

Waldzustandsbericht 2017

Herausgeber:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)

Autoren:

Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung, Freiburg)

Heike Puhlmann (FVA Baden-Württemberg)

Nicole Augustin (University of Bath, England)

Kapitel 5: Horst Delb, Reinhold John, Berthold Metzler (alle FVA Baden-Württemberg)

Kapitel 7: Ulrich Kohnle (FVA Baden-Württemberg)

Titelfoto: Thomas Weidner (FVA Baden-Württemberg)

Bestellung an:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt

Baden-Württemberg

Wonnhaldestraße 4

79100 Freiburg

Tel.: 0761/4018-0

Email: fva-bw@forst.bwl.de

Download:

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

ISSN: 1862-863X

INHALTSVERZEICHNIS

1	VORWORT	3
2	DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING	5
	AUFBAU DES FORSTLICHEN UMWELTMONITORINGS	6
	INTERNATIONALE EINBINDUNG	7
	TERRESTRISCHE WALDSCHADENSINVENTUR	8
3	ERGEBNISSE DER KRONENZUSTANDSERHEBUNG	9
	WALDZUSTAND IN BADEN-WÜRTTEMBERG	9
	VERGILBUNG	11
	SCHADSTUFEN	11
	MORTALITÄT	12
	HAUPTBAUMARTEN	13
	SONSTIGE NADEL- UND LAUBBAUMARTEN	17
	REGIONEN BADEN-WÜRTTEMBERGS	18
4	WITTERUNG	20
	TEMPERATUR UND NIEDERSCHLAG	20
	OZONBELASTUNG DER WÄLDER	22
5	WALDSCHUTZSITUATION	24
	ABIOTISCHE SCHADURSACHEN	24
	BIOTISCHE SCHADERREGER AN NADELBÄUMEN	24
	BIOTISCHE SCHADERREGER AN LAUBBÄUMEN	26
	QUARANTÄNE-SCHADORGANISMEN	28
6	STOFFEINTRÄGE	29
	BODENVERSÄUERUNG UND KALKUNG	30
	REGIONALE VERTEILUNG DER STOFFEINTRÄGE	31
7	WACHSTUMSTRENDS DER WÄLDER	32
	METHODISCHES	32
	ZUWACHSTRENDS	34
	FAZIT	36
8	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION	38
	WALDZUSTAND AKTUELL	38
	URSACHENSUCHE MIT DEM FORSTLICHEN UMWELTMONITORING	38
	WALDWACHSTUMSTRENDS	40
	FAZIT	40
9	LITERATURVERZEICHNIS	42

1 VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

die Wälder Baden-Württembergs sind sehr naturnahe und artenreiche Ökosysteme, deren Erhalt und Stabilität für die nächsten Generationen sichergestellt werden muss. Etwa 38 Prozent der Landesfläche ist mit Wald bedeckt. Damit zählt Baden-Württemberg zu einem der walddreichsten Länder Deutschlands.

Die terrestrische Waldschadensinventur erhebt jährlich den Nadel-/Blattverlust als Indikator für die Waldgesundheit. Sie ist Teil eines umfassenden Forstlichen Umweltmonitorings, das neben dem Kronenzustand die auf die Wälder einwirkenden Umweltfaktoren beobachtet. Damit ermöglicht das Forstliche Umweltmonitoring, negative Entwicklungen der Waldgesundheit frühzeitig zu erkennen und daraus Empfehlungen für das forstliche Handeln abzuleiten.

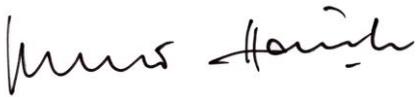
Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich im Jahr 2017 trotz einer regional sehr angespannten Wasserversorgung der Waldbestände gegenüber dem Vorjahr leicht verbessert. Die lange Trockenperiode in der ersten Hälfte des Jahres führte dazu, dass an vielen Standorten die Wasservorräte im Boden zu Beginn der Vegetationszeit sehr gering waren. Lokal einsetzende Regenfälle und das landesweit etwas zurückgehende Niederschlagsdefizit führten bei weiterhin unterdurchschnittlichen Niederschlägen im Jahresverlauf jedoch zu einer leichten Entspannung. Erst in den Monaten Juli und August waren höhere Niederschläge zu verzeichnen, so dass sich die Baumkronen im Sommer 2017 im Allgemeinen gut entwickeln konnten.

Die deutlichste Verbesserung im Kronenzustand ist dieses Jahr in älteren Buchenbeständen festzustellen. Nach der sehr starken Fruktifikation im Jahr 2016 sind in diesem Jahr erkennbar dichtere Baumkronen ausgebildet. Es bleibt jedoch abzuwarten, wie die Buche auf zunehmend stärkere und häufigere Fruktifikationsjahre infolge des Klimawandels reagiert. Im Kronenzustand der Fichte ist kaum eine Veränderung festzustellen. Damit bleibt die Kronenverlichtung der Fichte im zweiten Jahr in Folge nahezu unverändert. Im Gegensatz hierzu weist der Kronenzustand der Tanne aktuell eine Verbesserung auf. Die Borkenkäfergefahr für Fichte und Tanne stieg aufgrund der warm-trockenen Witterung im Jahr 2017 deutlich an. Besonders im Schwarzwald, aber auch in anderen Regionen Baden-Württembergs, erhöhte sich die Anzahl der Käferbäume im Verlauf des Sommers rasant. Entgegen des Erholungstrends von Buche und Tanne hat sich der Kronenzustand der Baumarten Kiefer, Eiche und Esche im aktuellen Jahr verschlechtert. Weiterhin besorgniserregend bleibt vor allem der Zustand der Esche. Die Baumart ist landesweit massiv durch den pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens betroffen, der zu einer deutlich erhöhten Absterberate der Eschen führt.



Unsere Wälder sind wichtige Lebensräume für Tiere und Pflanzen, sie schützen den Boden, regulieren den Wasserhaushalt und sichern unser Trinkwasser. Darüber hinaus liefern sie den unverzichtbaren Rohstoff Holz. Die Forstwirtschaft erhält und entwickelt die Wälder durch ein nachhaltiges Management seit über 300 Jahren. Die Försterinnen und Förster, Forstwirtinnen und Forstwirte sorgen täglich dafür, dass die vielfältigen Leistungen weiterhin für die Gesellschaft erhalten bleiben. Das ist eine großartige Leistung, die unser aller Respekt verdient. Vielleicht denken Sie bei einem Ihrer nächsten Waldspaziergänge daran.

Stuttgart, im Oktober 2017



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

2 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Die Wälder Baden-Württembergs sind sehr naturnahe und artenreiche Ökosysteme, deren Erhalt und Stabilität auch für die nächsten Generationen sichergestellt werden müssen. Etwa 38 Prozent der Landesfläche ist mit Wald bedeckt. Damit zählt Baden-Württemberg zu einem der walddominanten Länder Deutschlands. Wälder stellen aufgrund ihres großen Struktureichtums nicht nur wichtige Rückzugsräume für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten dar, sondern erfüllen zusätzlich eine Vielzahl von verschiedenen Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen.

Neben einer nachhaltigen Bereitstellung des umweltfreundlichen Rohstoffes Holz und der damit verbundenen Sicherung zahlreicher Arbeitsplätze im sogenannten Cluster „Forst und Holz“ leisten Wälder einen wichtigen Beitrag zum Biotop- und Artenschutz in Baden-Württemberg. In der globalen Betrachtung spielen Wälder als Kohlenstoffspeicher eine zentrale Rolle für den Klimaschutz. Lokal betrachtet wirken sie ausgleichend auf das Klima, regulieren den Wasserhaushalt und sichern unser Trinkwasser. Zusätzlich schützen sie vor Bodenerosion und Lawinen.

Eine hohe Bedeutung kommt den Wäldern zudem als Erholung- und Bildungsraum zu. Und nicht zuletzt trägt der Wald durch seine große Filter- und Pufferleistung aktiv zur Luftreinhaltung bei.

Durch die große Nadel- bzw. Blattoberfläche können Wälder im Vergleich zu unbewaldeten Flächen in etwa das Zwei- bis Dreifache an Feinstaub und Schadstoffen aus der Luft herausfiltern. Dadurch sind Wälder jedoch besonders stark schädlichen Luftschadstoffen ausgesetzt. Insbesondere die hohe Anreicherung von Schwefel- und Stickstoffverbindungen seit der Industrialisierung führte in weiten Landesteilen Baden-Württembergs zu einer langfristigen Versauerung der Waldböden, die trotz rückläufiger Stoffeinträge nach wie vor eine deutliche Belastung der Wälder darstellt (HARTMANN ET AL. 2016). Aktuell verstärkt wird die Stressbelastung der Wälder durch die Auswirkungen des Klimawandels. Vor allem langanhaltende Trockenperioden und Temperaturextreme innerhalb der Vegetationszeit stellen im Zusammenspiel mit biotischen Schaderregern eine zunehmende Gefährdung der Wälder Baden-Württembergs dar.

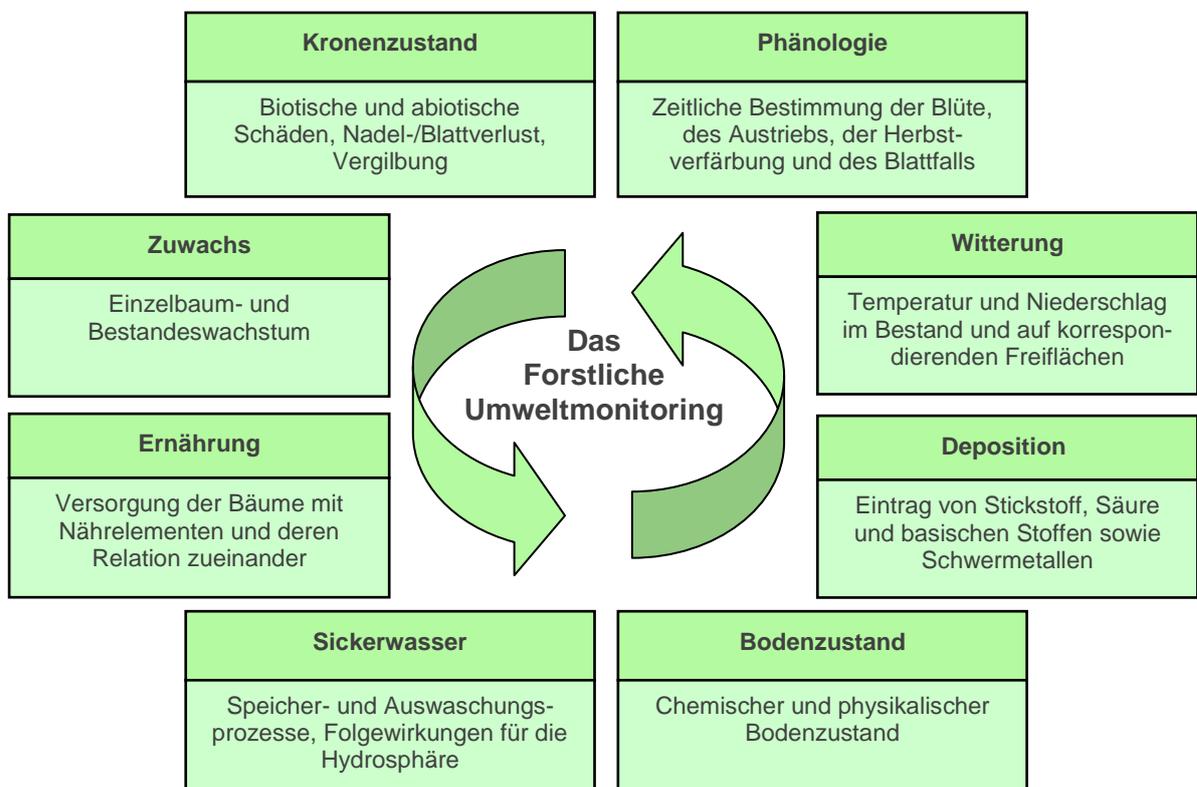


Abb. 1: Themen und Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings

Um die zahlreichen Waldfunktionen langfristig zu sichern und die Vitalität der Waldökosysteme zu gewährleisten, ist es wichtig umfassende Erkenntnisse über den aktuellen Zustand unserer Wälder und deren Reaktion auf auftretende Umwelteinflüsse zu gewinnen. Ziel des Forstlichen Umweltmonitorings ist es, Informationen über Veränderungen der Waldökosysteme zu erheben, um daraus nachhaltig wirksame Maßnahmen zur Verbesserung der Vitalität der Wälder abzuleiten.

Seit Begründung des Forstlichen Umweltmonitorings in Baden-Württemberg Ende der 1970er Jahre, mit ersten Untersuchungen zum Gesundheitszustand der Wälder, hat sich das Untersuchungsprogramm zu einem umfassenden Frühwarnsystem entwickelt, welches langfristige Entwicklungen des Waldzustandes aufzeigt und auf dessen Grundlage geeignete Maßnahmen zum Schutz der Wälder abgeleitet werden können (Abb. 1). Untersuchungsschwerpunkte sind einerseits Erhebungen, die den Zustand eines einzelnen Baumes bzw.

des Waldbestandes charakterisieren, wie z.B. zum Kronenzustand, zur Phänologie, zum Zuwachs oder zur Ernährungssituation. Andererseits werden aber auch standortsbezogene Einflussgrößen beobachtet, wie z.B. Witterung, Stoffeinträge, Bodenzustand und Sickerwasser. Im Zusammenspiel der einzelnen Untersuchungen ergibt sich ein umfassendes Bild zur aktuellen Entwicklung des Waldzustandes in Baden-Württemberg.

Aufbau des Forstlichen Umweltmonitorings

Das Forstliche Umweltmonitoring gliedert sich methodisch in zwei Untersuchungsebenen (Tab. 1). Zum einen ist dies ein systematisch angelegtes Aufnahmenetz (Rasterstichproben) mit einem hohen Stichprobenumfang und vergleichsweise geringer Aufnahmeintensität, welche als Übersichtserhebung repräsentative Ergebnisse für ganz Baden-Württemberg liefert.



Abb. 2: Versuchsfläche des Intensiven Ökosystemmonitorings bei Kirchzarten (Conventwald)

Tab. 1: Aufbau des Forstlichen Umweltmonitorings

Rasterstichproben	Versuchsflächen
<p>Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) Untersucht den aktuellen Kronenzustand und zeigt die Entwicklung der Wälder auf. Es finden jährliche Erhebungen statt (seit 2005 auf dem 8x8 km-Netz).</p>	<p>Depositionsflächen Messung der Säure- und Stickstoffeinträge im Niederschlag.</p>
<p>Bodenzustandserhebung (BZE) Untersucht den bodenchemischen Zustand der Waldböden. BZE1: 1989 bis 1992. BZE2: 2006 bis 2008.</p>	<p>Intensives Ökosystemmonitoring / Klimastationen Zusätzlich zur Deposition wird der Stofffluss, der Wasserhaushalt, das Wachstum, die Ernährung sowie die Bodenvegetation untersucht.</p>
<p>Ernährungsinventur (IWE) als integrierter Teil der BZE Untersucht den Nährstoffgehalt in den Nadeln bzw. Blättern. Wiederholungsinventur alle fünf bis sieben Jahre. Letzte Erhebung 2017.</p>	<p>Dauerbeobachtungsflächen Erhebung des aktuellen Kronenzustandes für die Hauptbaumarten in ihren Hauptverbreitungsgebieten.</p>
	<p>Waldwachstumskundliche Flächen Stellen Informationen über das Wachstum der Hauptbaumarten auf verschiedenen Standorten bereit.</p>

Zum anderen sind dies gezielt ausgewählte Versuchsflächen (intensives Monitoring), auf denen für die einzelnen Standorte aufwendige Untersuchungen zu Umwelteinflüssen und dessen Wirkungen auf den Wald durchgeführt werden (Abb. 2).

Zu den Rasterstichproben zählt die Terrestrische Waldzustandsinventur (TWI), die Bodenzustandserhebung (BZE) sowie die darin integrierte Immissionsökologische Waldernährungsinventur (IWE). Alle Untersuchungen werden auf den gleichen Stichprobenpunkten durchgeführt, so dass integrierende Auswertungen zwischen den verschiedenen Erhebungen möglich sind. Die Stichprobenpunkte der Rastererhebung werden systematisch durch den Abstand des Aufnahmenetzes bestimmt. Dabei wird jeder Schnittpunkt im Wald als Aufnahmepunkt angelegt. Die Rasterabstände variieren zwischen den Inventurprogrammen, aber auch innerhalb eines Programms kann sich die Aufnahmedichte zwischen den Jahren unterscheiden. Bisher wurden in Baden-Württemberg die Aufnahme-raster des 16x16, 8x8 und 4x4 km-Netz erhoben.

Im Gegensatz zu den Rasterstichproben wurden die Versuchsflächen für das intensive Monitoring bewusst entsprechend den festgelegten Untersuchungszielen ausgewählt. Hierbei können der Standort, die räumliche Lage oder die Baumartenzusammensetzung ausschlaggebend für die Auswahl sein. Auf den Versuchsflächen wird eine Vielzahl von Umweltparametern

mit einer sehr hohen zeitlichen wie räumlichen Messintensität aufgenommen. Ziel dabei ist es, den Einfluss verschiedener Umweltfaktoren und deren Wirkung auf das Ökosystem Wald erklären zu können. Zu den Versuchsflächen zählen die Depositions- und Stoffflussflächen, die Dauerbeobachtungsflächen, die Klimastationen sowie waldwachstumskundliche Flächen.

Internationale Einbindung

Das Forstliche Umweltmonitoring Baden-Württembergs ist sowohl in nationale als auch in internationale Umweltprogramme eingebunden. Von den landesweit 321 zur Verfügung stehenden Rasterstichproben liegen insgesamt 52 Aufnahmepunkte auf dem europäischen 16x16 km-Netz. Die Ergebnisse dieser Punkte fließen in das Europäische Umweltmonitoring-Programm „Level I“ ein und werden zur Beurteilung des nationalen wie auch europäischen Waldzustandes herangezogen. Von den Versuchsflächen Baden-Württembergs sind insgesamt fünf Intensivmessflächen mit jeweils einem Fichten- und einem Buchenplot Bestandteil des Europäischen Umweltmonitoring-Programms „Level II“. Somit stehen die Ergebnisse der landesweiten Erhebung Baden-Württembergs auch für übergreifende Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

Terrestrische Waldschadensinventur

Die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) untersucht den Kronenzustand der Waldbäume in Baden-Württemberg. Dabei wird jährlich an jedem Rasterstichprobenpunkt der Kronenzustand an 24 zufällig ausgewählten Bäumen erhoben. Hauptkriterium zur Beurteilung des Kronenzustandes sind der Nadel-/Blattverlust und die Vergilbung der Bäume (Abb. 3). Beide Parameter werden in 5-Prozentstufen eingeschätzt und anschließend zu Schadstufen zusammengefasst. Zusätzlich werden im Rahmen einer ausführlichen Differentialdiagnose für jeden Baum alle weiteren auftretenden Schäden aufgenommen. Hierunter fallen insbesondere Schäden durch Insekten, Schäden durch Witterungsereignisse und Schadsymptome aufgrund mangelnder Nährstoffversorgung. Weitere Informationen zur Methodik der Terrestrischen Waldzustandsinventur stehen auf www.fva-bw.de zur Verfügung.



Abb. 3: Fichtenkrone mit 30 Prozent Nadelverlust
(aus: AG KRONENZUSTAND 2007)

Tab. 2: Anzahl untersuchter Probestämme der Waldschadensinventur 2017

	Gesamt	Baumalter... bis 60 Jahre	ab 61 Jahre
Fichte	2.448	731	1.717
Tanne	880	127	753
Kiefer	291	41	250
sonstige Nadelbäume	259	118	141
Buche	1.682	426	1.256
Eiche	551	152	399
Esche	327	130	197
sonstige Laubbäume	764	528	236
Gesamt	7.202	2.253	4.949
Stichproben- punkte	304	/	/

Die Außenaufnahmen der diesjährigen Waldschadensinventur fanden vom 21. Juli bis 18. August 2017 statt. Von den insgesamt 321 Aufnahmepunkten des 8x8 km-Netzes konnten dieses Jahr 304 Punkte regulär aufgenommen werden. An 17 Punkten ruht die Aufnahme, da derzeit nicht genügend Bäume in ausreichender Höhe zur Verfügung stehen. Dabei wurde der Kronenzustand von insgesamt 7.202 Bäumen untersucht (Tab. 2). Gemäß der aktuellen Baumartenzusammensetzung in Baden-Württemberg ist dabei die Fichte am häufigsten in der Stichprobe vertreten, gefolgt von der Buche. Etwa ein Drittel aller untersuchten Bäume entfallen auf die Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und etwa zwei Drittel auf die Altersgruppe „ab 61 Jahre“.

3 ERGEBNISSE DER KRONENZUSTANDSERHEBUNG

Waldzustand in Baden-Württemberg

Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich gegenüber dem Vorjahr insgesamt verbessert. Damit setzt sich der positive Trend der letztjährigen Erhebungen fort. Allerdings bleibt der Waldzustand bezogen auf die gesamte bisherige Beobachtungsperiode auf einem weiterhin erhöhten Schadniveau. Die Waldschadensinventur 2017 weist als Gesamtergebnis über alle Baumarten und Altersstufen einen mittleren Nadel-/Blattverlust von 22,0 Prozent auf (Abb. 4). Das bisher höchste Schadniveau der Wälder Baden-Württembergs wurde mit über 26 Prozent in den Folgejahren des „Jahrhundertsommers“ 2003 festgestellt. Seither ist eine trendhafte Erholung im Waldzustand sichtbar, der jedoch immer noch über dem durchschnittlichen Schadniveau der Jahre vor 2003 liegt.

Im Vergleich zur Waldschadensinventur des Vorjahres ist der mittlere Nadel-/Blattverlust um insgesamt 1,8 Prozentpunkte zurückgegangen. Zwar waren aufgrund der sehr geringen Niederschläge im Winter 2016/2017 die Wasserspeicher im Waldboden nur gering gefüllt,

jedoch konnten sich die Baumkronen durch vermehrt einsetzende Niederschläge zu Beginn der Vegetationszeit im Allgemeinen dennoch gut entwickeln. Die Sommermonate Juli und August stellten mit landesweit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen wieder eine ausreichende Wasserversorgung der Wälder sicher. Die Erholung des Kronenzustandes wurde zudem durch eine geringe Fruchtausbildung der Bäume im Jahr 2017 begünstigt. Eine starke Blüh- und Fruchtausbildung, wie im Jahr 2016 vor allem bei der Baumart Buche beobachtet, stellt für die Bäume eine starke physiologische Belastung dar, die sich direkt in einer erhöhten Kronenverlichtung zeigt. Bei einer starken Fruktifikation stehen dem Baum aufgrund des hohen Nährstoff- und Energiebedarfs nicht mehr ausreichend Reserven für das vegetative Wachstum zur Verfügung. Als Folge können kürzere Triebe, kleinere Nadeln bzw. Blätter oder eine Reduktion der Seitenverzweigung auftreten. Dagegen kann regelmäßig in Jahren mit einer geringen Fruktifikation – wie im aktuellen Jahr – eine deutliche Regeneration der Baumkronen beobachtet werden.

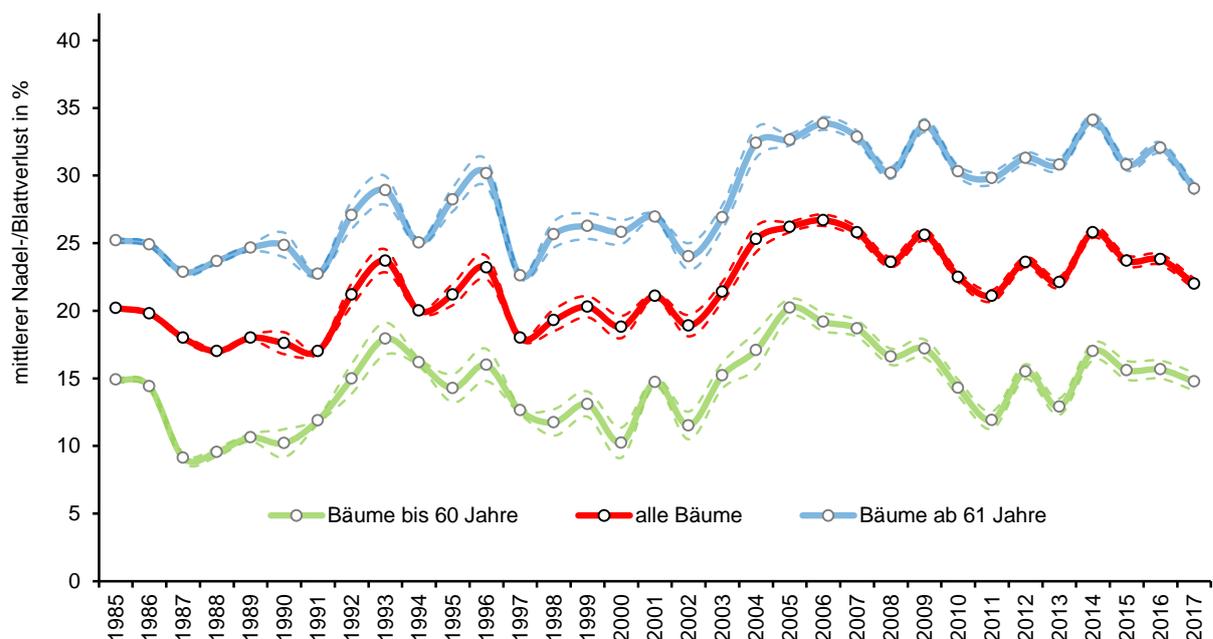


Abb. 4: Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes aller Bäume in Baden-Württemberg sowie getrennt nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ (gestrichelte Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an)



Abb. 5: Einzelne abgestorbene Tannen im Sommer 2017 im Südschwarzwald (Foto: S. Meinung)

Ein Kälteeinbruch in der zweiten Aprilhälfte 2017 mit verbreiteten Nachfrösten verursachte nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch regional in den Wäldern Baden-Württembergs akute Schäden an den frisch ausgetriebenen Blättern und Trieben. Hiervon besonders betroffen waren Jungbestände von Buchen, Tannen und Fichten. Im Verlauf des Jahres konnten diese Spätfrostschäden allerdings zumeist durch einen nachträglichen Austrieb ausgeglichen werden. Belastend für die Vitalität der Waldbäume in einigen Regionen Baden-Württembergs war im Jahr 2017 das Auftreten von Schadinsekten. Insbesondere im nördlichen Baden-Württemberg führten Schäden durch blattfressende Raupen während des Sommers zu einer merklichen Kronenverlichtung in Eichenbeständen. Auffallend war zudem die augenscheinlich zunehmende Belastung durch den Borkenkäfer im Verlauf des Sommers, der vor allem im Schwarzwald sowohl Fichten als auch Tannen einzelbaumweise zum Absterben brachte (Abb. 5). Landesweit nach wie vor

kritisch ist der Zustand der Esche, die durch den Erreger des Eschentriebsterbens massiv geschädigt wird.

Die aktuellen Ergebnisse der Waldschadensinventur zeigen sowohl für die Altersgruppe der Bäume „bis 60 Jahre“ als auch für die der Bäume „ab 61 Jahre“ eine Verbesserung im Kronenzustand. Während der mittlere Nadel-/Blattverlust der jüngeren Bäume lediglich leicht um 0,9 Prozentpunkte zurückgeht, ist bei den älteren Bäumen ein deutlich stärkerer Rückgang zu verzeichnen. Gegenüber dem Vorjahr verringert sich die mittlere Kronenverlichtung der älteren Bäume deutlich um 3,0 Prozentpunkte. Dies ist vor allem auf die geringe Fruktifikation der Waldbäume im aktuellen Jahr zurückzuführen, was insbesondere auf Bäume der älteren Altersgruppe, d.h. auf Bäume im blühfähigen Alter, zutrifft. Nach der starken Fruktifikation der Buchen im letzten Jahr ist insbesondere bei den Buchen der Gruppe „ab 61 Jahren“ eine deutliche Verbesserung im Kronenzustand sichtbar.

Vergilbung

Die Vergilbung der Nadeln und Blätter ist in den Wäldern Baden-Württembergs in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Während zu Beginn der Waldschadensinventur noch bis zu zehn Prozent der Waldfläche Vergilbungssymptome aufwiesen, wurde in den letzten Jahren eine stark verminderte Vergilbungsrate festgestellt. Derzeit treten an 2,0 Prozent der Waldfläche Bäume mit Vergilbung auf (Abb. 6).

Eine Vergilbung der Blattorgane wird oftmals durch einen akuten Nährstoffmangel verursacht. Vor allem ein Mangel an Magnesium kann in Bäumen zur Auswaschung des grünen Pflanzenfarbstoffes führen, was eine typische Vergilbung von Nadeln bzw. Blättern bewirkt (Abb. 7). Bis Mitte der 1990er Jahre waren Vergilbungssymptome an Waldbäumen in Baden-Württemberg noch weit verbreitet. Insbesondere an exponierten Mittelgebirgslagen führten hohe Stoffeinträge (vor allem Schwefel- und Stickstoffeinträge) zu einer langfristigen Versauerung und Nährstoffverarmung der Waldböden. Akute Mangelsymptome der Waldbestände waren die Folge. Der außerordentlich starke Rückgang der Vergilbung innerhalb der letzten Jahrzehnte belegt eindrucksvoll den Erfolg der seither durchgeführten Maßnahmen zur Stabilisierung der Wälder. Diese beinhalten – neben einer drastischen Senkung der Luftschadstoffe – die Kalkung anthropogen versauerter Waldstandorte sowie die Förderung von Mischbeständen zur natürlichen Verbesserung der Bodenqualität.



Abb. 7: leichte Vergilbung an einem Fichtenzweig (Foto: R. Hoch)

Schadstufen

Aus den Parametern „Nadel-/Blattverlust“ und „Vergilbung“ werden die sogenannten Schadstufen berechnet, die einen schnellen und zusammenfassenden Überblick über die Entwicklung des aktuellen Waldzustandes geben (Tab. 3). Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2017 zeigen einen starken Rückgang der deutlich geschädigten Waldfläche (Schadstufen 2 bis 4) in Baden-Württemberg. Derzeit gelten 31 Prozent der Waldfläche als deutlich geschädigt. Ein so geringer Anteil wurde seit dem Jahr 2003 nicht mehr erreicht. Demgegenüber steigt der Anteil der schwach geschädigten Waldfläche (Schadstufe 1) auf nunmehr 38 Prozent deutlich an, während sich der Anteil der ungeschädigten Waldfläche (Schadstufe 0) nur geringfügig auf 31 Prozent erhöht.

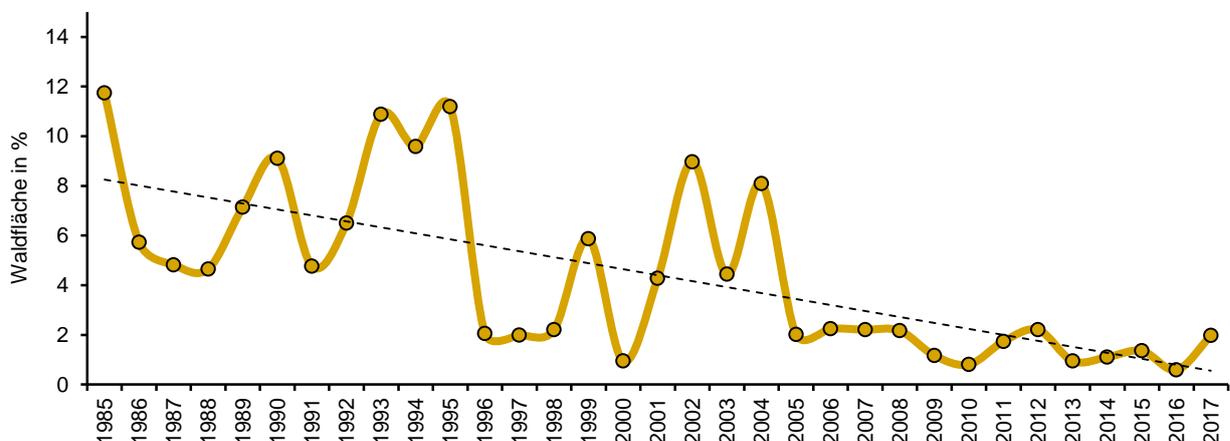


Abb. 6: Anteil der vergilbten Waldfläche in Baden-Württemberg (die gestrichelte Linie gibt den Trend von 1985 bis 2017 an)

Tab. 3: Schadstufenverteilung und mittlerer Nadel-/Blattverlust von 1985 bis 2017

Jahr	Schadstufe 0	Schadstufe 1	Schadstufe 2	Schadstufe 3 und 4	Schadstufe 2 bis 4	mittlerer Nadel-/Blattverlust in %
	nicht geschädigt	schwach geschädigt	mittelstark geschädigt	stark gesch. / abgestorben	deutlich geschädigt	
1985	34	39	25	2	27	20,0
1986	35	42	21	2	23	19,0
1987	40	39	20	1	21	18,0
1988	41	42	16	1	17	17,0
1989	40	40	18	2	20	17,7
1990	37	44	17	2	19	17,6
1991	39	44	16	1	17	17,2
1992	26	50	21	3	24	21,2
1993	23	46	27	4	31	23,7
1994	35	40	23	2	25	20,1
1995	29	44	25	2	27	21,2
1996	25	40	34	1	35	23,2
1997	40	41	18	1	19	17,7
1998	32	44	23	1	24	19,3
1999	31	44	24	1	25	20,3
2000	38	38	23	1	24	18,8
2001	29	42	27	2	29	21,1
2002	37	39	22	2	24	18,9
2003	26	45	28	1	29	21,4
2004	23	37	36	4	40	25,3
2005	19	38	40	3	43	26,2
2006	23	32	40	5	45	26,7
2007	22	38	36	4	40	25,8
2008	25	40	32	3	35	23,6
2009	26	32	38	4	42	25,6
2010	32	33	32	3	35	22,5
2011	38	29	30	3	33	21,1
2012	26	38	33	3	36	23,6
2013	33	32	32	3	35	22,1
2014	24	34	39	3	42	25,8
2015	29	35	33	3	36	23,7
2016	30	33	33	4	37	23,8
2017	31	38	28	3	31	22,0

Mortalität

Die Mortalitätsrate der diesjährigen Waldschadensinventur, die sich aus den im aktuellen Jahr beobachteten abgestorbenen Bäumen der Waldschadensinventur errechnet, liegt bei 0,24 Prozent und ist damit etwas höher als der langjährige Mittelwert der Erhebung seit 1985 (Abb. 8). Im aktuellen Jahr sind es vor allem Eschen und Fichten, die durch biotische Ursachen (Eschentriebsterben bzw. Borkenkäfer) stehend abgestorben sind. Überdurchschnittlich hohe Mortalitätsraten wurden, bedingt durch erhöhten Käferholzanfall, in den Jahren 1992/1993 infolge der Stürme „Wiebke“ und „Vivian“ bzw. im Jahr 2000 nach „Lothar“ festge-

stellt. Eine weitere Phase erhöhter Mortalität kann, als Reaktion auf das Trockenjahr 2003, für die Jahre 2004 bis 2007 beobachtet werden.

Neben der Mortalitätsrate wird für jeden aus der Aufnahmestichprobe entfernten Baum der Grund des Ausscheidens bestimmt. Da die Waldbestände der Waldschadensinventur einer forstlichen Bewirtschaftung unterliegen, ist der Anteil der regulären forstlichen Nutzung mit etwa zwei Drittel der entnommenen Bäume am größten. Mit großem Abstand folgt die Gruppe der aus biotischem Grund entnommenen Bäume (12 Prozent).

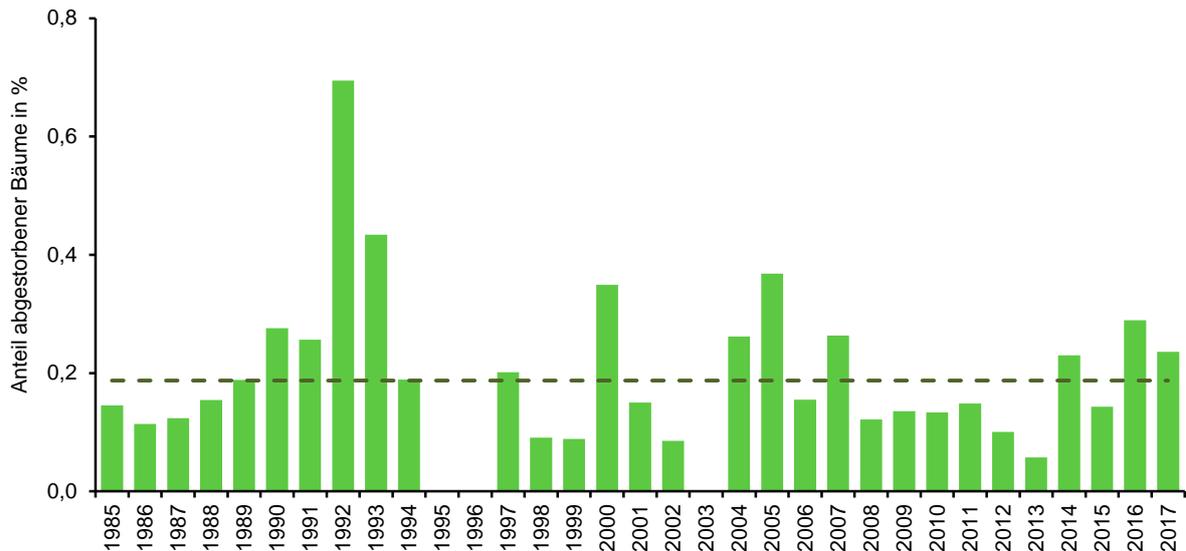


Abb. 8: Anteil der stehend abgestorbenen Bäume bei der Waldschadensinventur von 1985 bis 2017 (die gestrichelte Linie gibt den langjährigen Mittelwert an).

Hierin enthalten sind mit einem überproportional hohen Anteil Eschen, die aufgrund der starken Schädigung mit dem Erreger des Eschentriebsterbens vorzeitig aus den Beständen entfernt wurden. Weitere Ausscheidursachen, wie geänderte Kronenkonkurrenz und abiotische Ursachen, sind im Aufnahmejahr 2017 von sehr nachrangiger Bedeutung.

Hauptbaumarten

Die aktuelle Entwicklung des Kronenzustands der Bäume in Baden-Württemberg variiert stark zwischen den Baumarten. Für die Hauptbaumarten Buche und Tanne zeigen die Ergebnisse der Waldschadensinventur eine signifikante Verbesserung im Kronenzustand gegenüber dem Vorjahr (Abb. 9). Die Fichte bleibt nahezu konstant gegenüber dem Vorjahreswert. Dagegen weisen die Baumarten Kiefer, Eiche und Esche eine Erhöhung des mittleren Nadel-/Blattverlustes auf.

Im Vergleich der sechs Hauptbaumarten Baden-Württembergs zeigt die **Buche** im Jahr 2017 den deutlichsten Rückgang der Kronenverlichtung. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 6,9 Prozentpunkte auf 26,0 Prozent. Nachdem die Kronenverlichtung im letzten Jahr aufgrund des außergewöhnlich starken Blüh- und Fruchthebungsanstieg, zeigt sich im aktuellen Jahr eine deutliche Regeneration des

Kronenzustandes der Buchen. Alle verfügbaren Nährstoff- und Energievorräte standen dieses Jahr rein dem vegetativen Wachstum zur Verfügung, ohne dass die Buchen einen hohen „Kraftaufwand“ für die Ausbildung von Bucheckern aufwenden mussten. Hinzukommend herrschten für die Buchen vergleichsweise gute Wuchsbedingungen mit ausreichend Niederschlägen und geringem Schädlingsdruck.

Der Kronenzustand der **Tanne** verbessert sich 2017 ebenfalls. Der mittlere Nadelverlust verringert sich um 2,8 Prozentpunkte auf 19,5 Prozent. Während in älteren Tannenbeständen der Rückgang der Kronenverlichtung 2017 gering ausfällt, ist in den Tannenjungbeständen eine deutliche Vitalisierung der Kronen festzustellen. Dies deckt sich mit der Beobachtung, dass der Befall der Tannentrieblaus in Jungbeständen in den letzten Jahren rückläufig ist und somit weniger Schäden an jungen Tannen auftreten. Nach wie vor stark betroffen ist die Tanne durch Mistelbefall. Die halbparasitisch lebende Mistel entzieht dem Baum Wasser und darin gelöste Nährsalze und hat insbesondere in Jahren, in denen die Tanne unter Trockenstress gerät, einen großen Einfluss auf deren Vitalität. In diesem Jahr wieder deutlich angestiegen ist eine Verbraunung der Nadeln an Tanne, welche üblicherweise durch Kaliummangel ausgelöst wird. Zudem stellt der Tannenborkenkäfer eine zunehmende Gefahr für die Baumart dar.

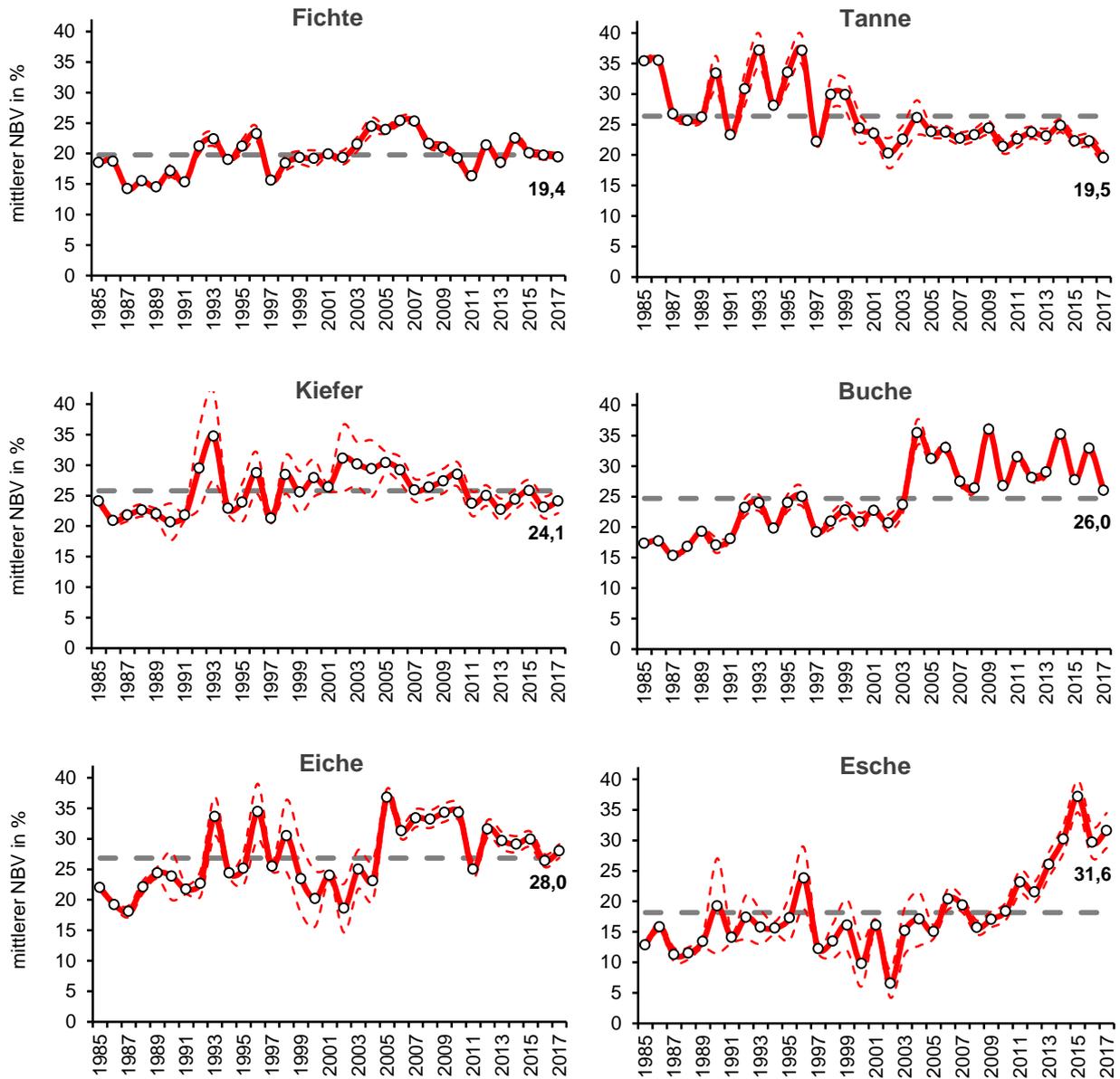


Abb. 9: Mittlerer Nadel-/Blattverlust (NBV) der Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Esche (gestrichelte graue Linien geben das langjährige Mittel an, gestrichelte rote Linien geben den Vertrauensbereich von 95 Prozent an)

Ähnlich wie bei der Tanne ist auch für die **Fichte** die Gefährdung durch den Borkenkäfer in diesem Jahr sichtlich angestiegen. Vielerorts waren im Verlauf des Sommers einzelne abgestorbene Käferbäume zu erkennen. Insgesamt zeigt sich der Kronenzustand der Fichten in diesem Jahr aber sehr stabil. Mit 19,4 Prozent bleibt der mittlere Nadelverlust gegenüber dem Vorjahr nahezu unverändert. Im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten Baden-Württembergs ist die Fichte damit weiterhin die Baumart mit den geringsten Nadel-/Blattverlustwerten.

Der Kronenzustand der Baumart **Kiefer** hat sich in diesem Jahr leicht verschlechtert. Der mittlere Nadelverlust erhöht sich gegenüber dem Vorjahr um 1,0 Prozentpunkte auf 24,1 Prozent. Vor allem in den warm-trockenen Regionen Baden-Württembergs, wie z.B. der Oberrheinebene, ist die Kiefer zunehmend durch die Kiefern-Komplexkrankheit gefährdet, bei der sowohl Schäden durch Trockenheit, Diplodia-Pilzbefall als auch Rindenbrüterbefall auftreten können. Die Folge ist eine Verbraunung der Nadeln und im schlimmsten Fall das Absterben des Baumes (Abb. 10). In Verbindung mit starkem Mistelbefall



Abb. 10: stark geschädigte Kiefern im Oberrheintal bei Hartheim im Sommer 2017 (Foto: S. Meining)

erhöht sich bei warm-trockener Witterung zusätzlich das Trockenstressrisiko der befallenen Kiefern. Zudem führen milde Winter zu einer physiologischen Schwächung der Kiefer, die sich u.a. in einem schlechteren Kronenzustand äußert.

Nach einer Verbesserung des Kronenzustandes im letzten Jahr ist, wie bei der Kiefer, auch bei der Baumart **Eiche** aktuell eine leichte Verschlechterung der Belaubungsdichte festzustellen. Der mittlere Blattverlust der Eichen erhöht sich um 1,6 Prozentpunkte auf 28,0 Prozent. Dieser Anstieg ist im Wesentlichen auf das leicht erhöhte Vorkommen durch blattfressende Raupen zurückzuführen. Im Sommer 2017 wies in der Stichprobe der Waldschadensinventur nahezu jede zweite Eiche zumeist leichte Fraßschäden an den Blättern auf. Zudem wurde ein leicht angestiegener Befall durch den Mehltau-Blattpilz in Eichenbeständen festgestellt, der insbesondere die neu ausgetriebene Regenerationsbelaubung nach vorherigem Fraß befällt.

Die **Esche** ist aktuell die Baumart mit den meisten Kronenschäden in Baden-Württemberg. Gegenüber dem Vorjahr steigt der mittlere Blattverlust der Eschen um 1,9 Prozentpunkte auf insgesamt 31,6 Prozent an. Auslöser für den schlechten Zustand ist das Eschentriebsterben, welches durch den pilzlichen Erreger, dem „Falschen Weißen Stengelbecherchen“, verursacht wird. Mittlerweile kommt das Eschentriebsterben in ganz Baden-Württemberg vor und bringt Eschenbestände großflächig zum Absterben. In Jungbeständen sind die Schäden durch die Krankheit besonders gravierend. Die Waldschadensinventur zeigt für die Esche als einzige Hauptbaumart einen höheren Blattverlust bei jüngeren Bäumen. Bei älteren Eschen erfolgt der Befall des pilzlichen Erregers dagegen aufgrund der dickeren Zweig- und Stammdurchmesser langsamer und es können sich mehr Ersatztriebe entwickeln, wodurch die Schadsymptome oftmals nicht so stark ausgeprägt sind. Es ist davon auszugehen,



Abb. 11: Eiche mit starken Trockenästen in der Oberkronen und guter Regenerationsbelaubung am Stamm (Foto: S. Meining)

dass es infolge dieser Krankheit zu einer weitergehenden Schädigung der Eschen kommt. Nach neueren Untersuchungen könnten jedoch bisher nicht befallene Eschen eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Eschentriebsterben aufweisen, so dass sie als Ausgangspunkt für nachfolgende, ungeschädigte Bestände dienen könnten (ENDERLE ET AL. 2015).

In der zeitlichen Entwicklung des Kronenzustandes seit 1985 ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Hauptbaumarten. Zu Beginn der Beobachtungsperiode waren vor allem höhere Kronenschäden an der Baumart Tanne zu beobachten, die empfindlich auf die damals sehr hohen Säureeinträge reagierte. Akuter Nährstoffmangel durch Sauren Regen führte bis Mitte der 1990er Jahre vor allem auf basenarmen Standorten zu erhöhten Nadelverlusten und Vergilbungserscheinungen. Ähnliche Symptome wurden zu jener Zeit auch bei der Fichte auf exponierten Standorten mit hohem Schadstoffeintrag, wie dem Schwarzwald oder dem Odenwald, beobachtet. Erst durch die Reduktion der Luftschadstoffe und der

durchgeführten Stabilisierungsmaßnahmen der Wälder, wie z.B. Waldkalkung und Förderung von Mischwäldern, ging auch das Ausmaß der Kronenschäden zurück. Einzelne Jahre mit erhöhter Kronenverlichtung zeichnen sich bei mehreren Baumarten ab. So sind die Jahre 1993 und 1996 nach Borkenkäferbefall in Folge großflächiger Sturmereignisse, wie Vivian und Wiebke (1990) sowie Lore (1994), durch höhere Kronenverlichtungen der Nadelbaumarten gekennzeichnet. Und auch die Baumarten Eiche und Buche wiesen zu vergleichbaren Zeitpunkten höhere Blattverluste auf, die sich durch das zeitgleiche Auftreten von blattfressenden Schadinsekten und stärkerer Fruktifikation erklären.

Erste Auswirkungen des Klimawandels machten sich in den Wäldern Baden-Württembergs zu Beginn des neuen Jahrtausends bemerkbar. Vor allem das Trockenjahr 2003 stellte für die meisten Baumarten eine Zensur dar, in deren Folge sich der Kronenzustand verschlechterte. Insbesondere für die Baumarten Buche und Eiche waren die Schäden nach dem Trockenjahr gravierend und langanhaltend (Abb. 11). Während bei der Eiche seither ein langsamer Erholungstrend erkennbar ist, kann dies für die Buche nicht festgestellt werden. Auffallend bei der Buche ist die Häufung starker Fruktifikationsjahre innerhalb der letzten 15 Jahre, die ebenfalls durch klimatische Faktoren wie eine warm-trockene Witterung begünstigt wird. Die Fruktifikationsjahre 2009, 2011, 2014 und 2016 stechen mit erhöhtem Blattverlust der Buchen in der Entwicklung der Kronenverlichtung deutlich heraus. Dagegen zeigen die Nadelbaumarten Fichte und Tanne nach dem Trockenjahr 2003 eine abgeschwächte Reaktion. Die mittlere Kronenverlichtung stieg zwar auch bei diesen Baumarten an, jedoch erfolgte innerhalb weniger Jahre eine vollständige Regeneration der dadurch verursachten Kronenschäden. Für die Kiefer können aufgrund der geringen Anzahl der Baumart in der Stichprobe und des damit bedingten größeren Fehlerrahmens nur gröbere Entwicklungstrends abgeleitet werden. Die Ergebnisse lassen aber den Schluss zu, dass Sommertrockenheit bei der Kiefer weniger Auswirkungen auf den Kronenzustand hat, als dies für die anderen Hauptbaumarten zutrifft. Dagegen ist der Vitalitätszustand der Esche stark durch den Einfluss des Eschentriebsterbens geprägt, so dass die Reaktion

der Esche auf sich verändernde Klimaänderungen kaum erkennbar ist. Symptome des Eschentriebsterbens wurden erstmals im Jahr 2009 bei der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg festgestellt. Seither hat sich der Kronenzustand der Eschen dramatisch verschlechtert.

Sonstige Nadel- und Laubbaumarten

Dem Erholungstrend von Fichte und Tanne folgend, weisen auch die **sonstigen Nadelbaumarten** 2017 im Durchschnitt einen besseren Kronenzustand gegenüber dem Vorjahr auf. Die mittlere Kronenverlichtung der sonstigen Nadelbaumarten verringert sich um 0,9 Prozentpunkte auf 19,9 Prozent (Abb. 12 oben links). In der zeitlichen Entwicklung des mittleren Nadelverlustes wird ebenso wie bei den meisten anderen Baumarten eine sprunghafte Erhöhung des Schadniveaus Anfang der 2000er Jahre deutlich. Seither ist ein leichter Trend zu geringeren Nadelverlusten erkennbar. Die Gruppe der sonstigen Nadelbaumarten setzt sich im Wesentlichen aus den beiden Baumarten Lärche (Europäische und Japanische Lärche) und Douglasie

zusammen. Im Vergleich der beiden Baumarten wird der große Unterschied im Kronenzustand sichtbar. Während die Lärchen einen erheblichen höheren Nadelverlust aufweisen, ist die Kronenverlichtung bei den im Durchschnitt deutlich jüngeren Douglasien geringer (Abb. 12 unten links).

Der Kronenzustand der **sonstigen Laubbaumarten** zeigt gegenüber dem Vorjahr ebenfalls eine Verbesserung. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 1,3 Prozentpunkte auf 18,1 Prozent (Abb. 12 oben rechts). Damit liegt das Schadniveau der sonstigen Laubbaumarten deutlich unter dem Kronenverlichtungsprozent der Laubbaumarten Buche, Eiche und Esche, was maßgeblich auf den hohen Anteil an jungen Bäumen in dieser Baumartengruppe zurückzuführen ist. In der Gruppe der sonstigen Laubbaumarten ist eine Vielzahl verschiedener Baumarten zusammengefasst. Die häufigste Baumart ist dabei mit Abstand der Bergahorn, gefolgt von der Hainbuche und der Roteiche. Eine merkliche Veränderung zum Vorjahr ist bei der Hainbuche zu erkennen, deren Kronenzustand sich nach der starken Fruktifikation im letzten Jahr aktuell deutlich regenerieren konnte (Abb. 12 unten rechts).

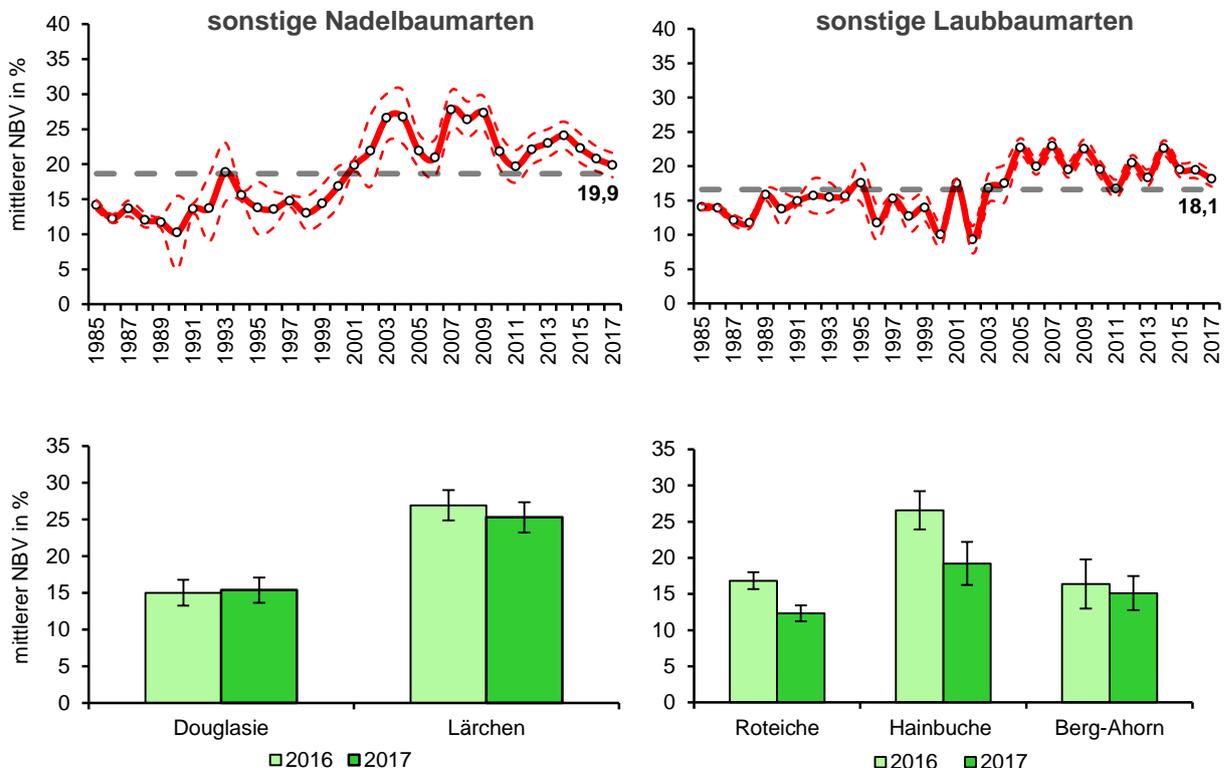


Abb. 12: Oben: Mittlerer Nadel-/Blattverlust der sonstigen Nadelbaumarten (links) und der sonstigen Laubbaumarten (rechts). Gestrichelte graue Linien: langjährige Mittel; gestrichelte rote Linien: Vertrauensbereich von 95 Prozent. Unten: Mittlerer Nadel-/Blattverlust der häufigsten Baumarten der jeweiligen Gruppe im Vergleich der Jahre 2016 und 2017

Regionen Baden-Württembergs

Die Ergebnisse der Waldschadensinventur können mit Hilfe eines multivariaten Raum-Zeit-Modells als räumliche Verteilungsmuster für ganz Baden-Württemberg dargestellt werden (siehe grüne Infobox). Abbildung 13 zeigt die geschätzten und altersbereinigten Mittelwerte des Nadel-/Blattverlustes in Baden-Württemberg für 2017 getrennt nach den sechs Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Esche. Für die Fichte und Buche können weitgehend flächendeckend Informationen über die räumliche Verteilung des Kronenzustandes in Baden-Württemberg abgebildet werden, da die Baumarten in nahezu allen Regionen in ausreichender Anzahl vorkommen. Dagegen ergeben sich für die übrigen Baumarten in der landesweiten Darstellung einzelne Lücken in Regionen, in denen sie nur gering vertreten sind. Dies betrifft insbesondere die Tanne außerhalb des Schwarzwaldes bzw. des Schwäbisch-Fränkischen Waldes, sowie die Kiefer, Eiche und Esche auf den Hochlagen des Schwarzwalds und in weiten Teilen Oberschwabens bzw. der Schwäbischen Alb.

Die regionale Darstellung der Kronenverlichtung zeigt für die Fichte vor allem im Südschwarzwald zusammenhängende Gebiete mit höheren Nadelverlusten. Die zur Versauerung neigenden, exponierten Standorte des Schwarzwaldes sind die klassischen Schädgebiete von Fichte und Tanne. Aber im Gegensatz zum Beginn der Waldschadensdiskussion Anfang der 1980er Jahre, in der vor allem auf den stark versauerten, kristallinen Böden höhere Nadelverluste auftraten, sind heute aufgrund klimatischer Veränderungen auch auf gut basenversorgten Standorten in warm-trockenen Gebieten des Neckarlandes erhöhte Kronenverlichtungen der Fichte zu erkennen. Der Kronenzustand der Tanne hat sich in den ehemaligen Hauptschadensgebieten des Nordschwarzwaldes deutlich erholt. Im Gegensatz zur Fichte ist die Schadintensität bei der Tanne landesweit geringer. Lediglich im südöstlichen Schwarzwald und im Schwäbisch-Fränkischen Wald sind leicht erhöhte Nadelverluste festzustellen. Die Kiefer zeigt am südlichen Oberrheingraben unter Einfluss der Kiefernkomplexkrankheit die höchsten Schäden. Aber auch in höher gelegenen Regionen der südlichen Vorbergzone und des mittleren Schwarzwald-

Das Raum-Zeit-Modell

In den letzten Jahren wurde für die Waldschadensinventur ein statistisches Modell entwickelt, mit dem es möglich ist, sowohl Zeittrends als auch räumliche Verteilungsmuster der Nadel-/Blattverluste darzustellen. Das multivariate Raum-Zeit-Modell stellt den Nadel-/Blattverlust als Funktion des Baumalters, der räumlichen Lage und der Zeit dar, wobei Korrelationen in Zeit und Raum berücksichtigt werden (AUGUSTIN ET AL. 2009). Das Modell macht eine Altersbereinigung des Raum-Zeit-Trends möglich. Es ist somit möglich, die Raum-Zeit Muster des geschätzten mittleren Nadel-/Blattverlustes ohne Alterseffekt darzustellen. Das heißt der mittlere Nadel-/Blattverlust wird für alle beobachteten Stichprobenpunkte für das mittlere Baumalter der jeweiligen Baumart geschätzt. Dadurch können räumlich-zeitliche Muster, die durch externe Faktoren, wie z.B. Umwelteinflüsse und Klimaveränderungen verursacht werden, unabhängig vom Baumalter dargestellt werden. Des Weiteren reduziert sich mit dem Raum-Zeit-Modell die geschätzte Varianz des mittleren Nadel-/Blattverlustes, v.a. in Jahren mit verhältnismäßig wenig Probebäumen (16x16 km-Netz). Zum anderen werden verzerrte Schätzer der Varianz vermieden, da berücksichtigt wird, dass die Nadel-/Blattverluste jährlich wiederholt an den gleichen Bäumen gemessen werden und somit vor allem bei Nadelhölzern stark korreliert sind (da die Bäume Nadeln über mehrere Jahre behalten). Die Ergebnisse der Waldschadensinventur können mit Hilfe des Raum-Zeit-Modells für alle Hauptbaumarten Baden-Württembergs landesweit flächendeckend dargestellt werden, wodurch die räumliche Verteilung der mittleren Nadel-/Blattverluste besser interpretiert werden kann.

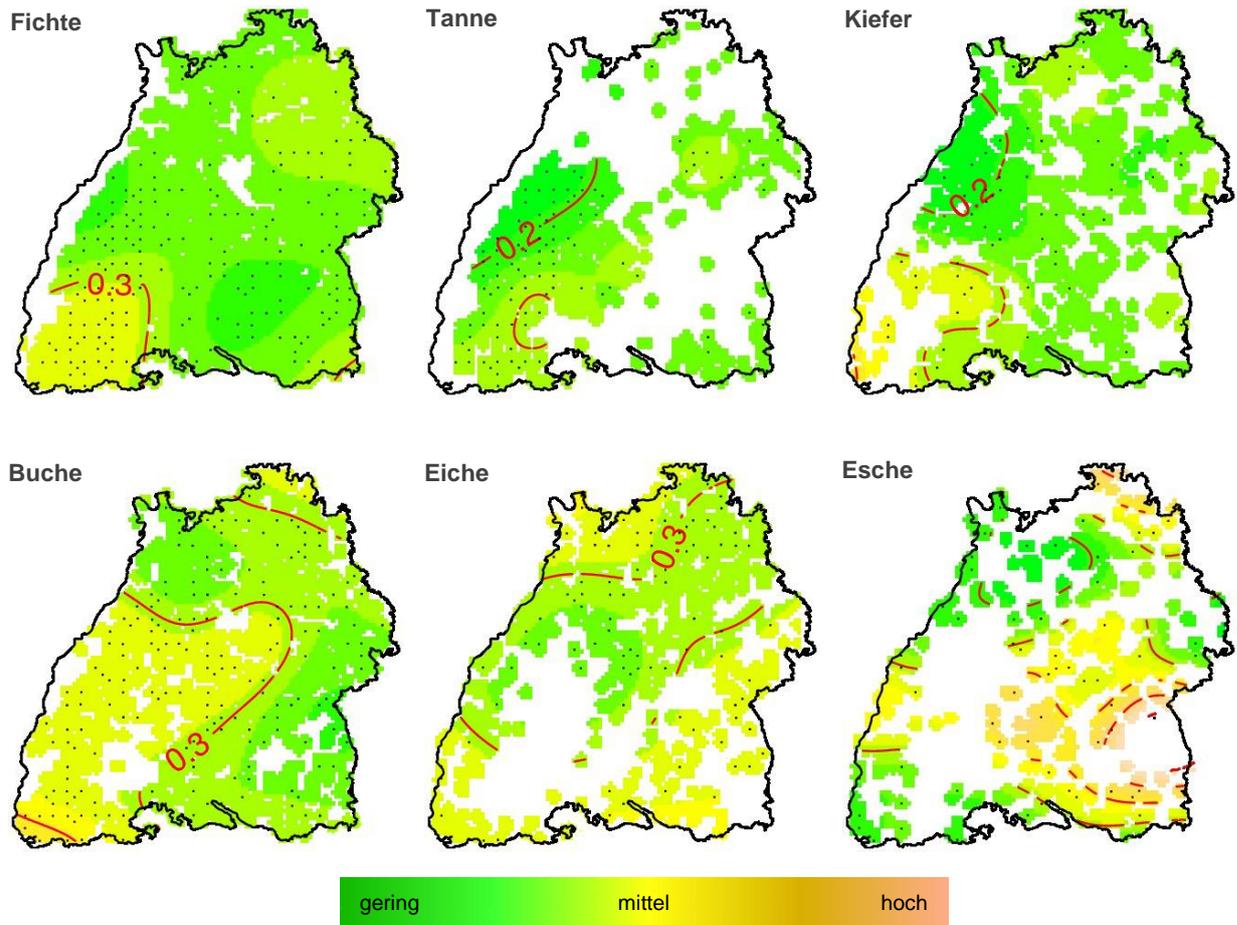


Abb. 13: Räumliche Verteilung der Nadel-/Blattverluste für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Esche altersbereinigt auf das mittlere Alter der jeweiligen Baumart (rote Linien: Isolinien gleichen Nadel-/Blattverlustes)

des sind Areale stärkerer Kronenschäden der Kiefer zu erkennen. Während für die Nadelbaumarten Fichte, Tanne und Kiefer aktuell vergleichsweise kleine Gebiete mit höherer Kronenverlichtung feststellbar sind, erstrecken sich die Schadgebiete der Laubhölzer über weite Teile des Landes. Gebiete höherer Blattverluste der Buchen reichen über den gesamten Schwarzwald bis ins Neckarland hinein. Zusätzlich zeichnet sich im Nordosten Baden-Württembergs ein kleineres Schadgebiet der Buche ab. Die Eiche zeigt in Baden-Württemberg im Jahr 2017 höhere Blattverluste vor allem im Alpenvorland, der Ostalb, im Odenwald und der nördlichen Rheinebene sowie im südwestlichen Landesteil. Hierfür mitverantwortlich sind erhöhte Fraßschäden durch Schmetterlingsraupen, v.a. im nördlichen Teil von Baden-Württemberg.

Größere Gebiete mit hohen Kronenschäden sind in Baden-Württemberg für die Esche festzustellen. Vor allem Teile Oberschwabens und der Westalb sind von hohen Kronenschäden infolge des Eschentriebsterbens betroffen. Lediglich im süd- und nordwestlichen Landesteil sowie in einem kleinen Gebiet im Bereich der Ostalb, sind noch geringere Kronenschäden bei der Esche zu erkennen.

4 WITTERUNG

Für die Entwicklung des Waldzustandes hat die Witterung eine ganz entscheidende Bedeutung. Insbesondere die Verteilung der Niederschläge und die Entwicklung der Lufttemperatur im Jahresverlauf üben einen großen Einfluss auf die Vitalität und die Entwicklung der Waldbäume aus. Um einen Überblick über die Witterungssituation im Jahr 2017 sowie im Vorjahr zu geben, werden die gemessenen Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) als Niederschlags- und Temperaturabweichung vom vieljährigen Mittel der Referenzperiode 1981 bis 2010 dargestellt.

Temperatur und Niederschlag

Die Entwicklung der monatlichen Temperatur- und Niederschlagsabweichung für das Jahr 2016 bis August 2017 ist in Abbildung 14 dargestellt. Während die Monate der ersten Jahreshälfte 2016 mit Ausnahme des Monats März erheblich zu feucht und meist zu

warm waren, erwies sich die zweite Jahreshälfte als ausgesprochen trocken. Lediglich der November 2016 lag sowohl bei den Niederschlägen als auch bei der Temperatur nahezu exakt auf dem Wert des vieljährigen Mittels. Besonders der Dezember war mit über 90 Prozent Niederschlagsdefizit extrem trocken. Und auch im ersten Halbjahr 2017 hielt die sehr trockene Witterung zunächst weiter an. Der Januar war dabei sehr kalt, während ab Februar die Temperaturen merklich anstiegen und im März insgesamt 3,0 °C über dem vieljährigen Mittel lagen. Die milden Frühjahrs-temperaturen führten zu einer vergleichsweise schnellen Entwicklung der Vegetation mit frühem Austrieb der Waldbäume. Dagegen sorgte in den Nächten zwischen dem 19. und 21. April 2017 ein Kälteeinbruch mit Temperaturen deutlich unterhalb des Gefrierpunktes für erhebliche Schäden in der Landwirtschaft, aber auch an den frisch ausgetriebenen Trieben und Blättern der Waldbäume.

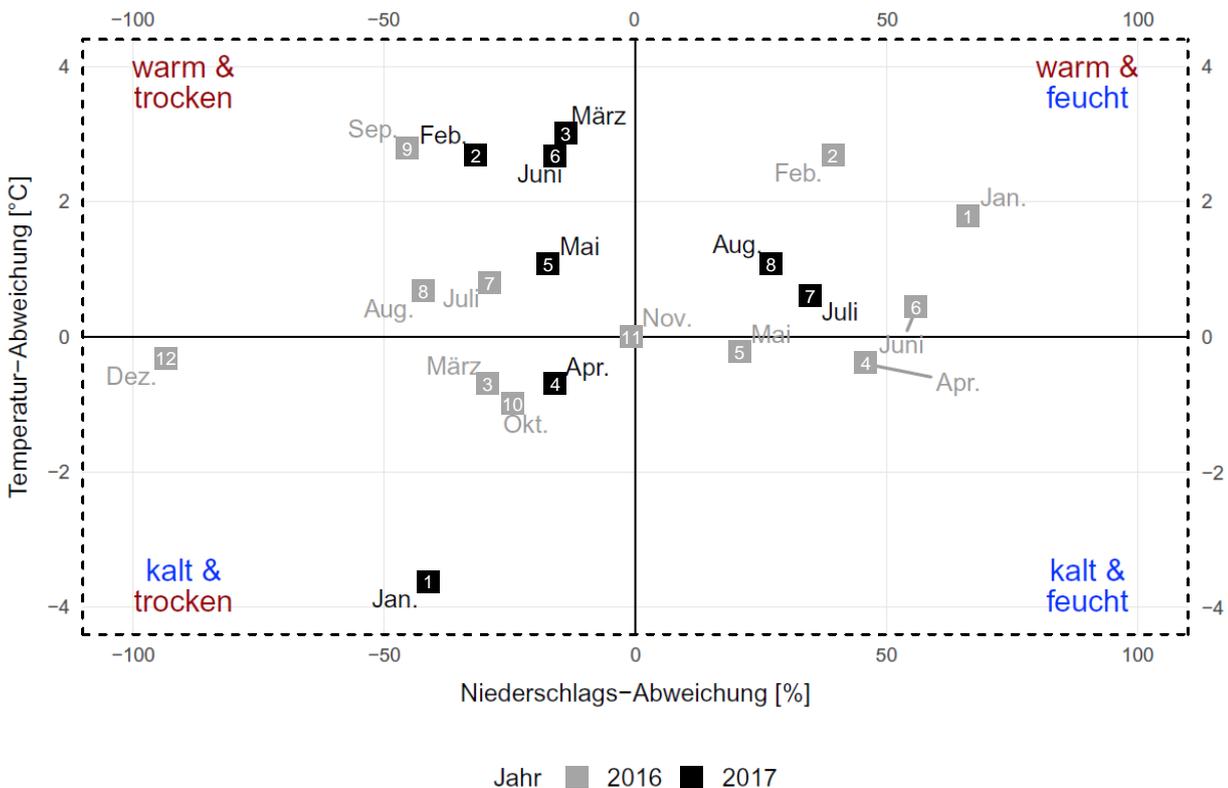


Abb. 14: Niederschlags- und Temperaturabweichung der Monate Januar 2016 bis August 2017 vom vieljährigen Mittel (1981 bis 2010) für Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)

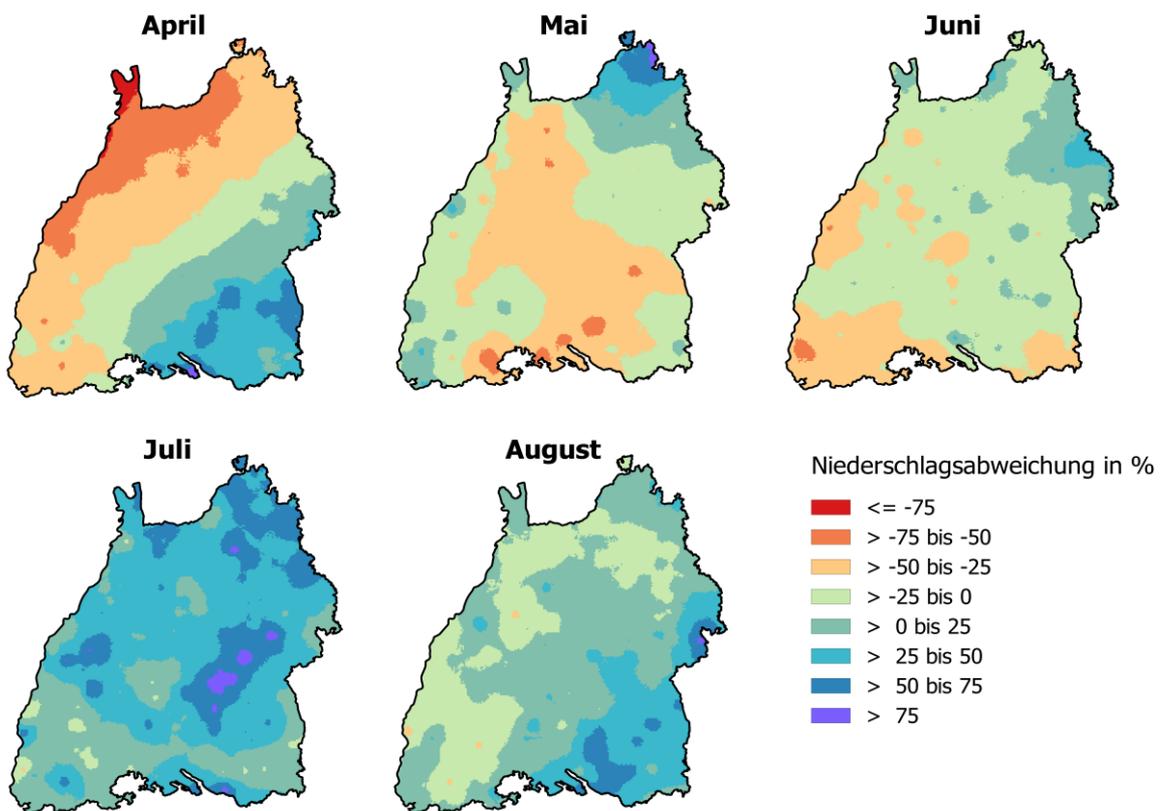
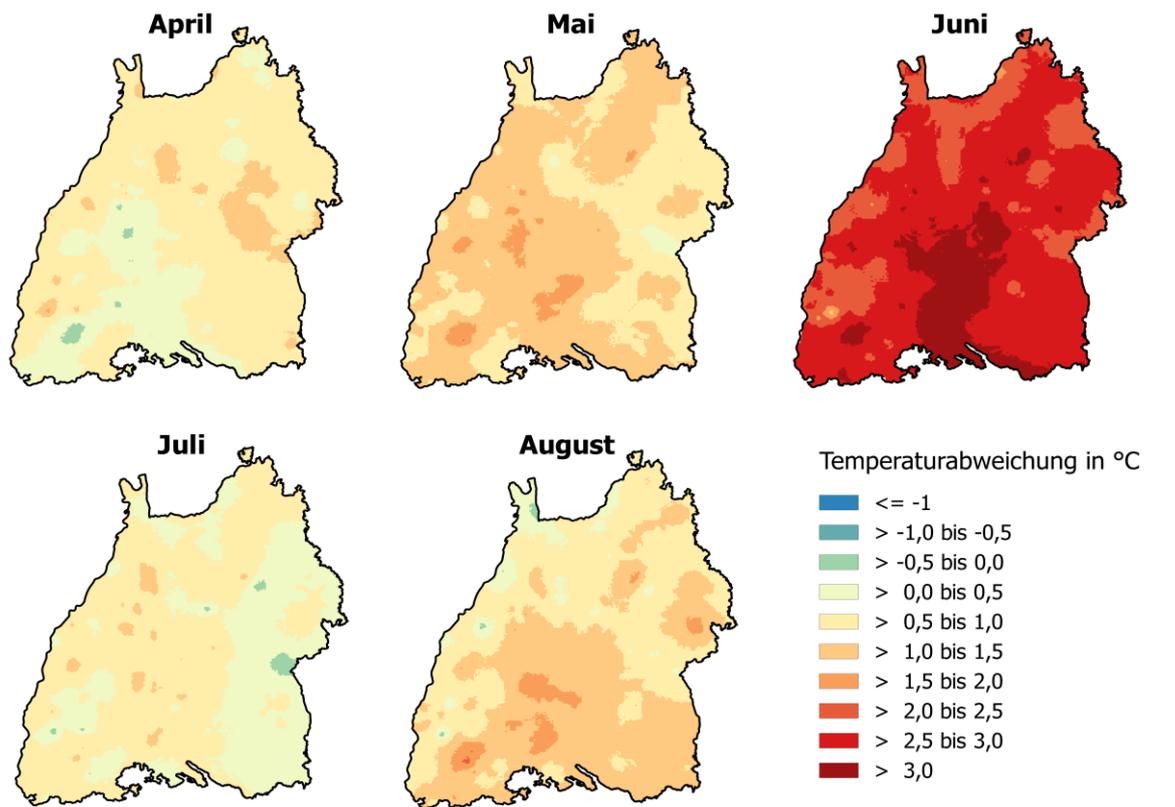


Abb. 15: Regionale Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) in Baden-Württemberg der Monate April bis August 2017 (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD)

Die Niederschlagsmengen blieben in weiten Regionen Baden-Württembergs auch in den Monaten März bis Juni weiterhin unterhalb des monatlichen Referenzwertes. Für das Waldökosystem bedeutete die lange Trockenphase von Dezember 2016 bis Juni 2017, dass sich die Wasserspeicher der Waldböden in den dafür wichtigen Wintermonaten nicht ausreichend auffüllen konnten und somit kaum Reserven für den weiteren Jahresverlauf zur Verfügung standen. Jedoch sorgten einzelne Regenfälle lokal immer wieder für eine Unterbrechung der intensiven Trockenperiode. Während im April überdurchschnittlich hohe Niederschläge in weiten Teilen der Schwäbischen Alb und Oberschwabens verzeichnet wurden, waren im Mai vor allem im nordöstlichen Landesteil und lokal in der Rheinebene und im Südschwarzwald höhere Niederschlagsabweichungen zu beobachten (Abb. 15). Hingegen lagen im Juni vor allem auf der Ostalb und in Teilen der Hohenloher Ebene die Niederschlagswerte über dem vieljährigen Mittel, wenn auch im Landesdurchschnitt die Abweichung weiterhin leicht unterhalb des Referenzwertes blieb. Die lokal auftretenden Regenfälle sorgten für eine Entspannung der extremen Trockenphase im Frühjahr und verhinderten somit stärkere Trockenstresssymptome an den Waldbäumen während der Vegetationszeit. In einigen Regionen, wie z.B. dem Südschwarzwald und der Oberrheinebene, verschärfte sich die Situation der Wälder im Juni durch deutlich überdurchschnittliche Temperaturen bei unterdurchschnittlichen Niederschlägen. Dagegen waren die

Sommermonate Juli und August landesweit warm und feucht und führten insgesamt zu guten Wuchsbedingungen, wenn auch in einigen Regionen die Situation der Bäume aufgrund der fehlenden Wasserreserven im Boden und des ansteigenden Risikos von Borkenkäferbefall angespannt blieb.

Ozonbelastung der Wälder

Eng mit dem Witterungsverlauf verknüpft ist die Entstehung von bodennahem Ozon, welches aus den Vorläufersubstanzen Stickoxiden und flüchtigen Kohlenwasserstoffen unter der Einwirkung von hoher Sonneneinstrahlung entsteht. Nur wenn im Sommer stabile Hochdruckphasen für viel Sonnenschein sorgen, kann sich eine erhöhte Ozonkonzentration in der bodennahen Luft aufbauen. Ozon ist ein stark oxidierendes, farb- und geruchloses Gas. In höherer Konzentration wirkt Ozon für alle Lebewesen belastend. An Pflanzen vermindert es die Leistung der Photosynthese und verringert die Aktivität der Schließzellen, so dass weniger Kohlendioxid von der Pflanze aufgenommen werden kann (WSL 2008). Dies hat Auswirkung auf wichtige Stoffwechselfunktionen der Pflanze und kann negative Folgen auf das Baumwachstum haben (PRETZSCH ET AL. 2010). Pflanzen nehmen Ozon überwiegend über die Spaltöffnungen der Nadeln bzw. Blätter auf. Im Inneren der Blattoorgane schädigt das Zellgift die Palisadenparenchymzellen, die einen großen Beitrag zur Photosyntheseleistung der Pflanze liefern. Dadurch entstehen charakteristische Schadenssymptome in Form von kleinen Punkten auf der Blattoberseite (Abb. 16). Im Gegensatz zu Strahlungsschäden, verursacht Ozon keine Schäden an der äußeren Epidermis der Blätter.

In Baden-Württemberg wird die Untersuchung der Ozonschäden im Wald auf den Versuchsfeldern des Intensiven Ökosystemmonitorings durchgeführt. Dafür werden an den sogenannten LESS-Flächen (Light Exposed Sampling Sites), welche durch viel Sonneneinstrahlung gekennzeichnet sind, Jungpflanzen entlang des Waldrandes untersucht. Die Anzahl der Untersuchungsplots richtet sich dabei nach der Länge des untersuchten Waldrandes und umfasst in der Regel je LESS-Fläche 20 Untersuchungsplots in der Größe von 1x2 Meter.



Abb. 16: Typische Ozon-Schädigung an der Oberseite an eines Buchenblattes (Foto: S. Meining)

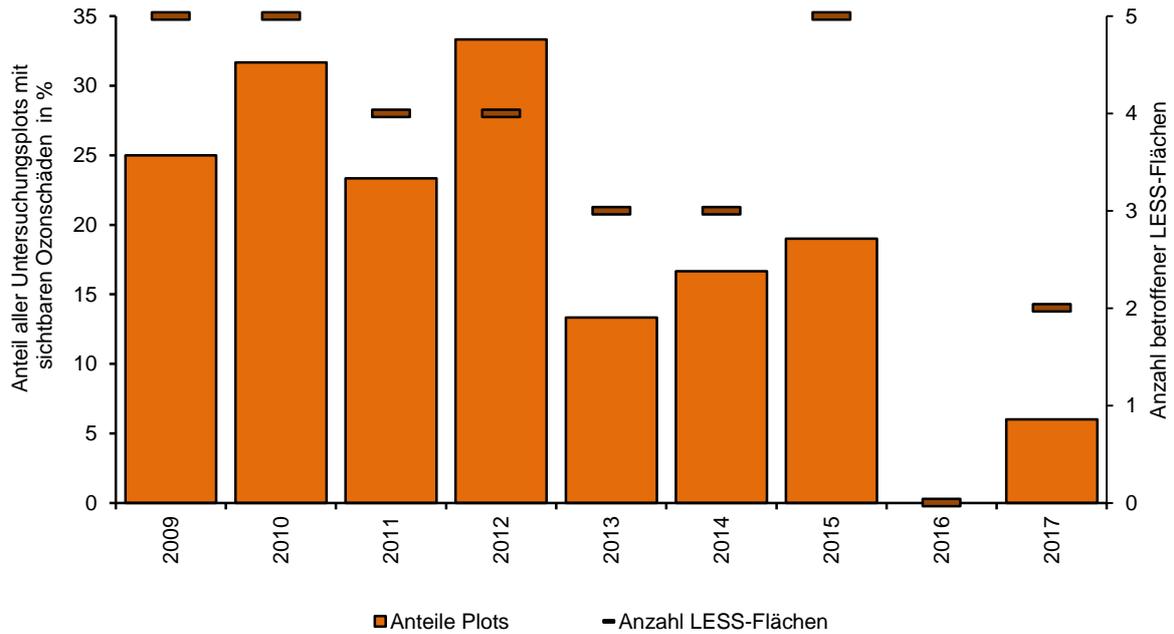


Abb. 17: Anteil der Untersuchungsplots aller LESS-Flächen mit sichtbaren Ozonschäden und Anzahl der betroffenen LESS-Flächen für die Jahre 2009 bis 2017

Im Jahr 2017 wurden auf den Versuchsflächen „Conventwald“ bei Kirchzarten (Südschwarzwald) und „Altensteig“ (Nordschwarzwald) Ozonschädigungen an Blättern festgestellt (Abb. 17). Auf beiden Flächen zeigte sich wie schon in den Untersuchungen der Vorjahre die Buche als besonders sensitive Baumart gegenüber Ozon. Die Intensität der Ozonschäden an den untersuchten Pflanzen auf den LESS-Flächen war allerdings 2017 vergleichsweise gering. Deutlich häufigere Schadsymptome durch Ozon an Pflanzen wurden dagegen in den Jahren 2009 bis 2012 festgestellt. Entgegen der geringen Anzahl und Intensität der Ozonschäden auf den LESS-Flächen im Jahr 2017 wurden im Rahmen ernährungskundlicher Untersuchungen auf allen Versuchsflächen – mit Ausnahme von „Ochsenhausen“ (Oberschwaben) – an Blattproben von Altbuchen mittelstarke bis starke Ozonschäden im Sommer 2017 festgestellt.

Die zum Teil gegensätzliche Schadausprägung an jüngeren und älteren Bäumen ist höchstwahrscheinlich auf eine unterschiedliche Wasserverfügbarkeit der jeweiligen Bestände zurückzuführen. Während jüngere Bäume aufgrund ihres flacheren Wurzelsystems früher unter Trockenstress geraten und somit die Spaltöffnungen der Blätter früher schließen, um die Transpiration zu verringern, ist es älteren Bäumen möglich den Gasaustausch über die Blätter länger aufrecht zu erhalten. Dies trifft insbesondere auf Jahre mit geringem Wasservorrat im Bodenspeicher zu, wie dies im Frühjahr 2017 beobachtet wurde. Dadurch waren ältere Bäume im Frühsommer 2017 bei hoher Sonneneinstrahlung und sich schnell aufbauenden Ozonkonzentrationen in der Luft stärker durch den sekundären Luftschadstoff Ozon betroffen als jüngere Bäume in unmittelbarer Nachbarschaft.

5 WALDSCHUTZSITUATION

Abiotische und biotische Schadfaktoren können allein oder in Kombination miteinander einen erheblichen Einfluss auf die Vitalität und den Kronenzustand unserer Wälder nehmen. Sie treten oft in jährlich wechselndem Ausmaß auf. Zu den wichtigen abiotischen Schadfaktoren gehören Dürren, Stürme, Nassschnee und Hagel sowie Frostereignisse. Die biotischen Schadfaktoren sind vor allem den Insekten und Pilzen zuzuordnen. Im Folgenden werden die in der Vegetationszeit 2017 bisher besonders auffälligen Einflüsse angesprochen.

Abiotische Schadursachen

Bis in den August war das Wetter mit Ausnahme von Januar und April deutlich zu warm. Besonders niederschlagsarm waren bspw. im Nordschwarzwald die Monate Januar, April, Mai und Juni. Dort fielen jedoch im März und Juli überdurchschnittlich hohe Niederschläge. Infolge der Sturmtiefs „Egon“ am 12./13. Januar und „Thomas“ am 23./24. Februar 2017 sowie des schweren Unwetters am Abend des 18. August 2017 sind im Wald keine großflächigen Schäden bekannt geworden. Um den 20. April 2017 traten in einigen Landesteilen aufgrund von Nachfrösten in der Landwirtschaft erhebliche Spätfrostschäden auf. Im Wald waren z.B. Buchen, Eichen und Eschen vielerorts

nur leicht betroffen. Die Schäden beschränkten sich dort meist auf einzelne Blätter oder Blattränder. Demgegenüber waren an Laubhölzern im Freiland zum Beispiel an den Blättern und Blüten von Walnussbäumen erhebliche Frostschäden festzustellen (Abb. 18). Besonders betroffene Bäume wiesen im Anschluss an dieses Ereignis jedoch weitgehend wieder einen Blattaustrieb auf.

Biotische Schaderreger an Nadelbäumen

Fichte

Die Entwicklung der wichtigsten Fichtenborkenkäfer, Buchdrucker und Kupferstecher, sowie der Verlauf ihrer Flugaktivitäten wird mit Hilfe wöchentlicher Kontrollen der Brutentwicklung an Fangbäumen und mit Pheromonfallen im Rahmen des Borkenkäfer-Monitorings überwacht. Auf Grundlage dieser Daten werden fortlaufend Empfehlungen zu einem effektiven Borkenkäfer-Management in den Fichtenwäldern abgeleitet.

Nach einem außergewöhnlich frühen Start des Schwärmfluges erster Käfer aus der Überwinterung in der ersten Aprilwoche sorgte eine ausgedehnte kühlfeuchte Wetterperiode im Frühjahr dafür, dass der Hauptschwärmflug doch erst wieder in der zweiten Maihälfte einsetzte. Das weitere Schwärmgeschehen



Abb. 18: Spätfrostschaden an einem Walnussbaum im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Fotos: H. Delb)

war geprägt von Schönwetterperioden eines insgesamt vergleichsweise wechselhaften Sommers und war Ende Juni und im Juli intensiver. Die Entwicklung des Buchdruckers erbrachte je nach Höhenlage bis zu zwei Generationen und Geschwisterbruten, in Ausnahmen waren drei Generationen möglich. Bei einer beobachteten durchschnittlichen Entwicklung des Borkenkäfers ist in diesem Jahr beim Nadelholz bis Ende September im öffentlichen Wald eine Käferholzmenge von rund 420.000 Festmeter (Fm) angefallen. Im Vorjahr waren es bis zum Jahresende zum Vergleich insgesamt rund 545.000 Fm. Die Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß vorwiegend im Osten und Süden des Landes, wo 2015 der Sturm „Niklas“ und ein Tornado gravierende Schäden angerichtet haben. Damit hat sich die Lage vor allem in diesen Regionen trotz eher durchschnittlicher Sommerwitterung noch nicht beruhigt. Endgültige Aussagen über den im Jahr 2017 durch Borkenkäfer entstandenen Schadholzanteil sind jedoch erst nach Abschluss der Verbuchungen nach Jahresende möglich. Die intensiven Kontrollen der Fichtenbestände durch die Forstbetriebe in Verbindung mit einer raschen Aufarbeitung und Abfuhr sowohl des bruttauglichen als auch des befallenen Fichtenholzes (Abb. 19) haben zu einer Begrenzung der Schäden beigetragen.

Tanne

Die warm-trockene Sommerwitterung der beiden Vorjahre hat zu einem regional teils gravierenden Anstieg des Befalls durch Tannenborkenkäfer und -rüsselkäfer geführt. Davon sind nach ersten Erkenntnissen vor allem der südliche und mittlere Schwarzwald und Waldregionen in den östlichen Landesteilen betroffen. Ausgehend vom Einzelbaum entstehen beim Befall mit dem kleinen Tannenborkenkäfer und/ oder dem Krummzahnigen Tannenborkenkäfer (Abb. 20) mit hoher Wahrscheinlichkeit meist in unmittelbarer Nähe Käfernester mit bis zu einem Dutzend weiterer befallener Tannen. Noch bis zum September hinein wurden im südlichen Schwarzwald immer wieder neue, rot zeichnende Tannen entdeckt.

Die von Tannen-Komplexkrankheit und -Triebblaus betroffenen Flächen sind in den letzten Jahren zurückgegangen. Trotzdem bleibt der Triebblausbefall regional in mehr oder weniger freistehenden Jungwüchsen weiterhin ein bedeutendes Problem. Sowohl die



Abb. 19: Verdachtsbäume auf Fichtenborkenkäferbefall im Landkreis Ravensburg (Foto: H. Delb)

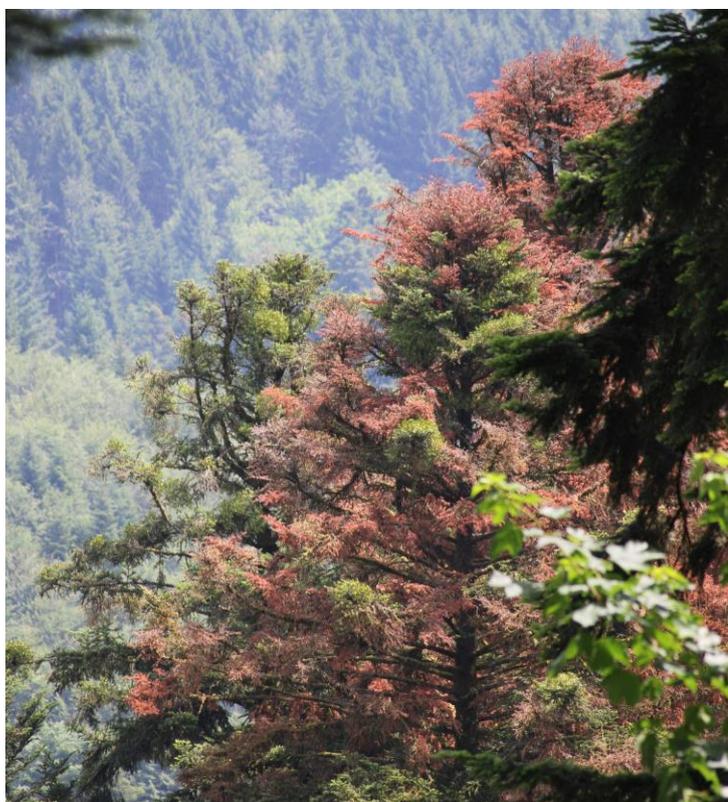


Abb. 20: Mit Krummzahnigem Tannenborkenkäfer befallene Tannen im Freiburger Stadtwald (Foto: R. John)

Stamm- als auch die Trieblaus werden durch Witterungskonstellationen mit milden Frühjahren und Wintern besonders gefördert, womit aufgrund des Klimawandels in Zukunft häufiger zu rechnen ist. Nach wie vor sind ältere Tannen vielerorts intensiv von chronisch vitalitätsmindernden Misteln zum Teil erheblich befallen. Oft ist auch der Tannenkrebs mit seinen typischen Hexenbesen als ein Symptom anzutreffen.

Douglasie

Im Landkreis Rastatt sind nach Befall durch die Rußige Douglasienschütte in den Vorjahren immer noch viele Douglasien mit sehr schütterten Kronen vorzufinden. Durch den Pilzbefall büßen die Nadeln ihre Frosthärte ein und fallen nach Frostereignissen wie im April 2017 in großem Umfang ab. Häufig weist die Douglasie in der folgenden Vegetationsperiode dann nur noch einen Nadeljahrgang auf. Dieses Schadgeschehen wird derzeit erheblich verstärkt durch eine außerordentlich hohe Dichte von Waldmaikäfer-Engerlingen im dritten Larvenstadium, deren Wurzelfraß vielen Douglasien so zugesetzt hat, dass sie aufgrund dessen zum Teil sogar abgestorben sind (Abb. 21).

Kiefer

In der Oberrheinebene sind zahlreiche Kiefern nach wie vor intensiv und anhaltend von Misteln befallen. Eng damit verbunden ist die sogenannte Kiefern-Komplexkrankheit (Abb. 10, S.15). Vor allem in Zu-

sammenhang mit Trockenstress und lang in den Herbst anhaltender trocken-warmer Witterung führt dies in den letzten Jahren zu erhöhten Mortalitätsraten. In diesem Zusammenhang ist auch das Ausmaß von mit Waldgärtner, sonstigen Borkenkäfern sowie Pracht- und Bockkäfern befallenen Kiefern verbreitet gestiegen. Die Baumart Kiefer scheint hier dauerhaft gefährdet zu sein. In Anbetracht der Massenvermehrung des Waldmaikäfers auf nahezu gleicher Fläche steht auf den betroffenen trockenen Sandstandorten in dieser Region die Waldwirtschaft vor einer großen Herausforderung.

Biotische Schaderreger an Laubbäumen

Buche

Auch in diesem Jahr sind wieder Blattschäden infolge eines Befalls durch den Buchen-Springrüssler in Erscheinung getreten, wenn auch die Intensität und die Verbreitung gegenüber den Vorjahren zurückgegangen sind. Dabei ist das Ausmaß der Blattschäden örtlich sehr unterschiedlich ausgefallen. Durch den Reifungsfraß der Käfer entstehen kleine Löcher in den Blättern. Die Larven minieren in den Blättern bis hin zu ausgedehntem Platzfraß. Bei starkem Befall werden die Baumkronen „braun“. Nach bisherigem Kenntnissstand verkraften in der Regel die Bäume den Fraß ohne längerfristige Schädigungen.



Abb. 21: „Sterbelücken“ in einem Douglasien-Bestand (Bild links), Douglasien-Wurzeln mit Fraßschäden (Bild Mitte) durch Waldmaikäfer-Engerlinge (Bild rechts) im Landkreis Rastatt (Fotos: H. Delb)

Eiche

Im Rahmen des routinemäßig durchgeführten Monitorings für das nördliche Oberrheinische Tiefland und das Neckarland wurden leichte Fraßschäden durch die Eichenfraßgesellschaft prognostiziert. Diese waren im Frühjahr im Norden des Landes tatsächlich in diesem Ausmaß verbreitet festzustellen. An der Eichenfraßgesellschaft sind vor allem die Schmetterlingsraupen von Frostspanner-Arten, Schwammspinner und Eichenprozessionsspinner beteiligt. Letzterer hat aufgrund der von den Brennhaaren der Raupen für Mensch und Tier ausgehenden Gefahren wieder oft von sich reden gemacht. Ein Befall durch den Eichenmehltau korrespondiert meist mit dem Vorkommen blattfressender Insekten, denn der nach Fraß auftretende junge Neuaustrieb wird je nach Witterung sehr häufig von diesem Blattpilz befallen. Dadurch verstärkt sich die durch den Raupenfraß bedingte Schwächung der Eichen.

Esche

Das Eschentriebsterben ist nach wie vor eine sehr bedeutende Baumkrankheit (Abb. 22). Diese Krankheit bedroht weiterhin alle Altersklassen in allen Regionen des Landes (Abb. 23). Besondere Besorgnis erregt das zunehmende Vorkommen von Stammfußnekrosen an Eschen, insbesondere auf nassen Standorten. Hier kommt es oft zusätzlich zu Hallimasch-Infektionen, welche eine relativ rasche Stockfäule mit Bruchgefährdung nach sich ziehen. Damit verbunden sind große Herausforderungen bei der Arbeits- und Verkehrssicherung sowie eine rasche Holzentwertung. Untersuchungen verschiedener Forschungseinrichtungen zeigen jedoch, dass ein kleiner Teil der Eschen eine genetisch bedingte Resistenz gegen das Triebsterben zeigt. Deshalb müssen Eschen mit normaler Belaubung, ohne Ersatztriebe sowie ohne Stammfußnekrosen für den Aufbau einer künftig gesünderen Generation erhalten werden. Bei anstehenden Eingriffen sind bevorzugt anfällige Eschen zu entnehmen, die sowohl durch Kronenverlichtung und/oder durch die Bildung von Ersatztrieben erkenntlich sind.

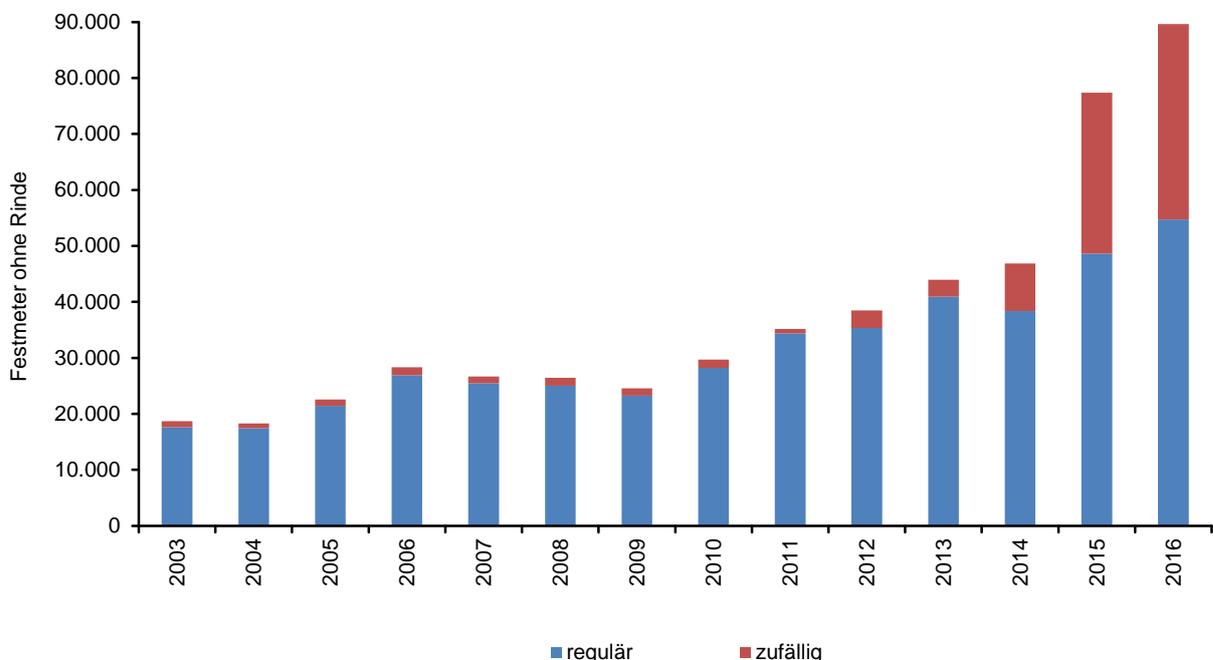


Abb. 22: Escheneinschlag im Staatswald Baden-Württemberg 2003 bis 2016 (zufällig = aufgrund des Eschentriebsterbens) (Daten: ZS-ForstBW, Stand 14.02.2017)



Abb. 23: Eschentriebsterben in einem Baumholz in der Oberrheinebene (Foto: R. Enderle)

Quarantäne-Schadorganismen

Der Esskastanien-Rindenkrebs stellt für die Esskastanie seit Jahren eine ernstzunehmende Bedrohung dar. Durch die Verbreitung von hypovirulenten Pilzstämmen, die durch einen spezifischen Virusbefall ihre Aggressivität verloren haben, besteht jedoch die Aussicht, dass sich die Krankheit verlangsamt. Die weitere Ausbreitung der Japanischen Esskastanien-Gallwespe wird nicht mehr aufzuhalten sein. Allerdings geht der Gallwespenbefall in den Esskastanienwäldern südlich der Alpen aufgrund einer Parasitierung durch eine in Italien freigesetzte ebenfalls aus China stammende Schlupfwespe (*Torymus sinensis*) bereits wieder zurück. Denkbar ist, dass sich dieser Gegenspieler der Gallwespe auch in unsere Region hinein ausbreitet.

In Hildrizhausen im Landkreis Böblingen, Weil am Rhein und Grenzach-Whylen im Landkreis Lörrach und in Straßburg im Grenzbereich zu Kehl im Ortenaukreis

wurde ein Befall durch den Asiatischen Laubholzbockkäfer (ALB) festgestellt. Da dieser Käfer auch gesunde Laubbäume befällt, sind die umliegenden Wälder erheblich gefährdet. Deshalb erfolgen dort auf Grundlage einschlägiger Rechtsnormen intensive Monitoring-Maßnahmen. Diese haben 2017 bisher keinen weiteren Befall mehr aufgedeckt. Besonders in der Nähe von Warenumschlags- und Lagerplätzen vor allem von Importwaren aus Asien mit Verpackungsholz besteht vielerorts eine erhöhte Gefahr der Einschleppung von Quarantäne-Schadorganismen. Diese soll neuerdings mit Hilfe eines europaweiten Monitorings so frühzeitig wie möglich eingedämmt werden. So werden intensive Überwachungsmaßnahmen zum Beispiel in Bezug auf den Kiefernholz-nematoden oder auf das aus Amerika stammende Feuerbakterium (*Xylella fastidiosa*), das auch Waldbaumarten befallen kann, sowie auf die sogenannte „Tausend-Canker-Krankheit“ an Nussbäumen durchgeführt. Dies erfolgt nach europäischen und nationalen Vorgaben bisher ohne Befund.

6 STOFFEINTRÄGE

Wälder sind aufgrund ihrer großen Kronenoberfläche besonders stark von Schadstoffeinträgen aus der Luft betroffen. Im Vergleich zu anderen Landnutzungsformen filtern Wälder das zwei- bis dreifache an Schadstoffen und Feinstaub aus der Luft heraus. Dadurch leisten Wälder einen aktiven Beitrag zur Luftreinhaltung. Die aus der Luft gefilterten Schadstoffe werden mit dem Regen im Waldboden eingetragen und reichern sich dort über Jahre hinweg an, was langfristig zu einer Versauerung der Böden führt.

In Baden-Württemberg werden die Stoffeinträge in die Wälder auf dem sogenannten Depositionsmessnetz an aktuell 19 über das Land verteilten Versuchsflächen gemessen. Dafür wird der Niederschlag in den Waldbeständen aufgefangen und im Labor hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung untersucht. Zum Vergleich werden zusätzlich Niederschlagsproben von benachbarten Freiflächen gewonnen und analysiert. Gemessen werden unter anderem der Eintrag

von Säuren (vor allem aus Schwefel- und Stickstoffverbindungen) sowie von Nährstoffen (insbesondere Stickstoff) und Schadstoffen. An den fünf Versuchsflächen des Intensiven Ökosystemmonitorings in Baden-Württemberg werden diese Stoffeinträge zusätzlich vergleichend in benachbarten Fichten- und Buchenbeständen erhoben.

Seit der Industrialisierung gelangen verstärkt Luftschadstoffe in die Wälder. Besonders belastend wirkt dabei der jahrelang hohe Eintrag von Schwefel und Stickstoff, der zu einer massiven Versauerung der Böden und Gewässer führte. Mit Beginn der 1980er Jahre konnte die Schadstoffbelastung der Luft durch den Einbau von Filteranlagen in der Industrie deutlich gesenkt werden. Insbesondere der drastische Rückgang der Schwefelemission, welche bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern, wie Kohle, Erdöl und Erz, freigesetzt wird, führte zu einer Entlastung der Wälder (Abb. 24). Der Stickstoffeintrag liegt dagegen in

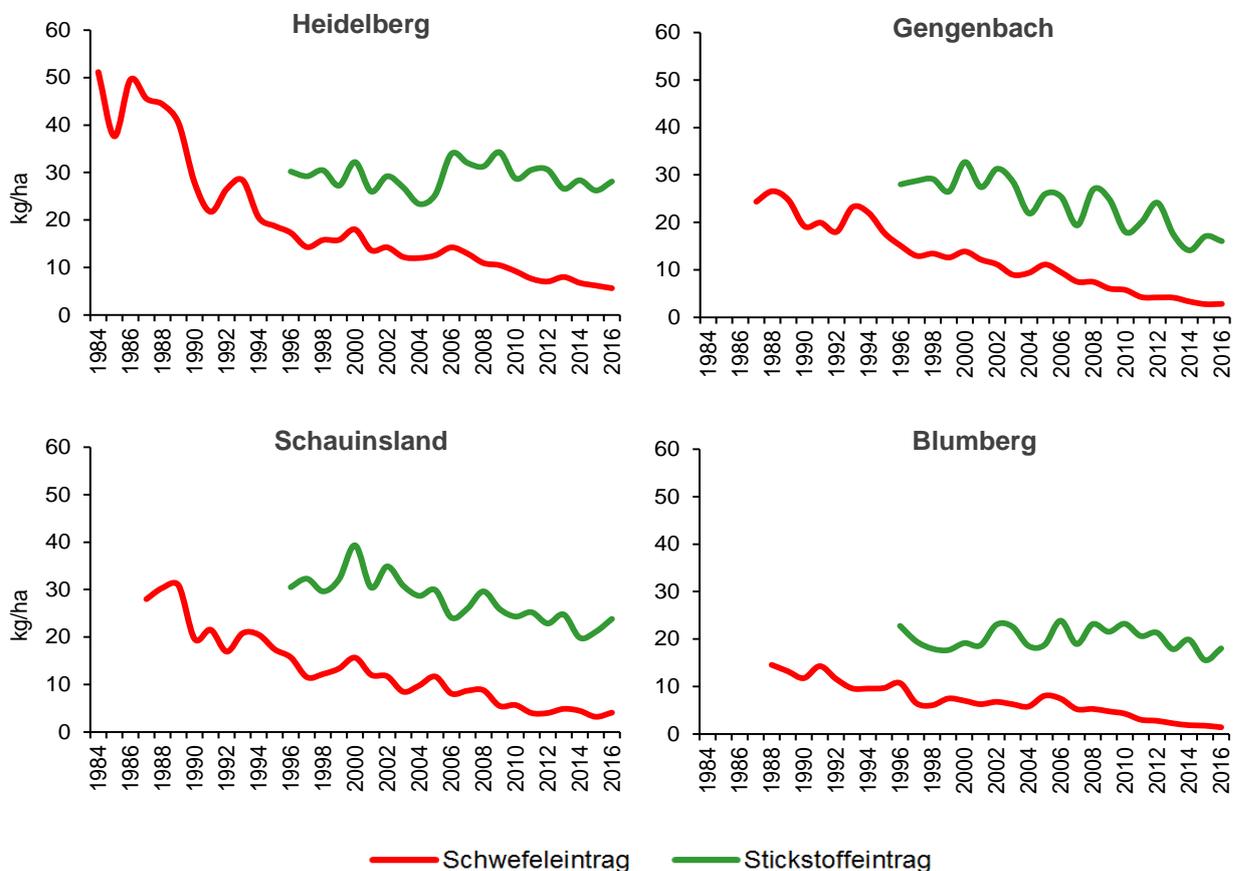


Abb. 24: Jährlicher Schwefel- und Stickstoffeintrag im Vergleich der Versuchsflächen Heidelberg, Gengenbach, Schauinsland und Blumberg von 1984 bis 2016

einigen Regionen Baden-Württembergs nach wie vor über der ökosystemverträglichen Eintragsmenge. Die eingetragenen Stickstoffverbindungen stammen in etwa zu gleichen Teilen aus Verkehr und Industrie (Stickoxide NO_x) einerseits und Landwirtschaft (Ammonium NH_4) andererseits (LUBW 2017). Ein landesweit einheitlicher Entwicklungstrend der Stickstoffeinträge ist bisher nicht erkennbar. Während auf einigen Versuchsflächen im Wald, wie Heidelberg und Blumberg, der Stickstoffeintrag seit Mitte der 1990er Jahre nahezu konstant bleibt, ist auf anderen Versuchsflächen, wie Gengenbach und Schauinsland, eine deutliche Abnahme der Stickstoffeinträge feststellbar.



Abb. 25: Bodenprofil der zweiten Bodenzustandserhebung (BZE2), hier: saurer Buntsandstein-Podsol im Nord-Schwarzwald (Foto: H. Buberl)

Bodenversauerung und Kalkung

Die Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung (BZE2) in Baden-Württemberg zeigen auf, dass die Waldböden nach wie vor durch den in der Vergangenheit hohen Eintrag atmosphärischer Säuren („saurer Regen“) geschädigt sind. Zudem tragen aktuell die weiterhin hohen Stickstoffeinträge regional zu einer fortschreitenden Versauerung der Waldböden bei (HARTMANN ET AL. 2016).

Durch den Eintrag von Säuren in den Waldboden kommt es zu einer Auswaschung wichtiger Nährelemente aus dem Oberboden, wie z.B. Calcium, Magnesium oder Kalium. Diese basischen Nährelemente sind wichtig für die Vitalität der Bäume. Stehen sie nicht in ausreichender Menge zur Verfügung, kann dies sichtbare Mangelscheinungen und vermindertes Baumwachstum zur Folge haben. Zudem wird durch den Eintrag versauernd wirkender Schwefel- und Stickstoffverbindungen die natürliche Filter- und Pufferkapazität des Bodens verringert. Damit können Schadstoffe ungefiltert den Waldboden durchlaufen und ins Grundwasser gelangen. Zusätzlich werden bei starker Versauerung des Bodens giftige Aluminiumionen und Schwermetalle freigesetzt, welche das Wurzelwachstum der Bäume schädigen und ebenso belastend für das Grundwasser sind (Abb. 25).

Zur vollständigen Regeneration der Waldböden wurde für Baden-Württemberg ein langfristiges Kalkungskonzept entwickelt, welches die natürliche Vielfalt der Waldböden mit ihrem natürlichen Versauerungszustand und Nährelementhaushalt wieder herstellen soll. Dadurch werden die Filter- und Pufferkapazität der Böden, die Lebensbedingungen für die Bodenfauna und die Nährelementsituation der Waldbäume verbessert. Durch eine Beimischung von Holzasche zum üblicherweise ausgebrachten Dolomitmalk wird zudem die Kalium- und Phosphornahrung der Waldbestände unterstützt. Der Vergleich der Bodenzustandserhebung 1 (BZE1) mit den Ergebnissen der BZE2 zeigt, dass die Bodenschutzkalkung einen deutlich positiven Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit der Waldbäume hat. So weisen zwischenzeitlich gekalkte Standorte im Vergleich zu ungekalkten Flächen signifikant höhere Calcium- und Magnesiumvorräte im Oberboden auf.

Regionale Verteilung der Stoffeinträge

Die räumlichen Muster der Gesamtsäureeinträge in die Wälder Baden-Württembergs sind seit Längerem relativ stabil. Auch für das Jahr 2016 zeigen sich die typischen regionalen Schwerpunkte im Südschwarzwald, im westlichen Odenwald und im östlichen Oberschwaben (Abb. 26, links). Die höchsten Einträge wurden für Fichte mit 1,2 kmol/ha auf der Versuchsfläche „Schauinsland“ gemessen. Dagegen finden sich im Windschatten des Schwarzwaldes auf der Versuchsfläche „Löffingen“ mit 0,3 kmol/ha die geringsten Eintragswerte. Im Vergleich der Baumarten weisen Fichtenbestände höhere Gesamtsäureeinträge als benachbarte Buchenbestände auf, was sich durch die ganzjährige Benadelung der Fichten und der damit höheren Filterung von Luftschadstoffen ergibt.

Die gemessenen Stickstoffeinträge an Versuchsflächen Baden-Württembergs lagen für das Jahr 2016 zwischen 9,2 und 30,4 kg/ha (Abb. 26, rechts). Niedrige Eintragswerte sind vorwiegend im Windschatten des Schwarzwaldes und des Odenwaldes zu finden. Dagegen weisen die Versuchsflächen im Südschwarzwald („Blauen“ und „Schauinsland“) und im westlichen Oberschwaben („Ochsenhausen“) die höchsten Stickstoffeinträge auf. Zwischen den beiden Regionen bestehen jedoch deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Stickstoffeinträge. Während im stark landwirtschaftlich geprägten Oberschwaben Stickstoff ganz überwiegend in Form von Ammonium eingetragen wird, ist auf den exponierten Lagen des Schwarzwaldes ein höherer Nitratanteil festzustellen, der hauptsächlich durch Verkehr- und Industrieabgase verursacht wird.

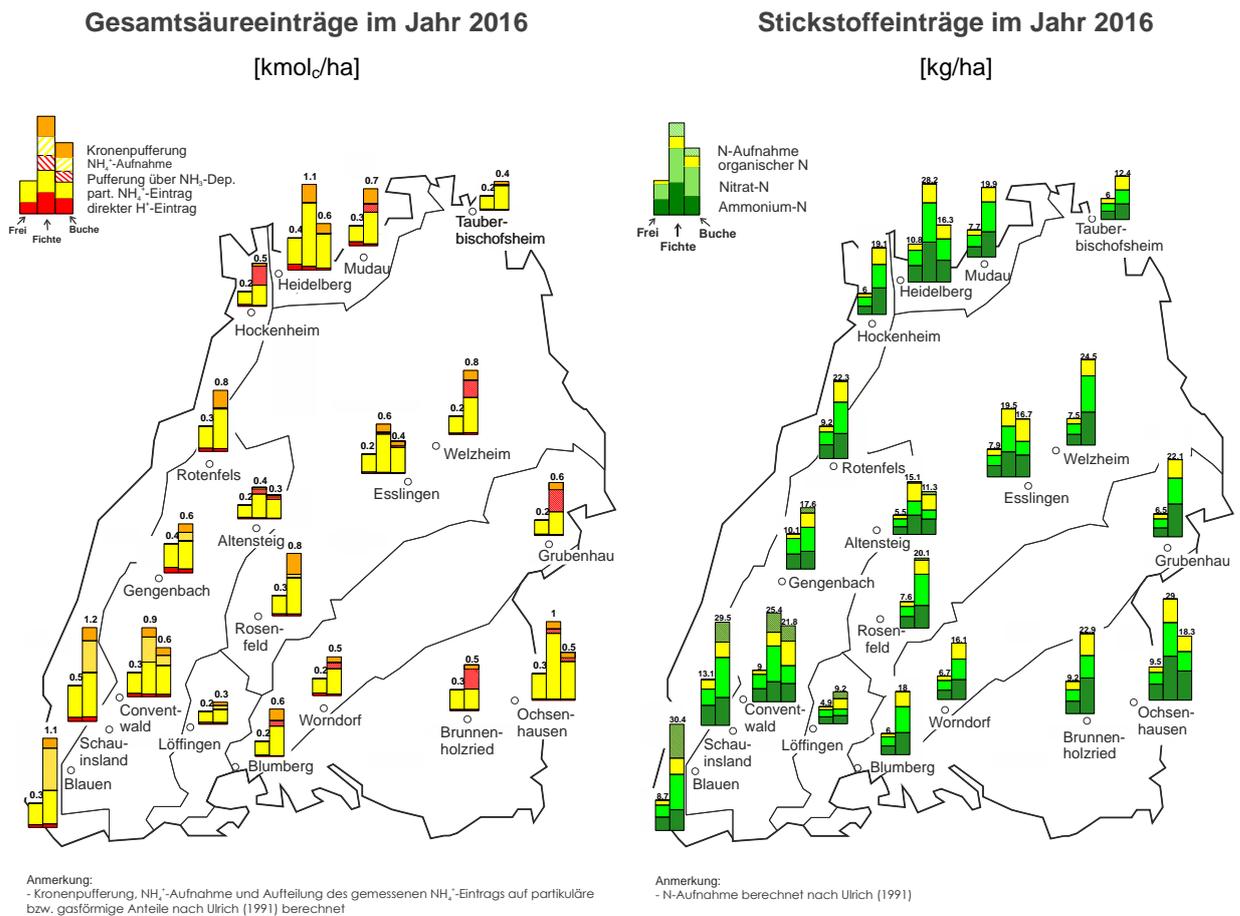


Abb. 26: Regionale Verteilung der Stoffeinträge 2016 in die Wälder Baden-Württembergs: Gesamtsäureeintrag (links), Stickstoffeintrag (rechts) für Freiland, Fichte und Buche

7 WACHSTUMSTRENDS DER WÄLDER

Methodisches

Der Zuwachs von Bäumen und Beständen ergibt sich als integrierende Summengröße aus dem Zusammenspiel baum- bzw. bestandesspezifischer Faktoren (z.B. Alter, Bestandesdichte) mit der Wirkung zuwachsrelevanter Umweltfaktoren, wie beispielsweise Klima oder Nährstoffeinträgen (Abb. 27, links). Bei der Untersuchung umweltbedingter Zuwachstrends besteht die Herausforderung, aus messbaren Zuwachssignalen (z.B. Jahrringbreite, Höhenentwicklung, Grundflächen- oder Volumenzuwachs) die durch Umweltveränderungen bedingte Komponente zu identifizieren und zu extrahieren. Diese Aufgabe ist alles andere als trivial, setzt eine geeignete, substantielle Datenbasis voraus und erfordert die Anwendung komplexer statistischer Methoden.

Lange Zeit kamen hierzu vor allem Methoden zur Anwendung, die ursprünglich für dendrochronologische Zwecke entwickelt wurden. Die Extraktion der umweltbedingten Komponente erfolgt bei diesen Methoden dadurch, dass die Schwankungen der Messwerte (Jahrringbreiten) anhand statistischer Filter in Komponenten hoher (jährlicher) Frequenz und niedrigerer (längerfristiger) Frequenz zerlegt werden. Letztere werden als Alterstrend bzw. als Einfluss von Änderungen der Bestandesdichte (z.B. durch Durchforstungen)

interpretiert und als nicht umweltbedingte Komponenten summarisch entfernt. Hierbei besteht das Risiko, dass längerfristige Veränderungen zuwachsrelevanter Umweltkomponenten unbeabsichtigt als Teil der niederfrequenten Komponente aus dem Datensatz entfernt werden.

Für dendrochronologisch orientierte Analysen ist dies unproblematisch. Hier stehen die jährlichen Veränderungsmuster klar im Vordergrund; das Risiko eines (teilweisen) Verlustes möglicher langfristiger Trends fällt dabei wenig ins Gewicht. Im Gegensatz dazu ist die – unbeabsichtigte – Filterung längerfristiger Trends zuwachsrelevanter Umweltfaktoren bei wachstumskundlich orientierten Untersuchungen außerordentlich kritisch, da ja gerade diese Trends im Fokus der Untersuchungen stehen.

YUE ET AL. (2011) haben einen neuen methodischen Ansatz entwickelt, der dieses Problem löst und der speziell auf die Zwecke wachstumskundlicher Untersuchungen zugeschnitten ist: das sogenannte „multiplikative Dekompositionsmodell“. Die Wirkung der verschiedenen baum- und bestandesspezifischen Zuwachsfaktoren wird hier durch separate Teilmodelle erfasst und aus dem gemessenen Zuwachssignal eliminiert, so dass am Ende der durch Umweltveränderungen verursachte Anteil im gemessenen Zuwachssignal übrig bleibt (Abb. 27, rechts).

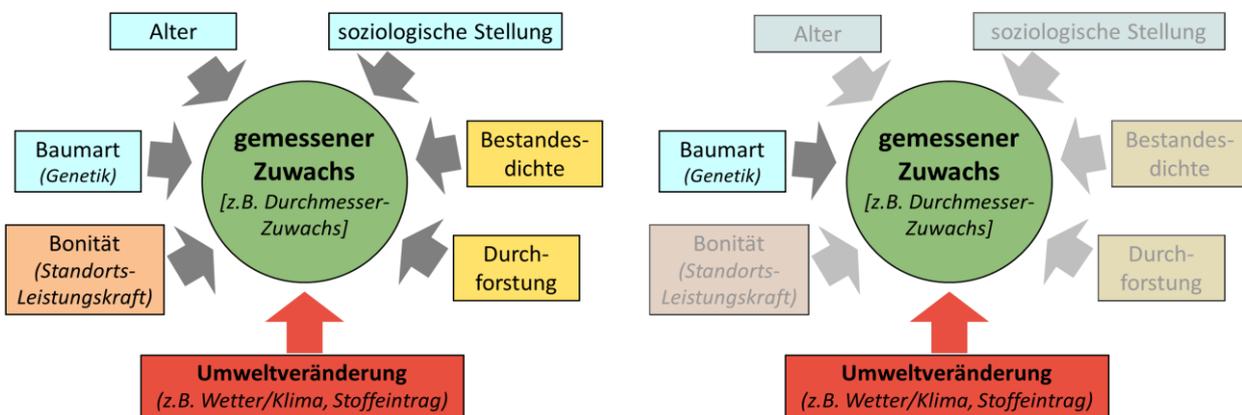


Abb. 27: Links: Einflussgrößen, die sich auf den messbaren Zuwachs auswirken (blau: baumspezifische Komponenten, gelb: bestandesspezifische Komponenten, rot & orange: umweltspezifische Komponenten). Rechts: zuwachsrelevante Faktoren, deren Wirkung rechnerisch gefiltert werden muss, um den Einfluss von Umweltveränderungen auf das gemessene Zuwachssignal identifizieren zu können



Abb. 28: Links: Orte in Baden-Württemberg, an denen aktuell langfristige Versuche durchgeführt werden. Rechts: alte Königlich Württembergische und Großherzoglich Badische Versuchsflächenakten lagern seit der Zusammenlegung der beiden Versuchsanstalten im Jahr 1958 friedlich im Archiv zusammen

Das Verfahren wurde zunächst für die traditionell in Trendanalysen verwendete Datengrundlage – Jahringserien herrschender Einzelbäume – entwickelt (YUE ET AL. 2011). Durch methodische Erweiterungen (YUE ET AL. 2012) können inzwischen auch Zuwachstrends ganzer Bestände analysiert werden, da hierfür nun in mehrjährigen Abständen wiederholte Bestandesaufnahmen verwendet werden können. Dazu wird auf Basis sämtlicher einbezogener Daten für die in Abbildung 27 aufgeführten zuwachsrelevanten Faktoren ein verallgemeinertes Zuwachsmoell parametrisiert, das – über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg betrachtet – durchschnittliche Zuwächse unter durchschnittlichen Umweltverhältnissen repräsentiert. Mit diesem Modell wird für jeden Messzeitpunkt der erwartete durchschnittliche Zuwachs geschätzt und ins Verhältnis zu dem zu diesem Zeitpunkt tatsächlich gemessenen Zuwachs gesetzt (gemessener Zuwachs / erwarteter Zuwachs). Dieser sogenannte Zuwachstrendquotient weist bei steigenden Zuwachstrends Werte >1 , bei rückläufigen Trends Werte <1 auf.

Die Weiterentwicklung von YUE ET AL. (2012) bedeutet einen enormen Wissenszuwachs, können doch mit diesem Verfahren nun auch Messdaten aus dem Netz langfristiger wachstumkundlicher Versuche (Abb. 28, links) in die Analysen von Zuwachstrends einbezogen

werden, die in großem Umfang und über lange Zeiträume vorliegen. Die neue Methode erschließt damit eine breite Datenbasis für die Untersuchung von Zuwachstrends (KOHNLE ET AL. 2014), die hierfür bisher nicht nutzbar war und die ursprünglich für ganz andere Zwecke erhoben wurde.

In Baden-Württemberg wird diese Datenbasis aktuell für weiter zurückreichende Zeiträume substantiell erweitert, indem historische Datenbestände alter, aufgegebener Versuche aus den Archiven der ehemaligen Badischen und Württembergischen Versuchsanstalten einbezogen werden. Solche Versuche wurden etwa seit der Wende vom 19./20. Jahrhundert angelegt und durchgeführt. Die seinerzeitigen Messungen und Messprotokolle entsprechen dabei durchaus heutigen wachstumkundlichen Standards. Die Versuchsdokumente, die (meistens) akribisch dokumentiert und in Papierform archiviert sind (Abb. 28, rechts), werden derzeit in einer digitalen Datenbank erfasst und können dann in die Untersuchung von Zuwachstrends einbezogen werden (LENK ET AL. 2014). Diese außergewöhnlich umfangreiche Datenbasis ermöglicht es, für die Hauptbaumarten in Baden-Württemberg (Buche, Douglasie, Eiche, Fichte, Kiefer, Tanne) ausreichend abgesicherte Trendanalysen zu erstellen (KOHNLE ET AL. 2014).

Zuwachstrends

Die Datenbasis für die Zuwachstrend-Analysen der im Folgenden dargestellten Baumarten besteht aus Messwerten an zahlreichen über das Land verteilten Versuchsorten: Fichte (222 Orte), Buche (53 Orte), Eiche (47 Orte), Tanne (47 Orte). Weitere – hier nicht dargestellte – Zuwachstrendanalysen liegen bereits auch für Douglasie (93 Versuchsorte) und Kiefer (47 Orte) vor (KOHLE ET AL. 2014). Insgesamt zeichnet sich folgende Entwicklung ab: bei allen vier hier dargestellten Baumarten (Fichte, Tanne, Buche, Eiche) setzten ab Mitte des 20. Jahrhunderts steigende Zuwachstrends ein, die bis in die 1990er Jahre anhielten. Bei Tanne ist diese Entwicklung in den 1970er und 1980er Jahren von einer charakteristischen Zuwachsdepression vorübergehend unterbrochen. In den 1990er Jahren ist bei allen Baumarten eine Wende zu sinkenden Zuwachstrends (Abb. 29) zu beobachten. Ein vergleichbarer Verlauf – allerdings ohne die Depression bei Tanne – zeigt sich auch bei den hier nicht dargestellten Baumarten Kiefer und Douglasie (KOHLE ET AL. 2014).

Auffällig ist, dass die grundsätzliche Trendänderung bei keiner der Baumarten im Zusammenhang mit klimatischen Extremjahren wie beispielsweise den Trockenjahren 1976 oder 2003 zu stehen scheint. Die aktuellen Zuwachstrendquotienten deuten insbesondere bei Tanne auf einen Wiederanstieg des Trends hin. Ob sich daraus tatsächlich wieder eine grundsätzliche Trendumkehr ergibt, lässt sich derzeit nicht sicher abschätzen: für die Zeit nach 2008 ist noch eine zu geringe Anzahl an Wiederholungsaufnahmen verfügbar, so dass in Abbildung 29 zwar Jahresmittelwerte bis 2012 dargestellt sind, die geglätteten Trendkurven aber nur bis zum Jahr 2008 berechnet wurden.

Temperatur und Niederschlag sind wichtige zuwachsrelevante Umweltfaktoren. Für beide hatte sich schon in früheren Arbeiten ein langfristig ansteigender Trend abgezeichnet (FISCHER UND KONNERT 1989), der sich bis in die Gegenwart fortgesetzt hat (Abb. 30). Während jedoch der Trend der Jahresmitteltemperatur seit den 1980er Jahren eine deutliche Steigerung des Anstiegs aufweist, steigt die Jahresniederschlagssumme nur geringfügig an.

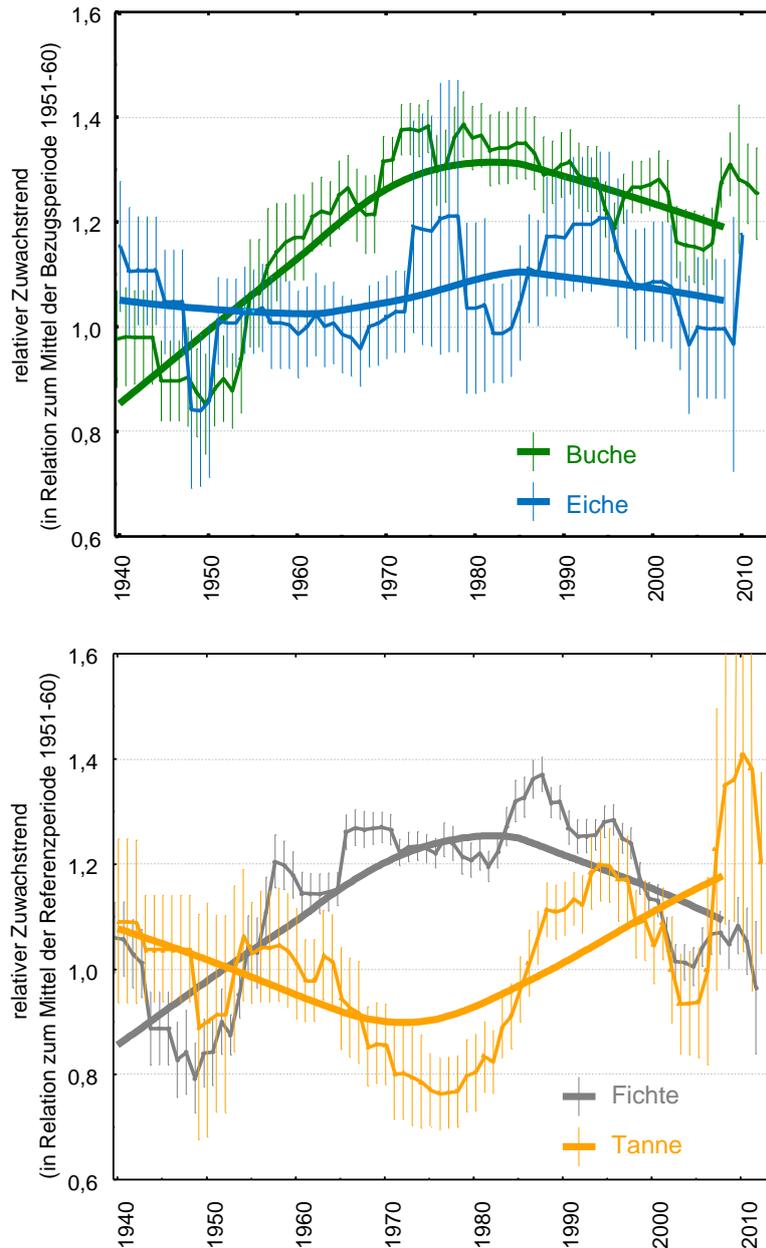


Abb. 29: Grundflächen-Zuwachstrends von Versuchsfeldern mit Fichten-, Tannen-, Buchen- oder Eichen-Beständen in Baden-Württemberg; senkrechte Balken: Standardfehler des Mittelwerts, fette Linie: Trend (stärker geglättet als in KOHLE ET AL. 2014)

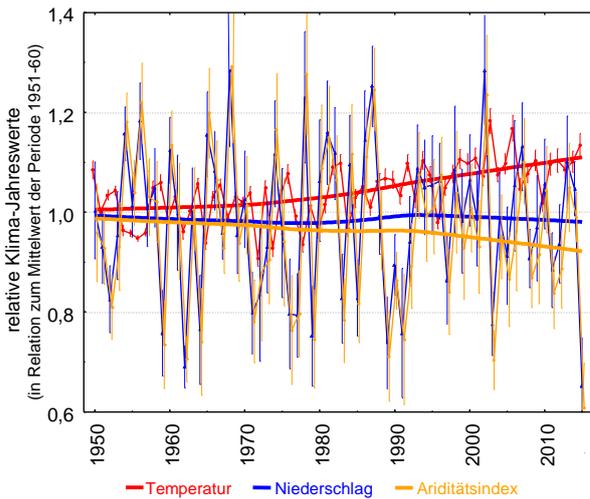


Abb. 30: Geglättete Trends dreier Klimaparameter in Baden-Württemberg (Mitteltemperatur, Niederschlagssumme und Ariditätsindex nach DeMartonne in der Vegetationsperiode). Zugrunde liegen Daten des Deutschen Wetterdienstes differenziert nach den Orten der wachstumskundlichen Versuche

In der Vegetationsperiode verstärkt sich dieser Unterschied noch: während in dieser Periode die Steigerung des Temperatur seit den 1980er Jahren weiterhin gut messbar bleibt, blieben die Niederschläge in der Vegetationsperiode seither nahezu unverändert (KOHNLE ET AL. 2014).

Beim Trendvergleich zwischen Zuwachs und Klimafaktoren zeigt sich, dass weder der Temperatur- noch der Niederschlagstrend im Verlauf vollumfänglich mit den Zuwachstrends korrespondieren. Insbesondere die Trendumkehr beim Zuwachs in den 1990er Jahren findet sich bei keinem der beiden Klimafaktoren wieder. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Wasserversorgung von Pflanzen erst im Zusammenwirken dieser beiden Komponenten beurteilbar wird. Ein Indikator dafür ist beispielsweise der aus Temperatur und Niederschlag berechnete Ariditätsindex nach DeMartonne (orangefarbene Kurve in Abb. 30): hohe Indexwerte weisen auf eine bessere Wasserversorgung hin, niedrige auf stärker angespannte Verhältnisse. Offenbar hat der im Vergleich zum Niederschlag

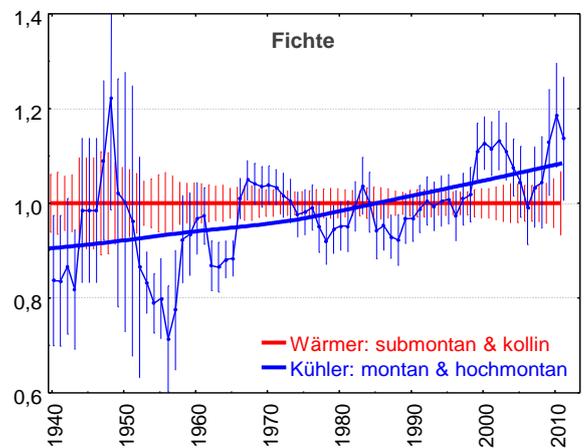
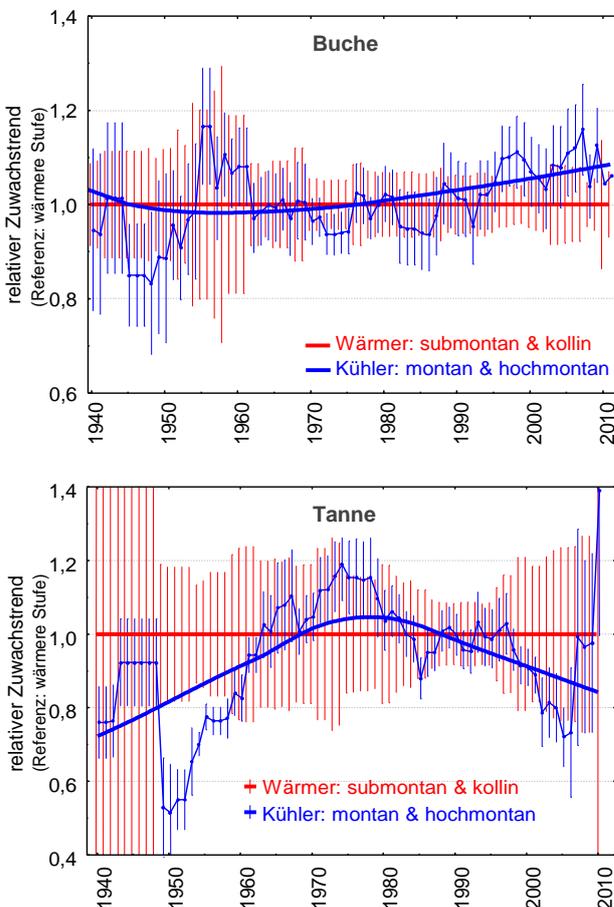


Abb. 31: Grundflächen-Zuwachstrends von Versuchsflächen mit Buchen-, Fichten- oder Tannen-Beständen in Baden-Württemberg differenziert nach wärmeren und kühleren Klimabereichen; dargestellt sind die Zuwachstrendquotienten in Relation zum jeweiligen Jahresmittelwert im wärmeren Klimabereich; Punkte: Mittelwert Kalenderjahr, senkrechte Balken: Standardfehler des Mittelwerts, fette Linie: geglätteter Trend

seit den 1980er überproportionale Anstieg der Temperaturen zu einem sinkenden Wert des Ariditätsindex geführt, was auf eine zunehmende Verschlechterung der Wasserversorgung der Bäume hinweist und gut mit der Umkehr der Zuwachstrends korrespondiert.

Mit der breiten Datenbasis aus den langfristigen Versuchen in Baden-Württemberg ist es nun sogar möglich, die Zuwachstrends bei Fichte, Tanne und Buche nach Regionen unterschiedlicher Klimacharakteristik zu differenzieren. Dazu wurden die klimatischen Wärmestufen zu zwei Bereichen zusammengefasst: einem wärmeren Bereich (kollin & submontan) und einem kühleren Bereich (montan & hochmontan). Für die vergleichende Darstellung der Zuwachstrends (Abb. 31) wurde die Entwicklung im kühleren Bereich im Verhältnis zum wärmeren Bereich dargestellt, der als Referenz diente.

Bei dieser Differenzierung deutet sich ein gewisser Zusammenhang zwischen Klimacharakteristika im natürlichen Verbreitungsschwerpunkt der jeweiligen Baumart und den aktuellen Entwicklungstendenzen der Zuwachstrends an. Bei Fichte und Buche, mit natürlichen Verbreitungsschwerpunkten in vergleichsweise kühleren Klimaten, liegen die aktuellen Zuwachstrends im kühleren Klimabereich über denen im wärmeren Bereich. Bei Tanne sind die Verhältnisse umgekehrt: in jüngster Vergangenheit lag der bis zum Jahr 2010 berechnete Zuwachstrend im kühleren Bereich unter dem im wärmeren Bereich. Vergleichbare Verhältnisse zwischen wärmeren und kühleren Bereichen finden sich offenbar auch bei Eiche (KOHNLE ET AL. 2014); da bei dieser Baumart die Bereiche etwas anders definiert wurden, sind die Ergebnisse hier jedoch nicht dargestellt.

Fazit

Die Befunde der Trendanalysen bestätigen die Erwartung, dass die beobachteten Zuwachstrends wesentlich von klimatischen Faktoren geprägt sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn zusätzlich zu Temperatur und Niederschlag auch die Auswirkung dieser beiden Faktoren auf die Wasserversorgung einbezogen wird. Es erscheint allerdings dringend angezeigt, zusätzlich zu klimatischen Umweltfaktoren auch Stoffeinträge als mögliche zuwachsrelevante Umweltfaktoren nicht-klimatischer Natur in kausalanalytische Untersuchungen und die Entwicklung umweltsensitiver Wachstumsmodelle einzubeziehen. Ein Indiz für diese Notwendigkeit liefert die vorübergehende Zuwachsdepression der Tanne in den 1970er und 1980er Jahren (Abb. 29, unten), die bereits aus anderen Untersuchungen

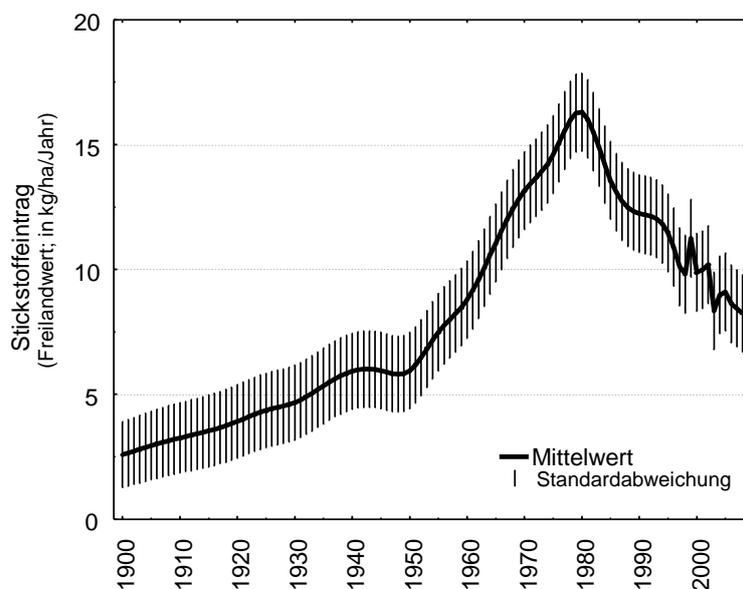


Abb. 32: Entwicklung der jährlichen Stickstoffeinträge (in kg je Jahr und Hektar) an den Orten der wachstumskundlichen Versuche; Modellierung unter Annahme von Freilandverhältnissen (von WILPERT ET AL. 2010); durchgezogene Linie: Mittelwerte, senkrechte Linien: Standardabweichung

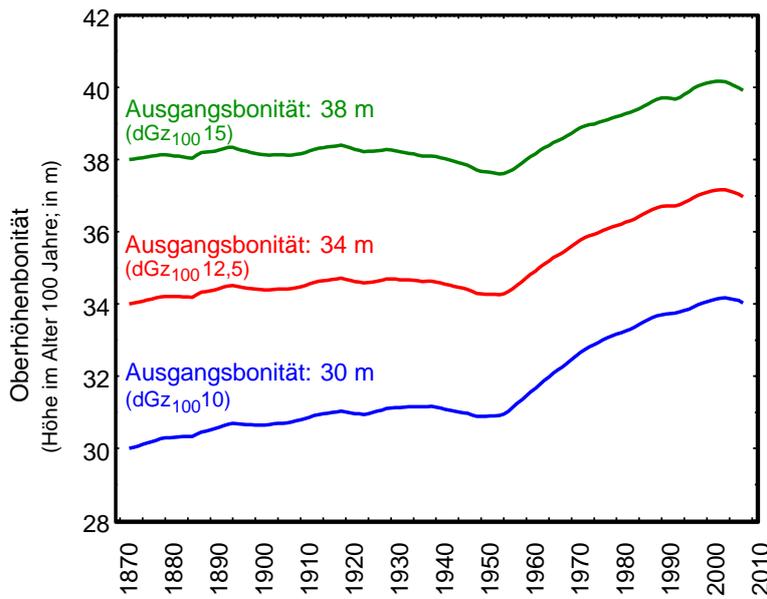


Abb. 33: Entwicklungslinien von Ertragsklassen (Oberhöhenbonitäten) von Fichte in Baden-Württemberg seit dem Ende des 19. Jahrhunderts modelliert auf Basis periodischer Höhenmessungen langfristiger Versuchsflächen. Dargestellt ist die Entwicklung getrennt nach drei verschiedenen Ausgangsbonitäten (30 m, 34 m, 38 m) im Jahr 1870 (verändert nach LENK ET AL. 2014)

bekannt ist (KENK 1983, WEISE 1991, UHL ET AL. 2013). Diese Depression war wahrscheinlich unter anderem durch die in dieser Zeit besonders hohen Schwefelimmisionen bedingt, gegenüber denen die Tanne als besonders empfindlich gilt (WENTZEL 1980, ELLING ET AL. 2009).

Als weitere Zuwachsrelevante Faktoren kommen beispielsweise auch Veränderungen in der CO₂-Konzentration der Atmosphäre (FRICKE UND WALLASCH 1994) sowie Stickstoffeinträge in Frage. Letztere erscheinen dabei von besonderem Interesse: nach einem ab etwa der Mitte des 20. Jahrhunderts deutlich verstärkten, längerfristigen Anstieg entwickeln sich die Stickstoffeinträge seit den 1980er Jahren wieder rückläufig (Abb. 32). Sie korrespondieren damit zum einen gut mit den etwa seit dieser Zeit ebenfalls rückläufigen Zuwachstrends (Abb. 29).

Zum anderen könnten sie auch dazu beitragen, Unterschiede in der Entwicklung der Ertragsklassen von Waldstandorten („Bonität“, mittel- bis langfristige Wuchskraft) zu erklären. Im Vergleich hat sich die Wuchskraft von Standorten niedrigerer Ertragsklassen offensichtlich stärker verändert als von Standorten besserer Bonitäten (Abb. 33). Während die Böden von Waldstandorten guter Bonität in der Regel durch gute Stickstoffverfügbarkeit charakterisiert sind, ist die Wuchskraft auf Standorten geringerer Bonitäten meist aufgrund eingeschränkter Stickstoffverfügbarkeit limitiert. Vor diesem Hintergrund erscheint es durchaus plausibel, dass die Wuchleistung auf diesen Standorten in besonderem Maße von zusätzlichen Stickstoffeinträgen profitiert hat.

Aus ertragswirtschaftlicher Sicht erscheint eine Zuwachssteigerung, insbesondere auf leistungsschwächeren Standorten, zwar zunächst einmal sehr erfreulich. Allerdings ist dabei (noch?) nicht geklärt, inwieweit sich ein durch das verbesserte Stickstoffangebot verstärktes Pflanzenwachstum nachteilig auf die Versorgung mit anderen Nährelementen auswirken kann. Hier bestehen Unsicherheiten, die in näherer Zukunft dringend der Klärung bedürfen, damit sich die derzeitige Situation nicht unverhofft zu einem Genuss mit Reue entwickelt.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Waldzustand aktuell

Der Waldzustand in Baden-Württemberg zeigt sich im Jahr 2017 trotz einer regional sehr angespannten Wasserversorgung der Waldbestände leicht verbessert. Der mittlere Nadel-/Blattverlust über alle Baumarten und Baumalter hinweg verringert sich um 1,8 Prozentpunkte auf insgesamt 22,0 Prozent. Die lange Trockenperiode mit landesweit unterdurchschnittlichen Niederschlägen von Dezember 2016 bis Juni 2017 führte dazu, dass an vielen Standorten die Wasservorräte im Boden zu Beginn der Vegetationszeit sehr gering waren. Lokal einsetzende Regenfälle und das landesweit etwas zurückgehende Niederschlagsdefizit führten bei weiterhin unterdurchschnittlichen Niederschlägen im Jahresverlauf jedoch zu einer leichten Entspannung. Erst in den Monaten Juli und August waren höhere Niederschläge zu verzeichnen, so dass sich die Baumkronen im Sommer 2017, trotz intensiver Trockenphase in der ersten Hälfte des Jahres, im Allgemeinen gut entwickeln konnten.

Die deutlichste Verbesserung im Kronenzustand ist dieses Jahr in älteren Buchenbeständen festzustellen, die nach der sehr starken Fruktifikation 2016 in diesem Jahr erkennbar dichtere Baumkronen ausbildeten. Eine starke Fruchtausbildung stellt für die Buchen regelmäßig eine hohe physiologische Belastung dar, die sich direkt in einer erhöhten Kronenverlichtung zeigt (Meining et al. 2016). Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2017 belegen die hohe Regenerationsfähigkeit der Buchen nach starken Fruktifikationsjahren. Es bleibt jedoch abzuwarten, wie die Buche auf zunehmend stärkere und häufigere Fruktifikationsjahre infolge des Klimawandels reagiert und ob dies als Anpassungsfähigkeit der Baumart auf sich ändernde Klimabedingungen angesehen werden kann oder zu einer langfristigen Belastung der Buchen führt. Während die Buche im Landesdurchschnitt einen merklich geringeren Blattverlust gegenüber dem Vorjahr aufweist, ist im Kronenzustand der Fichte kaum eine Veränderung festzustellen. Damit bleibt die Kronenverlichtung der Fichte im zweiten Jahr in Folge nahezu unverändert. Der Kronenzustand der Tanne weist

aktuell eine Verbesserung auf, die maßgeblich auf eine Erholung in Tannenjungbeständen zurückzuführen ist. Auslöser hierfür dürfte insbesondere der seit wenigen Jahren beobachtete rückläufige Befall durch die Tannentrieblaus in Jungbeständen sein. Aufgrund der warm-trockenen Witterung stieg die Borkenkäfergefahr für Fichte und Tanne im Jahr 2017 deutlich an. Besonders im Schwarzwald, aber auch in anderen Regionen Baden-Württembergs, erhöhte sich die Anzahl der Käferbäume im Verlauf des Sommers rasant. Entgegen des Erholungstrends von Buche und Tanne hat sich der Kronenzustand der Baumarten Kiefer, Eiche und Esche im aktuellen Jahr verschlechtert. Während die Vitalität der Eichen vor allem im nördlichen Baden-Württemberg durch das Vorkommen von blattfressenden Schmetterlingsraupen beeinflusst wurde, ist bei der Kiefer insbesondere im Rheintal eine drastische Zunahme der Kiefernkomplexkrankheit feststellbar. Unter möglicher Beteiligung von Trockenstress, pilzlichen Erregern, Rindenbrütern und Mistelbefall werden ganze Kiefernbestände stark geschädigt. Der Zustand der Esche bleibt weiterhin besorgniserregend. Die Baumart ist landesweit massiv durch den pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens betroffen, der zu einer deutlich erhöhten Mortalitätsrate der Eschen führt.

Ursachensuche mit dem Forstlichen Umweltmonitoring

Waldökosysteme verändern sich. Dies betrifft auch Standortseigenschaften von Wäldern, die früher als konstant betrachtet wurden, wie ihre Bodeneigenschaften und das vorherrschende Klima. Wichtigste Treiber für Änderungen der Standortseigenschaften waren und sind Stoffeinträge und Klimaänderungen. Nur wenn die Randbedingungen für die Vitalität und das Wachstum von Wäldern bekannt sind, können diese beeinflusst oder gegebenenfalls Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden.

Die Forstliche Umweltüberwachung wurde Anfang der 1980er Jahre, ausgelöst durch die Waldschadensdiskussion, etabliert und begann zunächst mit der Wald-

zustandserfassung. Sie wurde wenig später um die Komponenten „Waldernährung“ und „chemischer Bodenzustand“ erweitert, um die Auswirkungen neuartiger Umweltveränderungen auf das Wirkungsgefüge von Waldökosystemen zu analysieren. Mitte der 1990er Jahre wurden zusätzlich mehrere Intensivmessflächen des EU Level-II-Netzes angelegt, um dynamische Veränderungen unterschiedlicher Umwelteinflüsse (v.a. Stoffeinträge, Witterung) und deren Wirkung auf die Standortseigenschaften (v.a. Bodenchemie, Bodenwasser, Bodenluft) sowie die Reaktion des Waldbestandes zu untersuchen.

Die Langlebigkeit von Waldökosystemen bedingt, dass Weichen, die zu einer Veränderung der Entwicklung führen sollen, frühzeitig gestellt werden müssen. Die daraus resultierenden Auswirkungen, z.B. eine geänderten Waldbewirtschaftung, werden aber erst sehr viel später sichtbar und bewertbar. Umso wichtiger ist es, mit Hilfe der Erhebungen des Forstlichen Umweltmonitorings frühzeitig neue oder veränderte Risiken zu erfassen. Das Monitoring von Umweltgrößen und Reaktionen der Waldbestände (Vitalität, Wachstum) liefert die notwendige Datenbasis, um Anpassungsstrategien an veränderte Standortbedingungen zu entwickeln. Am Beispiel der Tanne soll aufgezeigt werden, wie die verschiedenen Erhebungsgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings als Frühwarnsystem dienen können:

Gerade die akuten Schäden in Tannenbeständen des Schwarzwaldes und des Schwäbisch-Fränkischen Waldes mit starker Vergilbung, hohem Nadelverlust und massenhaftem Absterben von Altannen, lösten unter dem Begriff „Tannensterben“ eine einzigartige Umweltdiskussion in Deutschland aus. Auslöser für die hohen Schäden an Tannen und anderen Nadelbaumarten waren die damals sehr hohen Schadstoffeinträge in die Wälder. Insbesondere der hohe Schwefeleintrag führte bei der dafür außerordentlich empfindlichen Tanne zu massiven Schäden in der Krone (WENZEL 1980, ELLING ET AL. 2007). Erste Tannendauerbeobachtungsflächen wurden daher bereits 1978 in Baden-Württemberg zur Untersuchung der neuartigen Waldschäden angelegt (SCHRÖTER 1983). Und auch der Zuwachs der Tanne, als weiterer wichtiger Vitalitätsweiser, wies für die 1970er und 1980er Jahre eine deutliche Zuwachsdpression auf (SCHÖPFER ET AL.

1997). Erst durch die drastische Verringerung der Schwefelemissionen aus Großfeuerungsanlagen, die durch politische Vorgaben ab Anfang der 1980er erreicht wurde, konnte sich der Zustand der Tannen in Baden-Württemberg wieder erholen. Die hohen Stoffeinträge hatten jedoch eine langfristige Versauerung der Waldböden zu Folge. Gleichzeitig führten die hohen Einträge von atmosphärischem Stickstoff zu einer enormen Zuwachssteigerung. Der Kronenzustand der Tanne erwies sich seit Ende der 1990er Jahre mit leicht fallendem Trend als äußerst stabil. Auch die Auswirkungen des Jahrhundertsommers 2003 machten sich bei der Tanne weniger stark bemerkbar als beispielsweise bei der Fichte. Die Tanne kann aufgrund ihres weitreichenden Wurzelwachstums tieferliegende Wasserschichten erschließen, als dies die flachwurzeln Fichte vermag. Trotz alledem zeigen sich auch heute für die Baumart Tanne Risiken in ihrer Bewirtschaftung. Zum einen ist hier die Nährstoffversorgung der Tannenbestände v.a. auf versauerten und nährstoffarmen Standorten zu nennen. Insbesondere in Jahren mit vergleichsweise wenig Niederschlag und einer infolgedessen verminderten Nährstoffverlagerung im Boden können bei eingeschränktem Nährstoffpool Mangelerscheinungen auftreten. Ein typisches Mangelsymptom ist dabei eine Verfärbung der Nadeln. In der aktuellen Waldschadeninventur weisen über 20 Prozent der Tannen auf allen Höhenstufen eine Verbraunung der Nadeln auf, was auf einen akuten Kalium-Mangel der betroffenen Bestände hinweist. Inwieweit sich diese Vermutung bestätigen lässt, wird durch die Ernährungsinventur 2017/2018 aktuell untersucht. Zum anderen steigt durch die Veränderung des Klimas mit vermehrt warm-trockener Frühjahrs- und Sommerwitterung das Risiko für die Tanne durch erhöhten Borkenkäferbefall geschädigt zu werden. Ähnlich wie bei der Fichte können bei hoher Käferpopulation in kurzer Zeit viele Bäume zum Absterben gebracht werden. Jedoch ist die Tanne, als typische Baumart des Bergmischwaldes weit weniger der Borkenkäfergefahr ausgesetzt, als die oftmals in großen Reinbeständen wachsende Fichte. Eine weitere Belastung der Tanne verursacht der verstärkte Befall durch die wärmeliebende Mistel, die insbesondere in niederschlagsarmen Jahren zu einem zusätzlichen Trockenstressrisiko führen kann.

Wie am Beispiel der Tanne gezeigt, hat die langfristige Beobachtung der Waldökosysteme und ihrer Belastungen im Sinne eines vorsorgenden Umweltschutzes eine ganz zentrale Bedeutung. Von einem Frühwarnsystem in den Hochzeiten des „Waldsterbens“ hat sich die Forstliche Umweltüberwachung – dank der Länge der Datenzeitreihen und mittels moderner Auswertungsmethoden – zu einem flexibel einsetzbaren Planungs- und Steuerungsinstrument für die praktische Waldbewirtschaftung entwickelt.

Waldwachstumstrends

Der Zuwachs ist – neben dem Kronenzustand – ein wichtiger Indikator für die Vitalität der Waldbäume. Ähnlich wie beim Kronenzustand sind auch Veränderungen im Zuwachs nicht monokausal zu erklären, sondern werden vielmehr durch das Zusammenspiel verschiedener baum- bzw. bestandesspezifischer Faktoren sowie externer Umweltfaktoren beeinflusst. Bei der Untersuchung umweltbedingter Zuwachstrends ist es erforderlich, die verschiedenen auf den Zuwachs einflussnehmenden Faktoren voneinander zu trennen, um eine eindeutige Zuordnung auf sich verändernde Umweltkomponenten zu gewährleisten. Zur Lösung dieser Problematik wurde durch die FVA Baden-Württemberg in den letzten Jahren ein statistisches Modell entwickelt, welches den umweltbedingten Zuwachstrend ohne den Einfluss baum- bzw. bestandesspezifischer Faktoren berechnen und darstellen kann.

Der umweltbedingte Zuwachstrend zeigt für die vier Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Buche und Eiche eine ähnliche Entwicklung mit steigenden Zuwächsen ab Mitte des 20. Jahrhunderts. Bei der Tanne ist dieser Anstieg in den 1970er und 1980er Jahren von einer deutlichen Zuwachsdepression vorübergehend unterbrochen, die wahrscheinlich durch die damals hohen Schwefeleinträge bedingt ist. In den 1990er Jahren kommt es bei allen Baumarten zu einer Trendumkehr, die gut mit dem seinerzeit sinkenden Wert des Ariditätsindex – und damit einer zunehmenden Verschlechterung der Wasserversorgung der Bäume – erklärt werden kann. Die Unterteilung der einzelnen Baumarten nach Regionen unterschiedlicher Klimacharakteristik zeigt zudem, dass die beobachteten Zuwachstrends

wesentlich von klimatischen Faktoren beeinflusst werden. Weitere zuwachsbedingte Umweltfaktoren sind Schwefeldepositionen (vor allem für die Tanne), Veränderung der CO₂-Konzentration und nicht zuletzt steigende Stickstoffeinträge. Ein verbessertes Stickstoffangebot führt insbesondere auf leistungsschwächeren Standorten zu einer deutlichen Zuwachssteigerung. Allerdings ist noch nicht vollständig geklärt, inwieweit sich ein Überangebot an Stickstoff negativ auf die Versorgung der Bäume mit anderen Nährelementen (wie z.B. Magnesium, Calcium oder Kalium) auswirken kann.

Fazit

Die aktuellen Ergebnisse der Waldschadensinventur Baden-Württembergs zeigen die vielfältigen Umweltfaktoren auf, die auf den Zustand des Waldes wirken. Es wird deutlich, dass Veränderungen im Waldzustand nicht durch eine Ursache allein erklärt werden können, sondern dass vielmehr breites Spektrum von Wirkungsfaktoren und Wirkungswegen den Zustand unserer Wälder bestimmt. Zudem wird durch die lange Zeitreihe der Waldschadensinventur ersichtlich, inwiefern sich Umwelteinflüsse im zeitlichen Verlauf ändern können und andere bisher kaum vorhandene Stressoren plötzlich auf das Waldökosystem wirken.

Der Zustand unserer Wälder hat unmittelbare Auswirkungen darauf, inwieweit Wälder vielfältige Ökosystemfunktionen, wie die Bereitstellung sauberen Trinkwassers, den Schutz des Bodens vor Erosion oder als Lebensraum für seltene oder gefährdete Tier- und Pflanzenarten, erfüllen können. Die Sicherung des Rohstoffes Holz hat zudem eine große klimapolitische Bedeutung, weil Holz im stofflichen und energetischen Bereich als nachwachsender Rohstoff und erneuerbarer Energieträger eingesetzt werden kann.

Die regelmäßige Bewertung des Waldzustandes und die Beurteilung der Entwicklung von möglicherweise vitalitätsgefährdenden Faktoren sind eine unabdingbare Voraussetzung, um frühzeitig Maßnahmen zur Anpassung der Wälder an sich ändernde (Umwelt-)Bedingungen ergreifen und die vielfältigen Waldfunktionen dauerhaft sichern zu können. Die Ergebnisse aus über 30 Jahren Waldschadensforschung belegen, dass das forstliche Umweltmonitoring ein wichtiger Impuls-

geber für politisch motivierte, gesellschaftliche und technische Entwicklungen sein kann (Stichwort Rauchgasentschwefelung). Neben weiterhin hohen Stickstoffeinträgen stellen die anhaltenden Klimaänderungen die Waldbewirtschaftung vor die größten Herausforderungen. Auf der Grundlage der Erhebungen des Forstlichen Umweltmonitorings können hierfür mögliche Lösungsansätze erarbeitet werden.

9 LITERATURVERZEICHNIS

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, p. 899-911

DWD (2016/2017): Witterungsreport Express. Monatliche Ausgaben 1/2016 bis 8/2017. Deutscher Wetterdienst (Hrsg.)

Enderle, R., Nakou, A., Thomas, K., Metzler, B. (2015): Susceptibility of autochthonous German *Fraxinus excelsior* clones to *Hymenoscyphus pseudoalbidus* is genetically determined. *Annals of Forest Science* 72: S. 183-193

Elling, W., Heber, U., Polle, A., Beese, F. (2007): Schädigung von Waldökosystemen. 422 S.

Elling, W., Dittmar, C., Pfaffelmoser, K., Rötzer, T. (2009): Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba*) Mill. in Southern Germany. *For. Ecol. Manag.* 257, 175-187.

Fischer, H., Konner, V., (1989): Temperaturen und Niederschläge in Baden-Württemberg während der letzten 100 Jahre. *AFZ/Der Wald* 27, 1317-1318.

Fricke, W., Wallasch, M. (1994): Atmosphäre CO₂ records from sites in the UBA air sampling network. In: T.A. Boden, D.P. Kasier, R.J. Sepanski, S. F.W. (Hrsg.): *Trends '93: A compendium of data on global change*. CDIAC, Oakridge/TN (USA), S. 135-147.

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

Kenk, G. (1983): Zuwachsuntersuchungen in geschädigten Tannenbeständen in Baden-Württemberg. *AFZ/Der Wald* 38, 650-652.

Kohnle, U., Albrecht, A., Lenk, E., Ohnemus, K., Yue, C. (2014): Zuwachstrends im Spiegel langfristiger Versuchsfelder in Südwestdeutschland. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 185, 97-117.

Lenk, E., Ohnemus, K., Kohnle, U. (2014): Ladenhüter oder Schatzgrube? Datenarchiv alter Versuche *AFZ/Der Wald* 69 (12), 9-11.

LUBW (2017): <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/medienuebergreifende-umweltbeobachtung/stickstoffbw> (Stand: 28.09.2017)

Meining, S., Puhmann, H., Augustin, N., Delb, H., John, R., Metzler, B., Schumacher, J., Wußler, J., Moosmann, S., Seebach, L., Braunisch, V. (2016): Waldzustandsbericht 2016. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 58 S.

Pretsch, H., Dieler, J., Matyssek, R., Wipfler, P. (2010): Tree and stand growth of mature Norway spruce and European beech under long-term ozone fumigation. *Environmental Pollution* 158 (4). p. 1061-1070

Schröter, H. (1983): Entwicklung des Gesundheitszustandes von Tannen und Fichten auf Beobachtungsflächen der FVA in Baden-Württemberg. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 154: 123-131

Schöpfer, W., Hradetzky, J., Kublin, E. (1997): Wachstumsvergleiche von Fichte und Tanne in Baden-Württemberg. *Forst und Holz* 52: 443-448

Uhl, E., Ammer, C., Schölch, M., Pretsch, H. (2013): Zuwachstrend und Stressresilienz von Tanne und Fichte im Vergleich. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 184, 278-292.

v.Wilpert, K., Schäffer, J., Holzmann, S., Meining, S., Zirlwagen, D., Augustin, N. (2010): Was Waldzustandserfassung und Forstliche Umweltüberwachung bewirkt haben – Ableitung eines langfristigen Kalkungsprogramms. *AFZ/Der Wald* 65, 20-25.

Weise, U. (1991): Ertragsniveau und Zuwachsrückgang der Weißtanne. *AFZ/Der Wald* 46, 192-195.

Wentzel, K.F. (1980): Weisstanne = immissionsempfindlichste einheimische Baumart. *AFZ* 35, 373-374.

WSL (2008): Validierung von visuellen Ozonsymptomen auf Buchenblättern. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Validierungsbericht erfolgt durch Günthardt-Goerg, S., Menard, T. 10 S.

Yue, C., Kohnle, U., Hanewinkel, M., Klädtke, J. (2011): Extracting environmentally driven growth trends from diameter increment series based on a multiplicative decomposition model. *Can. J. For. Res.* 41, 1577-1589.

Yue, C., Kohnle, U., Kahle, H.-P., Klädtke, J. (2012): Exploiting irregular measurement intervals for the analysis of growth trends of stand basal area increments: a composite model approach. *For. Ecol. Manag.* 263, 216-228.