in diesem Jahr wieder ein hoher Anteil der verfügbaren Energie- und Nährstoffreserven für die Ausbildung einer starken Fruktifikation benötigt wurde, erfolgte der frühe Verlust an Blättern, entgegen des üblichen Vorgangs beim Laubabwurf im Herbst, weitgehend ohne Nährstoffrückführung. Aus diesen Gründen kann den betroffenen Buchen an vielen Orten die Energie zur Ausbildung ausreichend vitaler Knospen und zur Bildung benötigter Reservestoffe gefehlt haben. Nach ersten Analysen erweisen sich die Knospenanlagen in der Oberkrone stark entlaubter Buchen allerdings in einem insgesamt besseren Zustand als vor zwei Jahren. Dennoch ist in Zusammenhang mit den bereits in den Vorjahren vorhandenen deutlichen Vitalitätseinbußen zu befürchten, dass auch im nächsten Frühjahr nach dem Austrieb wieder erhebliche Dürreschäden an Buchen zum Vorschein kommen. Das genaue Ausmaß des Schadens ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch nicht baumscharf prognostizierbar, weshalb sich Entnahmen auf zweifelsfrei erheblich geschädigte Bäume mit fehlender Feinverzweigung und auf Bereiche beschränken sollten, wo aus Gründen der Arbeits- und Verkehrssicherheit keinerlei Risiko eingegangen werden kann.

Abb. 30: *Buche nach frühem Laubfall und mit starkem Fruchtbehang bei Schopfheim, August 2020 (Foto: J. Tropf)*

Abb. 40: *Frostschäden an Buchen am Belchen im Südschwarzwald, Juli 2020 (Foto: H. Delb)*

Abb. 41: *Von Antagonisten und Krankheiten deutlich gezeichnete, inaktive und schlaff herab hängende Raupen des Schwammspinners im letzten Entwicklungsstadium zum Zeitpunkt des Höhepunktes des Kahlfraßes im Hohenlohekreis, Juli 2020 (Foto: H. Delb).*

Verstärkend kam hinzu, dass das Blattwerk in diesem Sommer örtlich von der Buchenblattbaumlaus, teils aber auch noch einmal im geringeren Maße als im Vorjahr vom Buchenspringrüssler in Mitleidenschaft gezogen wurde. Zudem sind in den Höhenlagen ab etwa 800 Meter ü. NN im Mai 2020 teils gravierende Spätfrostschäden an dem frisch ausgetriebenen Buchenlaub aufgetreten, die durch einen auf Reserven zurückgreifenden Regenerationstrieb ausgeglichen werden mussten (Abb. 40).

In den nördlichen Landesteilen wurden in diesem Frühjahr wie bereits in den Jahren zuvor auch Buchenbestände vom Schwammspinner kahl gefressen. Im Zusammenhang mit der dürrebedingten Schwächung kam die Frage auf, inwiefern sich die bisherige Einschätzung einer hohen Resilienz der Buchen gegenüber Kahlfraß diesbezüglich noch weiter bestätigt. Dies wird aktuell anhand ausgewählter Beobachtungsflächen in dem Projekt „Analyse Buchenresilienz nach Dürrejahren“ im Rahmen des Notfallplans für den Wald untersucht.

Eiche

Der in den Medien oft in Erscheinung tretende Eichenprozessionsspinner wurde in Baden-Württemberg bis August auf 430 Hektar gemeldet und damit bisher auf weniger Fläche als im Vorjahr. Dabei liegt der Schwerpunkt im Neckarland und in der Region Ostwürttemberg (Abb. 42, links). Die Brennhaare der Raupen sind für Mensch und Tier gesundheitsgefährdend. Des Weiteren können die Fraßschäden der Raupen am Laub bei hohen Dichten zu erheblichen Vitalitätsverlusten und im schlimmsten Fall zum Absterben der betroffenen Eichenwälder führen. Für etwa ein Drittel der gemeldeten Flächen wurde hierfür ein mögliches Risiko eingeschätzt.

Der Schwammspinner kann durch Kahlfraß in Eichenwäldern zu deutlichen Vitalitätseinbußen führen. Gemeldet wurden 335 Hektar, die im Frühjahr betroffen waren. Besonders häufig ist er in den Landkreisen Main-Tauber, Hohenlohe und Neckar-Odenwald im Norden Baden-Württembergs (Abb. 42, rechts) aufgetreten.

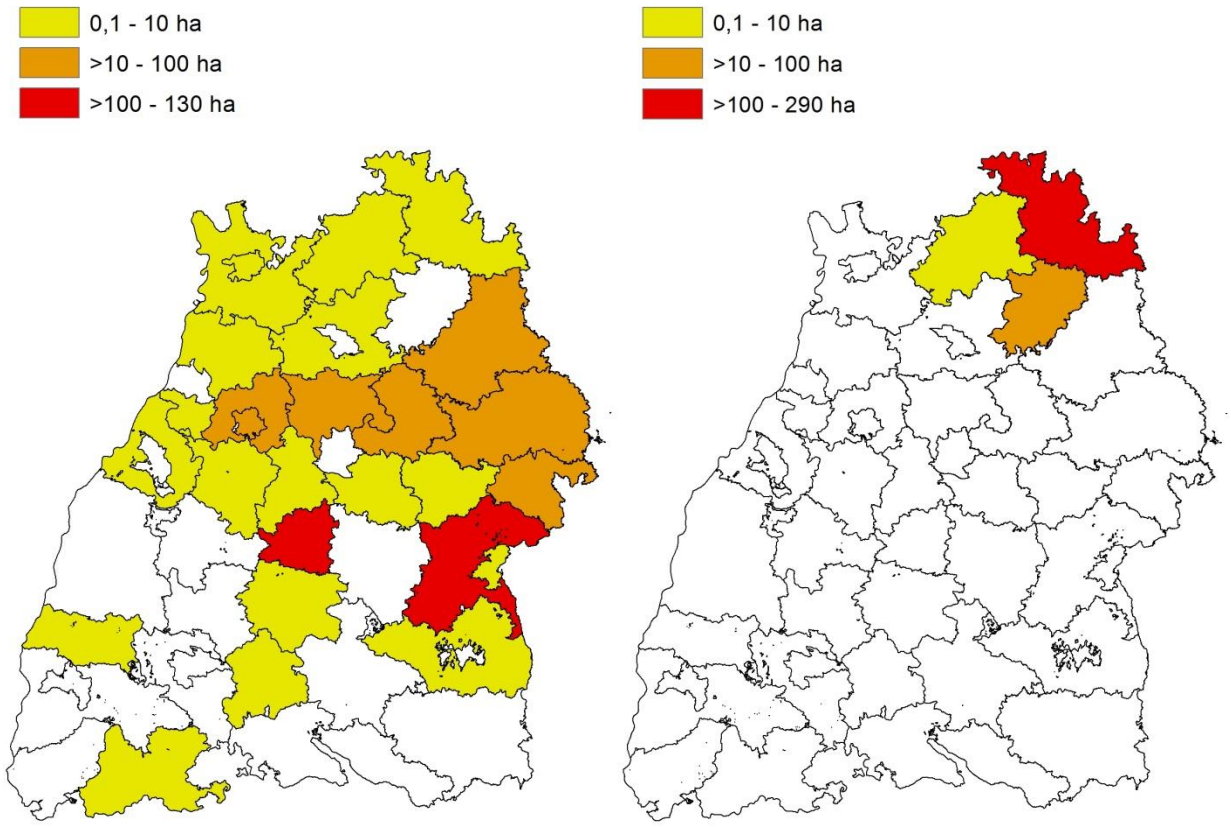


Abb. 42: *Meldungen des Eichenprozessionsspinners (links) und des Schwammspinners (rechts). Stand August 2020 (Quelle: Digitales Waldschutz-Meldesystem Baden-Württemberg)*

Da bereits im Vorjahr Kahlfraß an Eichen zu deutlichen Vitalitätsverlusten führte, sind nach eingehenden Prognosen im Mai 2020 mehrere gezielt ausgewählte Flächen auf insgesamt 169 Hektar mit einem Bakterienpräparat gegen Schwammspinner aus der Luft behandelt worden. Damit wurde einem erneuten Kahlfraß und damit einhergehenden Waldschäden vorgebeugt. Erwartungsgemäß sind die Schwammspinner-Populationen zum Ende der Raupenentwicklung 2020 infolge aufkommender Antagonisten und Krankheiten vielerorts weitgehend zusammengebrochen (Abb. 41), nachdem die betroffenen Laubwaldbestände noch einmal kahlgefressen wurden.

Auch die sogenannte Eichen-Fraßgesellschaft, wozu im wesentlichen Frostspanner und Eichenwickler gehören, ist auf einer Fläche von rund 130 Hektar durch auffällige Blattschäden in Erscheinung getreten. Davon waren hauptsächlich der Rems-Murr- und der Alb-Donau-Kreis betroffen. Insgesamt zeigt sich aber auch bei der Eichen-Fraßgesellschaft im Vergleich zum Vorjahr ein geringeres Fraßgeschehen.

5 STOFFEINTRÄGE

Wälder sind aufgrund ihrer sehr großen Kronenoberfläche in hohem Maße schädlichen Stoffeinträgen ausgesetzt. Mit ihren Nadeln und Blättern filtern sie die zwei- bis dreifache Menge an Schadstoffen und Feinstäuben aus der Luft, als dies andere Landnutzungsformen vermögen. Damit leisten Wälder einerseits einen aktiven Beitrag zur Luftreinhaltung, anderseits führt der stetige Eintrag von Säuren langfristig zu einer dauerhaften Versauerung der Waldböden. Insbesondere der hohe Eintrag von Schwefel- und Stickstoffverbindungen, die über Jahrzehnte in Form von „saurem Regen“ in die Wälder eingetragen wurden, führte lange Zeit zu einer hohen Belastung unserer Waldökosysteme, von der sich viele Waldböden bis heute noch nicht vollständig erholt haben.

Erst nach großen, internationalen Anstrengungen in der Luftreinhaltepolitik konnte durch den Einbau von Entschwefelungsanlagen in der Industrie und der Vermeidung von schwefelhaltigen Brennstoffen ein drastischer Rückgang der Schwefelemissionen erreicht werden. Ebenfalls verringert hat sich seit einigen Jahren der Stickstoffeintrag in die Wälder Baden-Württembergs, jedoch liegen die eingetragenen Mengen in weiten Teilen des Landes nach wie vor über der ökologischen Belastungsgrenze der Wälder.

Dies führt zu einer anhaltenden Versauerung und Nährstoffverarmung der Waldböden, mit direkten Auswirkungen auf die Nährelementversorgung und die Feinwurzelverteilung der Bäume. Zudem mindert eine zunehmende Bodenversauerung die natürlichen Filter- und Puffereigenschaften der Waldböden, so dass es zu einer Gefährdung des Grundwassers kommen kann. Nicht zuletzt haben hohe Stickstoffeinträge auch unmittelbare Auswirkungen auf die Biodiversität im Wald, indem stickstoffmeidende, oft seltene Arten verdrängt werden.

Abb. 43: *Depositionsbehälter zum Auffangen des Bestandesniederschlags auf der Versuchsfläche Hockenheim (Foto: A. Hölscher)*

Verteilung der Stickstoffeinträge

Nadelwälder filtern durch ihre ganzjährige Benadelung deutlich mehr Schadstoffe aus der Luft als winterkahle Laubwälder. Daher ist die Schadstoffbelastung in reinen Nadelholzbeständen besonders hoch. Auf den Fichten-Versuchsflächen des Depositionsmessnetzes in Baden-Württemberg (Abb. 43) übersteigt der Stickstoffeintrag im Jahr 2019 nahezu auf allen Flächen den kritischen Jahresgrenzwert von 15 kg pro Hektar, bei dessen dauerhafter Überschreitung negative Folgen für das Ökosystem zu erwarten sind (Abb. 44).

Lediglich auf den Versuchsflächen in Löffingen und Tauberbischofsheim, im Windschatten des Schwarz- bzw. Odenwaldes, werden geringere Einträge erreicht. Die höchsten Eintragswerte mit über 28 kg pro Hektar und Jahr wurden auf exponierten Standorten des Schwarzwaldes (Schauinsland) bzw. des Odenwaldes (Heidelberg) gemessen. Hier ist ein hoher Anteil an Verkehrs- und Industrieabgasen in Form von Stickoxiden feststellbar. Dagegen wird auf den Versuchsflächen in stark landwirtschaftlich geprägten Regionen, wie z. B. der Region Oberschwaben, Stickstoff überwiegend in Form von Ammonium eingetragen. Der berechnete 10-Jahrestrend (2010 bis 2019) der Stickstoffeinträge ist bei der überwiegenden Mehrheit der Fichten-Versuchsflächen rückläufig (rote Pfeile in Abbildung 44). Besonders starke Rückgänge innerhalb des letzten Jahrzehnts sind auf den Flächen Blauen und Conventwald im Südschwarzwald sowie in Tauberbischofsheim zu verzeichnen. Leicht ansteigende Eintragsraten weisen dagegen die Flächen Hockenheim, Altensteig, Rosenfeld und Worndorf auf. Im Mittel sinkt der jährliche Stickstoffeintrag auf den Fichten-Versuchsflächen im 10-Jahrestrend um rund 0,5 kg pro Hektar (Abb. 45).

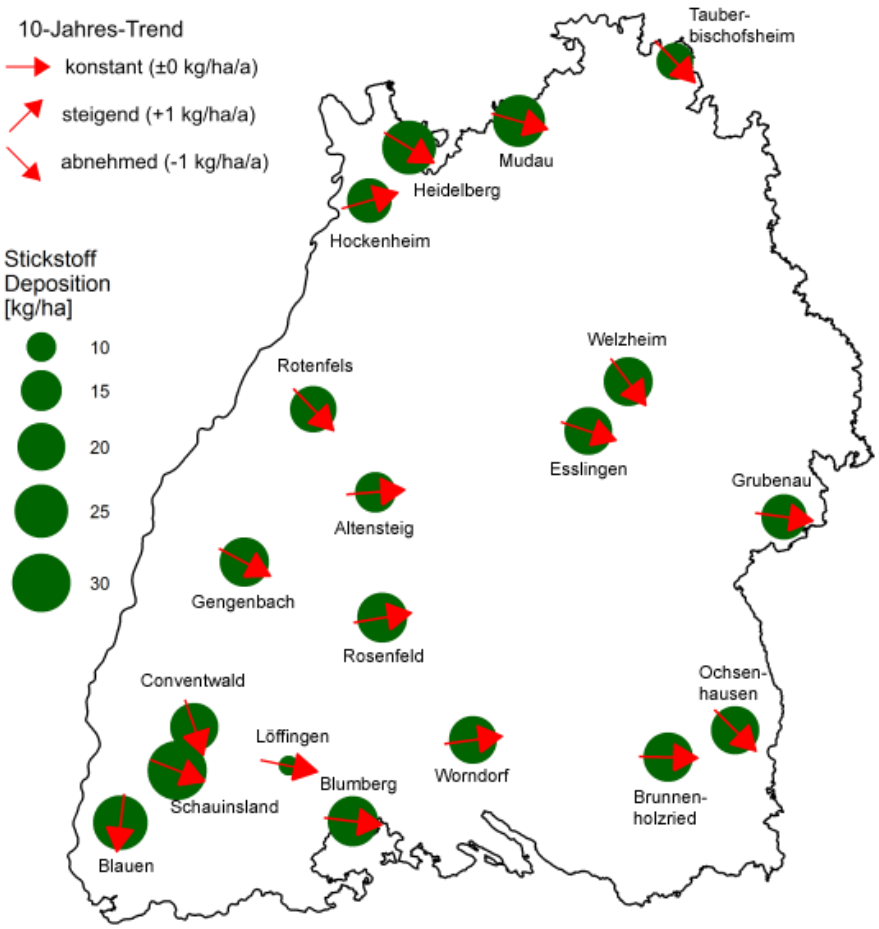


Abb. 44: *Regionale Verteilung der Stickstoffeinträge auf den Fichtenversuchsflächen Baden-Württembergs im Jahr 2019 (Stickstoffaufnahme berechnet nach Ulrich 1991). Die roten Pfeile geben den berechneten 10-Jahres-Trend des Zeitraums 2010 bis 2019 an.*

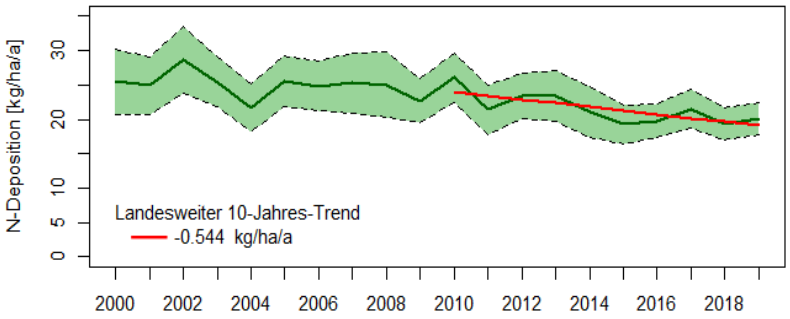


Abb. 45: *Mittlerer Stickstoffeintrag auf den Fichten-Versuchsflächen Baden-Württembergs der Jahre 2000 bis 2019. Die rote Linie stellt den 10-Jahres-Trend für den Zeitraum 2010 bis 2019 dar.*

Auf den fünf Buchen-Versuchsflächen des Intensivmessnetzes Baden-Württembergs liegt der Stickstoffeintrag aufgrund des winterlichen Laubabwurfs um rund mit 25 bis 40 Prozent niedriger als auf den benachbarten Fichtenflächen. Die höchsten Eintragswerte wurden mit jeweils knapp 17,5 kg pro Hektar und Jahr auf den Buchenflächen in Heidelberg und Ochsenhausen gemessen. Dagegen ist der Stickstoffeintrag auf der Buchenfläche in Altensteig mit 11,3 kg pro Hektar und Jahr deutlich geringer.

Bodenversauerung und Regeneration durch Kalkung

Die Bodenschutzkalkung im Wald ist ein etabliertes Instrument zur Kompensation von externen Säureeinträgen, zur Regeneration von Bodenfunktionen und zum Erhalt bzw. zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit (Abb. 46). Sie stellt somit eine Maßnahme zum Erhalt stabiler Waldökosysteme dar, wie dies unter anderem im Landeswaldgesetz als Zielsetzung beschrieben ist (LWaldG BW § 1 Abs. 1).

Waldböden besitzen eine natürliche Pufferkapazität gegenüber Säuren, welche sehr standortsindividuell ausgeprägt ist und vom Ausgangsgestein und der historischen Entwicklung der Böden abhängt. Durch den Eintrag des „sauren Regens“ ist auf vielen Standorten die Pufferkapazität stark beansprucht und in Bereiche fortgeschritten, in denen sehr geringe pH-Werte vorherrschen und Aluminiumionen die Bodenaustauscher dominieren. Das bedeutet, dass für das Waldwachstum essenzielle Nährstoffe wie Calcium, Magnesium und Kalium großteils bereits verloren gegangen sind und das Bodenmilieu ungünstig bis potentiell toxisch für Pflanzenwurzeln geworden ist. Auch viele Vertreter der Bodentiere und Pilze reagieren negativ auf zu große Säurestärken. Die Böden sind nur über einen langen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten bis Jahrhunderten in der Lage die verlorengegangenen Eigenschaften aus „eigener Kraft“, d.h. durch die Mineralverwitterung, wieder zu regenerieren, sodass die Standorte dauerhaft geschädigt bleiben bzw. dauerhaft in einen saureren Status übergegangen sind.

Angesichts des Rückgangs der Säurebelastung zwischen 1980 und 2010 um etwa zwei Drittel hat sich der Fokus der Bodenschutzkalkung von der reinen Kompensation der Säuredeposition verschoben. Seit 2010 zielt das in Baden-Württemberg durchgeführte Kalkungsprogramm auf eine langfristige Regeneration der natürlichen chemischen Ausstattung der Waldböden. Dieses standortsdifferenzierte Kalkungskonzept ist darauf ausgerichtet, eine Wiederannäherung des Bodens an einen vor- bzw. frühindustriellen chemischen Zustand zu erreichen (VON WILPERT et al. 2011). Der Zielzustand der Böden, welcher mit den regenerationsorientierten Kalkungen erreicht werden soll, orientiert sich an Bodendaten, die FRANK (1927) zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Baden-Württemberg erhoben hatte. Die Abweichung vom Zielzustand wird über die aktuelle Versauerung des Unterbodens quantifiziert. Der Vergleich der aktuellen Bodenzustände mit den Ergebnissen von FRANK (1927) zeigt eindeutige großflächige Verschlechterungen des Bodens an, welcher sich entsprechend auch auf die Organismen und Biozönosen vor Ort auswirkt. Dass diese zum Teil sehr stark ausfallen und sich auf menschliche Einwirkungen zurückführen lassen, zeigen auch ULRICH & MEYER (1987) und RIEDINGER (1994). Der versauernde Einfluss von Schwefel- und Stickstoffverbindungen auf Böden ist wissenschaftlich unumstritten.

Bisherige Durchführung der Waldkalkung

Als Konsequenz der weiterhin starken Versauerung der Waldböden in Baden-Württemberg wurde ein landesweites Kalkungsprogramm konzipiert, welches auf der Grundlage eines Kabinettsbeschlusses von 2010 seit nun 10 Jahren durchgeführt wird. Der Beschluss gibt Sollwerte für die jährlich zu kalkende Waldfläche vor. Demnach sind pro Jahr im Staatswald 4.800 Hektar, im Körperschaftswald 8.200 Hektar und im Privatwald 8.000 Hektar zu kalken. Dies entspricht für den Zeitraum von 2010 bis 2019 einer Gesamtfläche von 210.000 Hektar. In diesem Zeitraum wurden jedoch lediglich 136.664 Hektar Waldfläche zur Kalkung ausgeschrieben, was einer durchschnittlichen Soll-Erfüllung von 65 Prozent entspricht. Dass die Kalkungen nicht in dem vorgesehen Umfang durchgeführt wurden, liegt an mehreren Umständen. Zum einen fallen im Laufe der Vorplanungen insbesondere in geologisch heterogenen Bereichen viele Flächen aus der Kalkungskulisse heraus, da sie entsprechend der begleitenden Analysen bessere bodenchemische Eigenschaften haben, als die Modelle vermuten ließen. Des Weiteren wurden durch Ausweitungen von Kalkungsausschlussflächen, welche aus naturschutzfachlichen Rahmenbedingungen resultieren, wie z. B. Moorflächen, Trockenrasen oder kalkungssensible Waldbiotope, ebenfalls weniger Waldflächen gekalkt. Zuletzt ist auch insbesondere die operative Durchführung von Kalkungsmaßnahmen in Körperschafts- und Privatwäldern mit einem sehr hohen verwaltungstechnischen Aufwand verbunden, welcher in Zeiten von Forstreform und Kalamitäten verständlicherweise nicht voll gewährleistet werden konnte.

Abbildung 47 zeigt für die verschiedenen Landkreise Baden-Württembergs, wie viel Waldfläche als kalkungsbedürftig eingestuft ist und in welchem Umfang bereits Kalkungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Im direkten Vergleich ist zu sehen, dass in manchen Landkreisen bereits auf größeren Flächen Kalkungen stattgefunden haben. In anderen Landkreisen sind, trotz hoher Kalkungsbedürftigkeit, seit dem Jahr 2011 noch keine Kalkungen durchgeführt worden. Dies hat vor allem organisatorische Gründe, da Kalkungsmaßnahmen immer nur in einigen Landkreisen zeitgleich (über einen Zeitraum von 3 bis 5 Jahren) durchgeführt werden. Durch die Langfristigkeit des Kalkungsprogramms über einen Zeitraum von 40 Jahren ist dieser Verzug auch fachlich begründbar, macht ebenfalls sehr deutlich, dass das Programm weiterhin durchgeführt werden muss, um eine nachhaltige Regeneration der Waldböden in ganz Baden-Württemberg zu gewährleisten.

Abb. 46: *Terrestrische Kalkausbringung mit dem Unimog (Foto: P. Hartmann)*

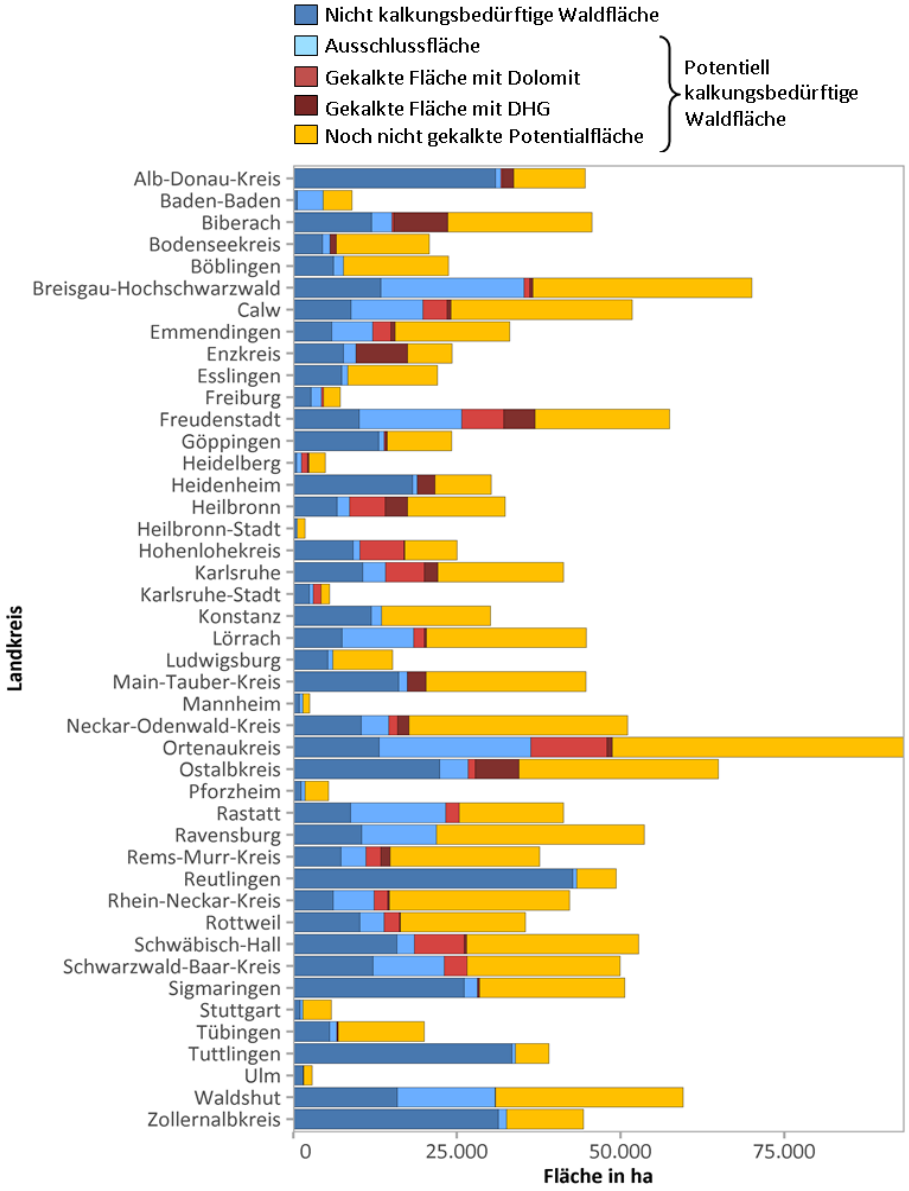


Abb. 47: *Unterteilung der Waldflächen der Landkreise Baden-Württembergs in nicht kalkungsbedürftige Waldfläche und potentiell kalkungsbedürftige Waldfläche („Potentialfläche“). Ein Teil der Potentialfläche wurde bereits mit Dolomit oder Dolomit-Holzasche-Gemisch (DHG) gekalkt; ein Teil enthält Flächen, die aus unterschiedlichen Schutzgründen von der Kalkung ausgeschlossen werden. Gelbe Balken markieren den aktuell noch zu kalkenden Flächenanteil des jeweiligen Landkreises.*

Um das Programm der regenerationsorientierten Bodenschutzkalkung in Baden-Württemberg effizienter umzusetzen, bearbeitet die FVA derzeit im Rahmen des Notfallplans für den Wald das Projekt „BSK-Toolbox“. Ziel ist es, die Entscheidungsgrundlagen zur Bewertung der Kalkungsbedürftigkeit zu verbessern sowie die Verfahrensabläufe bei der Planung und Durchführung von Kalkungsmaßnahmen zu beschleunigen.

Wirkung der Waldkalkung

Durch die Kalkung anthropogen versauerter Waldstandorte werden zum einen aktuelle Säureeinträge neutralisiert und zum anderen die bereits im Boden gespeicherten Säuremengen abgebaut. Dadurch kommt es zu einer Wiederherstellung ursprünglicher Bodeneigenschaften und somit zu einer Stärkung der Wälder, die dadurch widerstandsfähiger gegenüber anderen Stressoren, wie z. B. den Belastungen von Hitze und Dürre, werden können. Langfristige, bodenkundliche Untersuchungen der Bodenzustandserhe-

bung (BZE 2) in Baden-Württemberg belegen eine bessere Nährstoffausstattung der Waldböden mit Calcium und Magnesium im Oberboden nach durchgeführten Kalkungsmaßnahmen (HARTMANN ET AL. 2016). Gleichzeitig konnte in der Vergangenheit mit Hilfe von Nadelanalysen ein höherer Magnesiumgehalt in Fichtennadeln gekalkter Standorte aufgezeigt werden, als dies in Nadeln ungekalkter bzw. kalkungswürdiger Standorte der Fall ist (MEINING ET AL. 2018). Aktuelle Analysen der mittleren Kronenverlichtung für Fichte und Tanne zeigen zudem, dass sich die Vitalität der Bäume nach einer Kalkungsmaßnahme spürbar verbessert. Hierfür wurden alle Kalkungsdaten aus Baden-Württemberg der letzten 30 Jahre zusammengetragen und anschließend mit den Daten der Waldzustandserhebung verknüpft.

Abbildung 48 oben zeigt die Differenz des mittleren Nadelverlusts von Fichten bzw. Tannen auf gekalkten Punkten der Waldzustandserhebung zum Mittelwert aller Bäume der jeweiligen Baumart. Während in den Jahren vor der Kalkung der mittlere Nadelverlust der zu kalkenden Flächen zumeist über dem mittleren Nadelverlust des Gesamtkollektivs liegt, verringert sich diese nach der Kalkung der Bestände merklich.

Bei der Fichte ist dieser Effekt besonders eindrücklich zu sehen. Bereits nach vier Jahren hat sich die Kronenverlichtung der gekalkten Fichten in etwa auf das Niveau aller Fichten verringert. Der verbesserte Kronenzustand bleibt auch in den Folgejahren bestehen. Eine deutliche Verbesserung des Vitalitätszustandes durch eine Bodenschutzkalkung ist auch bei der Tanne zu erkennen. Der mittlere Nadelverlust verringert sich und bleibt mehrere Jahre unterhalb des Verlustprozents aller Tannen. In den unmittelbaren Jahren vor der Kalkung ist dagegen kaum ein Unterschied im mittleren Kronenzustand zu erkennen, was mit der allgemeinen Verbesserung stark geschädigter Tannenbestände in den letzten 30 Jahren erklärt werden kann. Ein ähnliches Bild zeigt die Veränderung der Vergilbungsrate der Bäume nach Kalkung (Abb. 48, unten). Innerhalb weniger Jahre geht die Vergilbung der gekalkten Bäume zurück und nähert sich der Vergilbungsrate des Gesamtkollektives der Baumart an. Auch dieser Effekt hält über mehrere Jahre an.

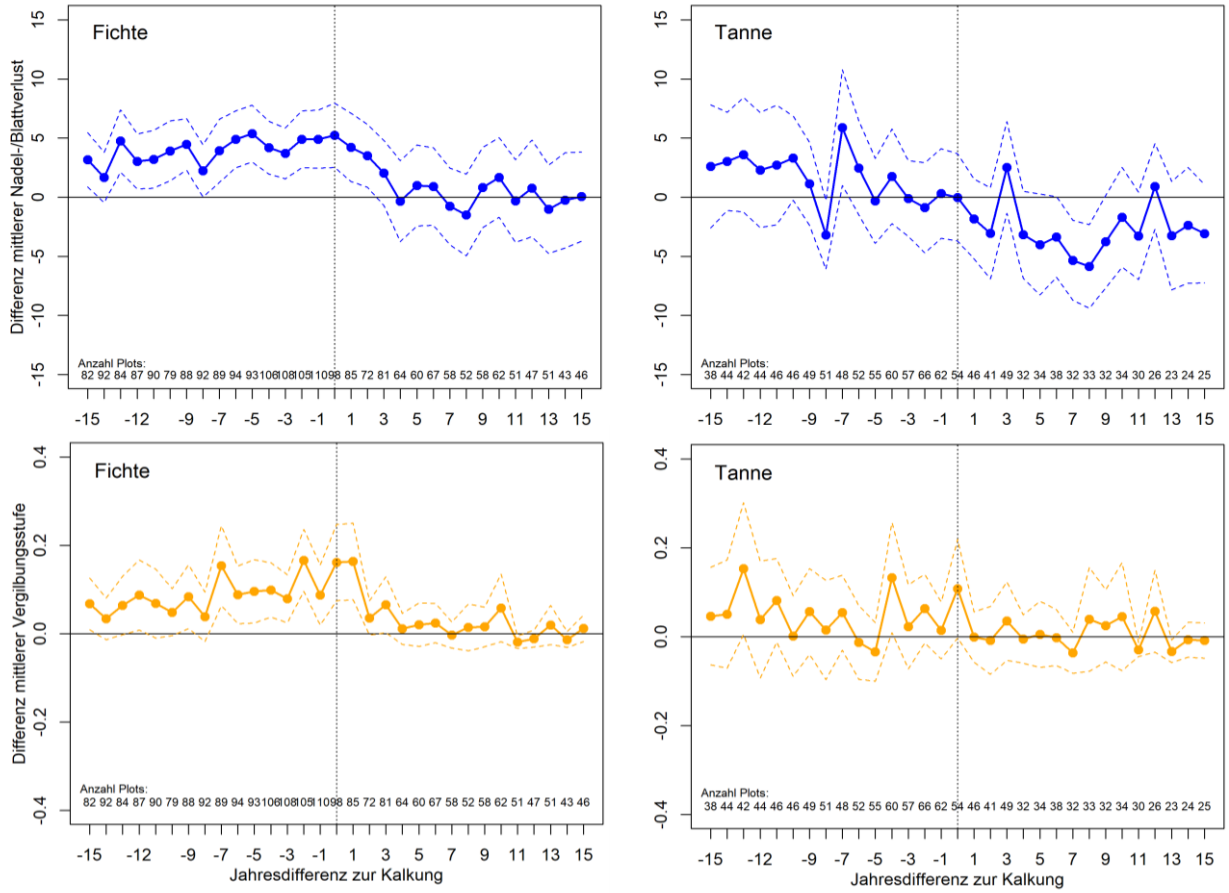


Abb. 48: *Oben: Differenz des mittleren Nadel-/Blattverlusts von gekalkten Fichten (links) bzw. gekalkten Tannen (rechts) im Vergleich zum Gesamtkollektiv der Baumart. Unten: Differenz der mittleren Vergilbungsstufe von gekalkten Fichten (links) bzw. gekalkten Tannen (rechts) im Vergleich zum Gesamtkollektiv der Baumart*

6 FERNERKUNDUNG

Methoden der Fernerkundung können die Struktur, die Zusammensetzung und den Zustand der Wälder aus der Luft erfassen. Sie haben deshalb ein großes Potential verschiedenste Informationen über Wälder flächendeckend und waldbesitzartenunabhängig bereitzustellen und bilden damit eine wertvolle Ergänzung zu den terrestrischen Erhebungen des Forstlichen Umweltmonitorings. Viele der verfügbaren Datenquellen werden zudem regelmäßig, z. B. durch wiederholte Überfliegungen, aktualisiert und können so der Dokumentation von Veränderungen dienen. Für die Unterstützung von Monitoringsystemen sind insbesondere Zeitreihenauswertungen von Fernerkundungsdaten interessant, weil damit die (häufig an einem konkreten Termin durchgeführten) terrestrischen Erhebungen mit dynamischen Informationen aus wiederholten Luftbildauswertungen verknüpft werden können. Bedingung hierfür sind die Vergleichbarkeit der Fernerkundungsauswertungen über den gesamten Auswertungszeitraum und die zuverlässige Erfassung von Änderungssignalen in den Fernerkundungsdaten.

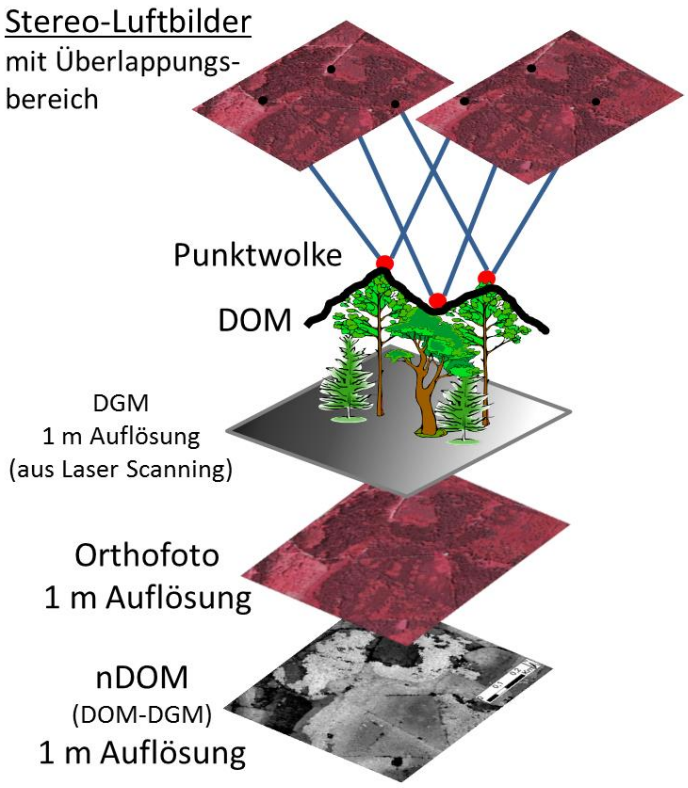


Abb. 49: *Ableitung von Höheninformationen aus Stereo-Luftbildern*

Die verschiedenen Fernerkundungsverfahren unterscheiden sich in ihrer räumlichen Auflösung, vom Turnus ihrer Aktualisierung und nicht zuletzt in den erfassten Daten. So werden aus den Luftbildern der landesweiten Befliegung, welche mit 20 cm Bodenauflösung aufgenommen werden, Höheninformationen des Waldbestandes mit einer Auflösung von 1 Meter abgeleitet. Aus den Satellitendaten des europäischen Erdbeobachtungsprogrammes Copernicus resultieren Auflösungen von 10 bzw. 20 Metern. Drohnen erfassen die Umgebung besonders hochauflösend im Zentimeterbereich. Im Folgenden werden die an der FVA genutzten Fernerkundungsdaten und ihre Verwendung im Bereich des Forstlichen Monitorings erläutert.

Luftbildbasierte Informationen zur Waldstruktur

Durch das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) wird jedes Jahr ein Drittel der Landesfläche mit Stereo-Luftbildern aufgenommen, so dass jeder Landesteil alle drei Jahre neu erfasst wird. Die Luftbilder erfassen neben dem sichtbaren Licht auch das nahe Infrarot, welches für die Differenzierung und Zustandserfassung der Vegetation wichtig ist. Für die weiteren Auswertungen werden die Luftbilder maßstabsgetreu entzerrt und als sogenannte Orthophotos aufbereitet.

Aus den überlappend vorliegenden Luftbildern einer Befliegung können mittels eines sogenannten Image-Matching-Verfahrens digitale Oberflächenmodelle (DOM) abgeleitet werden (ACKERMANN ET AL. 2020). Von diesen Höhen werden die Geländehöhen (DGM) abgezogen, welche für die gesamte Landesfläche aus Laserscanning-Daten (sog. LiDAR-Befliegung, LiDAR für Englisch „Light Detection And Ranging“) zur Verfügung stehen. Das verbleibende Höhenmodell (nDOM = DOM - DGM) stellt die Höhe über dem Grund dar, im Wald also die Vegetationshöhe (Abb. 49).

Mittels räumlicher Analysen lassen sich aus diesen Vegetationshöhenmodellen verschiedenste Parameter für die weitere Beschreibung der Waldstruktur ableiten. So wurden die berechneten Höhen der Waldvegetation

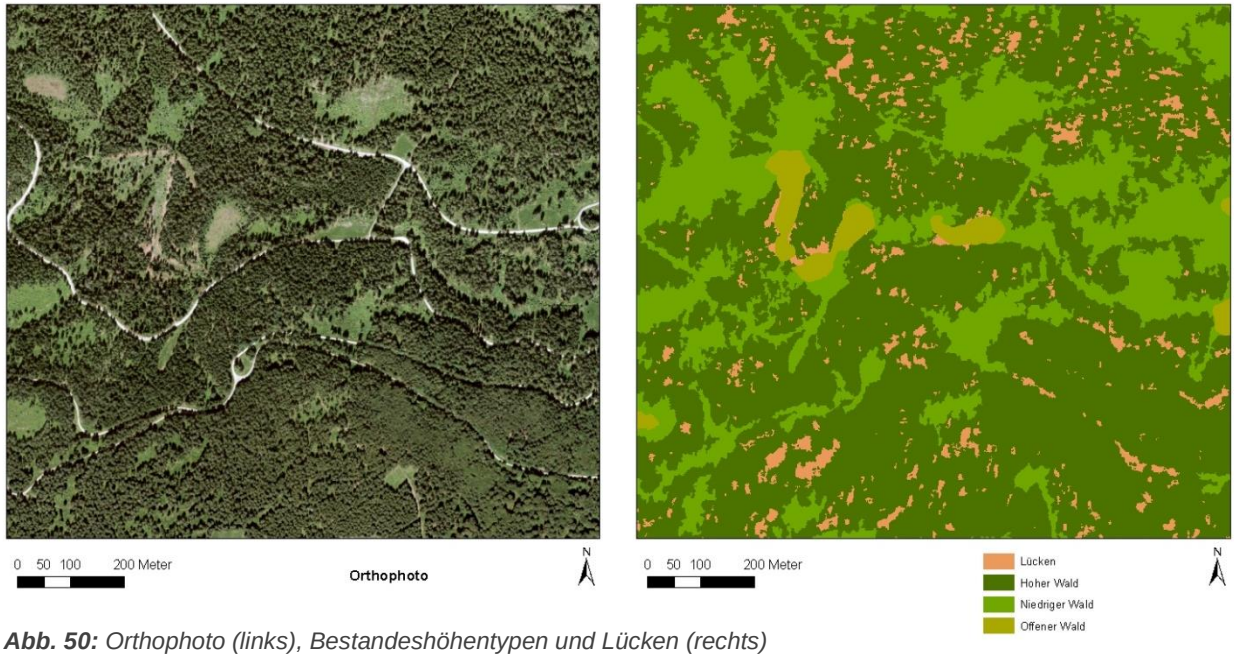


Abb. 50: *Orthophoto (links), Bestandeshöhentypen und Lücken (rechts)*

im Hinblick auf deren räumliche Heterogenität ausgewertet. Diese Informationen können für die Beschreibung der Variabilität einzelner Bestände, Stichprobenpunkte und Monitoringflächen verwendet werden. Da die Heterogenitätswerte mit der mittleren Vegetationshöhe normalisiert sind, können sie für die Strukturerfassung sowohl niedriger als auch höherer Vegetationsbereiche gleichermaßen eingesetzt werden. Bereiche, in denen die Vegetationshöhen kleinräumig wechseln, wie zum Beispiel entlang von Waldwegen oder Waldrändern, werden mit diesen Daten besonders hervorgehoben. Neben der allgemeinen Beschreibung der Höhenheterogenität lassen sich auch auf der Basis der Vegetationshöhenmodelle speziell definierte Waldstrukturen großflächig ableiten (Abb. 50). Ein Beispiel dafür sind offene und lichte Bestände, hohe und niedrige Bestandesbereiche und Bestandeslücken (ZIELEWSKA ET AL. 2016). Hierfür werden offene Bestände mit einer Überschirmung von kleiner 60 Prozent und einer Mindestgröße von 0,3 Hektar definiert, wobei jedes Pixel mit einer Vegetationshöhe von > 2 Meter als überschirmt angenommen wird. Lücken werden in den geschlossenen Bestandesbereichen erfasst und müssen eine Mindestgröße von 10 m² haben. In hohen Bestandesbereichen (> 8 Meter) dürfen Lückenpixel eine maximale Höhe von 2 Meter haben, in niedrigen Bestandsbereichen 1 Meter.

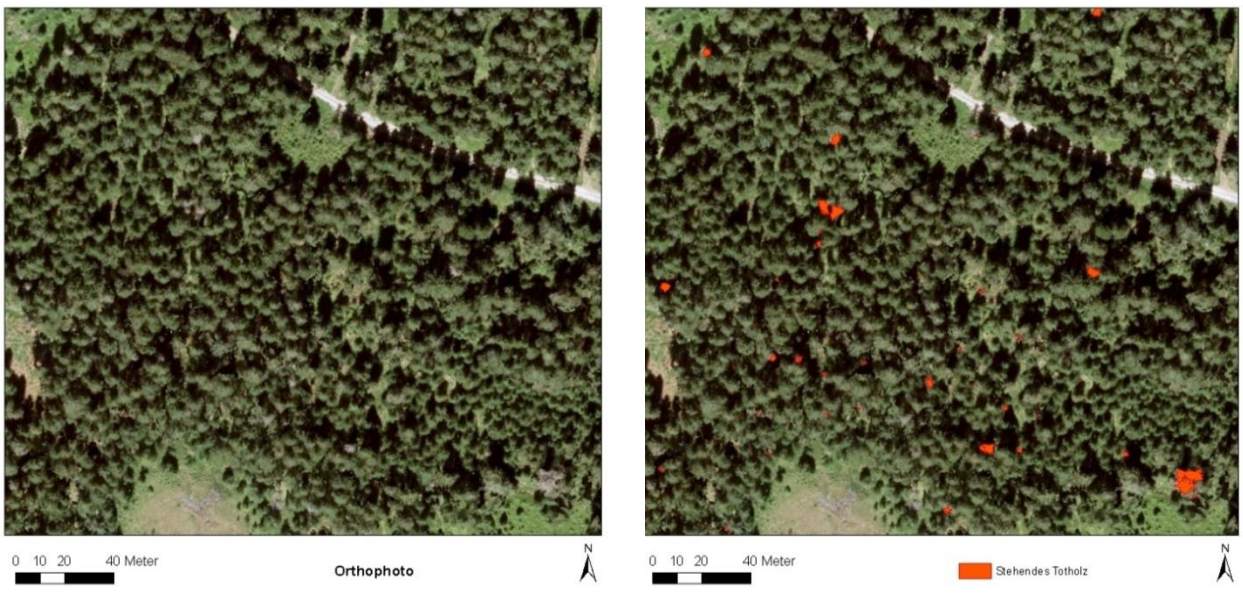


Abb. 51: *Totholzkartierung auf Basis von Orthophotos und Vegetationshöhenmodell*

Mittels einer kombinierten Auswertung der Höheninformationen und der Farbinformationen aus den Orthophotos können zudem eine Reihe weiterer Auswertungen vorgenommen werden. Großes Anwendungspotential haben die Luftbilder beispielsweise bei der Kartierung von stehendem Totholz (Abb. 51). Hierfür werden zum Training der Auswertungsalgorithmen in den Orthophotos visuell Referenzdaten erfasst (ZIELEWSKA ET AL. 2020). Im Vergleich zu terrestrischen Verfahren ist die Luftbildauswertung ungleich schneller und mit einer einheitlichen Methodik über sehr große Gebietskulissen anwendbar. Mittels Fernerkundung gewonnene Informationen zum Vorkommen von Totholz und dessen zeitlicher Dynamik stellen eine wertvolle Datengrundlage für die Konzeption und Evaluierung von Schutzprogrammen sowie die Planung und Umsetzung konkreter Naturschutzmaßnahmen dar.

Drohnenbefliegungen für Intensivbeobachtungsflächen

Drohnenaufnahmen ermöglichen eine kleinflächige, sehr detaillierte, dreidimensionale Erfassung von Waldbeständen bzw. Versuchsflächen. Sie sind sehr flexibel einsetzbar und erlauben bei entsprechender Planung, Durchführung und Auswertung Genauigkeiten im Zentimeterbereich. An der FVA ist hierfür eine Phantom 4 Pro der Firma DJI mit dem Georeferenzierungssystem System KLAU PPK im Einsatz. Die Befliegungen werden unter Berücksichtigung des Geländemodells („Terrain following“) geplant und durchgeführt. Die Ableitung der Punktwolken erfolgt mit dem Programm Agisoft Metashape. Mittels Drohnen gewonnene Daten bieten zunächst einen raschen Überblick über den Zustand der beflogenen Gebiete. Zusätzlich können sie auch zur detaillierten Analyse der Bestandessituation in der Umgebung von Messvorrichtungen verwendet werden. Ein vergleichsweise einfacher Einsatzbereich ist die genaue Lokalisierung von Objekten im Gelände. Abbildung 52 zeigt exemplarisch die Positionsbestimmung von Streusammelbehältern auf einer Messfläche der FVA.

Abb. 52: *Streusammler (weiße Quadrate) in einem True-Orthophoto einer Drohenenbefliegung*

Großflächige satellitenbasierte Schadflächenerhebung

Neben den Luftbildern aus Geländeüberfliegungen stellen Satellitendaten eine weitere wertvolle Datengrundlage für Auswertungen im Forstbereich dar. Die kostenfrei zur Verfügung stehenden Daten der Sentinel 2-Satelliten des europäischen Erdbeobachtungsprogrammes Copernicus sind hierbei von besonderer Bedeutung, da sie speziell für das Vegetationsmonitoring entwickelt wurden (COPERNICUS 2020). Sie umfassen 13 verschiedene Bänder (Spektralbereiche), von denen drei im sichtbaren Licht, drei im sogenannten Red edge-Bereich und zwei im nahen Infrarot liegen. Die genannten Bänder sind insbesondere für die Erfassung von Vegetationsveränderungen bedeutend. Die zusätzlichen Bänder im kurzwelligen Infrarotbereich sind für die Erfassung von atmosphärischen Störungen konzipiert. Die Sentinel 2-Satelliten liefern alle drei bis fünf Tage aktualisierte Aufnahmen. Für weitere Analysen sind nur diejenigen Bereiche auswertbar, die nicht von Wolken verdeckt sind. Bei durchschnittlicher Wettersituation müssen deswegen Satellitenbilder aus einem Zeitraum von zwei bis drei Monaten kombiniert werden, um eine komplette wolkenfreie Abdeckung der Landeswaldfläche zu erhalten. Zudem müssen die Satellitenaufnahmen im Vorfeld einer weiteren automatisierten Auswertung bearbeitet werden, um den Einfluss der Atmosphäre und der Topographie zu korrigieren und eine Vergleichbarkeit verschiedener Aufnahmen zu gewähren.

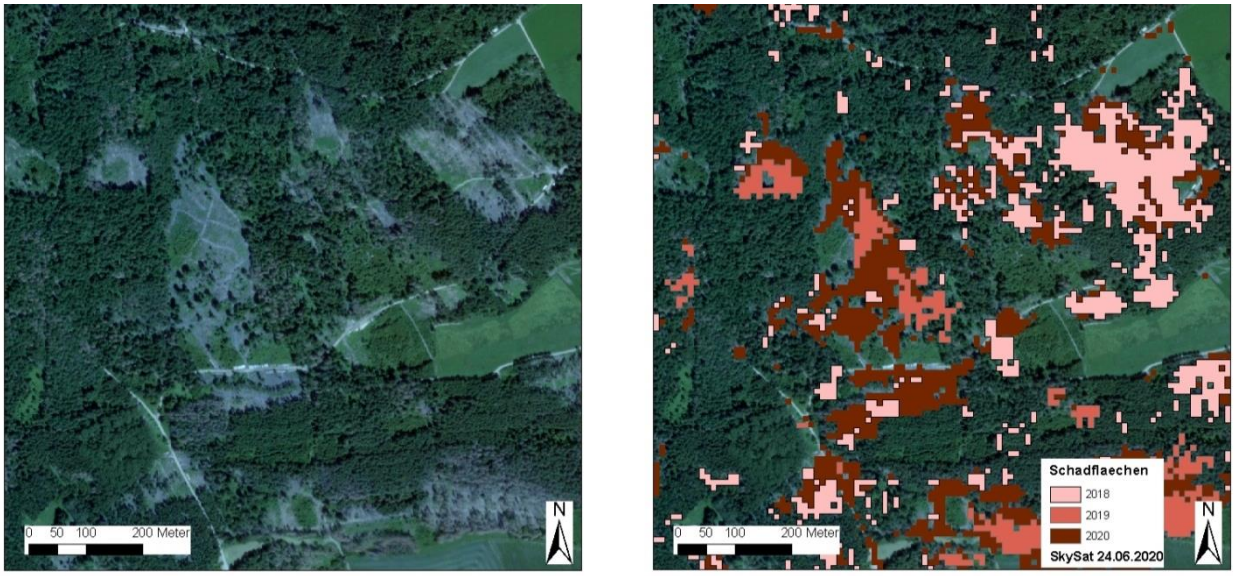


Abb. 53: *Beispiel der Schadflächenerfassung für die Jahre 2018, 2019 und 2020 mit Sentinel 2-Zeitreihen. Links und Hintergrund: Satellitenbild SkySat vom 24.06.2020*

Für die Schaderfassung der Vegetation werden neben den sichtbaren Bereich vor allem die Kanäle im Red edge und nahem Infrarot verwendet. In diesem Bereich beeinflusst die Zellstruktur, der Wassergehalt und der Chlorophyllanteil der von oben sichtbaren Vegetation die Reflexion. Aufeinanderfolgende Überfliegungen können mit Hilfe von Zeitreihenanalysen ausgewertet werden und so Änderungen in den genannten Vitalitätszeigern aufgedeckt werden. Damit lassen sich insbesondere Schadflächen, z. B. infolge von Sturmwurf, Borkenkäferkalamitäten oder Dürreerscheinungen, und deren Dynamik erfassen. Beispielhaft zeigt Abbildung 53 die jährliche Veränderung von Schadflächen, welche in den Jahren 2018, 2019 und 2020 durch Sturm und nachfolgenden Borkenkäferbefall verursacht wurden.

Satellitenbasierte Baumartenverteilungskarten

Neben der Schadflächenerfassung enthalten die Sentinel 2-Daten Informationen, die zur räumlich expliziten Erkennung von Baumarten genutzt werden können. Kenntnisse zum Baumartenvorkommen sind für unterschiedlichste Fragestellungen wichtig, entsprechende Informationen liegen in digitaler Form in Baden-Württemberg jedoch nur für den eingerichteten Wald und dort auch nur in generalisierter Form auf Bestandesebene vor. Aktuelle Projekte der FVA haben zum Ziel, diese Informationen mit Hilfe der Fernerkundungsauswertungen flächendeckend und räumlich spezifischer zu erfassen.

Für die Differenzierung der Baumarten wird das unterschiedliche spektrale Reflexionsverhalten der Baumarten in den verschiedenen Wellenlängen des sichtbaren

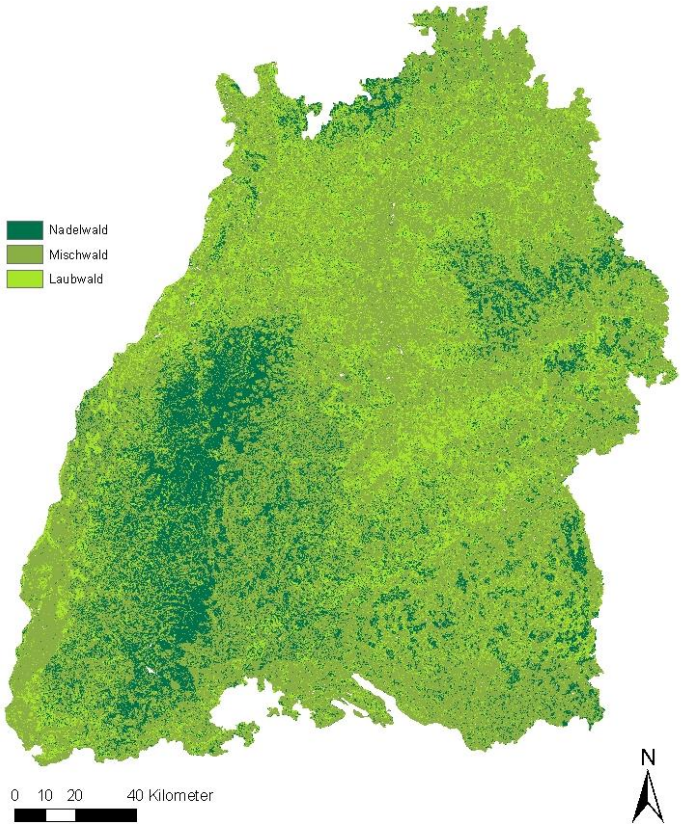


Abb. 54: *Verteilung von Laub-, Misch- und Nadelwald in Baden-Württemberg auf der Basis von Daten der Sentinel 2-Satelliten*

Lichts und vor allem des nahen Infrarots analysiert. Auch die zeitliche Veränderung der Reflexionen im Jahresverlauf wird berücksichtigt.

Für die Kartierung der Baumarten werden wie bei der Totholzkartierung Referenzdaten benötigt. Diese werden aus vorhanden digitalen Geodaten, wie Stichprobenplots, Versuchsflächen und Forsteinrichtungsdaten, entnommen und durch zusätzlich terrestrisch erhobene Punkte ergänzt.

An der FVA wurde auf dieser Basis eine Klassifizierung des Laub- und Nadelanteils auf Pixelebene vorgenommen (SCHUMACHER, J. ET AL. 2019). Als Ergebnis liegt für Baden-Württemberg bislang eine Karte des Laub- Nadel und Mischwaldvorkommens mit einer Auflösung von 10 m vor (siehe Abbildung 54). Aktuell werden weitere Auswertungsverfahren getestet, um auch einzelne Baumarten verlässlich unterscheiden zu können.

Schlussfolgerung und Ausblick

Die oben beschriebenen fernerkundungsbasierten Auswertungsverfahren wurden im Laufe der letzten Jahre an der FVA entwickelt. Für verschiedene Parameter (z. B. Vegetationshöhenmodell, Heterogenität, Lücken) liegen inzwischen flächendeckende Auswertungen für mehrere Jahre vor. Andere Auswertungen, wie z. B. die Totholzerfassung, sind bislang nur für Teilbereiche Baden-Württembergs realisiert. Für die Übertragung auf die Landesfläche werden aktuell die Verfahren angepasst, um unter anderem Waldinformationen und weitere Eingangsdaten aus verschiedenen Datenquellen integrieren zu können. Das Ziel ist die weitgehend automatisierte Auswertung der Fernerkundungsdaten, um landesweite, besitzartunabhängigen und regelmäßig aktualisierte Datengrundlagen für die verschiedensten forstlichen Fragestellungen zur Verfügung zu stellen. Allerdings wird es auch zukünftig notwendig sein, die entwickelten Auswertungsalgorithmen regelmäßig weiterzuentwickeln, etwa um Veränderungen in den Eingangsdaten, wie z. B. bei der Überlappung der Luftbilder, oder Daten von weiteren Satelliten zu berücksichtigen.

Wie gezeigt wurden, besitzen die Fernerkundungsauswertungen ein großes Potential, um die Dynamik der Wälder im Hinblick auf ihre Struktur, aber auch ihre Vitalität zu erfassen und über längere Zeiträume kontinuierlich zu dokumentieren. In verschiedenen aktuellen Projekten werden, basierend auf den vorgestellten Arbeiten, die Fernerkundungsverfahren weiterentwickelt, um insbesondere für den Notfallplan Wald der Landesregierung sowie das Sonderprogramm zur Stärkung der biologischen Vielfalt notwenige Datengrundlagen bereitstellen zu können:

- Im Rahmen des Notfallplans für den Wald werden in einem aktuellen Projekt Verfahren entwickelt, um die Schadflächenentwicklung landesweit in regelmäßigen Intervallen zu erfassen. Hierfür werden die vorgestellten Sentinel 2-Daten verwendet. Höherauflösende Satellitendaten und Befliegungen werden zur Erfassung kleinräumiger Schadflächen eingesetzt.
- Im Rahmen des Sonderprogramms zur Stärkung der biologischen Vielfalt wird ein fernerkundungsbasiertes Monitoringsystem zur regelmäßigen Erfassung der Vegetationsstrukturen innerhalb des Waldes aufgebaut.
- Eine zuverlässige Unterscheidung einzelner Baumarten würden das Nutzungspotential der vorgestellten Fernerkundungsdaten enorm erhöhen. Mit Hochdruck werden momentan geeignete statistische Verfahren wie Zeitreihenanalysen und Methoden des Deep Learning getestet, um diesbezüglich möglichst bald deutlich verbesserte Informationen zur Verfügung zu haben.

7 NOTFALLPLAN FÜR DEN WALD

Die Wälder Baden-Württembergs sind aktuell durch die Folgen des Klimawandels einer großen Gefährdung ausgesetzt. Die Ergebnisse der landesweiten Waldzustandserhebung der letzten Jahre zeigen dies überdeutlich. Extreme Trockenheit, außergewöhnliche Hitze und massiver Borkenkäferbefall setzen dem Wald genauso zu, wie wiederkehrende Sturmwurfereignisse und Befall durch blattfressende Insekten oder stark schädigende pilzliche Erreger, wie z. B. das Eschentriebsterben. Die Landesregierung hat daher im Doppelhaushalt 2020/2021 einen umfassenden Notfallplan für den Wald in Baden-Württemberg aufgestellt, der in fünf Aktionsfelder und insgesamt 37 Maßnahmen gegliedert ist. Unter anderem soll damit eine rasche Wiederbewaldung geschädigter Flächen mit klimaresilienten Baumarten, eine zielgerichtete Beratung und Förderung aller Waldbesitzenden, eine Stärkung der landesweiten Holzvermarktung sowie eine bessere personelle Ausstattung gewährleistet werden. Zusätzlich werden verschiedene Forschungsprojekte durch die FVA Baden-Württemberg bearbeitet, um den Aufbau klimastabiler Wälder sowie das zukünftige Krisenmanagement in der Forstpraxis wissenschaftlich zu begleiten.

Die folgende Liste gibt einen Überblick über Forschungsprojekte der FVA, die im Rahmen des Notfallplans durchgeführt werden:

Aktionsfelder im Notfallplan für den Wald in Baden-Württemberg:

1. Krisenmanagement, Beratung und Kommunikation
2. Finanzielle Förderung von Waldbesitzenden
3. Unterstützung der Holzvermarktung auf Landesebene
4. Forschung durch die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
5. Personelle und finanzielle Maßnahmen

Projekttitel	Beschreibung
Maschinelle Holzaufarbeitung zur Bekämpfung des Borkenkäfers im Klimawandel	Untersuchung, ob und in welchem Umfang die maschinelle Aufarbeitung von Nadelholz als mechanisch-biotechnische Bekämpfung des Borkenkäfers einen Beitrag zur weiteren Minimierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes leisten kann.
Epidemiologie der neuartigen Ahorn-Rußrindenkrankheit	Risikoabschätzung und Handlungsempfehlungen im Umgang mit der neu auftretenden Rußrindenkrankheit für die forstliche Praxis.
Dokumentation Schadkomplex Borkenkäfer/Dürre	Dokumentation der Borkenkäferkalamität 2018 und der Folgejahre. Sicherung der Erfahrungen des Krisengeschehens für künftige Krisenmanagement-Aktivitäten.

Projekttitel	Beschreibung
Analyse Buchenresilienz nach Dürrejahren	Untersuchung der Regenerationsfähigkeit und des Regenerationspotentials der als klimastabil eingeschätzten Buchen nach den Trockenjahren 2018 und 2019, in denen die Buche in einem bisher nicht gekannten Ausmaß gelitten hat.
Versuchsflächen zukunftsfähiger Baumarten	Anlage langfristiger Versuchsflächen mit potentiell zukunftsfähigen Baumarten, um weitere Erfahrungen u.a. bezüglich Mortalität und Wachstum zu sammeln.
DynaVeg	Erarbeitung dynamischer Vegetationsmodelle zur klimadynamischen Eignungsprüfung von Haupt- und Nebenbaumarten, um daraus fundamentale, ökologische Nischen der Baumarten abschätzen zu können.
Alternativ-Baumarteneignung	Weiterentwicklung der vorhandenen Baumarten-Steckbriefe zu praxisrelevanten, standortsensitven Empfehlungen für Alternativbaumarten.
12 neue Artverbreitungsmodelle	Erarbeitung neuer Artverbreitungsmodelle für 12 heimische und nicht-heimische Baumarten. Prüfung der Zukunftsfähigkeit ihrer realisierten klimatischen Nische.
Klimadynamische PNV	Abschätzung und Darstellung möglicher Veränderungen der potentiellen natürlichen Vegetation (pnV) infolge der Klimaveränderungen.
F-Dis	Unterstützung der Forstbetriebe beim Schadmanagement im Krisenfall mit fernerkundungsbasierten Schadflächenkarten.
Buchdrucker-Phänologie im Klimawandel – Anpassung PHENIPS	Erweiterung des Borkenkäferprognosemodells PHENIPS mit neuen, klimabedingten Daten, wie z. B. längere Schwärm-und Befallsperioden, um damit ein verbessertes, dem Klimawandel angepasstes Borkenkäfer-Management zu ermöglichen.
Trockenstresstolerante Saatguterntebestände von Buche, Tanne und Fichte	Bestimmung von klimageeigneten Erntebeständen der Baumarten Fichte, Buche und Tanne in Baden-Württemberg für eine zukünftige Bereitstellung von anpassungsfähigem Vermehrungsgut der heimischen Hauptbaumarten.
Schadflächen und Biodiversität	Untersuchung der Auswirkung von Absterbeprozessen und unterschiedlichen Behandlungen der Schadflächen (Belassen, Räumen, Wiederaufforsten) auf unterschiedliche Waldzielarten mit dem Ziel der Sicherung und Förderung der Biodiversität auf Kalamitätsflächen.

Projekttitel	Beschreibung
Verbesserung des GIS-Tools "Bodenschutzkalkung" (BSK-Toolbox)	Weiterentwicklung des aktuell verwendeten Planungsverfahrens für die regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung im Wald.
DynWHH	Landesweite Abschätzung von möglichem Dürrestress im Wald auf der Basis von Wasserhaushaltsmodellen. Erfassung der klimadynamischen Entwicklung für den standortskartierten und nicht standortskartierten Wald.
Y4DRY	Detaillierte Ursachenanalyse der Trockenschäden 2018 und 2019 an den wichtigsten Waldbaumarten. Verknüpfung von Schadmeldungen mit dynamischen Informationen zu Witterung und standörtlichem Wasser- und Stoffhaushalt in Normal- und Trockenjahren.
KNA Maßnahmen Risikohandhabung	Erstellung einer Kosten-Nutzen-Analyse von Maßnahmen der Risikohandhabung, welche die Entscheidungsgrundlage einer effizienten Auswahl an Maßnahmen bildet.
Konzept chemische Holzcharakterisierung	Klärung des Verwendungspotentials von Holz der Alternativbaumarten für die Bioökonomie und die biobasierte Industrie am Beispiel von Douglasie und Tulpenbaum.
Bürgerschaftliches und unternehmerisches Engagement in der aktiven Wiederbewaldung	Ermöglichung einer zielgruppengerechte Kommunikation der im Notfallplan des Landes verfolgten Wege der Wiederbewaldung durch aktive Mitwirkung, Förderung bürgerschaftliches Engagement und Versachlichung der Walddebatte.
Öffentlichkeitsarbeit für das Forschungsprogramm der FVA im Notfallplan Wald BW	Vermittlung der Forschungsaktivitäten im Bereich Klimawandel, Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen im Wald an die breite Öffentlichkeit.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Klimatische Veränderungen belasten und gefährden zunehmend unsere heimischen Wälder. Ausgesprochen geringe Niederschlagsmengen und hohe Lufttemperaturen ließen auch im Verlauf des Jahres 2020 die Böden vielerorts tiefgründig austrocknen, wodurch die Waldbäume unter akuten Trockenstress gerieten. Zudem breiteten sich die Fichten- und Tannenborkenkäfer wie schon in den Vorjahren massiv aus und führten so zu landesweiten Schäden in Nadelholzbeständen.

Schlechter Vitalitätszustand der Wälder

Der Waldzustand in Baden-Württemberg verschlechtert sich unter dem Einfluss extremer Witterungsbedingungen auch im dritten Jahr in Folge. Die mittlere Kronenverlichtung der Wälder steigt im Jahr 2020 um weitere 0,7 Prozentpunkte auf 28,2 Prozent an. Aktuell wird knapp die Hälfte (46 Prozent) der Waldfläche Baden-Württembergs als deutlich geschädigt eingestuft. Ein derart hohes Schadniveau wurde seit Beginn der Waldzustandserhebung im Jahr 1985 noch nicht festgestellt. Landesweit führten ausgeprägte Trockenphasen, wie schon 2018 und 2019, zu einer erheblichen Belastung der Wälder, die sich oftmals in einem erhöhten Trockenastanteil in den Baumkronen, einer frühzeitigen Welke und einer auffallenden Kurztriebigkeit äußerte. Zahlreiche Bäumen starben im Verlauf des Sommers infolge von Trockenstress und/oder Insekten- bzw. Pilzbefall ab.

Besonders bei der Fichte sind auch in diesem Jahr große Schäden durch Borkenkäferbefall entstanden. Die mittlere Kronenverlichtung der Fichte erhöht sich landesweit um 1,6 Prozentpunkte auf 25,8 Prozent – dem höchsten Wert seit Beginn der Aufnahmen. Als flachwurzelnde Baumart ist die Fichte sehr anfällig gegenüber langanhaltendem Wassermangel und leidet schnell unter Trockenstress. Im Sommer 2020 war dies unmittelbar in einem schlechten Kronenzustand sowie einer erhöhten Mortalität, vor allem infolge von Käferbefall, erkennbar.

Demgegenüber hat sich der Kronenzustand der Tanne, nach deutlicher Verschlechterung im letzten Jahr, aktuell kaum verändert. Der mittlere Nadelverlust verringert sich leicht um 0,3 Prozentpunkte auf 23,2 Prozent. Durch ihr tiefer reichendes Wurzelwerk ist die Tanne trockenheitstoleranter als die Fichte und kann somit Dürrephasen in der Regel besser überstehen.

Für die Kiefer ist im vierten Jahr in Folge ein Anstieg der mittleren Kronenverlichtung auf mittlerweile 32,4 Prozent zu verzeichnen. Im Vergleich zum Vorjahr stellt dies eine Erhöhung um 1,0 Prozentpunkte dar. Neben einer erhöhten Ausfallrate auf sandig-trockenen Standorten der Rheinebene zeigt die Kiefer während des Sommers 2020 landesweit oftmals eine frühzeitige Nadelverbraunung älterer Nadeljahrgänge und eine damit einhergehende erhöhte Kronenverlichtung.

Auch der Kronenzustand der Buche hat sich in diesem Jahr weiter verschlechtert. Der mittlere Blattverlust erhöht sich um 2,6 Prozentpunkte auf 35,2 Prozent. Bereits im August wurde, insbesondere auf flachgründigen Standorten, ein vorzeitiger Laubfall als Reaktion der Bäume auf die Trockenheit beobachtet. Zudem ist bei vielen älteren Buchen ein Absterben einzelner Äste oder ganzer Kronenpartien festzustellen, was die Vitalität der Buchen schwächt und im Wald für erhöhte Bruchgefahr sorgt. Neben akuten Auswirkungen der Trockenheit stellt die diesjährig wiederholt starke Fruktifikation der Buchen eine außergewöhnliche physiologische Belastung dar, in deren Folge deutlich lichtere Baumkronen ausgebildet wurden.

Als einzige Hauptbaumart zeigt die Eiche im Vergleich zum Vorjahr einen deutlich verbesserten Kronenzustand. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 5,5 Prozentpunkte auf 28,5 Prozent. Hierfür spielen die vergleichsweise hohe Trockenheitstoleranz der Eichen sowie der Rückgang der Schäden durch blattfressende Schmetterlingsraupen und des Eichenmehltau-Pilz in diesem Jahr eine Rolle. Im Gegensatz zu den Buchen führte die diesjährig starke Fruktifikation bei den Eichen nicht unmittelbar zu einer höheren Kronenverlichtung.

Der Zustand der Eschen bleibt weiterhin besorgniserregend. Innerhalb weniger Jahre seit dem erstmaligen Auftreten des Eschentriebsterbens im Jahr 2009 hat sich der Kronenzustand dieser Baumart deutlich verschlechtert. Der pilzliche Erreger dringt über die Blätter in den Holzkörper der Eschen ein und führt zu einem typischen Absterben einzelner Triebe, bis hin zum Absterben des ganzen Baumes. Aktuell erhöht sich der Blattverlust der Eschen um 2,2 Prozentpunkte auf 43,1 Prozent.

Mortalität und Borkenkäfer

Die starke Belastung durch Dürre und Hitze in diesem und den zurückliegenden Jahren erhöhte die Mortalitätsrate in den Wäldern Baden-Württembergs außerordentlich. Ein wesentlicher Grund hierfür ist der starke Befall durch Fichten- und Tannenborkenkäfer, die im Verlauf des Sommers 2020 wiederholt massive Schäden in den Wäldern verursachten. Während bei der Fichte die Schäden hauptsächlich auf den Buchdrucker und den Kupferstecher zurückgehen, wird die Tanne in erster Linie durch den Kleinen und den Krummzähnigen Tannenborkenkäfer geschädigt. Im Jahr 2019 konnten sich mit Ausnahme der Hochlagen vielerorts erneut drei Borkenkäfergenerationen ausbilden, da aufgrund der langanhaltenden warm-trockenen Witterung besonders günstige Bedingungen für die Käferentwicklung herrschten. Zusammen mit den vergleichsweise milden Wintermonaten führte dies zu Beginn des Frühjahrs 2020 zu einer sehr großen Ausgangspopulation an Käfern. Verstärkend kam hinzu, dass nach dem Sturmtief „Sabine“ im Februar 2020 trotz hoher Aufarbeitungsintensitäten nahezu landesweit leicht zu besiedelndes Sturmholz in den Wäldern zu finden war. Zusätzlich förderte die trockenwarme Witterung eine rasche Ausbreitung der Käfer, die sich in den geschwächten Wäldern gut vermehren konnten. Unter normalen Umständen können Fichten und Tannen einzelne Borkenkäferangriffe durch Verharzen der Einbohrlöcher wirkungsvoll abwehren. Leiden die Bäume jedoch – wie im Verlauf des Jahres 2020 – temporär unter Trockenstress, reicht der Wasserdruck in bestimmten Zellen nicht mehr aus, um genug Baumharz in Richtung der Einbohrlöcher zu lenken und die Bäume werden anfälliger gegenüber möglichen Borkenkäferattacken. Verstärkend kommt hinzu, dass bei optimalen Verbreitungsbedingungen wie in diesem Jahr die Anzahl der ausfliegenden Borkenkäfer im Laufe der Zeit so groß wird, dass selbst vitale Fichten und Tannen befallen werden und absterben.

Eine überdurchschnittlich hohe Mortalität weist des Weiteren die Esche auf, da sich das Eschentriebsterben noch immer ausbreitet. Von dem pilzlichen Erreger sind mittlerweile landesweit alle Altersklassen der Eschen betroffen. Viele Eschenbestände im Land sind derzeit stark geschädigt und weisen nicht selten eine hohe Anzahl an abgestorbenen Bäumen auf. An infizierten Eschen werden seit einigen Jahren neben dem typischen Triebsterben vermehrt Stammfußnekrosen festgestellt, insbesondere auf nassen Standorten. Die dadurch oftmals hervorgerufene Stockfäule erhöht die Bruchgefahr in Eschenbeständen.

In den letzten Jahren wird zudem in einigen Regionen Baden-Württembergs ein Absterben ganzer Kiefernbestände, vor allem auf Standorten an der Grenze ihres natürlichen Verbreitungsgebietes wie der Rheinebene, festgestellt. Die Ursachen hierfür sind neben den zunehmend milden Wintern vor allem der verbreitete Mistelbefall und Trockenstress, im Zusammenspiel mit Schadinsekten bzw. -pilzen.

Wirkung der Kalkung

Auch wenn die Luftverschmutzung in den letzten Jahrzehnten drastisch abgenommen hat, sind die Waldböden Baden-Württembergs vielerorts weiterhin durch den ehemals hohen Säureeintrag stark belastet. Hohe Stickstoffeinträge, die noch immer in vielen Regionen über der ökologischen Belastungsgrenze der Wälder liegen, beeinträchtigen neben dieser „Altlast“ die Waldböden zusätzlich. Das Konzept der regenerationsorientierten Kalkung ist darauf ausgerichtet, die im Boden gespeicherte Säuremenge abzubauen und so eine langfristige Regeneration der natürlichen chemischen Ausstattung der Waldböden zu ermöglichen. Damit sollen die ursprünglichen Funktionen der Waldböden wiederhergestellt und somit die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegenüber anderen Stressoren wie Hitze und Dürre gestärkt werden. Ergebnisse der Bodenzustandserhebung (BZE) belegen, dass nach

einer Kalkung anthropogen versauerter Waldstandorte die Calcium- und Magnesiumvorräte im Oberboden zunehmen und Fichtennadeln einen höheren Magnesiumspiegelwert aufweisen. Aktuelle Untersuchungen lassen außerdem erkennen, dass sowohl die Kronenverlichtung als auch die Vergilbungsrate bei Fichte und Tanne nach Kalkungsmaßnahmen zurückgehen und dieser Effekt über mehrere Jahre anhält. Die Befunde belegen die Wirksamkeit einer regenerationsorientierten Bodenschutzkalkung auch im Sinne einer Vitalisierung der Waldbestände und einer Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber anderen Belastungen.

Forstliches Umweltmonitoring: Datenbasis für die Anpassung der Wälder an den Klimawandel

Die Erhebungen im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings liefern wichtige Informationen für die zukünftige Gestaltung der Wälder. In Kombination zwischen extensiven Großrauminventuren und intensiven Erhebungen der Versuchsflächen stellen die Daten des Langzeitmonitorings eine wesentliche Datenbasis zur Verfügung, um potenzielle Einflussfaktoren der Wälder wie Witterung, Wasserhaushalt oder Nährstoffversorgung für verschiedenste Standorte ableiten und bewerten zu können. Unter dem Eindruck des dringenden Handlungsbedarfs zur Anpassung unserer Wälder an den Klimawandel zeigt sich mehr denn je, welchen Mehrwert die Daten aus dem Umweltmonitoring hierfür darstellen. Deshalb werden aktuell verschiedene Monitoringflächen in Baden-Württemberg erweitert, um speziell die Entwicklung von Dürren und anderen Witterungsextremen besser zu erfassen. Mithilfe kontinuierlicher Monitoringdaten können Anpassungskonzepte entwickelt und die Wirksamkeit eingeleiteter Maßnahmen stetig überprüft werden. Da viele zukünftige Entwicklungen naturgemäß nur schwer prognostizierbar sind, müssen Waldumbaukonzepte regelmäßig überprüft und an neueste Erkenntnisse angepasst werden. Hierfür ist die konsequente Fortführung eines umfassenden Umweltmonitorings im Wald essentiell. Neben den „klassischen“ Monitoringdaten werden hierbei zukünftig Methoden der Fernerkundung an Bedeutung gewinnen, da sie verschiedenste Informationen großflächig und waldbesitzunabhängig bereitstellen. Zudem können durch regelmäßige Wiederholungen Veränderungen aufgezeigt und dokumentiert werden. Die verschiedenen Fernerkundungsverfahren unterscheiden sich in ihrer räumlichen Auflösung, der zeitlichen Wiederholung und in den erfassten Daten. Die Luftbilder aus den landesweit durchgeführten Befliegungen werden vornehmlich zur Ableitung großflächiger Waldstrukturen angewandt. Dagegen ermöglichen Bildaufnahmen mit Drohnen eine kleinflächige und je nach installiertem Sensor und Aufnahmesystem sehr detaillierte Erfassung von Waldbeständen. Drohnenaufnahmen können zur Analyse der Bestandessituation z. B. auf Versuchsflächen verwendet werden. Eine dritte Möglichkeit zur fernerkundlichen Untersuchung von Waldbeständen stellen Satellitenbilder dar. Die kostenfrei zur Verfügung stehenden Daten der Sentinel 2-Satelliten sind dabei von besonderer Bedeutung, da sie speziell für das Vegetationsmonitoring wichtige Spektralbereiche erfassen.

Fazit

Die Wälder Baden-Württembergs zeigen sich derzeit in einem besorgniserregenden Zustand. Nach dem dritten zu heißen und trockenen Sommer hintereinander verschlechterte sich der Kronenzustand der Wälder 2020 erneut und die Mortalität stieg auf ein außerordentlich hohes Niveau. In dieser Situation ist es wichtig, schnell und effizient auf akute Bedrohungslagen zu reagieren. Im besonderen Fokus steht die Gefährdung der Wälder durch den Borkenkäfer, der massive Schäden in den durch Trockenheit geschwächten Fichten- und Tannenbeständen verursacht und damit auch eine enorme wirtschaftliche Belastung für viele Waldbesitzenden darstellt. Um größere Schäden abzuwenden gilt es mehr denn je, das Käfermonitoring weiter zu intensivieren, befallene Bäume rechtzeitig aufzuarbeiten und für eine schnelle Abfuhr des Holzes aus dem Wald zu sorgen. Der Notfallplan der Landesregierung setzt genau hier an, indem Waldbesitzende unter anderem in der Vermeidung und Bekämpfung von Borkenkäferschäden zielgerichtet unterstützt werden. So sollen angelernte Hilfskräfte („Waldläufer“) beim Borkenkäfermonitoring helfen und landesweit Tabletts mit spezieller Monitoring-Software zur Verfü-

gung gestellt werden. Außerdem stehen Beihilfen für die Aufarbeitung und Entrindung von Käferholz und für die Holzlagerung zur Verfügung. Neben dem Einschlagsstopp für Nadelfrischholz, der im Staatswald bis auf weiteres bestehen bleibt, soll zudem die landesweite Holzvermarktung gestärkt und die Beratung und Betreuung von Waldbesitzenden ausgebaut werden. Neben schnellen Reaktionen auf die akute Gefährdungslage zielt das Notfallprogramm auch auf die mittelfristige Anpassung der Wälder an den Klimawandel, unter anderem durch die rasche Wiederbewaldung geschädigter Flächen mit klimaresilienten Baumarten bzw. Baumartenmischungen sowie den entsprechenden Umbau gefährdeter Bestände.

Unter den sich ändernden Klimabedingungen zeichnet sich auf vielen Waldstandorten Baden-Württembergs ein Wandel der bisherigen Baumarteneignung ab. Dies betrifft insbesondere die Fichte, die in vielen warmtrockenen Regionen Baden-Württembergs unterhalb von 800 Metern ü. NN großflächig ausfallen wird. Deutliche Einschränkungen in der Eignung ergeben sich ebenfalls bei der Kiefer auf Standorten der Rheinebene. Darüber hinaus zeigen aber auch andere Baumarten, wie z. B. die Buche, auf trockenen und häufig flachgründigen Standorten zunehmend Trockenstresssymptome und eine erhöhte Mortalitätsrate. Eine rasche Wiederbewaldung geschädigter Flächen mit klimaresilienten Baumarten ist das vorrangige Ziel, um die vielfältigen Funktionen der Wälder Baden-Württembergs sicherzustellen. Die FVA Baden-Württemberg arbeitet seit Jahren an zahlreichen Projekten der Klimafolgenforschung und stellt somit die wissenschaftliche Grundlage für die zukünftige Waldbewirtschaftung bereit. Neben verschiedenen Projekten zur Klimafolgenforschung werden im Rahmen des Notfallplans für den Wald zahlreiche Untersuchungen unter anderem zur Forstpflanzenzüchtung und der betrieblichen Risikoforschung durchgeführt. Zudem wird das Schadgeschehen der letzten Dürrejahre umfassend aufgearbeitet, um Rückschlüsse für zukünftige Kalamitätsereignisse zu ziehen. Einen Schwerpunkt bilden dabei die klimabedingten Schäden an der Buche und die Frage, inwieweit die heimische Buche als klimastabil zu bewerten ist oder ob sich andere Herkünfte der Baumart für bestimmte Regionen zukünftig besser eignen. Bezüglich der Klimastabilität alternativer Baumarten werden vorhandene Anbauversuche ausgewertet und Probepflanzungen weiterer Baumarten angelegt.

Mit der Klimaveränderung wird sich das Waldbild in den nächsten Jahren und Jahrzehnten an vielen Stellen im Land ändern. Eine angepasste Bewirtschaftung und der nötige Waldumbau sollen nicht nur eine zukünftige Holzproduktion gewährleisten, sondern vielmehr auch die vielfältigen weiteren Funktionen von Waldökosystemen aufrechterhalten. Neben der klimarelevanten Senkenfunktion der Wälder für Kohlenstoff bzw. CO2 ist hierbei die Wasservorsorgefunktion hervorzuheben. Stabile Mischwälder, bei denen großflächige Kalamitäten seltener auftreten, sind ein Garant für sauberes Trinkwasser, vermindern Hochwasserspitzen und erhöhen den Niedrigwasserabfluss in sommerlichen Trockenperioden. Wälder und typische Waldhabitate zu erhalten ist auch für die Erhaltung der Biodiversität von besonderer Bedeutung. Und nicht zuletzt hat dieses spezielle Jahr 2020 gezeigt, dass Wälder für uns Menschen einen wichtigen Erholungs- und Erlebnisraum darstellen. Um den Wald und seine Funktionen sicher in die Zukunft zu führen, wird im Sinne der Risikominimierung ein vielfältiger Mix an Baumarten und Waldstrukturen benötigt.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Ackermann, J., Adler, P., Aufreiter, C., Bauerhansl, C., Bucher, T., Franz, S., Engels, F ., Ginzler, C., Hoffmann, K., Jütte, K., Kenneweg, H., Koukal, T., Martin, K., Oehmichen, K., Rüffer, O., Sagischewski, H., Seitz, R., Straub, C., Tintrup, G., Waser, L., Zielewska-Büttner,K. (2020). Oberflächenmodelle aus Luftbildern für forstliche Anwendungen. Leitfaden AFL 2020. WSL Berichte 87. 60 S.

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

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.

Copernicus (2020). https://www.d-copernicus.de/daten/satelliten/satelliten-details/news/sentinel-2/).

DWD (2020a). https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html (Stand: 01.10.2020)

DWD (2020b). https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html (Stand: 01.10.2020)

Frank, E. (1927). Über Bodenazidität im Walde. Freiburger Druck- und Verlags-Gesellschaft H.M. Huth m.b.H., Freiburg, 155 S.

Granier, A., Bréda, N., Biron, P., Villette, S. (1999). A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. Ecological Modelling, 116, S. 269-283.

Hallas, T., Puhlmann, H. (2020). Modellierung der Trockenstress-Disposition für Borkenkäferbefall. AFZ-DerWald, 18/2020, S. 22-25.

Hartmann, P., Buberl, H., Puhlmann, H., Schäffer, J., Trefz-Malcher, G., Zirlewagen, 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.

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

Meining, S., Puhlmann, H., Hartmann, P., Hoch, R., Augustin, N., Davis, A., Delb, H., John, R., Grüner, J., Seitz, G., Wußler, J. (2018). Waldzustandsbericht 2018. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 54 S.

Meining, S., Morgenstern, Y., Wellbrock, N., Dănescu, A. (2020). Ergebnisse des Foto-Vergleichstest 2019 im Rahmen der Qualitätssicherung zur Waldzustandserhebung in Deutschland. Projektbericht, unveröffentlicht.

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

Riedinger, R. (1994). Boden- und Vegetationsveränderungen in den letzten 60 Jahren an ausgewählten Standorten im Staatswald Güglingen (Stromberg, Baden-Württemberg). Jahreshefte der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg 151, 250-279.

Schumacher, J., Rattay, M., Kirchhöfer, M., Adler, P., Kändler, G. (2019). Combination of multi-temporal Sentinel 2 images and aerial image based canopy height models for timber volume modelling. Forests 2019, 10, 746.

Speich, M.J.R. (2019). Quantifying and modeling water availability in temperate forests: a review of drought and aridity indices. iForest - Biogeosciences and Forestry 12, S. 1-16.

Ulrich B., & Meyer H., (1987). Chemischer Zustand der Waldböden Deutschlands zwischen 1920 und 1960, Ursachen und Tendenzen seiner Veränderung, Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen.

von Wilpert K, Zirlewagen D, Holzmann S & Schäffer J 2011: Bodendaten der BZE, Grundlage für eine langfristige Bodenschutzkalkungsstrategie. Berichte Freiburger Forstliche Forschung 88, 42-52.

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

Zielewska-Büttner, K., Adler, P., Ehmann, M., Braunisch, V. (2016). Automated detection of forest gaps in spruce dominated stands using canopy height models derived from stereo aerial imagery. Remote Sens., 8, 175.

Zielewska-Büttner, K., Adler, P., Kolbe, S., Beck, R., Ganter, L., Koch, B., Braunisch, V. (2020). Detection of standing deadwood from aerial imagery products: Two methods for addressing the bare ground misclassification issue. Forests 2020, 11, 801.

ANLAGEN

Anlage 1:

Baumarten nach Altersgruppen der Waldzustandserhebung 2020

Baumart	Bäume <61 Jahre	Bäume >60 Jahre	Bäume insgesamt
Fichte	791	1.597	2.388
Tanne	146	697	843
Thuja	2	0	2
Douglasie	93	46	139
Kiefer	45	231	276
Schwarzkiefer	0	3	3
Lärche	26	98	124
Eiche	162	398	560
Roteiche	70	9	79
Nuss	2	1	3
Edelkastanie	9	4	13
Robinie	21	8	29
Birke	32	8	40
Buche	457	1.325	1.782
Hainbuche	48	34	82
Linde	29	26	55
Bergahorn	161	99	260
Spitzahorn	40	5	45
Feldahorn	1	4	5
Ulme	9	3	12
Kirsche	23	14	37
Esche	122	176	298
Aspe	3	1	4
Pappel	18	0	18
Rot-Erle	29	12	41
Weiß-Erle	8	0	8
Vogelbeere	33	4	37
Weide	7	0	7
Tulpenbaum	1	0	1
Gesamt	**2.388**	**4.803**	**7.191**

Anlage 2:

Aufnahmedichte der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2020

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

*[1] Flächen-/ Punkt- und Traufaufnahme

*[2] Schwarzwald verdichtet auf 4x4 km

Anlage 3:

Schadstufenverteilung in Prozent von 1985 bis 2020

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

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg

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

Landes Forst Verwaltung BW

Kernerplatz 10
70182 Stuttgart

Tel.: (07 11) 1 26 - 0
Poststelle@mlr.bwl.de
www.landesforstverwaltung-bw.de