Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Waldzustandsbericht 2011

ForstBW
Wir schaffen Zukunft

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM
UND VERBRAUCHERSCHUTZ

Waldzustandsbericht 2011

für Baden-Württemberg

ForstBW

Wir schaffen Zukunft

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

Autoren:
Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung, Freiburg)
Klaus v. Wilpert, Hansjochen Schröter (alle FVA Baden-Württemberg)
Nicole Augustin (University of Bath, England)
Peter Kramer (RP Freiburg)

Bestellung an:
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg
Tel.: 0761/4018-0
Fax: 0761/4018-333
Email: fva-bw@forst.bwl.de
Internet: http://www.fva-bw.de

ISSN: 1862-863X

Die Aufnahmen des Level I Rasters (16x16 km-Netz) und der FutMon-Flächen werden von der Europäischen Gemeinschaft im Rahmen des LIFE+ Programms finanziell unterstützt.

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort **3**

2 Das Forstliche Umweltmonitoring **5**

3 Ergebnisse der Kronenzustandserhebung **12**

3.1 Der Wald in Baden-Württemberg 12

3.2 Regionen Baden-Württembergs 25

4 Das Raum-Zeit-Modell **29**

5 Waldschutzsituation **39**

6 Stoffeinträge **42**

7 Auswirkungen von Witterungsfaktoren auf das Baumwachstum **46**

8 Zusammenfassung und Diskussion **54**

9 Literaturverzeichnis **58**

1 VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

im Jahr 2011 haben wir das „Internationale Jahr der Wälder“ gefeiert. Zu diesem weltweit beachteten Ereignis passt der aktuelle Waldzustandsbericht: Erfreulicherweise hat sich der Gesundheitszustand der in den vergangenen Jahren am stärksten belasteten Baumarten Fichte und Eiche deutlich verbessert. Erstmalig wurde das Niveau vor dem extrem trockenen Jahr 2003 wieder erreicht. Diese Verbesserungstendenz ist auf die günstigen Witterungsbedingungen im vergangenen Jahr zurückzuführen. Und sie ist der Erfolg einer konsequenten Luftreinhaltepolitik und ökologischer Stabilisierungsstrategien, sowie der Programme zur Bodenschutzkalkung und zur naturnahen Waldbewirtschaftung.

Die Buche, die zweitverbreitetste Baumart in Baden-Württemberg, gibt leider Anlass zur Sorge. Im Jahr 2011 hat ein extrem starker Fruchtanhang die Vitalität der Bäume geschwächt. Der Blattverlust bei der Buche, die unseren Wald vor allem in ökologischer Hinsicht prägt, hat in den vergangenen sechs Jahren das höchste Niveau der gesamten Beobachtungsperiode seit 1983 erreicht. Diese Entwicklung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit eine erste sichtbare Folge des Klimawandels und häufigerer Extremwetterlagen.

Anfang der 1980er Jahre wurde das Forstliche Umweltmonitoring begründet. Dieses sollte die in Deutschland großräumig auftretenden Waldschäden erfassen und erklären. Die jährliche Waldzustandserfassung ist ein wesentlicher Teil dieses Umweltüberwachungs-Systems, das sich weit über den Bereich der „klassischen“ Waldschadensforschung hinaus entwickelt hat. Mittlerweile sind die Themenfelder „Biodiversität“, „Klimawandel und Kohlenstoffspeicherung“ sowie „Schutzfunktionen von Wäldern“ wesentliche Bestandteile des heutigen Forstlichen Umweltmonitorings.

Bestandteil des strategischen Nachhaltigkeitsmanagement von ForstBW ist die Kontrolle der Nachhaltigkeitsparameter. Monitoringdaten stellen die quantitative und statistisch gesicherte Datenbasis für diese Nachhaltigkeitskontrolle und die Steuerung der Bodenschutzkalkung im Wald dar. Auf dieser Basis können sichere betriebliche Entscheidungen und Anpassungen an sich verändernde Umweltbedingungen getroffen werden, wie beispielsweise die langfristige Festlegung der Baumartenwahl.

Wir sind auf der Basis der zeitlich und räumlich kontinuierlichen Daten aus den forstlichen Umweltmessnetzen in der Lage, die Tragfähigkeit der Böden für die Holznutzung mit hoher Sicherheit zu bestimmen. Damit kann die Holznutzung an die Leistungsfähigkeit der Böden exakt angepasst werden. Erhebliche Rohstoffpotentiale können so nachhaltig erschlossen werden, die aus mangelnder Datenverfügbarkeit und dadurch vorgegebenen Vorsichtsmargen bisher nicht genutzt werden konnten.

Der Wald mit seinen nachhaltigen Produkten ist eine leistungsfähige Kohlendioxidsenke. Er trägt damit effektiv zur Minderung des Treibhauseffekts und des Klimawandels bei: Wenn ein großer Teil des im Wald geernteten Holzes als langfristige Produkte wie Bauholz genutzt wird, wird ein Teil des Kohlendioxids langfristig gespeichert.

Mit den modernen und wissenschaftlich gesicherten Entscheidungsinstrumenten des Forstlichen Umweltmonitorings werden wir auch in schwierigen Zeiten des Klimawandels erfolgreich den Artenreichtum, die Produktivität und die Vorsorgefunktionen unserer Wälder erhalten können. Damit ist sichergestellt, dass die Menschen in unserem Land auch in Zukunft den lebendigen Baustoff Holz, die Wärme eines Kaminfeuers, das saubere und gesunde Wasser aus dem Wald und die reichhaltige Waldnatur uneingeschränkt genießen können.

Stuttgart, im November 2011

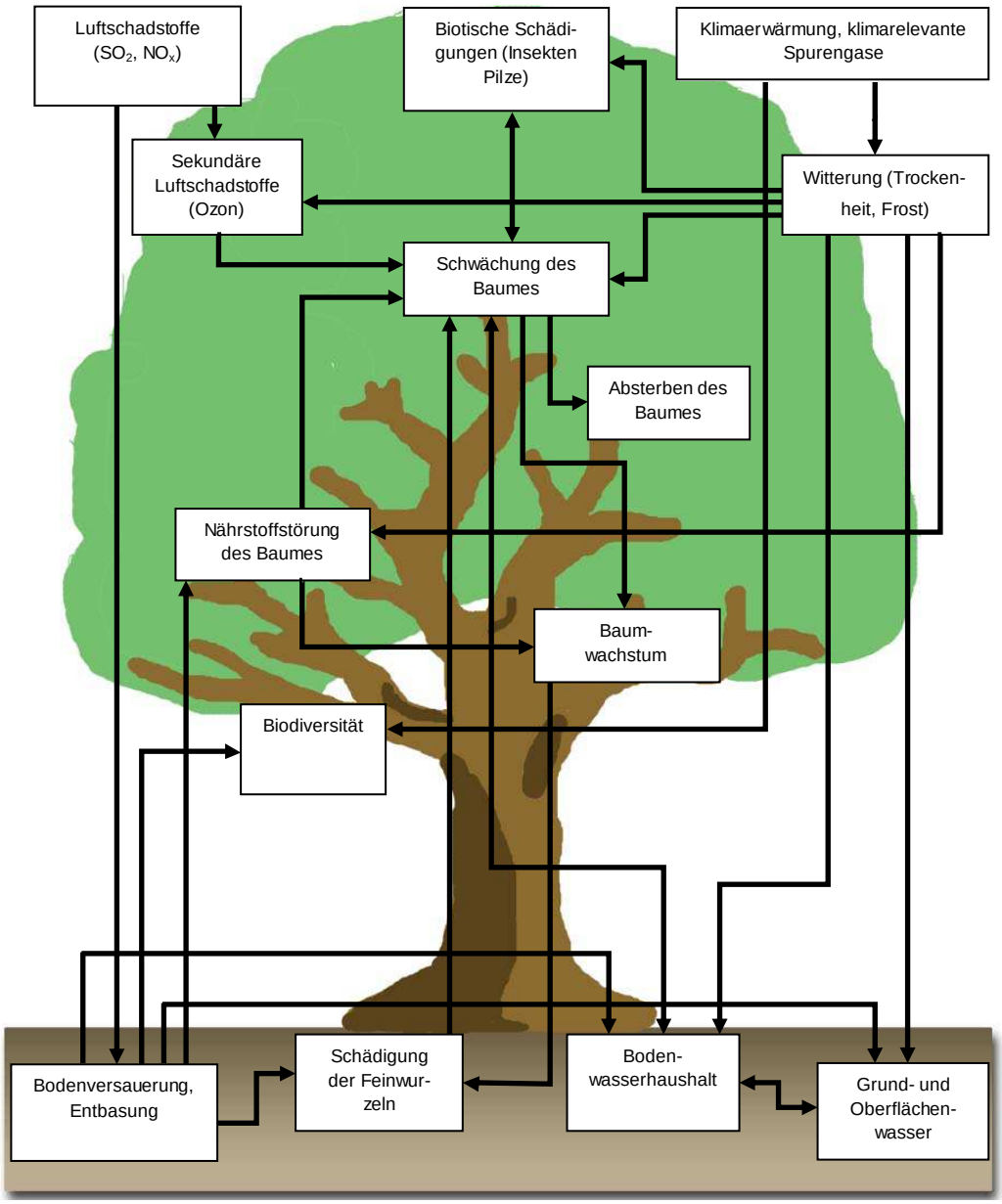
Alexander Bonde MdL
Minister für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württembergs

2 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Die Wälder werden durch eine Vielzahl von Umweltfaktoren beeinflusst, die zu einer permanenten Veränderung der Waldökosysteme und ihrer Funktionen führen. Schadstoffeinträge, klimatische Veränderungen und biotische Schädigungen stellen für die Wälder hohe Belastungen dar, die die Vitalität und die vielfältigen Schutzfunktionen der Wälder beeinträchtigen. Das Forstliche Umweltmonitoring kann durch eine kontinuierliche Erhebung Veränderungen der Umwelteinflüsse und des Waldzustandes aufzeigen. Hierfür ist es notwendig den Zustand der Wälder, die auftretenden Umwelteinflüsse und die Reaktion des Waldökosystems mit ausreichender Intensität und Kontinuität zu messen. Durch das Forstliche Umweltmonitoring können so langfristige Entwicklungstrends aufgezeigt und gezielte Gegenmaßnahmen entwickelt werden.

Das Forstliche Umweltmonitoring wurde Anfang der 1980er Jahre aufgebaut, um den Einfluss von Luftschadstoffen auf den Waldzustand näher zu untersuchen. Durch eine konsequente Weiterentwicklung ist es heute möglich auf Grundlage der langen Beobachtungszeitreihe auch aktuelle, den Waldzustand betreffende Einflussgrößen, wie beispielsweise die

Übersicht 1: *Einflussfaktoren und deren Wirkungswege*



Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder, darzustellen. Das Forstliche Umweltmonitoring in Baden-Württemberg umfasst eine Vielzahl von verschiedenen Aufnahmeparametern, deren Ergebnisse eine umfassende Analyse des derzeitigen Waldzustandes erlauben (Abb. 1).

Aufbau des Forstlichen Umweltmonitorings

Das Forstliche Umweltmonitoring gliedert sich systematisch in zwei Aufnahmeebenen: die Rasterstichproben und die Versuchsflächen. Rasterstichproben sind systematisch angelegte Stichprobenpunkte, die flächenrepräsentative Ergebnisse für das Land Baden-Württemberg bzw. für einzelne Wuchsgebiete liefern. Daneben finden prozessorientierte Untersuchungen auf speziell ausgewählten Versuchsflächen statt, die intensiv mit Messinstrumenten ausgestattet sind. Die Messintensität ist auf den Versuchsflächen, im Gegensatz zu den Rasterstichproben, durch eine sehr hohe zeitliche und räumliche Auflösung gekennzeichnet. Auf den Versuchsflächen wird je nach Untersuchungsintensität eine Vielzahl von Umweltparametern aufgenommen, die zahlreiche kausalanalytische Auswertungs- und Interpretationsansätze ermöglichen (Übersicht 2).

Die Rasterstichproben

Die Rasterstichproben sind Schnittpunkte eines über ganz Baden-Württemberg angelegten Stichprobennetzes. Jeder Schnittpunkt auf diesem systematischen Netz, der in ein Waldgebiet fällt, dient als Stichprobenpunkt der Aufnahme unabhängig von Baumalter, Bestandesstruktur oder sonstigen Kriterien. Die Abstände zwischen den einzelnen Stichprobenpunkten können dabei je nach Stichprobenumfang variieren. In Baden-Württemberg wurde in der bisherigen Aufnahmeperiode vor dem Jahr 2005 die Waldschadensinventur im 16x16, 8x8 und 4x4 km-Netz mit wechselnder Aufnahmeintensität durchgeführt. Seit dem Jahr 2005 wird die Waldschadensinventur jährlich auf dem 8x8 km-Netz durchgeführt, da neuere statistische Untersuchungen unterschiedlicher Netzdichten eindeutige Vorteile in der jährlichen Erhebung auf diesem Rasterstichprobennetz belegen (AUGUSTIN et al. 2006). Die Aufnahmen auf dem 8x8 km-Netz liefern für Baden-Württemberg in der Relation zwischen einer ausreichenden Genauigkeit und dem benötigtem Aufwand langfristig die beste Lösung für ein qualitativ hochwertiges Monitoring der Wälder.

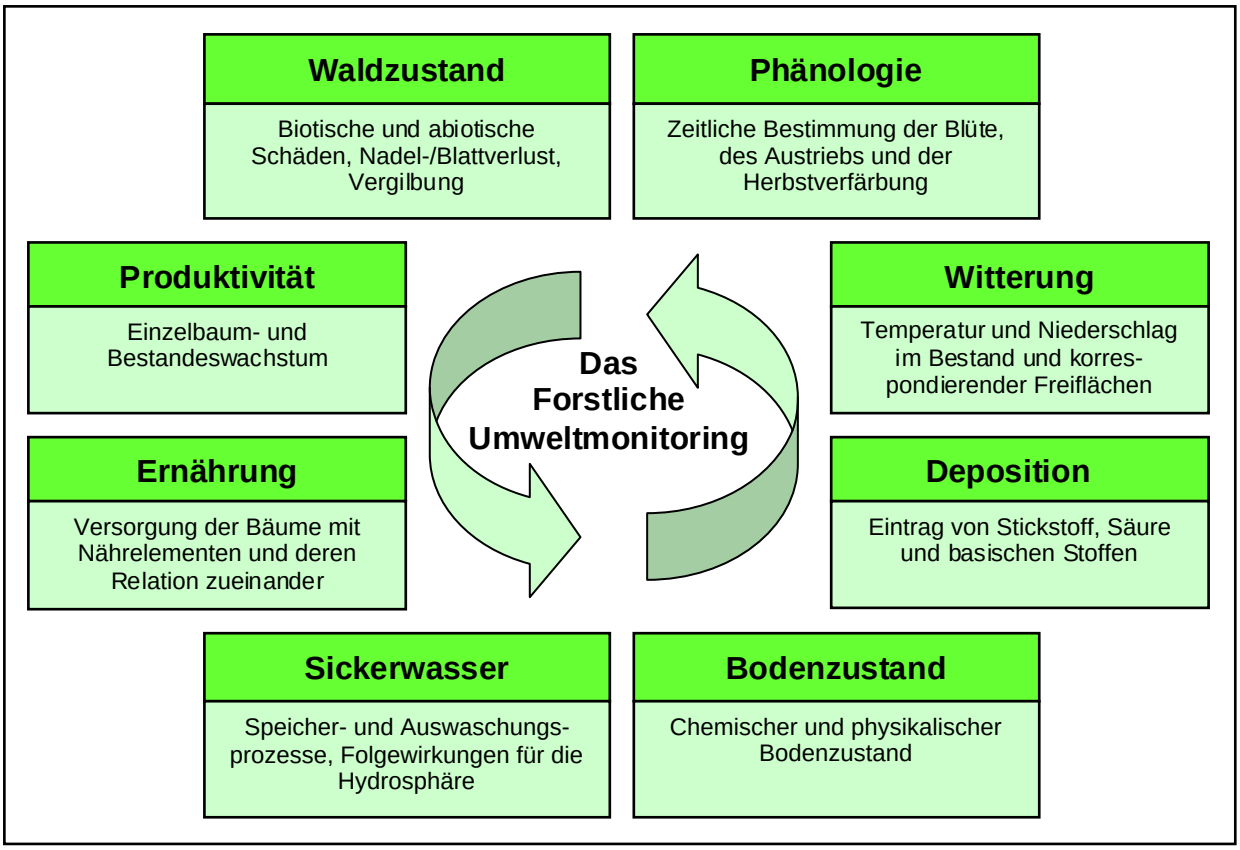
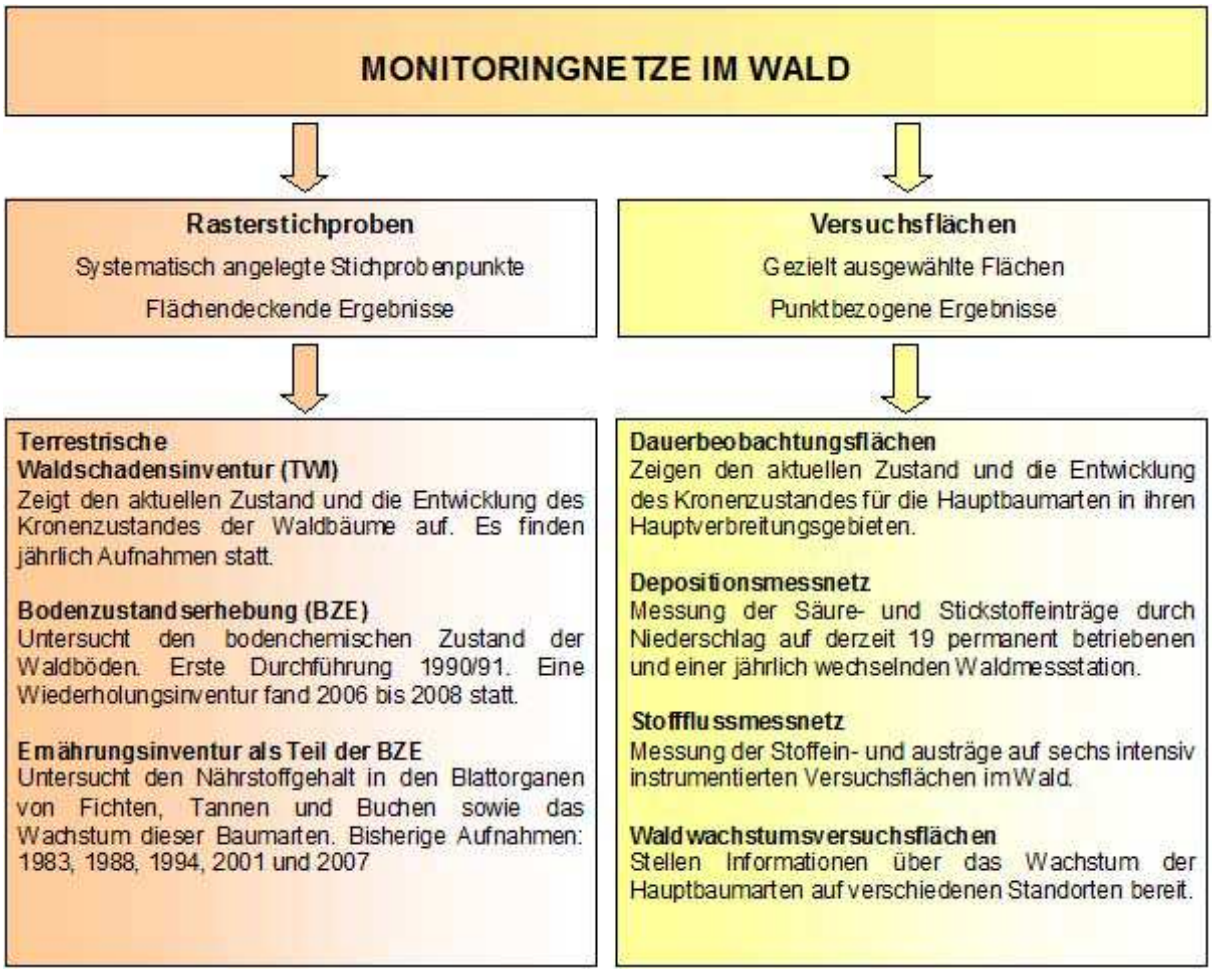


Abb. 1: *Themen und Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings*

Übersicht 2: *Monitoringnetze im Wald*



In Baden-Württemberg werden an jedem Stichprobenpunkt des 8x8 km-Netzes unterschiedliche Untersuchungen des Waldmonitorings kombiniert. Neben der Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI) wird an den gleichen Messnetzpunkten auch die Bodenzustandserhebung (BZE) inklusive Ernährungsinventur durchgeführt. Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen wachstumskundliche Untersuchungen nach der Methodik der Bundeswaldinventur (BWI) an den Rasterstichprobenpunkten des 8x8 km-Netzes durchgeführt (Abb. 2, links). Durch die Zusammenführung der verschiedenen Untersuchungen des Waldmonitorings auf identische Messnetzpunkte wird eine Verknüpfung der verschiedenen Aufnahmeparameter für integrierende Auswertungen ermöglicht und die Voraussetzung für eine Regionalisierung der Monitoringdaten geschaffen (v. WILPERT et al. 2006).

Terrestrische Waldschadensinventur (TWI)

Die Terrestrische Waldschadensinventur untersucht den Kronenzustand der Waldbäume. Hierzu werden die Belaubungsdichte und die Vergilbung der Blätter an dauerhaft markierten Bäumen des Stichprobennetzes visuell eingeschätzt. Die Veränderung des Kronenzustandes dient als einfacher, nachvollziehbarer Weiser zur Beurteilung des Vitalitätszustandes der Waldbäume. Als Referenzgröße dient hierbei eine voll belaubte und unverfärbte Baumkrone des Erhebungsgebietes (Referenzbaum). Die Einschätzung erfolgt an Bäumen der herrschenden Schicht (Kraft´sche Klasse 1-3) in 5%-Stufen, wobei 0% eine vollbelaubte Baumkrone und 100% einen toten Baum kennzeichnet. Tote Bäume bleiben Bestandteil des Aufnahmekollektivs solange sie noch Feinreisig aufweisen. Durch Insekten kahlgefressene, aber noch lebende Bäume, erhalten 95% Nadel-/Blattverlust. Die Werte von Nadel-/Blattverlust und Vergilbung werden zu Schadstufen miteinander verrechnet

Tabelle 1: *Schadstufenberechnung*

Stufen	NBV-Prozent	Vergilbungs-Prozent
0	0%-10%	0%-10%
1	11%-25%	11%-25%
2	26%-60%	26%-60%
3	61%-99%	>60%
4	100%	

Kombinations-Schadstufen				
Nadel-/Blatt-verluststufe	**Vergilbungsstufe**			
	0	**1**	**2**	**3**
0	0	0	1	2
1	1	1	2	2
2	2	2	3	3
3	3	3	3	3
4	4			

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

(Tabelle 1). Zudem sind alle weiteren Merkmale, die den Kronenzustand möglicherweise beeinflussen, wie z.B. Schäden durch Insekten oder abiotischen Faktoren (Frost, Trockenheit), Mistelbefall oder die Intensität der Fruchtausbildung, in das Aufnahmeverfahren integriert. Eine ausführliche Methodenbeschreibung zur Terrestrischen Waldschadensinventur befindet sich unter www.fva-bw.de.

Durchführung 2011

Die jährliche Waldschadensinventur wird seit dem Jahr 2005 auf dem 8x8 km-Netz (Monitoringnetz) durchgeführt. Die Außenaufnahmen der diesjährigen Waldschadensinventur erfolgten durch forstliche Sachverständige im Zeitraum vom 21. Juli bis 19. August 2011. Bei den Aufnahme 2011 wurden insgesamt 283 Stichprobenpunkte aufgenommen. An 21 Punkten ruht die Waldschadensinventur, da dort nach den Aufnahmebestimmungen nicht genügend Bäume mit ausreichender Höhe auffindbar sind. Ein Aufnahmepunkt musste wegen der Erweiterung eines Steinbruchs aufgeben werden. Die meisten ruhenden Punkte liegen auf alten Sturmwurfflächen des Orkans „Lothar“ von 1999 und werden sukzessive in den nächsten Jahren wieder in die Waldschadensinventur einbezogen. Bei der Waldschadensinventur 2011 konnten insgesamt 6.739 Bäume untersucht und ausgewertet werden. Die Baumart Fichte nimmt hierbei mit 2.278 Bäumen den größten Anteil ein, gefolgt von der Baumart Buche mit 1.548 Bäumen. Etwa ein Drittel aller Bäume entfallen auf die Altersgruppe bis 60 Jahre und zwei Drittel auf die Altersgruppe über 60 Jahre (Tabelle 2).

Tabelle 2: *Anzahl untersuchter Probebäume der Waldschadensinventur 2011*

Anzahl untersuchter Probebäume TWI 2011		**Fichte**	**Tanne**	**Kiefer**	**sNh**	**Eiche**	**Buche**	**sLh**	**Summe**	**Stichproben-punkte**
Wuchsgebiete	**Oberrheinisches Tiefland**	0	0	21	21	58	35	292	427	18
	Odenwald	55	10	12	40	23	95	29	264	11
	Schwarzwald	967	686	76	55	36	389	109	2.318	97
	Neckarland	249	176	146	57	371	700	329	2.028	85
	Baar-Wutach	52	8	2	0	0	6	3	71	3
	Schwäbische Alb	412	6	20	15	4	181	81	719	30
	Südwestdeutsches Alpenvorland	543	7	4	35	24	142	157	912	39
Gesamt Baden-Württemberg	**bis 60 Jahre**	658	105	46	118	152	468	731	2.278	/
	über 60 Jahre	1.620	788	235	105	364	1.080	269	4.461	/
	Summe	**2.278**	**893**	**281**	**223**	**516**	**1.548**	**1.000**	**6.739**	**283**

Qualitätssicherung

Der Qualitätssicherung der jährlichen Waldschadensinventur wird höchste Priorität eingeräumt. Für die Sicherung einer kontinuierlich einheitlichen Erhebung wird auf Personal mit langjähriger Erfahrung in der Kronenbonitur zurückgegriffen. Die Aufnahmeteams werden vor der Erhebung auf eigens dafür eingerichteten Schulungspfaden der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) intensiv geschult. Dabei wird neben dem Aufnahmeverfahren praxisgerecht die Kronenansprache an den Haupt- und Nebenbaumarten in Alt- und Jungbeständen eingehend trainiert. Die diesjährige Schulung zur Waldschadensinventur in Baden-Württemberg fand in der dritten Juli Woche in Freiburg statt. Als Hilfestellung für die Kronenansprache dienen bundesweit abgestimmte Bilderserien zur Einschätzung von Waldbäumen (AG KRONE 2007).

Bodenzustandserhebung

Die Bodenzustandserhebung (BZE) untersucht den bodenchemischen Zustand der Waldböden sowie die Veränderung der Bodeneigenschaften in der zeitlichen Entwicklung. Die erste Bodenzustandserhebung wurde in dem Zeitraum von 1989 bis 1992 durchgeführt. In den Jahren 2006 bis 2008 fand die erste Wiederholungsinventur auf dem 8x8 km Netz Baden-Württembergs statt. Dabei wurden an den gleichen Messnetzpunkten der Erstinventur Bodenprofile angelegt und jeweils auf bestimmten Tiefen Bodenproben gewonnen, die anschließend im Labor hinsichtlich physikalischer und chemischer Bodeneigenschaften analysiert wurden. Die Bodenzustandserhebung II baut dabei auf der methodischen Vorgehensweise der Erstinventur auf, um die Vergleichbarkeit der beiden Inventuren sicherzustellen. Zusätzlich wurden weitere Untersuchungen in Hinblick auf die Stickstoffsättigung der Waldböden, den Kohlenstoffkreislauf und den Wasserhaushalt der Böden durchgeführt.

Ernährungsinventur

Die Ernährungsinventur (vor 2006 Immissionsökologische Waldzustandsinventur, IWE) untersucht den Nährstoffgehalt von Nadeln und Blättern. Sie ist Bestandteil der Bodenzustandserhebung (BZE), da Veränderungen der Nährelementversorgung von Bäumen direkt auf den Nährstoffvorrat im Boden und

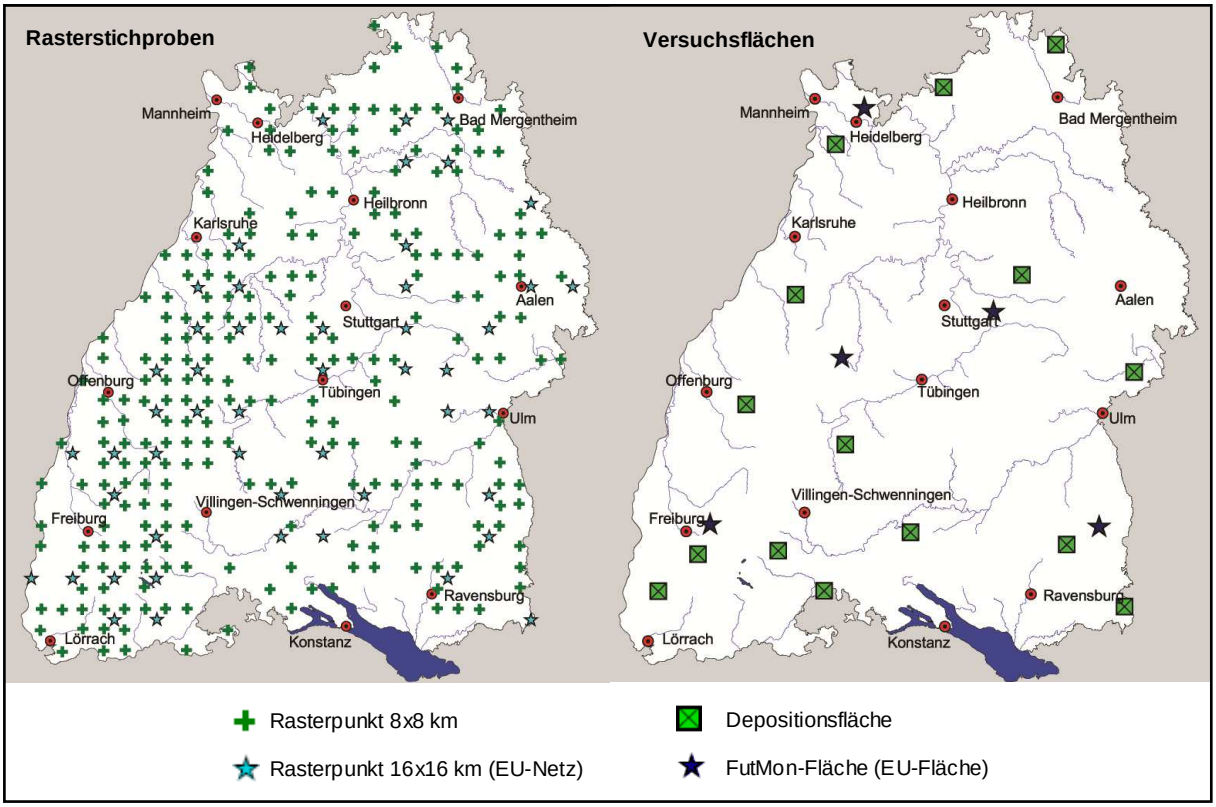


Abb. 2: *Räumliche Verteilung der Rasterstichprobenpunkte (8x8 km Netz) und der Versuchsflächen (Depositionsflächen, FutMon-Flächen)*

seine Verfügbarkeit zurückzuführen ist. Die Ernährungsinventur wird in Baden-Württemberg i.d.R. alle fünf Jahre durchgeführt. In den ersten Aufnahmekampagnen des 4x4 km Netzes in den Jahren 1983, 1988 und 1994 wurden die Baumarten Fichte und Tanne untersucht. Bei der Inventur 2001 wurde die Untersuchung erstmals auf die Baumart Buche ausgeweitet. Die bisher letzte Ernährungsinventur fand im Jahr 2006 für Nadelbäume bzw. 2007 für Laubbäume auf dem 8x8 km Netz statt. Neben den Hauptbaumarten Fichte, Tanne und Buche wurden im Rahmen dieser Erhebung auch vor Ort häufig vorkommende andere Laub- und Nadelbäume untersucht (FVA 2008). Die nächste Ernährungsinventur ist für das Jahr 2012 auf dem 8x8 km Raster vorgesehen.

Versuchsflächen

Im Gegensatz zu den Rasterstichproben ist die Lage der forstlichen Versuchsflächen nicht systematisch sondern gezielt nach bestimmten Kriterien ausgewählt worden. Die Versuchsflächen repräsentieren die wesentlichen Naturräume und Hauptbaumarten für Baden-Württemberg, ohne jedoch in einem strengen Muster angeordnet zu sein. Je nach Untersuchungsschwerpunkt war die Lage, der Standort oder die Baumartenzusammensetzung ausschlaggebendes Kriterium für die Auswahl der Flächen. Hierzu zählen die Dauerbeobachtungsflächen, die Versuchsflächen des Depositions- und Stoffflussmessnetzes, die Klimamessstationen sowie waldwachstumskundliche Flächen (Abb. 2, rechts). Aus Gründen der methodischen Vergleichbarkeit waren diese Versuchsflächen vor 2008 ausschließlich in Fichtenreinbeständen gelegen. Im Rahmen der Klimafolgenforschung wurde 2008 bis 2009 an den Versuchsflächen Conventwald, Altensteig, Heidelberg, Esslingen und Ochsenhausen je eine Buchenfläche angelegt, die hinsichtlich Bodeneigenschaften, Geländemorphologie und Bestandesalter den korrespondierenden Fichtenbeständen möglichst vergleichbar sind. Die Buchenflächen wurden exakt wie die Fichtenflächen instrumentiert.

Internationale Einbindung

Das Forstliche Umweltmonitoring Baden-Württembergs ist sowohl in nationale wie auch internationale Programme eingebunden. Von den Rasterstichproben liegen insgesamt 50 Aufnahmepunkte Baden-Württembergs auf dem europäischen 16x16 km-Netz. Diese sind Bestandteil des Europäischen Forstlichen Umweltmonitoring-Programms „Level I“ und werden zur Beurteilung des europäischen Waldzustandes herangezogen. Das „Level I Netz“ umfasst die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) und die Bodenzustandserhebung (BZE). Von den Versuchsflächen Baden-Württembergs sind insgesamt fünf Intensivmessflächen mit jeweils einem Fichten- und einem Buchenplot in das Europäische Umweltmonitoring-Programm „FutMon, IM1“ eingebunden. Die EU-weiten Messnetzkomponenten werden von der EU-Kommission im Rahmen des LIFE+-Programms kofinanziert. Somit stehen die Ergebnisse der landesweiten Erhebung Baden-Württembergs auch für übergreifende Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

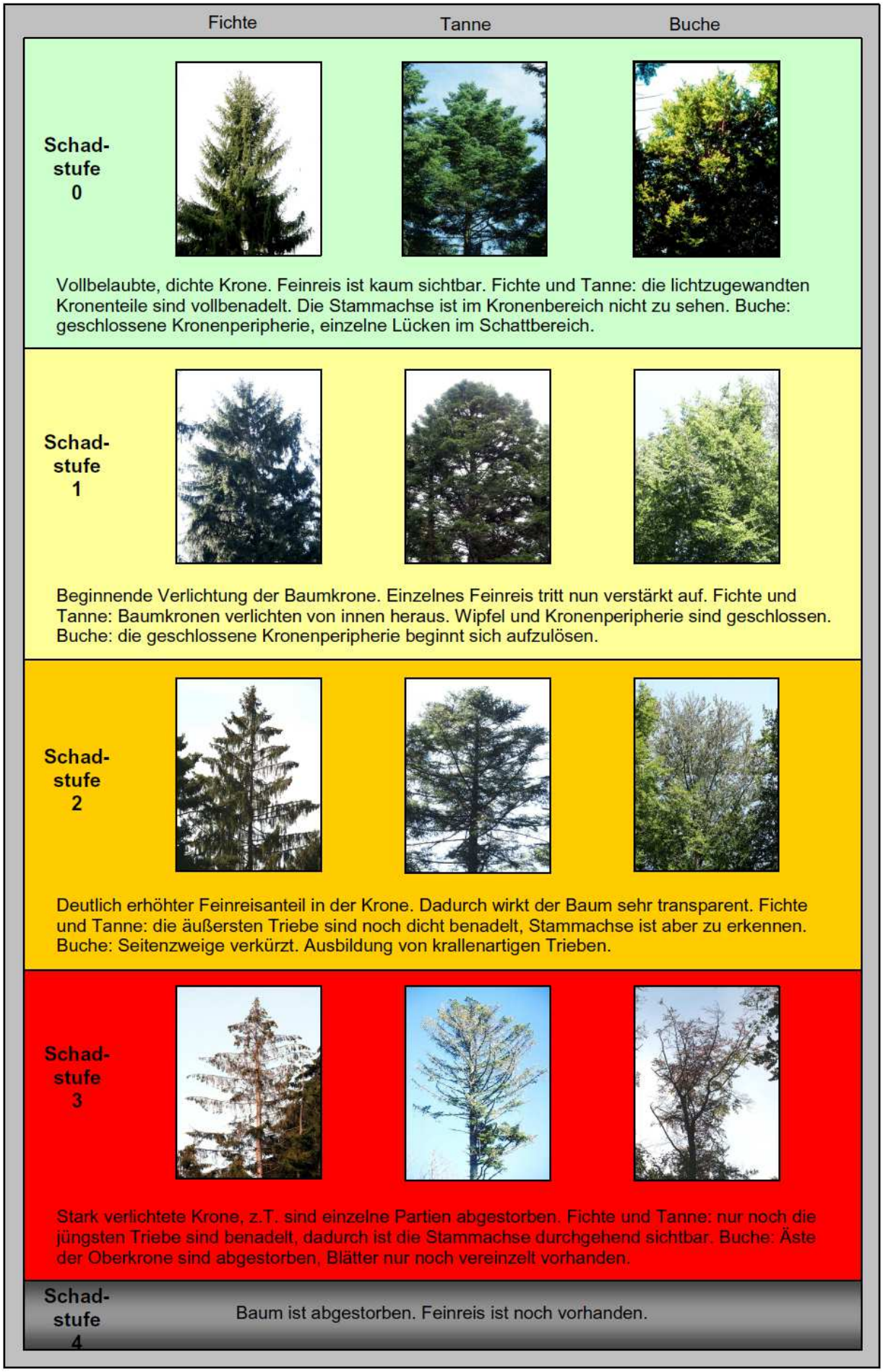


Abb. 3: *Schadstufenübersicht und Kronenfotos der drei Hauptbaumarten Baden-Württembergs*

3 ERGEBNISSE DER KRONENZUSTANDSERHEBUNG

3.1 Der Wald in Baden-Württemberg

Nach der deutlichen Verbesserung im Vorjahr hat sich der Waldzustand in Baden-Württemberg im Jahr 2011 erneut erholt. Der mittlere Nadel-/Blattverlust aller Bäume im Jahr 2011 verringert sich leicht um 1,4 Prozentpunkte auf 21,1 Prozent. Ein derart niedriges Schadniveau der Wälder in Baden-Württemberg wurde seit dem Jahr 2003 nicht mehr beobachtet.

Nach der deutlichen Zunahme an Kronenschäden in Folge des „Jahrhundertsommers“ 2003 ist seit dem Jahr 2007 eine klar ausgebildete Erholung des Kronenzustandes der Bäume in Baden-Württemberg zu erkennen. Acht Jahre nach dem Extrem-Trockenjahr 2003 liegt der mittlere Nadel-/Blattverlust der Bäume in etwa wieder auf dem vorher beobachteten Schadniveau, so das davon ausgegangen werden kann, dass die Regeneration der Baumkronen weitgehend abgeschlossen ist.

Die Verbesserung des Kronenzustandes der letzten Jahre ist maßgeblich auf die günstigen Witterungsbedingungen, geringen Schadstoffbelastungen aus der Luft sowie auf ein geringes Vorkommen von Schadinsekten an den Bäumen zurückzuführen. Der zwischenzeitliche Anstieg des mittleren Nadel-/Blattverlusts im Jahr 2009 ist im Wesentlichen auf die physiologische Belastung der Bäume durch eine starke Blüh- und Fruchtintensität begründet (FVA 2009). Auch bei der diesjährigen Waldschadensinventur wurde eine verstärkte Fruchtausbildung der Bäume beobachtet, die sich aber nur bei einzelnen Baumarten, v.a. bei der Buche, durch ein höheres Kronenverlustprozent auswirkt.

Hohe Frühjahrstemperaturen führten im Jahr 2011 zu einem sehr frühen Austrieb der Waldbäume, die dank verstärkt einsetzender Niederschläge im Sommer gute Wachstumsbedingungen zur Ausbildung vitaler Baumkronen vorfanden. Zudem wurde in Baden-Württemberg, wie bereits in den vergangenen Jahren, eine nur sehr geringe Belastung durch Insekten festgestellt. Und nicht zuletzt bewirken die in den letzten Jahrzehnten durchgeführten Maßnahmen zur Luftreinhaltung langfristig eine deutlich geringere Belastung der Waldökosysteme und schaffen somit die Voraussetzung für eine nachhaltige Verbesserung des Waldzustandes.

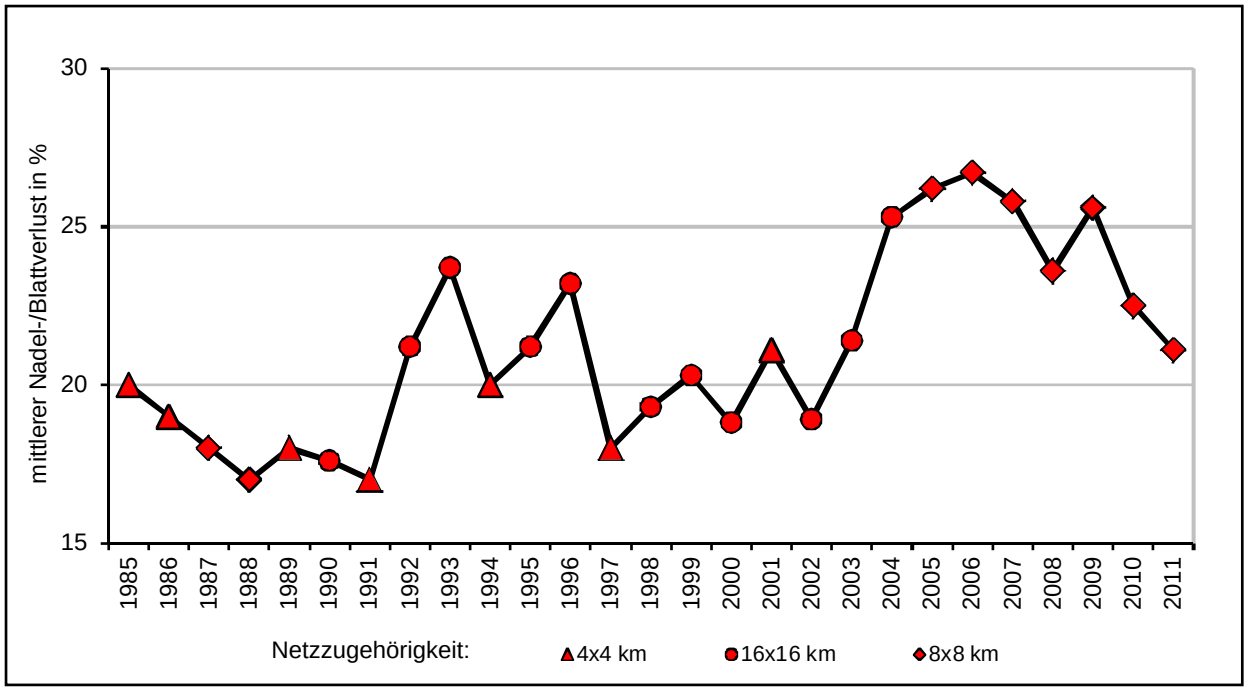


Abb. 4: *Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlusts aller Baumarten in Baden-Württemberg*

Der Stichprobenfehler der diesjährigen Waldschadensinventur auf dem 8x8 km Netz liegt für den mittleren Nadel-/Blattverlust bei ± 0,7 Prozentpunkten. Außerhalb dieses Streurahmens um den Mittelwert kann auf einen tatsächlichen Unterschied der Mittelwerte geschlossen werden. Im Vergleich zum Vorjahr ist somit die Veränderung des mittleren Verlustprozents im Jahr 2011 statistisch signifikant (Abb. 4).

Altersgruppen

Der Kronenzustand der Bäume steht in engem Zusammenhang mit dem Alter der Bäume. Die Ergebnisse aus der bisherigen Aufnahmeperiode zeigen, dass ältere Bäume einen deutlich schlechteren Kronenzustand aufweisen als jüngere. Ab einem Baumalter von etwa 60 Jahren ist eine erhöhte Kronenverlichtung festzustellen (Abb. 5). Als Grund hierfür wird eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen mit zunehmendem Baumalter durch eine langfristige Akkumulation von Schadeinwirkungen angesehen.

Der mittlere Nadel-/Blattverlust der Bäume ab 61 Jahre ist gegenüber den Bäumen bis 60 Jahre deutlich erhöht. In der zeitlichen Entwicklung verändert sich der Kronenzustand der beiden Altersgruppen aber weitgehend gleichläufig, d.h. die Reaktion der unterschiedlich alten Bäume auf Stressfaktoren verläuft gleich, wenn auch auf einem anderen Schadniveau. Dieses Muster wird nur in Jahren unterbrochen, in denen altersabhängige Belastungen einen

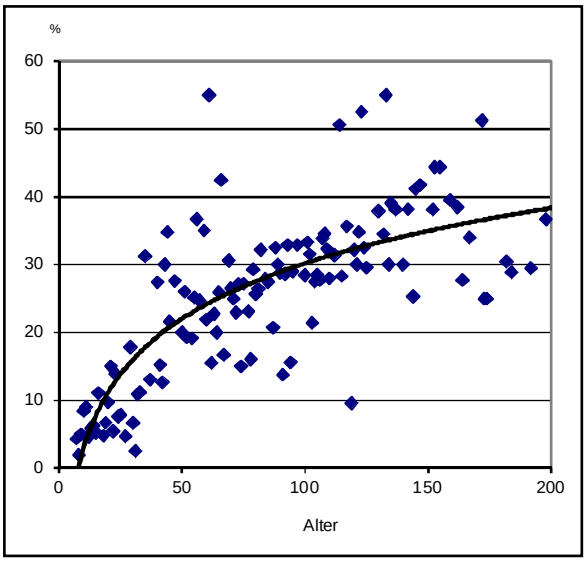


Abb. 5: *Einfluss des Baumalters auf den Nadel-/Blattverlust*

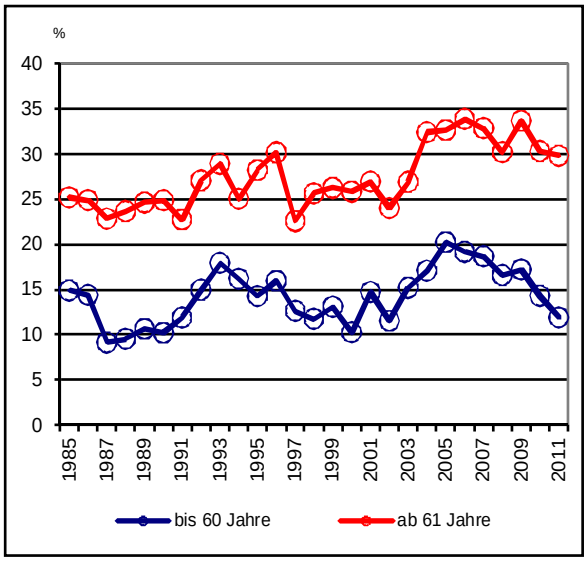


Abb. 6: *mittlerer Nadel-/Blattverlust nach Altersgruppen*

maßgeblichen Einfluss auf den Waldzustand haben. Im Jahr 2011 verringert sich der mittlere Nadel-/Blattverlust der älteren Bäume vergleichsweise gering gegenüber dem Verlustwert der jüngeren Bäume. Dies lässt sich durch die starke Fruktifikation älterer Buchen erklären, die unter dem Einfluss der enormen physiologischen Belastung ein höheres Verlustprozent aufweisen und somit den Durchschnitt des Nadel-/Blattverlusts der älteren Bäume erhöhen. Dagegen verringert sich der mittlere Nadel-/Blattverlust der jüngeren, größtenteils noch nicht blühfähigen Bäume deutlich (Abb. 6).

Ausgefallene Bäume

An den 283 ausgewerteten Stichprobenpunkten der diesjährigen Waldschadensinventur sind insgesamt 185 Bäume ausgefallen. Dies entspricht einem Anteil von 2,7 Prozent aller Bäume der Stichprobe. Über zwei Drittel der ausgefallenen Bäume wurden im Rahmen einer ordnungsgemäßen Forstwirtschaft planmäßig genutzt. Bei zehn Prozent konnte keine Ursache ermittelt werden und neun Prozent der ausgefallenen Bäume mussten auf Grund einer geänderten Kronenkonkurrenz innerhalb des Bestandes (Kraft´sche Klasse) aus der Stichprobe genommen werden. Die ausgefallenen Bäume konnten i.d.R. durch Nachbarbäume am Stichprobenpunkt ersetzt werden.

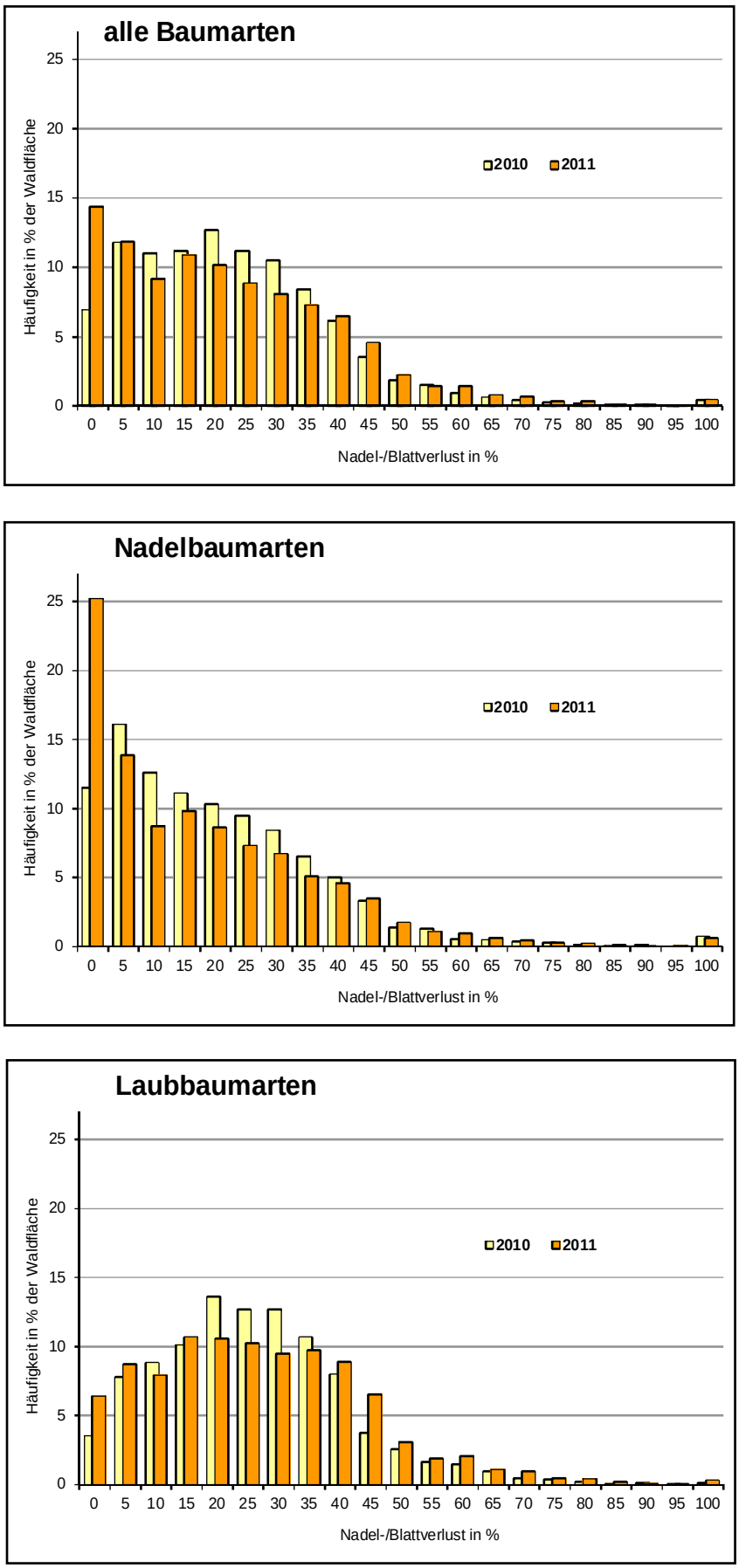


Abb. 7: *Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste im Vergleich der Jahre 2010/ 2011*

Mortalität

Die Mortalitätsrate errechnet sich aus den tatsächlich abgestorbenen Bäumen der Waldschadensinventur. Im Jahr 2011 lag die Mortalitätsrate bei 0,3 Prozent und damit leicht über dem langjährigen Mittel der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg. Bei der überwiegenden Mehrzahl der abgestorbenen Bäume konnte keine Absterbeursache mehr festgestellt werden.

Häufigkeitsverteilung

Die Häufigkeitsverteilung über alle Baumarten der einzelnen Nadel-/Blattverlustwerte in 5%-Stufen zeigt im Vergleich zum Vorjahr eine Abnahme der Waldfläche mit mittleren Nadel-/Blattverluststufen, d.h. mit Werten zwischen 10 bis 35% Nadel-/Blattverlust (Abb. 7). Dagegen weisen die niedrigsten (0 und 5%) und nahezu alle höheren Verluststufen (≥40%) eine Waldflächenzunahme auf. Der Anteil der niedrigsten Verluststufe (0 Prozent) verdoppelt sich gegenüber dem Vorjahr. Dies ist im Wesentlichen auf die günstigen Wachstumsbedingungen der Bäume bei geringem Schädlingsbefall insbesondere in Jungbeständen zurückzuführen.

Bei den Nadelbaumarten ist der Anteil der ungeschädigten Bäume, die sich zum überwiegenden Teil aus jungen Fichtenbeständen zusammensetzen, ungleich höher, da in Nadelbaumjungbeständen in diesem Jahr kaum Befall von Schadinsekten beobachtet wurde. Bei den Laubbaumarten nimmt der Anteil der ungeschädigten Bäume auch zu, bleibt aber auf Grund häufigen Befalls durch blattfres-

sende Raupen auf einem deutlich geringeren Niveau. Der Anteil der höheren Verluststufen (≥40%) nimmt vor allem bei den Laubbäumen zu. Dies ist auf die starke Fruktifikation der Buchen und dessen Einfluss auf den Kronenzustand zurückzuführen.

Fichte

Die Fichte (*Picea abies*) ist mit etwa 38% Flächenanteil die mit Abstand am häufigsten vorkommende Baumart in Baden-Württemberg. Mit ihrem meist flach ausgeprägten Wurzelsystem ist sie eine relativ anspruchslose, aber leistungsfähige Wirtschaftsbaumart, die auf einem breiten Standortspektrum gedeiht. In den letzten Jahrzehnten wurde ihr Anteil durch einen verstärkten Umbau von Fichtenmonokulturen in stabile Mischbestände deutlich gesenkt.

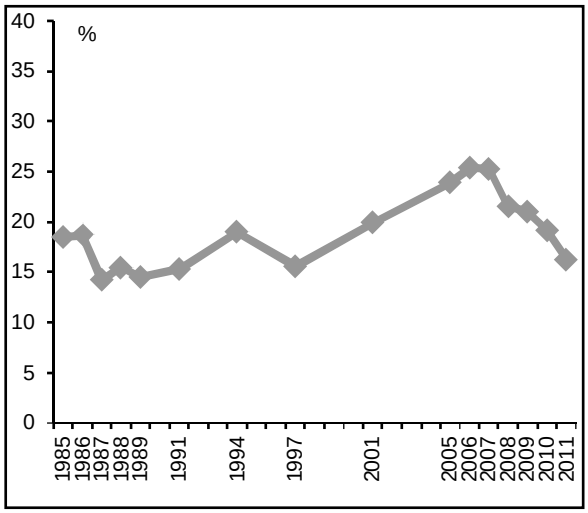


Abb. 8: *Mittlerer Nadelverlust bei der Fichte*

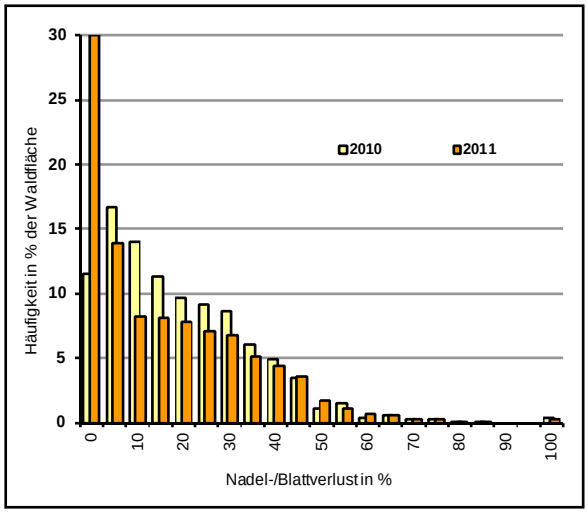


Abb. 9: *Häufigkeitsverteilung der Nadelverluste bei der Fichte*

Abb. 10: *vitaler Fichtenjungbestand auf ehemaliger Sturmwurffläche*

Der Kronenzustand der Fichte in Baden-Württemberg hat sich auch im Jahr 2011 erholt. Der mittlere Nadelverlust verringerte sich gegenüber dem Vorjahr um 2,9 Prozentpunkte auf 16,3 Prozent. Damit ist im vierten Jahr in Folge eine Verringerung des Verlustprozents bei der Fichte zu beobachten. Das bisher höchste Schadniveau in den Jahren 2006/2007 ist als direkte Reaktion der Fichte auf Witterungsextreme mit extremer Trockenheit und nachfolgenden Belastungen durch massiven Borkenkäferbefall anzusehen. Seitdem hat sich der Kronenzustand der Fichten deutlich erholt (Abb. 8).

Die Häufigkeitsverteilung der Nadelverluststufen bei der Fichte zeigt einen deutlichen Anstieg der ungeschädigten Waldfläche. Dagegen ist bei den Nadelverluststufen bis 40% durchweg eine Waldflächenabnahme zu erkennen. Dies ist im Wesentlichen in dem geringen Schädlingsbefall und den günstigen Witterungsbedingen der letzten beiden Jahre begründet (Abb. 9).

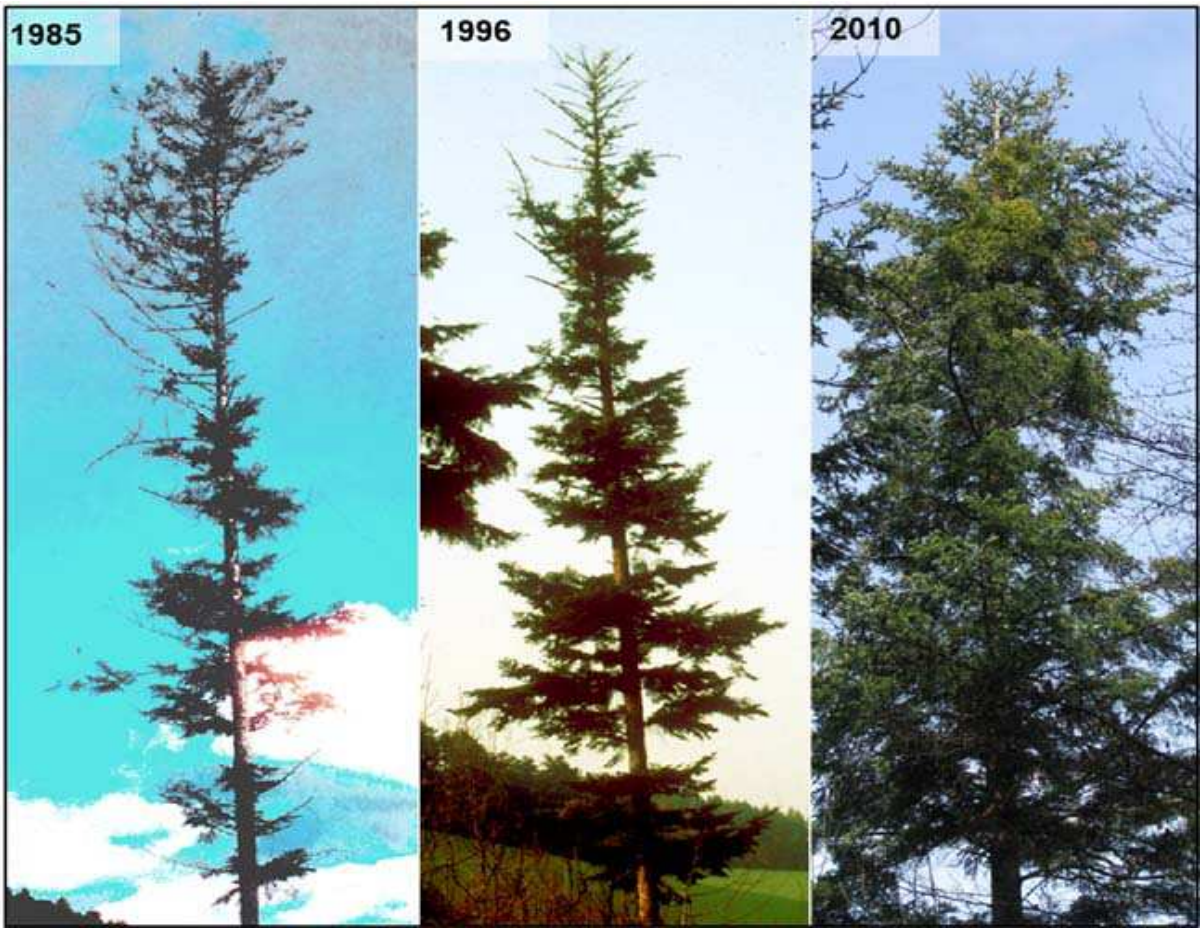


Abb. 11: *Entwicklung des Kronenzustands einer Tanne im Schwarzwald: 1985, 1996 und 2010*

Tanne

Die Tanne (*Abies alba*) ist mit einem Flächenanteil von etwa acht Prozent in Baden-Württemberg vertreten. Damit ist Baden-Württemberg eines der wenigen Bundesländer in Deutschland, die einen derart hohen Tannenanteil aufweisen können. Die Tanne ist eine leistungsfähige und ökologisch wertvolle Baumart. Sie wurzelt tief, ist schattentolerant und bildet oft mit Fichte und Buche stabile, mehrstufige Mischbestände. Zu Beginn der Waldschadensforschung, Ende der 1970er Jahre, wurden zunächst an der Baumart Tanne auf Grund ihrer hohen Sensibilität gegenüber Schwefeldioxid starke Schädigungen der Baumkronen beobachtet. Erst nach der deutlichen Reduktion von Luftschadstoffen konnte sich der Kronenzustand der Tannen in Baden-Württemberg wieder erholen. Der Kronenzustand der Tannen ist seit einigen Jahren äußerst stabil. Seit der Waldschadensaufnahme von 1997 sind nur geringe Veränderungen des mittleren Nadelverlusts bei der Tanne feststellbar.

Im Gegensatz zu allen anderen Baumarten in Baden-Württemberg wurden selbst nach den extremen Witterungsverhältnissen des Sommers 2003 keine anhaltenden Schädigungen im Kronenzustand festgestellt, was sicherlich durch den tiefgreifenden Wurzelraum dieser Baumart und der damit gleichmäßigeren Wasserversorgung, auch in trockeneren Jahren, zu erklären ist. Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2011 weisen für die Tanne eine leichte Erhöhung des mittleren Nadelverlusts von 1,2 Prozentpunkte auf 22,6 Prozent auf (Abb. 12).

Die Häufigkeitsverteilung der Nadelverluste bei der Tanne zeigt eine Abnahme der Waldfläche mit mittleren Verluststufen. Dagegen nehmen die Anteile der niedrigen Stufen (0 bis 10%) sowie die höheren Stufen (40 bis 85%) gegenüber dem Vorjahr leicht zu. Während bei einem Teil der Tannen die Regeneration der Baumkronen weiter fortschreitet, können stärker vorgeschädigte Tannen dies womöglich nicht mehr leisten, ihr Kronenzustand verschlechtert sich (Abb. 13).

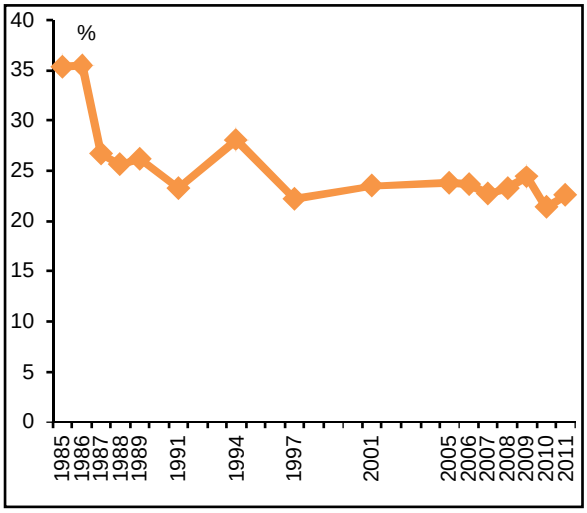


Abb. 12: *Mittlerer Nadelverlust bei der Tanne*

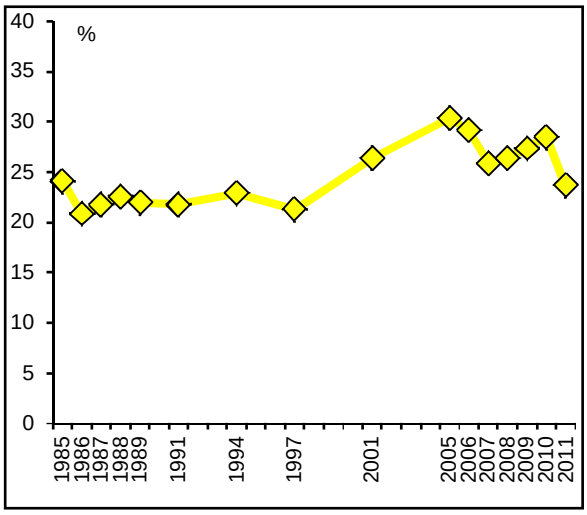


Abb. 14: *Mittlerer Nadelverlust bei der Kiefer*

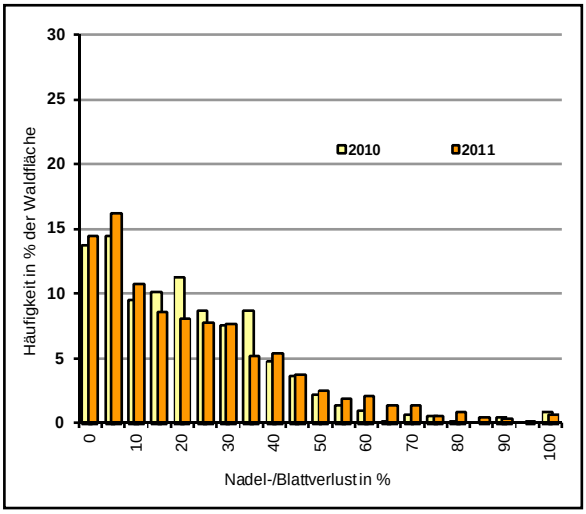


Abb. 13: *Häufigkeitsverteilung der Nadelverluste bei der Tanne*

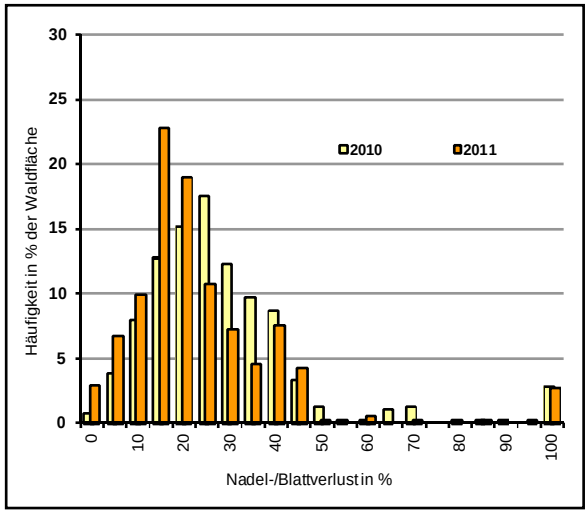


Abb. 15: *Häufigkeitsverteilung der Nadelverluste bei der Kiefer*

Kiefer

Die Kiefer (*Pinus sylvestris*) ist eine typische Lichtbaumart mit einer hohen Standortsamplitude, d.h. sie kann sowohl auf trockenen und feuchten sowie auf nährstoffarmen und gut versorgten Standorten vorkommen. Jedoch ist sie mit zunehmendem Alter oftmals gegenüber anderen Baumarten konkurrenzschwach, so dass sie auf Randstandorte abgedrängt wird. Mit ihrem weitreichenden Pfahlwurzelsystem kann sie bis in tiefere Bodenschichten vordringen, um Nährstoffe und Wasser aufzunehmen. In Baden-Württemberg liegt der Anteil der Kiefern bei etwa acht Prozent.

Der Kronenzustand der Kiefern hat sich im Jahr 2011 deutlich verbessert. Der mittlere Nadelverlust verringerte sich gegenüber dem Vorjahr um 4,8 Prozentpunkte auf 23,7 Prozent. Damit liegt das mittlere Verlustprozent seit der Aufnahme von 1997 erstmals wieder unter 25 Prozent. Neben den günstigen Witterungsbedingungen hat sich für die Kiefer die geringe Blüten- und Fruchtbildung der Baumart im aktuellen Jahr positiv auf den Kronenzustand ausgewirkt. Gerade durch häufiges Blühen kann sich bei der Kiefer die Kronentransparenz deutlich erhöhen (Abb. 14).

Die Häufigkeitsverteilung der Nadelverlustwerte bei der Kiefer zeigt ein deutliches Maximum bei 15 Prozent. Während alle niedrigen Verluststufen (0 bis 20%) anteilig zunehmen, ist bei nahezu allen höheren Verluststufen (≥ 25%) eine Abnahme des Flächenanteils im Vergleich zum Vorjahr zu verzeich-

nen. Der relativ hohe Anteil an abgestorbenen Kiefern (100% Nadelverlust) lässt sich dadurch erklären, dass bei der Kiefer im Gegensatz zu den meisten anderen Baumarten trockenes Feinreisig noch einige Jahre nach dem Absterben in der Krone verbleibt. Da Bäume solange in die Bewertung der Waldschadensinventur eingehen solange sie nicht entnommen wurden bzw. sie nicht ihr ganzes Feinreisig abgeworfen haben, ist der Anteil an toten Bäumen bei der Kiefer dementsprechend hoch (Abb. 15).

Buche

In Baden-Württemberg ist die Buche (*Fagus sylvatica*) mit knapp 21 Prozent die häufigste Laubbaumart. Sie kommt in nahezu allen Regionen des Landes vor und ist als Schattbaumart von Natur aus sehr konkurrenzstark. Während sie auf nahezu allen geologischen Substraten vorkommt, zeigt sie sich empfindlich gegenüber Wechselfeuchte und Staunässe, sowie gegenüber Spätfrösten und extremer Trockenheit.

Der Kronenzustand der Buchen in Baden-Württemberg hat sich seit Beginn der Waldschadensinventur deutlich verändert. Bis zum Jahr 1997 ist die Baumart Buche als äußerst stabile Baumart, mit einem Blattverlust, der jährlich geringfügig um einen mittleren Wert von 15 bis 20 Prozent schwankt, anzusehen. Ab dem Jahr 2001 verschlechtert sich der Kronenzustand der Buchen deutlich, was als Reaktion der Bäume auf die sich verändernden Klimabedingungen angesehen werden kann. Das Schadniveau steigt insbesondere in Folge des extrem heißen und trockenen Sommers 2003 stark an. Zusätzlich wird der Kronenzustand der Buchen durch die in der letzten Dekade vermehrt auftretenden Jahre starken Fruchtbehangs massiv beeinflusst.

Der Kronenzustand der Buchen im Jahr 2011 hat sich nach der Erholung im letzten Jahr wieder deutlich verschlechtert. Der mittlere Blattverlust erhöht sich um 4,7 Prozentpunkte auf 31,5 Prozent (Abb. 16). Dies ist im Wesentlichen auf die sehr starke Fruchtausbildung der Buchen zurückzuführen. In Folge eines intensiven Fruchtbehangs bilden Buchen oftmals nur sehr kleine Blätter aus, die sich bereits früh im Jahr gelblich verfärben und frühzeitig abfallen. Zudem sind häufig Verzweigungsanomalien bei stark und häufig fruktifizierenden Buchen zu beobachten. Der Zusammenhang zwischen einer starken Fruktifikation und einem erhöhten Blattverlust kann an Hand der Ergebnisse der Waldschadensinventur für die Baumart Buche belegt werden. Eine stake Fruchtausbildung wirkt sich bei der Buche direkt auf den Kronenzustand aus. Abbildung 17 zeigt alle untersuchten Buchen der diesjährigen Waldschadensinventur im blühfähigen Alter gegliedert nach ihrer Fruchtintensität. Während sich der Kronenzustand von Buchen mit keiner bzw. geringer Fruktifikation kaum unterscheidet, ist bereits bei Buchen mit einer mittleren Fruktifikation ein deutlich signifikant erhöhter Blattverlust feststellbar. Das mittlere Verlustprozent der stark fruktifizierenden Buchen ist nochmals stark erhöht. Im Vergleich zu den nicht fruktifizierenden Buchen ist im Mittel eine Differenz des Blattverlusts von über 12 Prozentpunkten feststellbar.

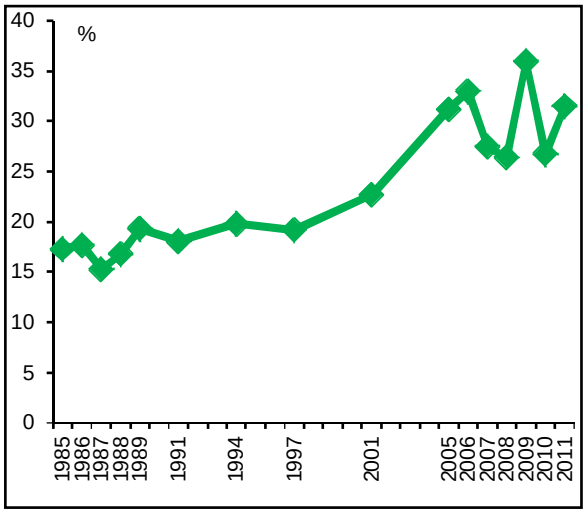


Abb. 16: *Mittlerer Blattverlust bei der Buche*

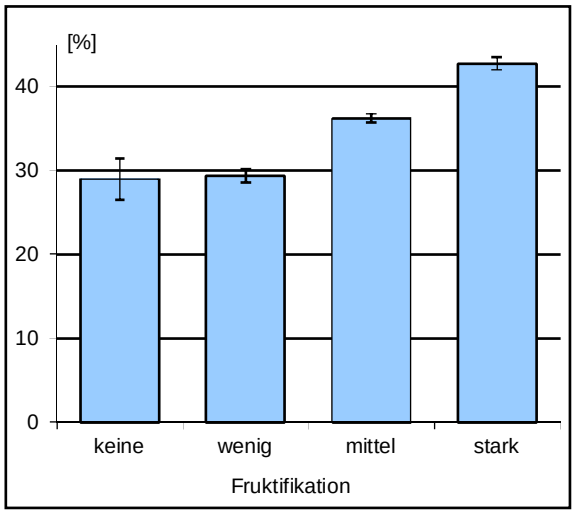


Abb. 17: *Einfluss der Fruktifikation auf den Blattverlust bei der Baumart Buche (Baumalter ≥50)*

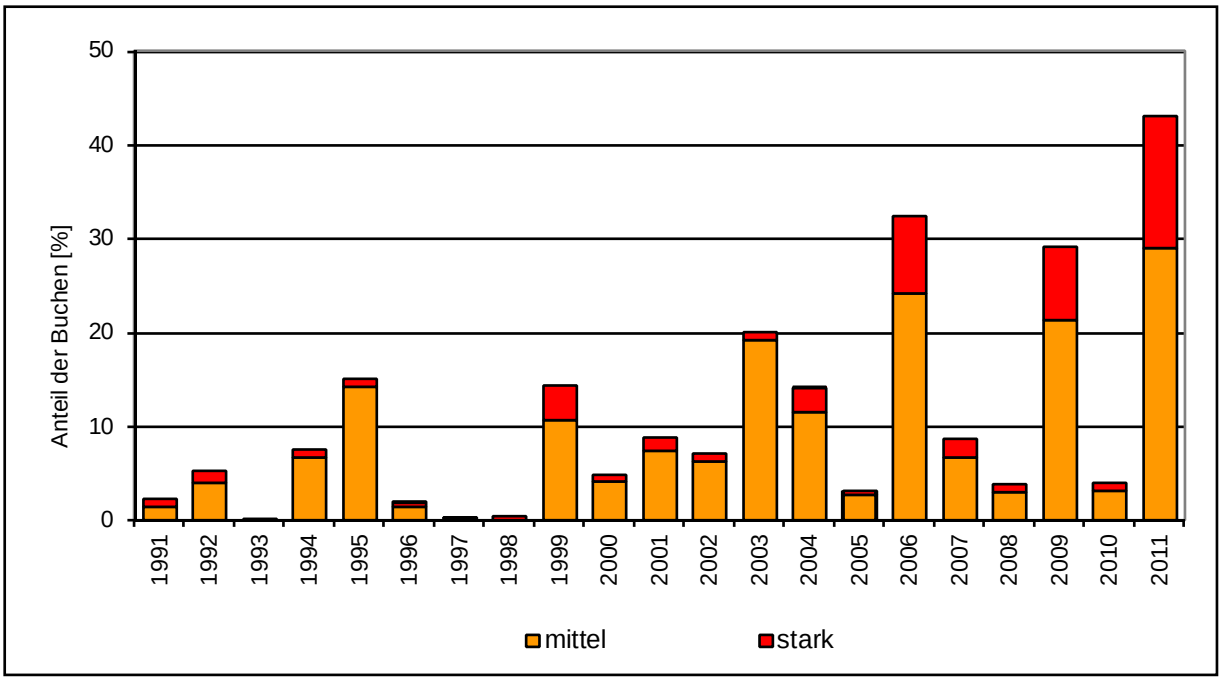


Abb. 18: *Fruktifikationsintensität der Buchen seit 1991 (mittlere und starke Fruchtausbildung)*

Die Intensität und die Häufigkeit der Fruktifikation haben in den letzten Jahren bei der Baumart Buche merklich zugenommen. Der Parameter Fruktifikation wird bei der Waldschadensinventur seit 1991 erhoben. Innerhalb der letzten zehn Jahre kann eine deutliche Zunahme an Buchen mit starkem Fruchtbehang beobachtet werden. Die drei stärksten Mastjahre der Buche in Baden-Württemberg fallen dabei auf die Jahre 2006, 2009 und 2011 (Abb. 18). Die Veränderung der Witterungsbedingungen insbesondere im Frühjahr mit langer Sonnenscheindauer, hohen Temperaturen und geringen Niederschlägen bewirken offenbar eine verstärkte Fruchtausbildung bei der Buche. Die Häufigkeitsverteilung der Blattverluste zeigt die deutliche Verschiebung in Richtung höherer Blattverluststufen. Der gezeichnete Verlauf ist insgesamt deutlich flacher und weist gegenüber dem Vorjahr ein nach rechts verschobenes Maximum bei 35 Prozent auf. Während alle Verluststufen zwischen 10 und 30% eine Verringerung der Waldfläche verzeichnen, ist bei den höheren Stufen nahezu durchweg eine Erhöhung der Anteile festzustellen. Zudem ist die Waldflächenzunahme der Stufen 0 und 5% auffällig. Hier sind es vor allem jüngere, noch nicht fruktifizierende Buchen, die auf Grund der günstigen Witterungssituation 2011 eine Verbesserung des Kronenzustandes aufzeigen (Abb. 19).

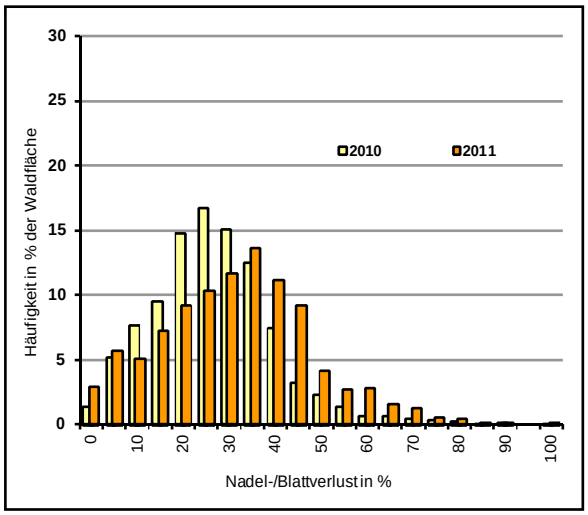


Abb. 19: *Häufigkeitsverteilung der Blattverluste bei der Buche*

Abb. 20: *stark verlichtete Buchenkrone*

Eiche

Die Eiche ist neben der Buche die häufigste und forstlich wichtigste Laubbaumart in Mitteleuropa. In Baden-Württemberg sind die Stieleiche (*Quercus robur*) und die Traubeneiche (*Quercus petraea*) von besonderer Bedeutung. Während die Stieleiche vorwiegend auf gut wasserversorgten Böden der Ebenen und Flusslandschaften vorkommt, ist die Traubeneiche vermehrt auf nährstoffärmeren und flachgründigeren Böden des Hügellandes zu finden. Beide Eichenarten können mit ihrem starken Wurzelwerk auch dichte, schwer durchwurzelbar Böden erschließen. An der Waldfläche Baden-Württembergs nehmen die Eichen etwa sieben Prozent ein.

Der Kronenzustand der Eichen hat sich gegenüber dem vorherigen Jahr deutlich verbessert. Der mittlere Blattverlust liegt derzeit bei 25,0 Prozent. Dies stellt eine Abnahme von 9,3 Prozentpunkten dar. Damit erreicht die Eiche nahezu wieder das Schadniveau der Waldschadensaufnahme von 2001. Die Eichen zeigten nach dem Extremsommer 2003 massive Schädigungen im Kronenraum, die sie in den Folgejahren durch wiederholt auftretende, biotische Schaderreger, wie blattfressende Raupen und/oder starker Mehltaubefall, nicht vollständig regenerieren konnten. Die Ergebnisse von 2011 belegen die hohe Regenerationsfähigkeit der Eichen bei günstigen Witterungsbedingungen und geringem Schädlingsbefall (Abb. 21).

Die deutliche Erholung des Kronenzustandes der Eichen wird auch in der Häufigkeitsverteilung der Blattverluststufen sichtbar. Dabei weisen die höheren Verluststufen von 30 bis 75% eine deutliche Abnahme der Waldfläche auf, während die niedrigen Stufen von 0 bis 25% dagegen zunehmen. Insgesamt wird die Verteilung steiler, mit einem Maximum zwischen 15 und 25 Prozent (Abb. 22).

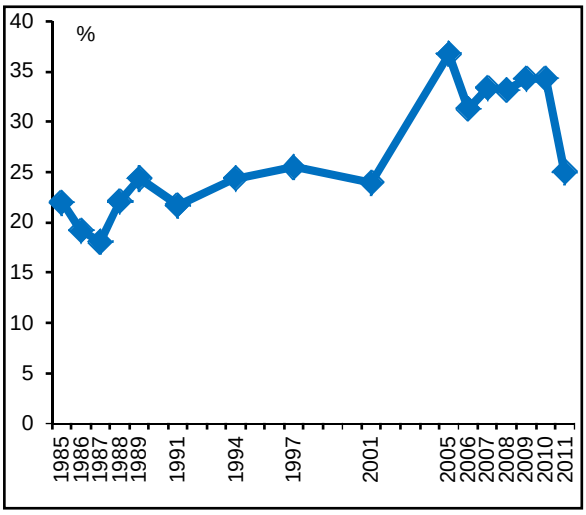


Abb. 21: *Mittlerer Blattverlust bei der Eiche*

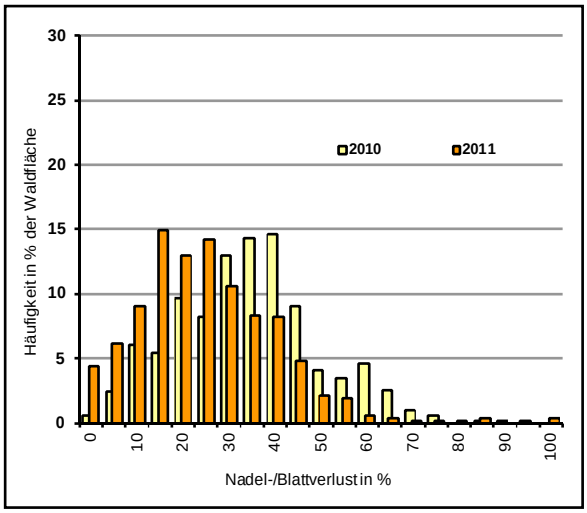


Abb. 22: *Häufigkeitsverteilung der Blattverluste bei der Eiche*

Sonstige Baumarten

Die sonstigen Baumarten lassen sich nochmals untergliedern in sonstige Laubbäume und sonstige Nadelbäume, wobei erstere einen deutlich höheren Anteil an der Gesamtanzahl der Stichprobenbäumen einnehmen. Bei der Waldschadensinventur kommen am häufigsten die Nebenbaumarten Esche (*Fraxinus excelsior*), Bergahorn (*Acer pseudoplantanus*), Lärche (*Larix decidua*) und Douglasie (*Pseudotsuga menzisii*) vor.

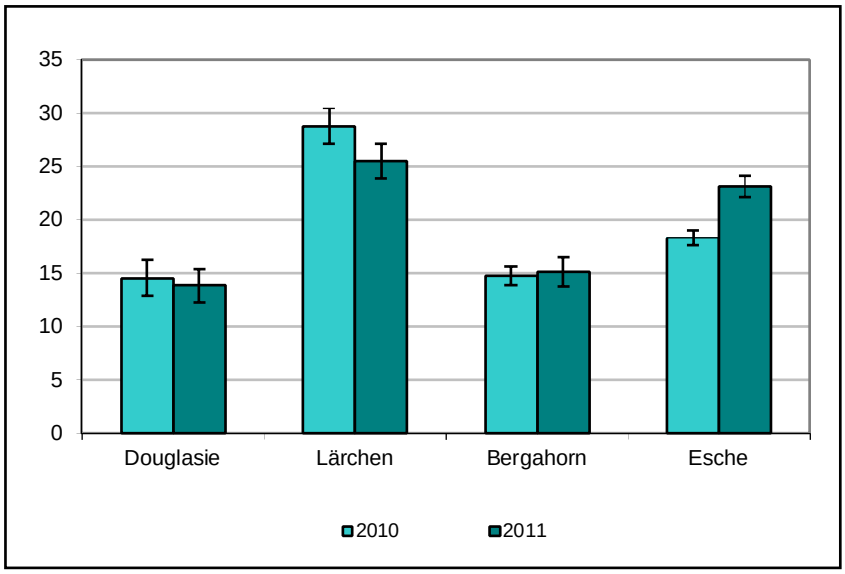


Abb. 23: *Mittlerer Nadel-/Blattverlust der Nebenbaumarten Douglasie, Lärche, Bergahorn und Esche*

Der Kronenzustand der sonstigen Laubbäume hat sich gegenüber dem Jahr 2010 insgesamt kaum verändert. Der mittlere Blattverlust verringert sich unmerklich auf 18,8 Prozent. Auffällig in diesem Jahr sind die deutlichen Kronenschäden an der Baumart Esche. Ursächlich hierfür ist das sich verstärkt ausbreitende Eschentriebsterben, das vor allem in Eschenjungbeständen zu massiven Schäden führt. Bei der Gruppe der sonstigen Nadelbaumarten ist ebenfalls eine Verringerung des Nadelverlusts zu erkennen, die aber auf Grund der relativ geringen Baumanzahl in dieser Gruppe statistisch nicht signifikant ist (Abb. 23).

Vergilbung

In Baden-Württemberg spielt die an Nadeln und Blättern auftretende Vergilbung in den letzten Jahren nur noch eine untergeordnete Rolle. Lediglich 1,8 Prozent der Waldfläche zeigt aktuell eine Gelbfärbung der Blattorgane, der Großteil davon mit geringer Intensität (Abb. 24). Gegenüber dem Vorjahr ist ein leichter Anstieg der betroffenen Waldfläche zu erkennen, was durch die frühe Verfärbung der stark fruktifizierenden Buchen erklärbar ist. Durch die starke Fruchtausbildung der Buchen kommt es im Baum zu einer Umverteilung von Nährelementen, insbesondere von Kalium, so dass die Stomatareaktion träger wird, die Bäume mehr verdunsten und die Blätter beginnen auszutrocknen. Die Folge ist eine Vergilbung der Blätter und vorzeitiger Blattabwurf.

Generell ist eine Verfärbung der Nadeln und Blätter auf einen Nährstoffmangel der Bäume zurückzuführen. Insbesondere der Mangel an dem Nährelement Magnesium führt bei Bäumen zu einer ausgeprägten Gelbfärbung der Blattorgane. Zu Beginn der Waldschadensinventur Anfang der 1980er Jahre war die Vergilbung durch die damals noch deutlich höheren Einträge von Schwefel- und Stickstoffverbindungen sehr stark ausgeprägt. Die mit dem Niederschlag in den Wald eingetragenen Schadstoffe führten zu einer Auswaschung des im Boden gebundenen Magnesi-

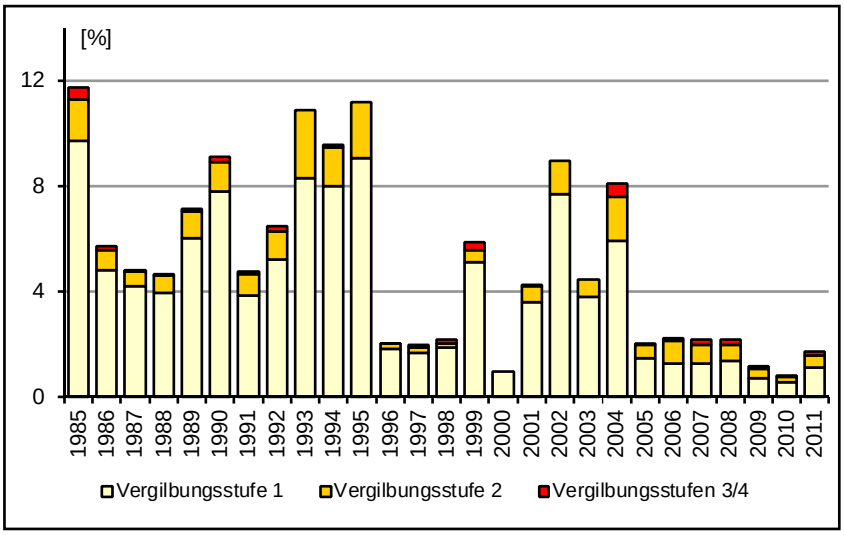


Abb. 24: *Anteil der vergilbten Waldfläche in Baden-Württemberg*

Abb. 25: *verfrühte Blattfärbung bei der Buche im Sommer 2011, hier: bei Heidelberg*

ums und so zu einer Versauerung des Bodens. Insbesondere Fichten- und Tannenbestände zeigten damals eine deutliche Nadelvergilbung.

Der deutliche Rückgang der Vergilbung innerhalb der letzten Jahrzehnte ist auf eine erfolgreiche Luftreinhaltepolitik – ausgelöst durch die öffentlich geführte Umweltdiskussion – zurückzuführen und wird nicht zuletzt durch die Kompensationskalkung anthropogen versauerter Waldstandorte sichergestellt.

Schadstufen

Aus der Kombination von Nadel-/Blattverlust und Vergilbung werden die Schadstufen berechnet, die einen schnellen, zusammenfassenden Überblick über den aktuellen Waldzustand und dessen Entwicklung ermöglichen (Tabelle 3). Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2011 zeigen erneut eine deutliche Erhöhung des Anteils der ungeschädigten Waldfläche (Schadstufe 0). Ihr Anteil verzeichnet, wie schon im vergangenen Jahr, eine Zunahme von sechs Prozentpunkten. Damit hat sich der Anteil der ungeschädigten Waldfläche innerhalb von nur zwei Jahren von 26 auf 38% erhöht. Dagegen verringern sich die Anteile der schwach geschädigten Waldfläche (Schadstufe 1) mit vier Prozentpunkten und der mittelstark geschädigten Waldfläche (Schadstufe 2) mit zwei Prozentpunkten. Der Anteil der stark geschädigten bzw. abgestorbenen Waldfläche (Schadstufe 3+4) bleibt mit drei Prozent gegenüber dem Vorjahr konstant. Die deutlich geschädigte Waldfläche Baden-Württembergs als Zusammenfassung der Schadstufen 2 bis 4 verringert sich somit leicht gegenüber dem Vorjahr um zwei Prozentpunkte auf nunmehr 33 Prozent.

Tabelle 3: *Schadstufenverteilung 1985 bis 2011*

Jahr	Schadstufe 0	Schadstufe 1	Schadstufe 2	Schadstufen 3 und 4	Schadstufe 2 bis 4 (deuliche Schäden)	mittlerer NBV in %	Aufnahme-dichte
1985	34	39	25	2	**27**	20,0	4x4
1986	35	42	21	2	**23**	19,0	4x4
1987	40	39	20	1	**21**	18,0	8x8
1988	41	42	16	1	**17**	17,0	8x8
1989	40	40	18	2	**20**	17,7	4x4
1990	37	44	17	2	**19**	17,6	16x16
1991	39	44	16	1	**17**	17,2	4x4
1992	26	50	21	3	**24**	21,2	16x16
1993	23	46	27	4	**31**	23,7	16x16
1994	35	40	23	2	**25**	20,1	4x4
1995	29	44	25	2	**27**	21,2	16x16
1996	25	40	34	1	**35**	23,2	16x16
1997	40	41	18	1	**19**	17,7	4x4
1998	32	44	23	1	**24**	19,3	16x16
1999	31	44	24	1	**25**	20,3	16x16
2000	38	38	23	1	**24**	18,8	16x16
2001	29	42	27	2	**29**	21,1	4x4
2002	37	39	22	2	**24**	18,9	16x16
2003	26	45	28	1	**29**	21,4	16x16
2004	23	37	36	4	**40**	25,3	16x16
2005	19	38	40	3	**43**	26,2	8x8
2006	23	32	40	5	**45**	26,7	8x8
2007	22	38	36	4	**40**	25,8	8x8
2008	25	40	32	3	**35**	23,6	8x8
2009	26	32	38	4	**42**	25,6	8x8
2010	32	33	32	3	**35**	22,5	8x8
2011	38	29	30	3	**33**	21,1	8x8

Fruchtausbildung

Eine starke Fruchtausbildung stellt für die Bäume eine besondere, physiologische Belastung dar. Wesentliche Teile des Energievorrats und ein Großteil der Nährelemente werden bei der Ausbildung der Früchte gebunden und stehen damit nicht mehr dem vegetativen Wachstum der Bäume zur Verfügung. Da dies bei starker Fruktifikation bzw. bei häufig wiederkehrenden Fruktifikationsereignissen eine Erhöhung des Blattverlusts bewirken kann, wird die Fruktifikation in den Stufen gering, mittel und stark bei der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg erfasst. Die Aufnahme dieses Parameters wird seit 1991 für die Baumart Buche und seit 1999 für alle anderen Baumarten durchgeführt.

Das Jahr 2011 ist gekennzeichnet durch eine ausgesprochen starke Fruktifikation der Waldbäume. Insgesamt 68 Prozent aller Stichprobenbäume weisen Früchte auf. Über die Hälfte davon sogar in mittelstarker bis starker Intensität (Abb. 27).

Abb. 26: *Buche mit starker Fruktifikation*

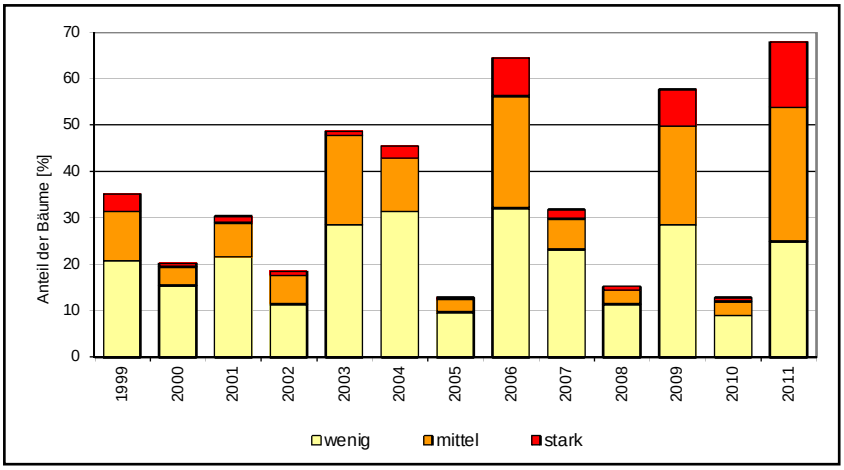


Abb. 27: *Fruktifikationsintensität aller Baumarten seit 1999*

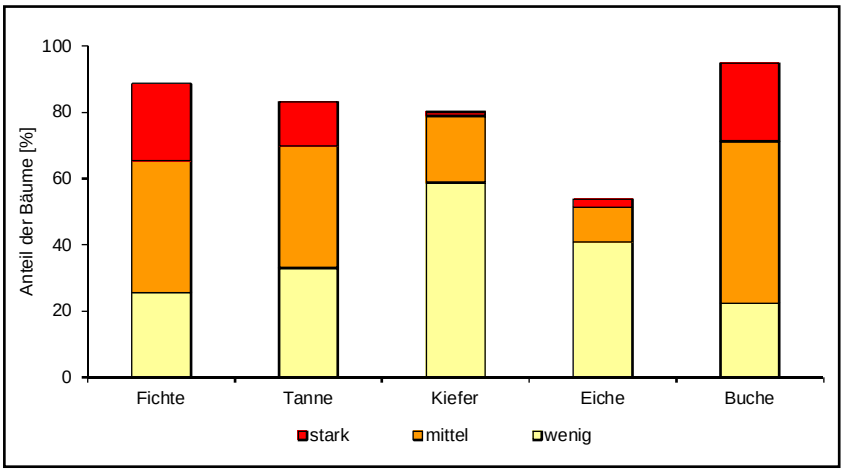


Abb. 28: *Fruktifikationsintensität der Hauptbaumarten im Jahr 2011*

Dabei produzierten nahezu alle Baumarten in nahezu allen Regionen des Landes im Jahr 2011 einen hohen Fruchtanteil. Bei Bäumen im blühfähigen Alter der Baumarten Buche, Fichte, Tanne und Kiefer lag der Anteil fruktifizierender Individuen jeweils über 80 Prozent. Insbesondere bei der Baumart Buche war eine sehr hohe Intensität der Fruchtausbildung zu beobachtet. 72 Prozent der betrachteten Buchen hatten eine mittelstarke bis starke Fruchtausbildung. Eine etwas geringere Intensität wurde bei den Baumarten Fichte und Tanne beobachtet. Bei der Kiefer liegt der Anteil stärker fruktifizierender Bäume deutlich unter der Hälfte. Die Eiche fruktifiziert gegenüber den anderen Hauptbaumarten dieses Jahr merklich weniger. Insgesamt wurde nur etwa jede zweite Eiche im blühfahigen Alter als fruktifizierend angesprochen, wobei die grünen Eicheln im dichten Blätterwerk der Baumkronen zum Teil schwer zu erkennen sind und die Eichenfruktifikation somit womöglich teilweise unterschätzt wird (Abb. 28).

Eine starke Fruktifikation kann sich negativ auf den Kronenzustand und den Zuwachs der Bäume auswirken (SCHMITT 1991). Insbesondere bei der Baumart Buche ist der Zusammenhang zwischen einer intensiven Ausbildung von Bucheckern und erhöhtem Blattverlust eindeutig erkennbar. Im Jahr 2011 zeigen mittelstark und stark fruktifizierende Buchen im Vergleich zu den weniger stark fruktifizierenden Buchen einen deutlich erhöhten mittleren Blattverlust (vgl. Baumart Buche S. 18). Bei der Baum

art Fichte ist ein ähnlicher Trend erkennbar, wenngleich auf einem deutlich geringerem Niveau. Erst bei einem starken Zapfenbehang erhöht sich der Nadelverlust der Fichte leicht. Vergleichbare Ergebnisse sind auch bei der starken Fruktifikation im Jahr 2009 beobachten worden (FVA 2009).

3.2 Regionen Baden-Württembergs

Die regionale Betrachtung der Waldschadensergebnisse zeigt für das Jahr 2011 ein sehr heterogenes Bild der Kronenzustandsentwicklung in Baden-Württemberg. Während die Baumart Buche in allen Wuchsbezirken – mit Ausnahme des Südwestdeutschen Alpenvorlandes – in Folge der massiven Fruktifikation einen höheren mittleren Blattverlust gegenüber dem Vorjahr aufweist, können für die Fichte Regionen unterschiedlicher Entwicklung des Kronenzustandes ausgeschieden werden. Der Kronenzustand der Fichten im Schwarzwald und im Neckarland verschlechtert sich leicht, dagegen ist eine deutliche Erholung auf der Schwäbischen Alb und im Südwestdeutschen Alpenvorland feststellbar. Die Stichprobendichte des 8x8 km-Netzes erlaubt eine Auswertung der Waldschadensinventurdaten für die großen Wuchsgebiete Baden-Württembergs Schwarzwald, Neckarland, Schwäbische Alb und Südwestdeutsches Alpenvorland (Übersicht 3). Zusätzlich können die Ergebnisse der Waldschadensinventur der jeweils vorkommenden Hauptbaumarten aufgezeigt werden. Für die Baumarten Fichte und

Übersicht 3: Die Wuchsgebiete Baden-Württembergs

Buche sind Aussagen über den Kronenzustand für alle großen Wuchsgebiete Baden-Württembergs möglich. In der Zeitreihendarstellung können die Jahre mit Aufnahmedichten des 8x8 km-Netzes und des 4x4 km-Netzes einbezogen werden, da nur hier – im Gegensatz zum 16x16 km Netz – ausreichend Stichprobenbäume zur Verfügung stehen.

Der Schwarzwald

Der Kronenzustand der Bäume im Schwarzwald hat sich, nach der deutlichen Erholung im letzten Jahr, bei der diesjährigen Waldschadensaufnahme leicht erhöht. Das Verlustprozent steigt um 1,2 Prozentpunkte auf 21,8%. Maßgeblich geprägt wird dieses Ergebnis durch die Baumarten Fichte und Tanne, die über $^{2}/_{3}$ aller Stichprobenbäume im Schwarzwald einnehmen. Beide Baumarten weisen eine leichte Erhöhung des mittleren Nadelverlusts auf. Dagegen verbessert sich der Kronenzustand der Kiefern nun im zweiten Jahr in Folge. Der Kronenzustand der Buchen wird auch im Schwarzwald massiv von der starken Fruktifikation der Baumart geprägt. Der mittlere Blattverlust der Buchen steigt deutlich an, wenn auch nicht so stark wie bei der letzten Vollmast im Jahr 2009.

In der gesamten Zeitreihe, seit 1985, wird die deutliche Erholung des Kronenzustands der Baumart Tanne sichtbar, die noch Mitte der 1980er Jahre im Schwarzwald massive Kronenschäden aufwies. Mittlerweile ist der Kronenzustand der Tannen im Schwarzwald deutlich verbessert und zeigt sich gegenüber Umwelteinflüssen äußerst stabil. Dagegen ist im gleichen Zeitraum das Verlustprozent der Baumarten Buche und Kiefer im Trend ansteigend. Bei der Baumart Fichte ist im Schwarzwald kein

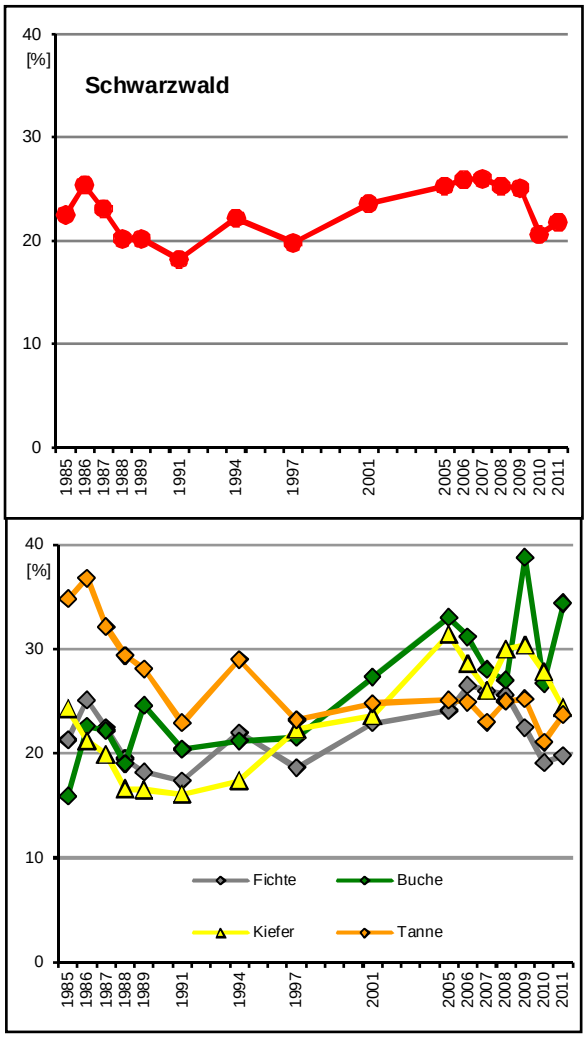


Abb. 29: *Mittlerer Nadelblattverlust aller Baumarten (oben) und der Hauptbaumarten (unten) im Schwarzwald*

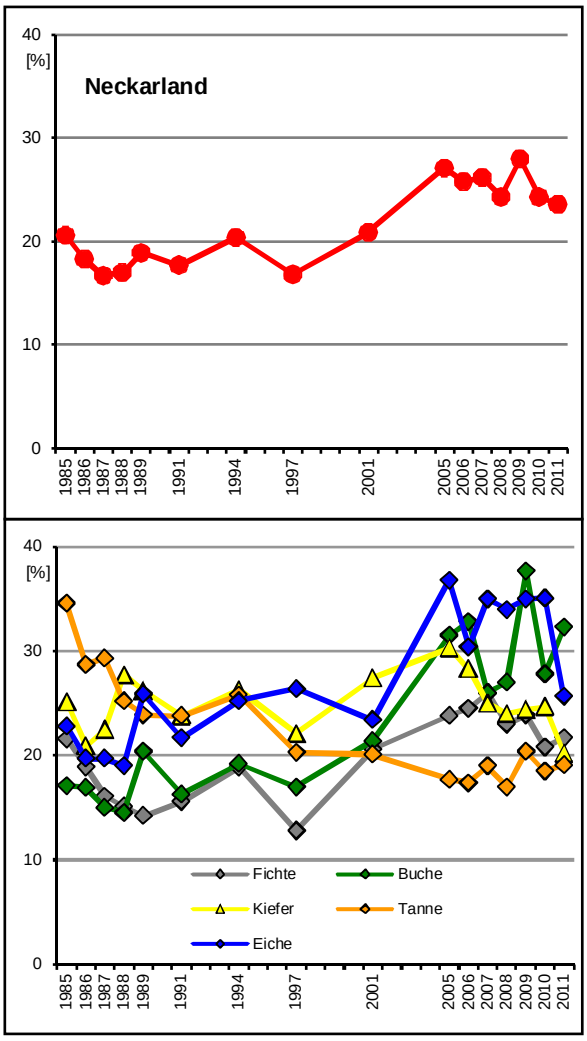


Abb. 30: *Mittlerer Nadelblattverlust aller Baumarten (oben) und der Hauptbaumarten (unten) im Neckarland*

langfristiger Trend, aber eine ausgeprägte periodische Schwankung des Nadelverlusts zu erkennen (Abb. 29).

Das Neckarland

Im Neckarland liegt der mittlere Nadel-/Blattverlust der Bäume im Jahr 2011 bei 23,6 % und damit 0,7 Prozentpunkte unterhalb des Vorjahreswerts. Die einzelnen Baumarten im Neckarland unterscheiden sich in ihrer Reaktion auf die einwirkenden Umwelteinflüsse sehr stark. Während der Kronenzustand der Buchen im Neckarland maßgeblich von der starken Fruktifikation beeinflusst wird und sich dementsprechend deutlich verschlechtert, ist bei den Eichen eine massive Verbesserung des Kronenzustandes zu beobachten. Die sehr geringe Schädigung durch blattfressende Raupen sowie ein äußerst geringer Befall durch Eichenmehltau führten in der Kombination mit günstigen Witterungsbedingungen in diesem Jahr bei der Eiche zu einer deutlichen Erholung des Kronenzustandes. Das Neckarland mit seinen hohen Eichenvorkommen ist dabei prägend für das Gesamtergebnis der Eiche in Baden-Württemberg. Deutlich profitiert von den günstigen Witterungsbedingungen und einer verhältnismäßig geringen Blüte hat auch die Baumart Kiefer, deren Nadelverlust sich gegenüber dem Vorjahr ebenfalls verringert. Der mittlere Nadelverlust der Fichten und Tannen im Neckarland erhöht sich dagegen leicht (Abb. 30).

Schwäbische Alb

Im Mittel hat sich der Kronenzustand der Bäume im Wuchsgebiet Schwäbische Alb leicht verbessert. Der mittlere Nadel-/Blattverlust verringert sich um 1,3 Prozentpunkte auf 18,6 Prozent. Maßgeblich beeinflusst wird dieses Ergebnis von der Fichte, die den

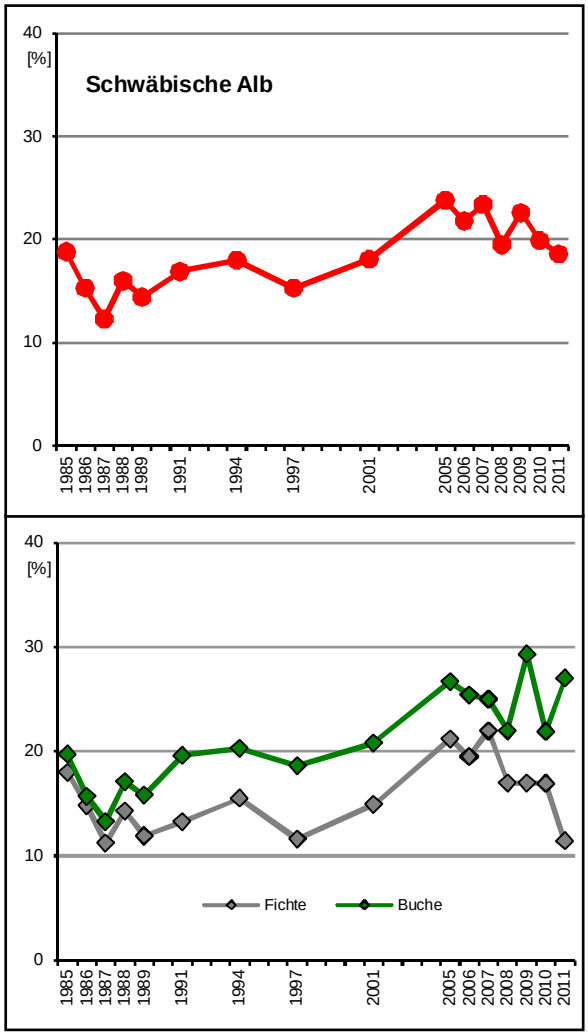


Abb. 31: *Mittlerer Nadelblattverlust aller Baumarten (oben) und der Hauptbaumarten (unten) auf der Schwäbischen Alb*

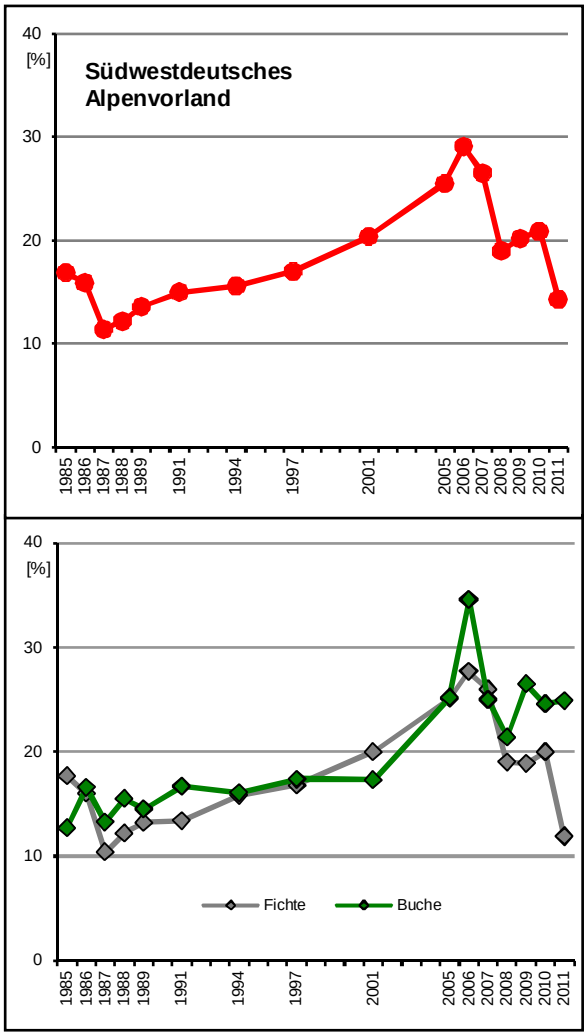


Abb. 32: *Mittlerer Nadelblattverlust aller Baumarten (oben) und der Hauptbaumarten (unten) im Südwestdeutschen Alpenvorland*

größten Flächenanteil an der Baumartenzusammensetzung einnimmt. Der mittlere Nadelverlust der Fichten auf der Schwäbischen Alb verringert sich, nach zwei Jahren mit nahezu gleichbleibendem Niveau, deutlich und liegt nun wieder in etwa auf dem Wert von 1997. Dagegen erhöht sich das mittlere Verlustprozent der Buchen, wie in den Wuchsgebieten Schwarzwald und Neckarland, auf Grund der starken Buchenmast erheblich (Abb. 31).

Südwestdeutsches Alpenvorland

Der Kronenzustand der Bäume im Südwestdeutschen Alpenvorland hat sich gegenüber dem Vorjahr deutlich verbessert. Der mittlere Nadel-/Blattverlust verringert sich um 6,6 Prozentpunkte auf 14,3 Prozent und damit auf das geringste Schadniveau der letzten 20 Jahre. Das Südwestdeutsche Alpenvorland ist überwiegend geprägt durch die Baumart Fichte. Der Kronenzustand der Fichten hat sich im Jahr 2011 deutlich verbessert. Innerhalb der letzten fünf Jahre konnte sich der mittlere Nadelverlust der Fichten dank günstiger Witterungsbedingungen, geringem Schädlingsaufkommen und langfristig gesunkener Schadstoffeinträgen mehr als halbieren. Die Buche weist trotz starker Fruktifikation keine wesentliche Erhöhung des Verlustprozents auf. Bereits bei der letzten Buchenmast 2009 war der Anstieg der Kronenverlichtung der Buchen im Südwestdeutschen Alpenvorland, im Vergleich zu den übrigen Wuchsgebieten, gering (Abb. 32).

4 DAS RAUM-ZEIT-MODELL

In den letzten Jahren wurde mit Hilfe von multivariaten statistischen Verfahren eine neue Auswertungsmethode zur besseren Interpretation der Kronenzustandsdaten von Baden-Württemberg entwickelt. Das umfangreiche Datenmaterial mit landesweiten Aufnahmepunkten der seit über 25 Jahren durchgeführten Waldschadensinventur ermöglichte die Erstellung eines konsistenten Raum-Zeit-Modells. Dieses Modell wurde unter Beteiligung der Statistikexpertin Dr. Nicole Augustin von der Universität Bath (England) und Dr. Monika Musio von der Universität Cagliari in Sardinien (Italien) durch die FVA Baden-Württemberg im Jahr 2006 für die Baumart Fichte realisiert (AUGUSTIN et al. 2007, 2009, MUSIO et al. 2006). Mittlerweile ist eine Ausweitung des Raum-Zeit-Modells auf die Baumart Buche erfolgt. Mit Hilfe dieses multivariaten Raum-Zeit-Modells ist es möglich für die Daten der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg räumliche Muster und zeitliche Trends des Kronenzustands abzuleiten (AUGUSTIN et al. 2009).

Methodik des Raum-Zeit-Modells

Das Raum-Zeit-Modell der Kronenzustandsdaten von Baden-Württemberg wurde mit Hilfe eines sogenannten generalisierten, additiven, gemischten Modells aufgestellt. Das Modell stellt den Nadel-/Blattverlust als Funktion des Alters, der Lage im Raum und der Zeit, als sogenanntes „Generalized, Additive, Mixed Model“ (GAMM) dar, wobei Korrelationen in Zeit und Raum berücksichtigt wurden (AUGUSTIN et al. 2009).

Durch das Raum-Zeit-Modell können unterschiedliche Zeittrends in verschiedenen Regionen identifiziert werden, wodurch die Ergebnisse der Waldschadensinventur genauer interpretierbar sind. Zudem können die Ergebnisse ohne bestimmte Einflussgrößen, wie z.B. das Alter, dargestellt und interpretiert werden. Für die Baumart Buche wurde als zusätzliche Einflussgröße die Fruktifikation einbezogen, da in Jahren mit starker Fruktifikation bei der Buche kurzzeitig deutlich erhöhte Blattverluste auftreten, welche nur durch einen Einfluss der Fruktifikation erklärt werden können. Die Fruchtbildung bei der Buche ist einerseits endogen gesteuert und für diesen Anteil als natürliche physiologische Reaktion anzusehen, die nicht durch umweltbedingte Stressfaktoren ausgelöst wird, andererseits nehmen Intensität und Häufigkeit der Fruktifikation mit zunehmendem Auftreten von warm-trockenen Frühjahrs- und Sommermonaten zu. Da endogene, „natürliche Fruktifikation“ und deren umweltbedingte Steigerung nicht eindeutig zu trennen sind, wurde für die aktuelle Auswertung entschieden, den Faktor Fruktifikation als Prädiktor in das Modell einzubeziehen. Der Effekt der Fruktifikation auf den Blattverlust wurde dabei als mit zunehmendem Alter sich verstärkender Einflussfaktor dargestellt. Der Blattverlust der Buche wird also als Funktion von Zeit, Raum, Alter und Fruktifikation dargestellt (AUGUSTIN 2011A). Dadurch können die Ergebnisse der Waldschadensinventur für die Baumart Buche ohne den Einfluss einer Fruktifikation abgebildet werden. Für die Fichte wurde ebenfalls die Einbeziehung der Fruktifikation in das multivariate Modell getestet. Auch hier war dieser Faktor signifikant, erklärte aber nur einen sehr kleinen Varianzanteil im Nadelverlust und führte zu keiner erkennbaren Veränderung des zeitlichen Trendverlaufs. Deshalb wurde entschieden, diesen Faktor nicht in das Fichtenmodell einzubeziehen, um das Modell so einfach wie möglich zu halten (AUGUSTIN, 2011B).

Die Fruktifikationsintensität wird bei der Waldschadensinventur seit 1991 als verpflichtender Parameter für die Baumart Buche und ab dem Jahr 1999 für alle anderen Baumarten erhoben. Dabei wird die Fruktifikation in vier Intensitätsstufen eingeschätzt:

0 = keine Fruktifikation
1 = wenig (nur mit Fernglas sichtbar)
2 = mittel (ohne Fernglas sofort erkennbar)
3 = stark (prägt das Erscheinungsbild des Baumes)

Die beiden Einflussfaktoren auf den Nadel-/Blattverlust, Alter und Fruktifikation sind für die beiden Hauptbaumarten Fichte und Buche in Abbildung 33 vergleichend dargestellt.

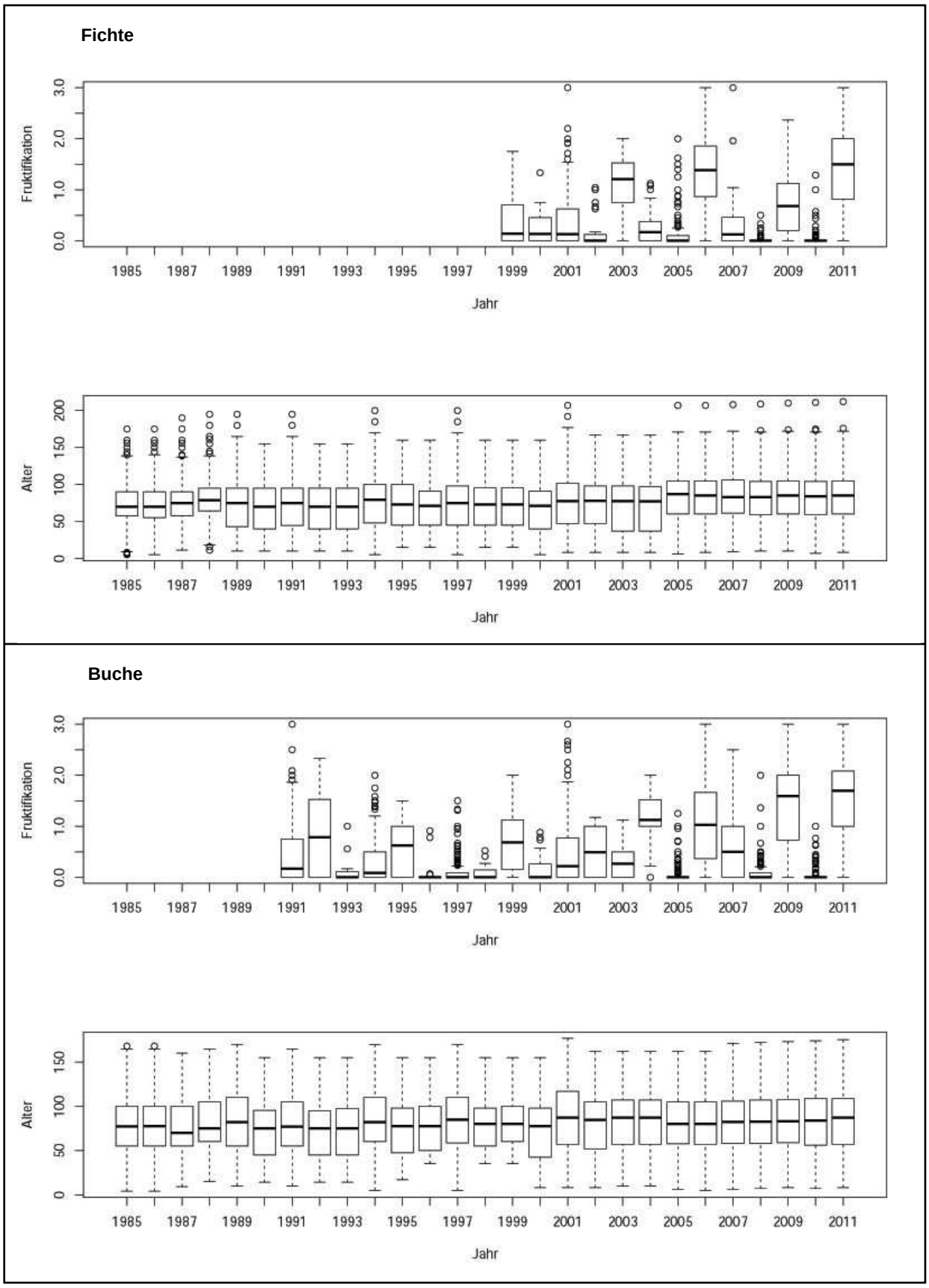


Abb. 33: *Intensität der Fruktifikation für Fichte und Buche in Stufen 0 - 3 (jeweils oben) und das mittlere Alter (jeweils unten). Dargestellt sind der Mittelwert aller aufgenommenen Bäume, 25% und 75%, sowie 5% und 95% der Verteilung und Ausreißer*

Bei der Fichte sind die Jahre 2003, 2006 und 2011 durch eine besonders starke Fruktifikation gekennzeichnet, mit einer mittleren Intensität aller aufgenommenen Bäume von etwa 1,5. Die Buche fruktifiziert etwas häufiger und mit einer leicht stärkeren Intensität. Jahre mit starker Buchenmast sind vor allem 1992, 2004, 2006, 2009 und 2011. In den letzten 10 Jahren ist bei der Buche deutlich eine Häufung starker Fruktifikationsjahre zu beobachten. Nach Jahren mit hoher Fruktifikationsintensität treten einzelne bis mehrere „Erholungsjahre“ mit sehr niedriger Intensität auf (z.B. 2002, 2005, 2008 und 2010 bei Fichte und 2005, 2008 und 2010 bei Buche).

Das mittlere Alter der Beobachtungsbäume schwankt bei beiden Baumarten um 80 Jahre und ist während der Beobachtungsperiode um 10 bis 15% angestiegen. Die Abweichungen um diesen Mittelwert sind weitgehend gleichmäßig verteilt. Eine Verzerrung der Verteilung in Richtung jüngerer Altersklassen ist in Kalamitäts- und Folgejahren (z.B. 2000 und 2003) zu beobachten. Bis 2004 traten Schwankungen im mittleren Alter durch den periodischen Wechsel zwischen den Rasternetzdichten 4x4, 8x8 und 16x16 km auf, die danach wegfielen, da seit 2005 einheitlich in allen Jahren das 8x8 km Rasternetz aufgenommen wird. Dadurch ist der, das Niveau des Nadel-/Blattverlusts stark dominierende Faktor Alter sehr viel stabiler.

Zeittrend in Baden-Württemberg

Die zeitliche Entwicklung des Kronenzustandes wurde nach dem Alter standardisiert, um den Effekt ungleichmäßiger und wechselnder Altersverteilungen der Stichprobenbäume auszuschließen. In Abbildung 34 und 35 (unten) ist der Verlauf des Nadel-/Blattverlusts für die Baumarten Fichte und Buche dargestellt, jeweils bezogen auf drei verschiedene Baumalter (Median, oberes Quartil, unteres Quartil). Die äußeren Begrenzungslinien zeigen den Vertrauensbereich mit 95% der Beobachtungen an.

Der zeitliche Trend der Kronenzustandsdaten belegt für beide Baumarten Fichte und Buche eine deutlich mit dem jeweiligen Baumalter ansteigende Reihenfolge des Schädigungsniveaus. Ältere Bäume weisen über die gesamte Zeitreihe der Waldschadensinventur höhere Schäden auf als jüngere Bäume. In der zeitlichen Entwicklung der Nadel-/Blattverlustwerte zeigen alle drei Baumalter einer Baumart jedoch eine hohe Parallelität auf, d.h. in der Veränderung des Kronenzustandes verhalten sie sich unabhängig ihres Baumalters weitgehend gleich.

Die Darstellung der zeitlichen Entwicklungstrends wurden in zwei

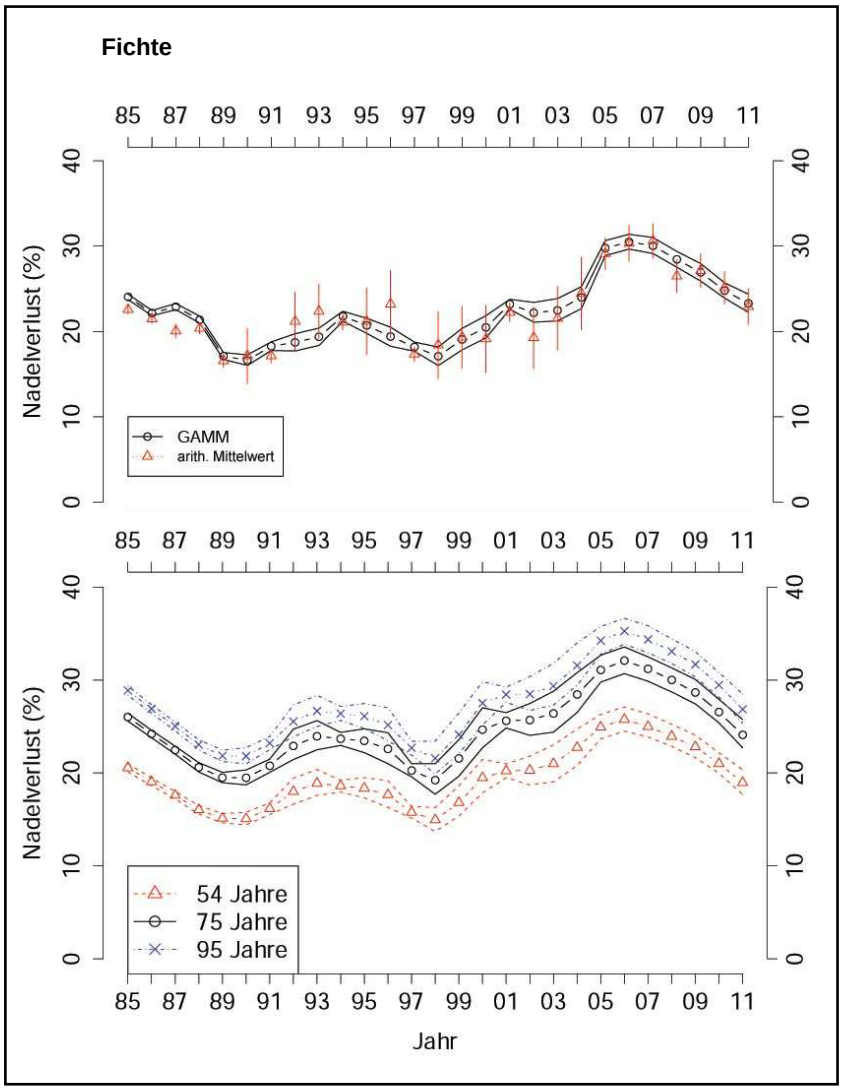


Abb. 34: *zeitlicher Entwicklungstrend der Nadelverluste bei der Fichte nach dem Raum-Zeit-Modell. Oben: ohne Berücksichtigung der Einflussgröße Alter. Unten: nach Altersstufen aufgetrennt.*

Teilgrafiken präsentiert; in der jeweils oberen Teilgrafik wird der durch das Modell identifizierte Zeittrend ohne Indexierung über das Alter und für die Buche ohne, dass der Fruktifikationseffekt herausgerechnet wurde (Abb. 34 und 35) dargestellt. In diese Teilgrafik wurden die arithmetischen Mittelwerte über alle Messpunkte einbezogen, um die Abweichungen einer konventionellen, rein deskriptiven Analyse vom hier dargestellten Modellergebnis zu zeigen. Für die Buche kann durch den Vergleich zwischen der nicht indexierten (oben) und der indexierten Teilgrafik (unten) der Fruktifikationseffekt auf die Zeitreihe der Blattverluste abgeschätzt werden.

Für die Baumarten Fichte und Buche lässt sich für die gesamte Zeitreihe seit 1985 ein ansteigender Trend der Nadel-/Blattverluste erkennen. Im Vergleich der beiden Baumarten verläuft der Nadel-/Blattverlust vor allem in den ersten Jahren der bisherigen Aufnahmeperiode unterschiedlich. Während die Fichten Mitte der 1980er Jahre erhöhte Verlustwerte aufweisen, ist das Schadniveau der Buchen im gleichen Zeitraum deutlich niedriger. Dies passt zu den damaligen Beobachtungen, dass zunächst hauptsächlich Nadelbaumbestände auf zur Versauerung neigenden Standorten stärkere Kronenschäden aufwiesen. Der weitere Verlauf des mittleren Verlustprozents ist bei der Baumart Fichte bis 1998 durch die in der gesamten Zeitreihe niedrigsten Werte und periodische Schwankungen mit Minima im Zehnjahresabstand gekennzeichnet. Dagegen zeigen die Blattverlustwerte der Buche kürzere Schwankungsperioden mit vorübergehender Zu- und Abnahme von Kronenschäden.

Ab dem Jahr 1998 ergibt sich in etwa für die Baumarten Fichte und Buche eine hohe Übereinstimmung des Trendverlaufs der Kronenschäden. Beide Baumarten zeigen ein deutliches Minimum des Verlustprozents im Jahr 1998 mit anschließender, deutlicher Zunahme von Kronenschäden bis 2005 bzw. 2006. Auch das zwischenzeitliche Verharren des Verlustprozents auf einem gleichbleibenden Schadniveau in den Jahren 2001 und 2002 ist sowohl bei der Baumart Fichte, wie auch bei der Buche zu erkennen. Nach dem Maximum der Kronenverlichtung im Jahr 2005/2006 erholt sich der Kronenzustand beider Baumarten wieder. Die Fichte zeigt seither eine relativ konstante Verringerung des mittleren Nadelverlusts. Bei der Buche erhöht sich der Blattverlust nochmals in den Jahren 2008 und 2009. Im Jahr 2011 ist bei der Buche – im Gegensatz zur herkömmlichen Auswertungsmethode – eine

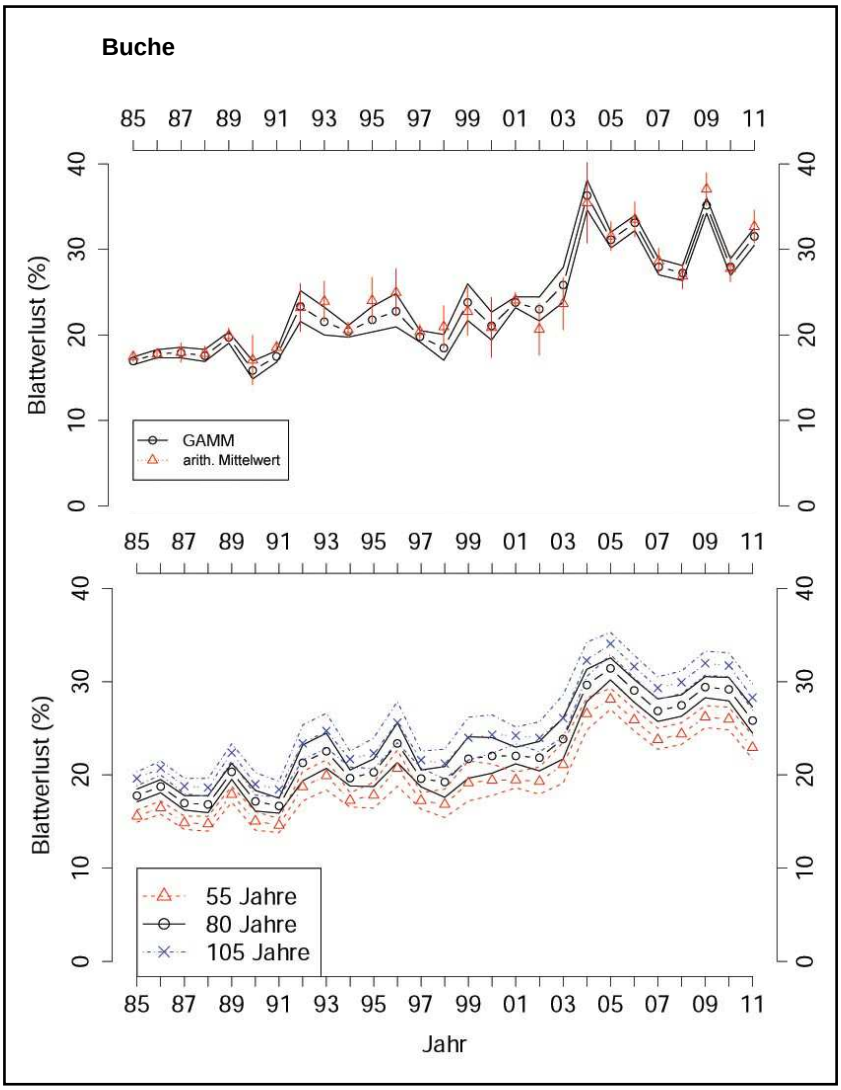


Abb. 35: *zeitlicher Entwicklungstrend der Blattverluste bei der Buche nach dem Raum-Zeit-Modell. Oben: ohne Berücksichtigung der Einflussgrößen Alter und Fruktifikation. Unten: mit Berücksichtigung der Fruktifikation und nach Altersstufen aufgetrennt.*

Verringerung des Blattverlusts gegenüber dem Vorjahr erkennbar, da im Raum-Zeit-Modell der negative Einfluss der Fruktifikation auf den Kronenzustand eliminiert wurde.

Zeittrend in den Wuchsgebieten

In Abbildung 36 und 37 sind die zeitlichen Trendverläufe der Wuchsgebiete Baar-Wutach, Schwarzwald, Neckarland, Odenwald, Schwäbische Alb und Südwestdeutsches Alpenvorland für die Baumarten Fichte und Buche dargestellt. In nahezu allen Wuchsgebieten ist für die Baumart Fichte, nach einer Zeit der periodischen Schwankungen des Nadelverlusts mit Maxima Mitte der 80er und 90er Jahre, etwa ab dem Jahr 2000 eine deutliche Zunahme des mittleren Verlustprozents zu beobachten. Im Jahr 2006 wird in fast allen Regionen der bisherige Höchststand an Kronenschäden bei der Fichte festgestellt, was als direkte Folge der extremen Trockenheit mit anschließendem starkem Käferbefall Anfang des Jahrtausends anzusehen ist. Erst ab dem Jahr 2006 verringert sich das Schadniveau der Fichte wieder. Lediglich im Wuchsgebiet Baar-Wutach ist in den letzten fünf Jahren keine Erholung des Kronenzustands der Fichten festzustellen.

Bei der Baumart Buche ist im zeitlichen Verlauf in allen Regionen Baden-Württembergs ein ansteigender Trend des mittleren Blattverlusts zu beobachten. Ähnlich der Fichte reagierte die Buche empfindlich auf die extreme Trockenphase des Jahres 2003. Das Verlustprozent der Buchen steigt in allen Regionen bis zum Jahr 2005 steil an. Zusätzlich ist in allen Wuchsgebieten eine Verschlechterung des Kronenzustandes im Jahr 2009 zu beobachten, die unabhängig von der in diesem Jahr extremen Fruktifikation der Baumart, zu sehen ist.

In Wuchsgebieten mit geringen Baumzahlen ist der Zeittrend der jeweiligen Baumart durch eine größere Unsicherheit behaftet, die mit einem breiteren Vertrauensbereich in den Abbildungen dargestellt ist. Im Oberrheinischen Tiefland ist die Stichprobendichte für eine regionale Analyse nicht ausreichend.

Räumlicher Trend

Der räumliche Trend der Nadel-/Blattverluste aus dem Raum-Zeit-Modell ist für die Baumarten Fichte und Buche in Abbildung 38 und 39 dargestellt. Für die Fichte können nahezu flächendeckend Informationen über die räumliche Verteilung des Kronenzustands in Baden-Württemberg dargestellt werden, da die Baumart in allen Wuchsgebieten in ausreichender Anzahl vorkommt. Dagegen ergeben sich für die Baumart Buche in Regionen mit geringem Buchenvorkommen einzelne Lücken in der landesweiten Darstellung. Dies betrifft vor allem den östlichen Rand des Schwarzwaldes sowie den nordöstlichen Teil Oberschwabens.

Zu Beginn der Beobachtungsperiode treten höhere Nadelverluste bei der Fichte verstärkt in Gebieten mit versauerungsempfindlichen Standorten auf. Hohe Schadstoffeinträge und die daraus resultierende Bodenversauerung in jener Zeit führen vor allem in den zur Versauerung neigenden Kristallingebieten des Schwarzwaldes und des Odenwaldes zu erhöhten Kronenschäden. Diese räumliche Verteilung der Nadelverluste zeigt sich, mit mehrjährigen Erholungsphasen des Kronenzustandes der Fichte, bis ins Jahr 2000. Etwa ab der Jahrtausendwende ändert sich das räumliche Muster erhöhter Nadelverlustwerte für die Fichte in Baden-Württemberg grundlegend. Die Schadensschwerpunkte begrenzen sich jetzt nicht mehr ausschließlich auf die Kristallingebiete des Schwarzwaldes und des Odenwaldes, sondern erstrecken sich jetzt auch auf gut nährstoffversorgte Standorte im Neckarland und Alpenvorland. Im Zeitraum von 2002 bis 2007 vergrößern sich diese Areale und wachsen zu einem, weite Teile des Schwarzwaldes, des Neckarlandes und des Alpenvorlandes einnehmenden Schadgebiets zusammen. Ab dem Jahr 2008 ist wieder eine räumliche Trennung der einzelnen Schadgebiete zu erkennen. Dieser positive Trend setzt sich bis ins Jahr 2011 fort. Regionen erhöhter Nadelverluste der Fichte finden sich aktuell noch im südlichen Schwarzwald und im Allgäu.

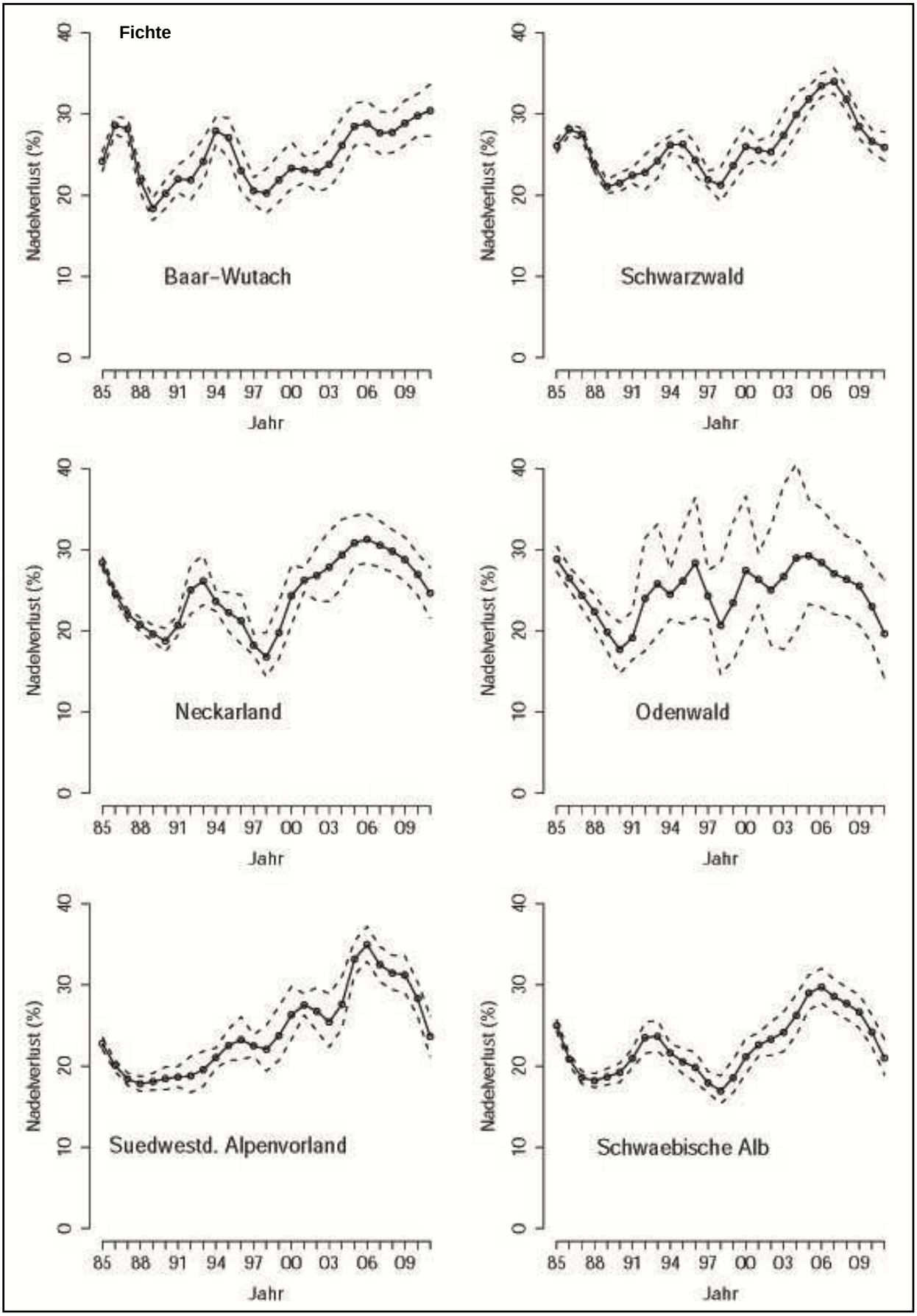


Abb. 36: *zeitlicher Entwicklungstrend der Nadelverluste in den Wuchsgebieten Baden-Württembergs für die Baumart Fichte nach dem Raum-Zeit-Modell*

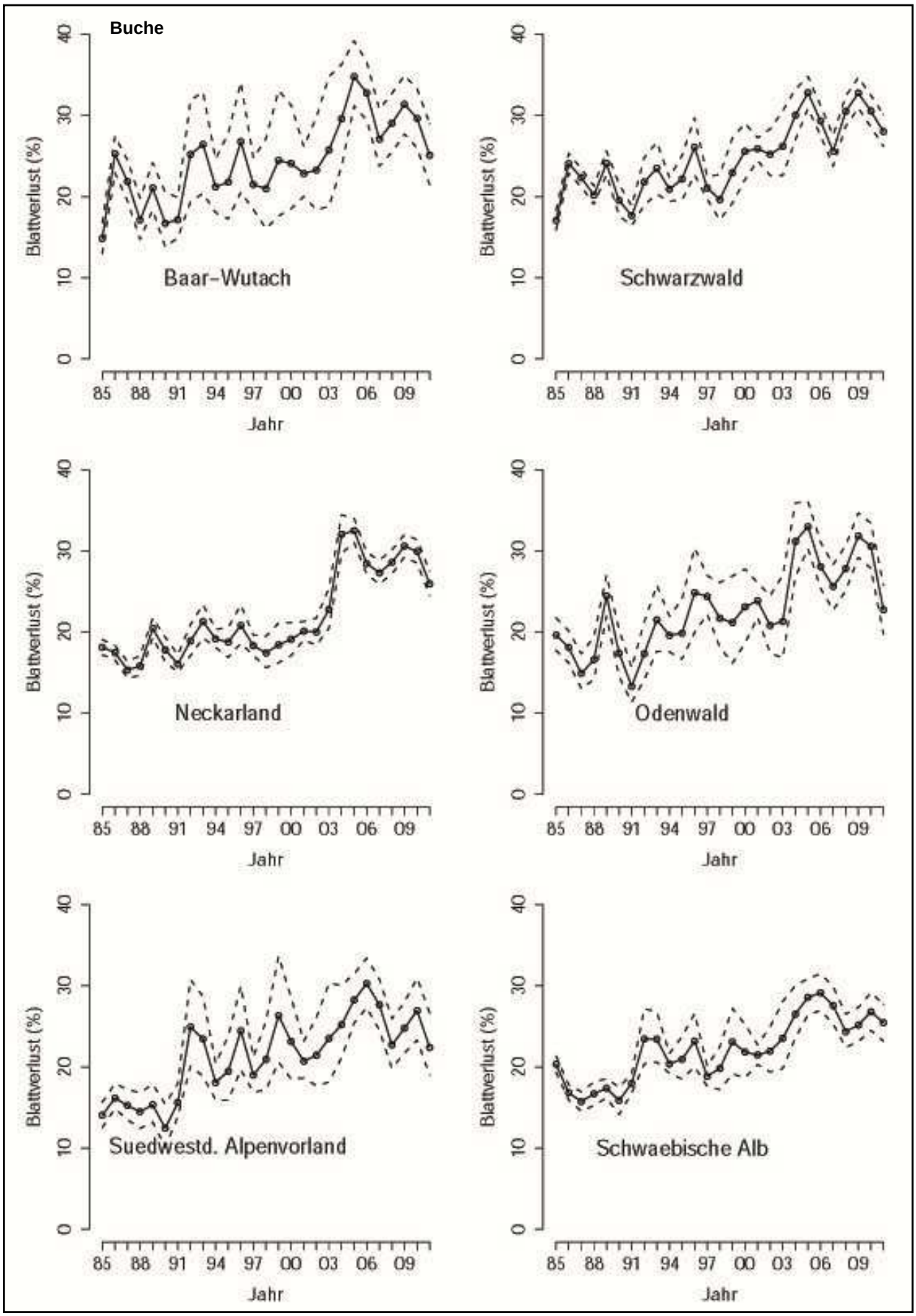


Abb. 37: *zeitlicher Entwicklungstrend der Blattverluste in den Wuchsgebieten Baden-Württembergs für die Baumart Buche nach dem Raum-Zeit-Modell*

Der Kronenzustand der Baumart Buche weist in nahezu allen Regionen Baden-Württembergs bis zum Jahr 2003 ein sehr geringes Schadniveau auf. Ab dem Jahr 2004 bilden sich Areale mit erhöhtem Blattverlust der Buchen im Neckarland, am Hochrhein und im Kraichgau heraus. Nach einer Erholung des Kronenzustandes in weiten Teilen des Landes im Jahr 2007, kommt es in den Folgejahren erneut zu einer derartigen räumlichen Verteilung der Schadgebiete, jedoch in abgeschwächter Intensität. In den Jahren 2010 und 2011 verringert sich das Ausmaß der Schadgebiete auch bei der Buche zunehmend.

Bei beiden Baumarten Fichte und Buche ist in der räumlichen Verteilung der Nadel-/Blattverlustwerte in Baden-Württemberg ab Anfang des Jahrtausends eine deutliche Verschiebung der Schadgebiete zu beobachten. Es ist davon auszugehen, dass veränderte klimatische Bedingungen eine derart gravierende Änderung der Schadensverteilung in Baden-Württemberg verursachen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden somit in der Veränderung des Vitalitätszustands der Wälder Baden-Württemberg sichtbar.

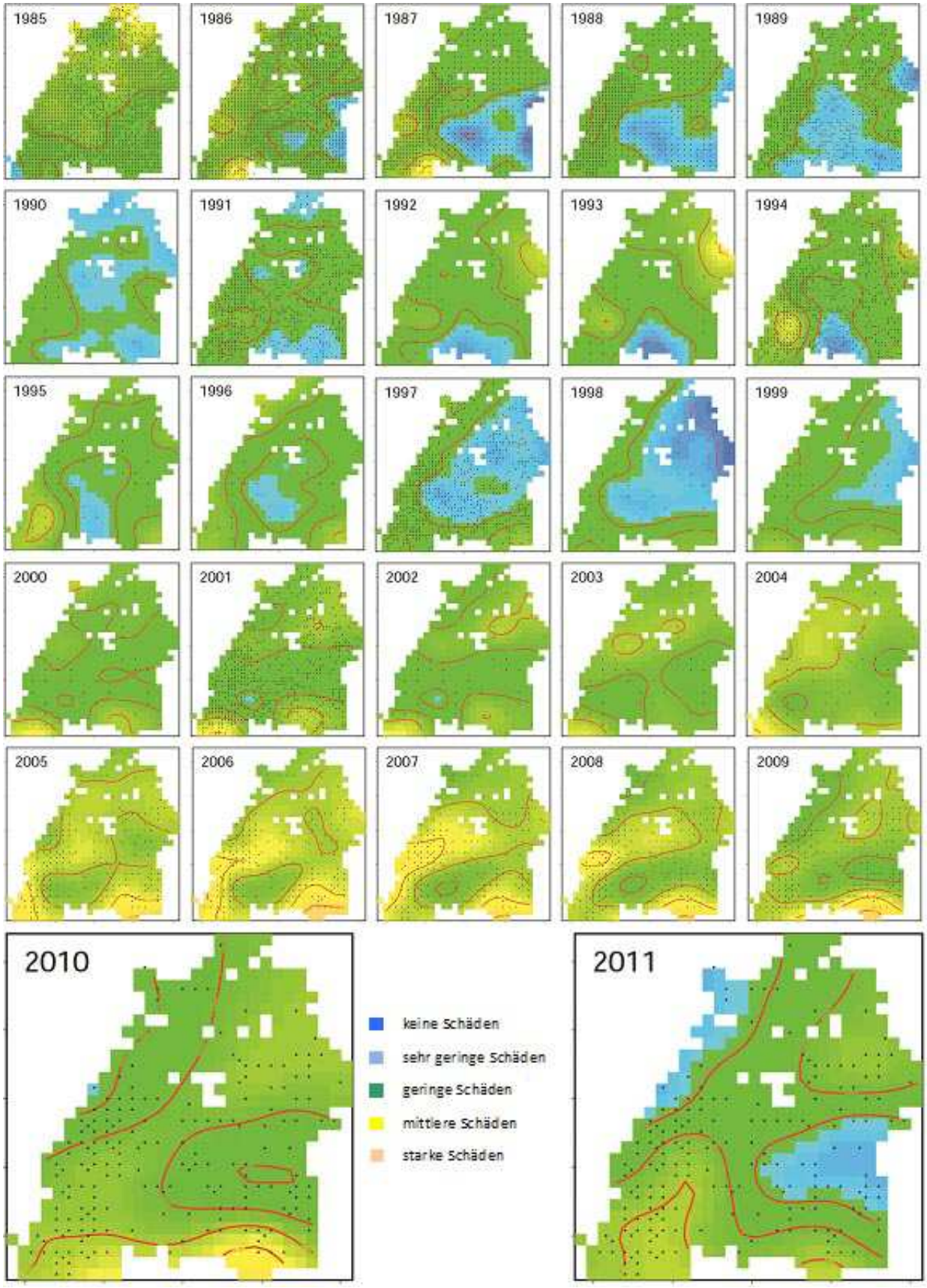


Abb. 38: *räumlicher Entwicklungstrend der Nadelverluste für die Baumart Fichte nach dem Raum-Zeit-Modell (rote Linien: Isolinien gleichen Nadelverlusts)*

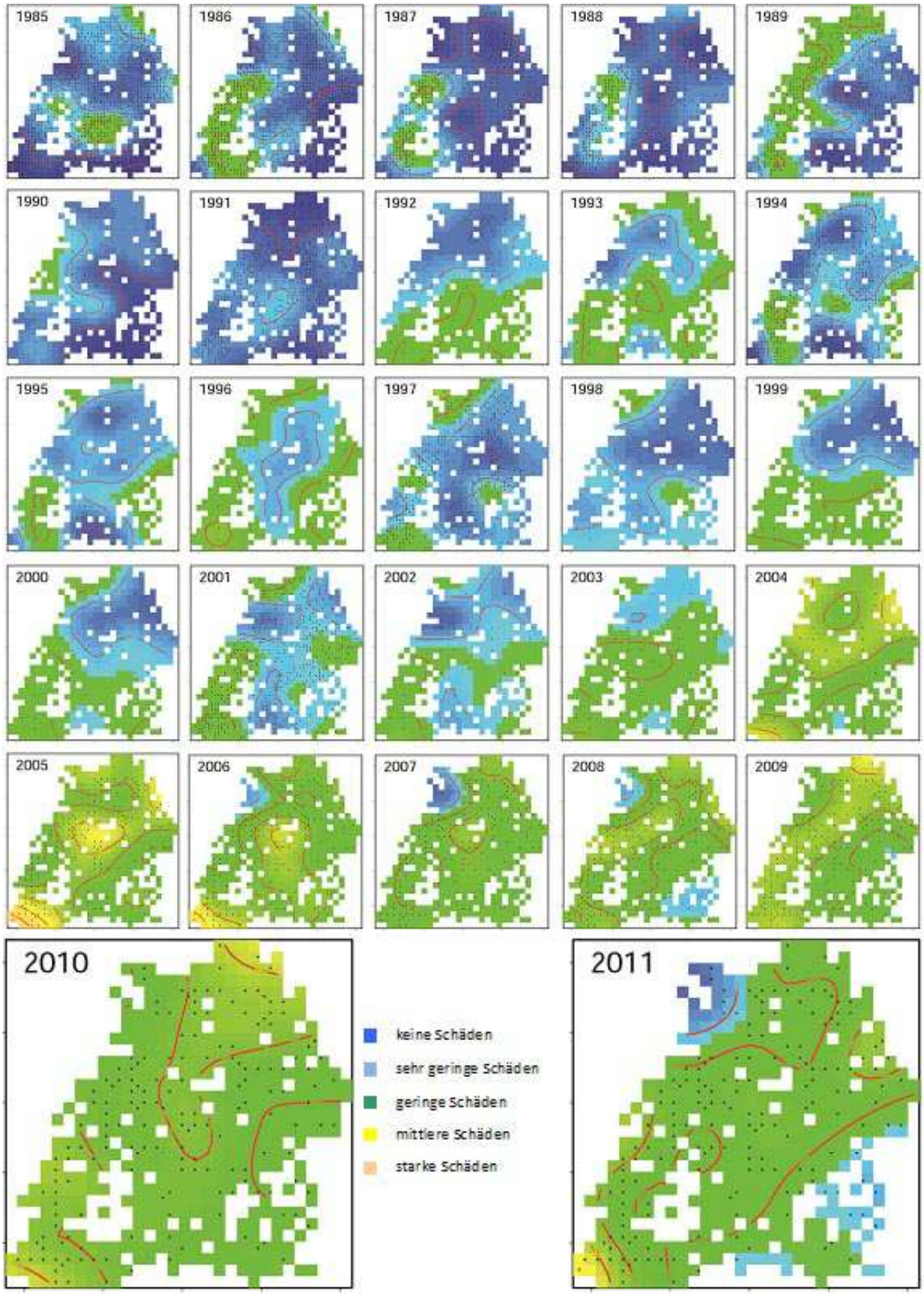


Abb. 39: *räumlicher Entwicklungstrend der Blattverluste für die Baumart Buche nach dem Raum-Zeit-Modell (rote Linien: Isolinien gleichen Nadelverlusts)*

5 WALDSCHUTZSITUATION

Die Waldschutzsituation in Baden-Württemberg war 2010 wie im Vorjahr relativ entspannt. Dies lässt sich zum Beispiel quantitativ daran ablesen, dass die zufällige Nutzung (ZN), das heißt der Holzeinschlag, der durch Naturereignisse wie Sturm, Schneebruch, Dürre oder Borkenkäferbefall verursacht wird, im Jahr 2010 mit 0,44 Millionen Festmeter (Fm) weniger als halb so hoch war wie im Jahr 2009 (1,1 Mio. Fm). Diese Menge entsprach einem Anteil von nur 6% am Gesamteinschlag in Baden-Württemberg (Abb. 40). Allerdings gibt es auch relevante Schadereignisse, die den Gesundheitszustand des Waldes beeinflussen und sich aktuell nicht im Holzeinschlag niederschlagen. Auf diese wird im Folgenden ebenso eingegangen.

Abiotische Schadursachen

Die größten ZN-Mengen verursachten im Jahr 2010 **Stürme** (187.000 Fm). Diese Holzmengen gingen hauptsächlich auf das Konto des Sturmtiefs „Xynthia“, das am 28. Februar 2010 über das Land zog. Im Winter 2010/2011 waren weiträumig keine extremen Sturm- oder Schneebruchereignisse mit größerem Schadholzanfall zu verzeichnen.

Das Frühjahr 2011 war von einer früh einsetzenden und lang anhaltenden Periode mit einer trockenwarmen Witterung geprägt. Dies führte zu einem außergewöhnlich frühzeitigen Laubaustrieb bei den Waldbäumen. Viele Baumarten blühten auch sehr stark, was zeitweise zu einem massiven Pollenflug führte, vor allem bei Fichte. Sowohl Buche als auch Eiche zeigten im Spätsommer starken **Fruchtanhang**.

In Forstkulturen kam es durch die Frühjahrstrockenheit zu **Trockenschäden**, vor allem in Neuanpflanzungen.

Ein Nachtfrost in der Nacht zum 04. Mai 2011 führte im nördlichen Landesteil zu z.T. massiven **Frostschäden** vor allem an jüngeren Laub- und Nadelbäumen, die bereits ausgetrieben hatten.

Wie in den vorausgegangenen Jahren kam es sowohl im Sommer 2010 als auch im Sommer 2011 zu einer Anzahl von heftigen lokalen **Unwettern** in verschiedenen Regionen des Landes, die von Sturmböen, Starkregen und zum Teil auch von Hagelschauern begleitet waren und lokal Schäden an den Waldbeständen verursachten.

Das Ausbleiben einer längeren Trockenperiode im Sommer 2011 verhinderte jedoch größere, akute Dürreschäden.

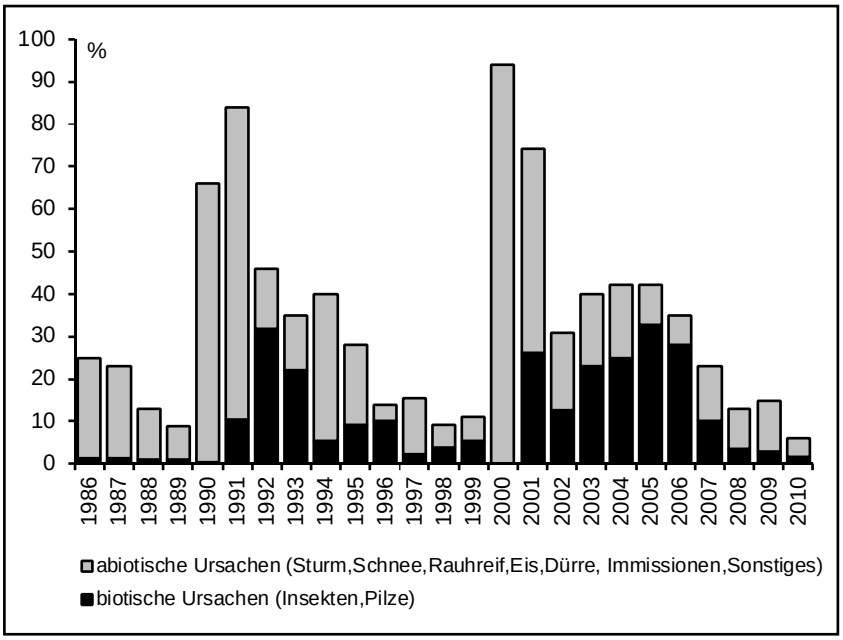


Abb. 40: *Anteil zufälliger Nutzung am Holzeinschlag (Gesamtwald Baden-Württemberg)*

Biotische Schadursachen

Im Jahr 2010 fiel mit insgesamt ca. 141.000 Fm nur wenig mehr **Käferholz** an, als im Vorjahr (133.000 Fm). Somit hat sich die Situation bei den Borkenkäfern weiterhin stabilisiert. Bis Ende September 2011 waren 82.300 Fm Käferholz verbucht (Ende Sept. 2010: 107.600 Fm), was eine günstige Bilanz für 2011 erwarten lässt. Der überwiegende Teil des Käferholzes wird durch den **Buchdrucker** (*Ips typographus*) an Fichten verursacht.

In ca. 40 bis 80-jährigen Tannen-Baumhölzern nahm 2010 in allen

Abb. 41: *starker Befall von Tannenstammlaus im Frühjahr (Foto: Reinhold John)*

Regionen des Landes mit Tannenvorkommen das Ausmaß einer seit 2009 vermehrt auftretenden Komplexkrankheit, der **Tannen-Rindennekrose** deutlich zu. Erste Untersuchungsergebnisse erhärten die Hypothese, dass dieser Krankheit eine Befallskette zugrunde liegt: Der Befall durch Tannenstammläuse (*Dreyfusia picea*) disponiert die Bäume für den Befall durch den pathogenen Pilz *Neonectria fuckeliana*, der zu Rinden-Nekrosen führt (Abb. 41). Es kam auch 2011 wieder zu beträchtlichen Ausfällen in betroffenen Tannenbeständen, besonders wenn noch Befall durch Weißtannenrüssler (*Pissodes piceae*) oder Tannenborkenkäfer (*Pityok-teines sp.*) hinzukam. Tannen-Jungwüchse waren an einigen Orten stark von der Tannentrieblaus (*Dreyfusia nordmannianae*) befallen. Bei starken Saugschäden kommt es zum Absterben des Leittriebs und zu nachfolgender Verbuschung der jungen Tannen.

Eichenbestände wurden im Frühjahr 2011 an einigen Orten von Raupen der **Eichen-Schadgesellschaft** (Eichenwickler-, Frostspanner, Eulen-Raupen u. a.) befressen. Im Ortenaukreis trat sogar Kahlfraß durch die Raupen des Schwammspinners (*Lymantria dispar*) auf ca. 30 ha auf. Es kam jedoch nicht zu großflächigen Entlaubungen.

Die Raupen des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea*) traten in Baden-Württemberg 2010 und 2011 verbreitet in Erscheinung, die Fraßschäden in Wäldern waren aber meist gering. Diese Raupen müssen vor allem wegen ihrer Gefahr für die menschliche Gesundheit beachtet werden.

In Eichenbeständen in der Region Franken kam es im Sommer 2011 zu teilweise erheblichen Ausfällen durch Befall des Eichenprachtkäfers (*Agrilus biguttatus*), nachdem diese betroffenen Bestände in den Jahren 2009 und 2910 stark von Eichenwicklern und anderen Raupen der Eichen-Schadgesellschaft befressen und danach noch stark von Mehltau (*Microsphaera alphitoides*) befallen worden waren.

In den Hardtwäldern Nordbadens werden nach wie vor teilweise beträchtliche Schäden durch **Waldmaikäfer**-Engerlinge (*Melolontha hippocastani*) an jungen Laub- und Nadelbäumen festgestellt. 2011 war Flugjahr des „Südstamms“ in den Waldgebieten zwischen Rastatt und Graben-Neudorf. An einigen Orten kam es zu Kahlfraß an Laubbäumen durch den Reifefraß der Käfer, vor allem an Eichen und Roteichen (Abb. 42). Die betroffenen Bäume belaubten sich wieder während des Frühsommers, wurden aber z. T. später noch vom Mehltau befallen.

Abb. 43: *Eschentriebsterben*

Abb. 42: *Fraßschäden durch Maikäfer (Foto: Eiko Wagenhoff)*

Bei den durch Pilze verursachten Krankheiten tritt weiterhin vermehrt der **Tannenkrebs** (Erreger: *Melampsorella caryophyllacearum*) in Erscheinung, der in Stangen- und Baumhölzern in feuchten Lagen auch zum Absterben von Bäumen führen kann. An Douglasien wurde 2010 und 2011 an einigen Orten starker Befall durch die **Rußige Douglasienschütte** (*Phaeocryptopus gäumannii*) festgestellt, der zu beträchtlichen Nadelverlusten in allen Altersklassen führen kann, meist allenfalls in jüngeren Beständen bedrohlich ist.

Immer noch zunehmend waren auch 2011 die Schäden durch das 2009 erstmals in Baden-Württemberg nachgewiesene **Eschentriebsterben** (ETS). Diese durch den Pilz *Neohymenoscyphus pseudoalbidus* hervorgerufene Krankheit tritt in allen Altersklassen auf. Während ältere Eschen bisher meist nur Kronenschäden aufgrund des Absterbens peripherer Kronenäste zeigen, kommt es in Jungwüchsen bereits zu beträchtlichen Ausfällen durch die Krankheit. Vereinzelt mussten aber bereits auch stark befallene Alt-Eschen eingeschlagen werden (Abb. 43).

6 STOFFEINTRÄGE

Die Wälder leisten einen hohen Beitrag zur aktiven Luftreinhaltung. Mit ihrer großen Blatt- und Nadeloberfläche filtern Wälder Schadstoffe sowie Feinstäube aus der Luft heraus und lagern diese ab. Der Schadstoffeintrag in die Wälder ist daher im Mittel ca. zwei bis dreimal so hoch wie im benachbarten Freiland.

Der erhöhte Eintrag von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in die Wälder führte in den letzten Jahrzehnten zu einer deutlichen Veränderung der Waldböden. Die anthropogen eingetragenen Luftschadstoffe („Saurer Regen“) lösen eine Bodenversauerung aus, die die Funktion der Waldböden in weiten Teilen Baden-Württembergs massiv beeinträchtigt. Eine starke Bodenversauerung führt zu einer Verminderung der Nährstoffvorräte im Boden, da die eingetragenen Säuren eine Auswaschung wichtiger Nährelemente bzw. Verlagerung dieser in tiefere, den Bäumen kaum erschließbaren Bodenschichten bewirken. Zusätzlich werden bei einer starken Versauerung toxische Aluminiumionen freigesetzt. Beide Effekte führen dazu, dass die für die Versorgung wichtigen Feinwurzeln eines Baumes nur in den oberen Bodenschichten überleben können, da hier die Nährstoffversorgung ausreichend hoch und die toxische Aluminiumbelastung von gelösten organischen Verbindungen maskiert wird. Eine mangelnde und unnatürlich flache Durchwurzelung des Bodens kann insbesondere in länger anhaltenden Trockenphasen zum entscheidenden Schadfaktor für die Bäume werden.

Neben diesen für die Wälder wichtigen Bodenfunktionen der Durchwurzelung und Nährstoffbereitstellung wird durch eine starke Versauerung der Waldböden auch deren Filter- und Pufferfunktion langfristig geschädigt. Dies kann sich negativ auf die Trinkwasservorsorge im Wald auswirken, da wassergefährdende Stoffe – wie Nitrat, organische Säuren oder toxische Metalle – nicht mehr ausreichend gefiltert bzw. abgepuffert werden und so ins Grundwasser gelangen.

Dank einer konsequenten Luftreinhaltepolitik konnte der Schadstoffeintrag in die Wälder Baden-Württembergs in den letzten Jahrzehnten deutlich gesenkt werden. Insbesondere der starke Rückgang der Schwefeleinträge durch den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen in der Großindustrie und die Verwendung von schwefelärmeren Brennstoffen führte zu einem deutlich verminderten Gesamtsäureeintrag in die Wälder Baden-Württembergs. Aktuelle Modellrechnungen, basierend auf dem Depositionsmessnetz der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA), zeigen auf Landesebene, nach einer Zeit sehr hoher Säureeinträge in den 1970er und 1980er Jahren, eine weitgehende Reduktion der Säurebelastung in Waldgebieten (Abb. 44).

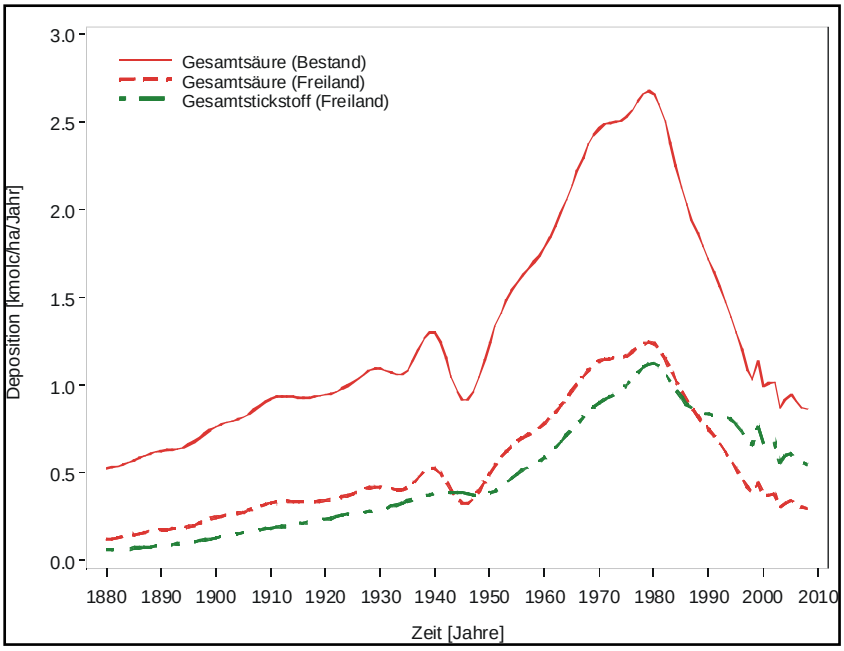


Abb. 44: *Trendverlauf der mittleren Gesamtsäureeinträge in Baden-Württemberg in Fichtenbeständen und im Freiland, sowie der mittleren Gesamtstickstoffeinträge*

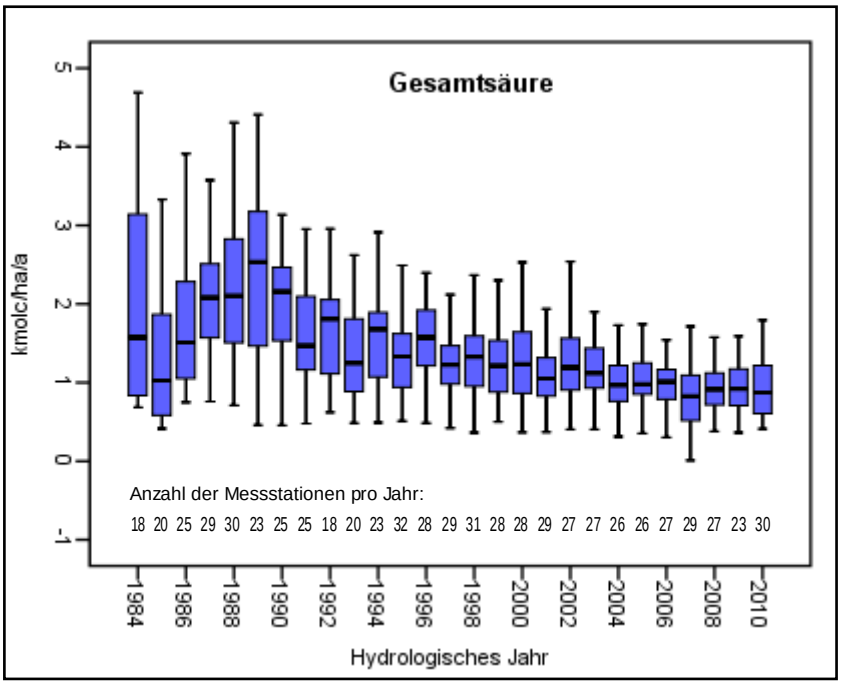


Abb. 45: *Entwicklung der Gesamtsäureeinträge von 1984 bis 2010 auf dem Depositionsmessnetz Baden-Württembergs (Mittelwert aller Stationen je Jahr)*

In Baden-Württemberg werden Stoffeinträge auf dem sogenannten Depositionsmessnetz gemessen, welches sich aus 20 Messstationen im Wald zusammensetzt. Eine Station ist dabei als jährlich wechselnde Messstation angelegt, um die hohe räumliche Variabilität besser abbilden zu können. Gemessen werden sowohl die Gesamtsäure- als auch die Stickstoffeinträge jeweils vergleichend unter einem Fichten- bzw. Buchenbestand und einer benachbarten Freifläche (Abb. 45).

Die Säureeinträge setzten sich aus Sulfat (SO_4), Nitrat (NO_3), Chlorid (Cl) und Ammonium (NH_4) zusammen. Die Deposition von Sulfat und Nitrat stammen überwiegend aus der Verbrennung fossiler Energieträger, die von Chlorid aus der Verbrennung von Kunststoffen. Dagegen werden die anthropogenen Ammoniumeinträge zu einem erheblichen Teil durch Intensivtierhaltung (Geflügel-, Rinder- und Schweinezucht) freigesetzt. Abbildung 46 zeigt den zeitlichen Verlauf der Säureeinträge als Mittelwert aller Depositionsmessflächen für das gesamte Land Baden-Württemberg jeweils vergleichend für die Freifläche bzw. Baumbestand. Der Gesamtsäureeintrag hat sich in dem Beobachtungszeitraum auf nahezu ein Drittel reduziert. Alle gemessenen Säurekomponenten zeigen in der Deposition einen abnehmenden zeitlichen Verlauf, wobei die Reduktion von Sulfatschwefel bis Ende der 1990er Jahre am stärksten ausfällt.

Gesamtsäureeinträge

In der räumlichen Betrachtung der Gesamtsäureeinträge in Baden-Württemberg zeigen sich die höchsten Depositionen entlang des Schwarzwaldwestkammes und des westlichen Odenwaldes, während auf der windabgewandten Seite des Schwarzwaldes die Säureeinträge deutlich geringer sind. Bis auf die Buchenfläche in Altensteig weisen alle Buchenflächen im Vergleich zu den in unmittelbarer Nachbarschaft gelegenen Fichtenflächen einen signifikant geringeren Säureeintrag auf, da die ganzjährig benadelten Fichtenbestände eine höhere Oberfläche aufweisen und somit mehr Schadstoffe aus der Luft herausfiltern. Mit Werten zwischen 0,3 und 1,8 $kmol_c$/ha/Jahr liegen die Säureeinträge im Jahr 2010 in etwa auf dem Niveau des Vorjahres (Abb. 47, links).

Stickstoffeinträge

Mit Werten zwischen 5,7 und 40,8 kg/ha/Jahr liegen die Stickstoffeinträge landesweit weiterhin auf einem hohen Niveau. Mit Ausnahme der Fläche Hockenheim werden lediglich im Windschatten des Schwarzwaldes niedrige Stickstoffeinträge gemessen. Im stark landwirtschaftlich geprägten Ostteil Baden-Württembergs ist der Ammoniumanteil meist höher als im übrigen Teil des Landes, in dem der Nitratanteil, der hauptsächlich dem Individualverkehr zurechenbar ist, meist deutlich überwiegt. Auf dem Westkamm des Südlichen Schwarzwaldes ist zudem die berechnete Stickstoffaufnahme der Baumkronen im Vergleich zu allen anderen Stationen des Depositionsmessnetzes am höchsten (Abb. 47, rechts).

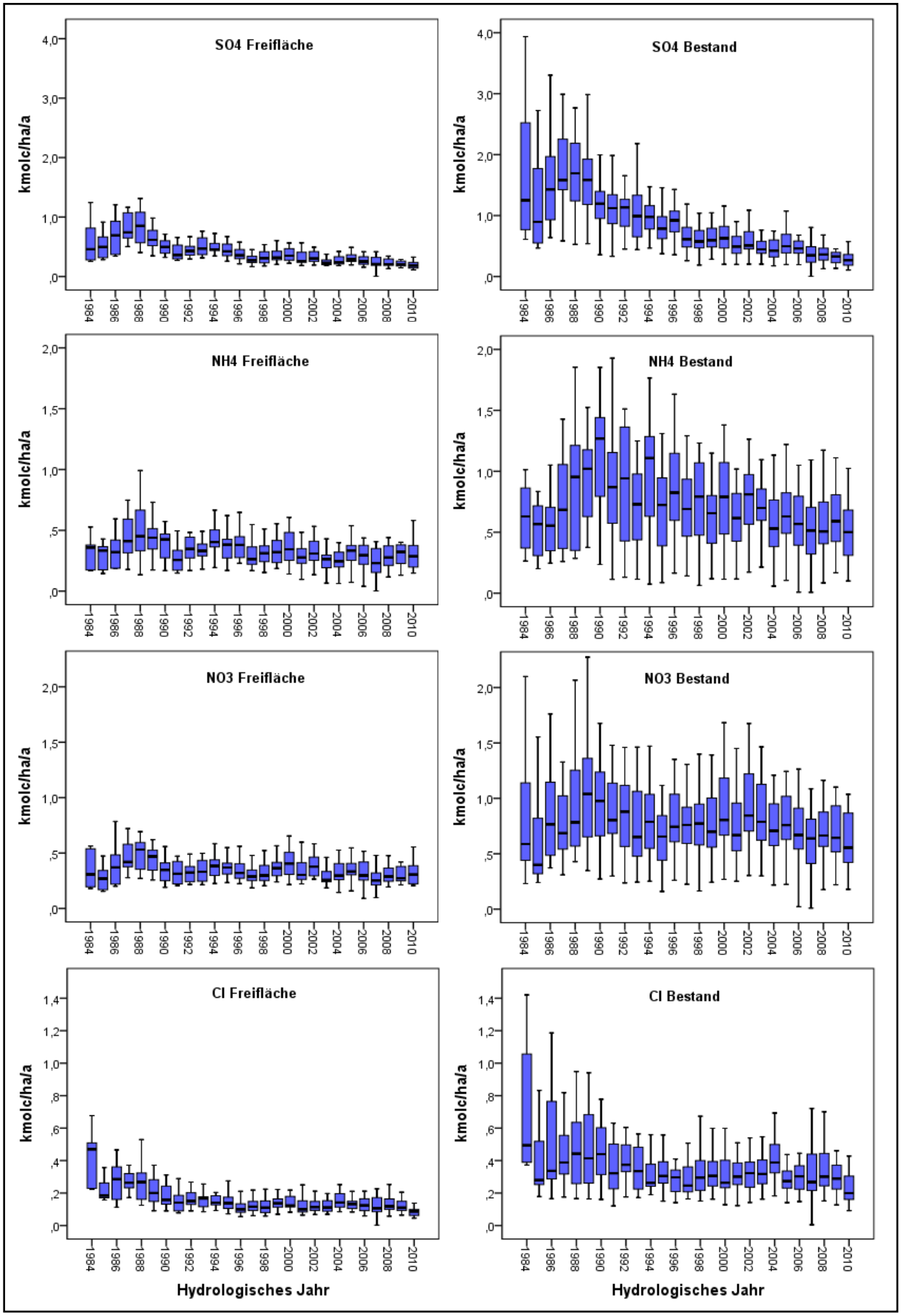


Abb. 46: *Entwicklung der einzelnen Säurebildner auf den Depositionsmessstationen Baden-Württembergs (Mittelwerte aller Stationen je Jahr)*

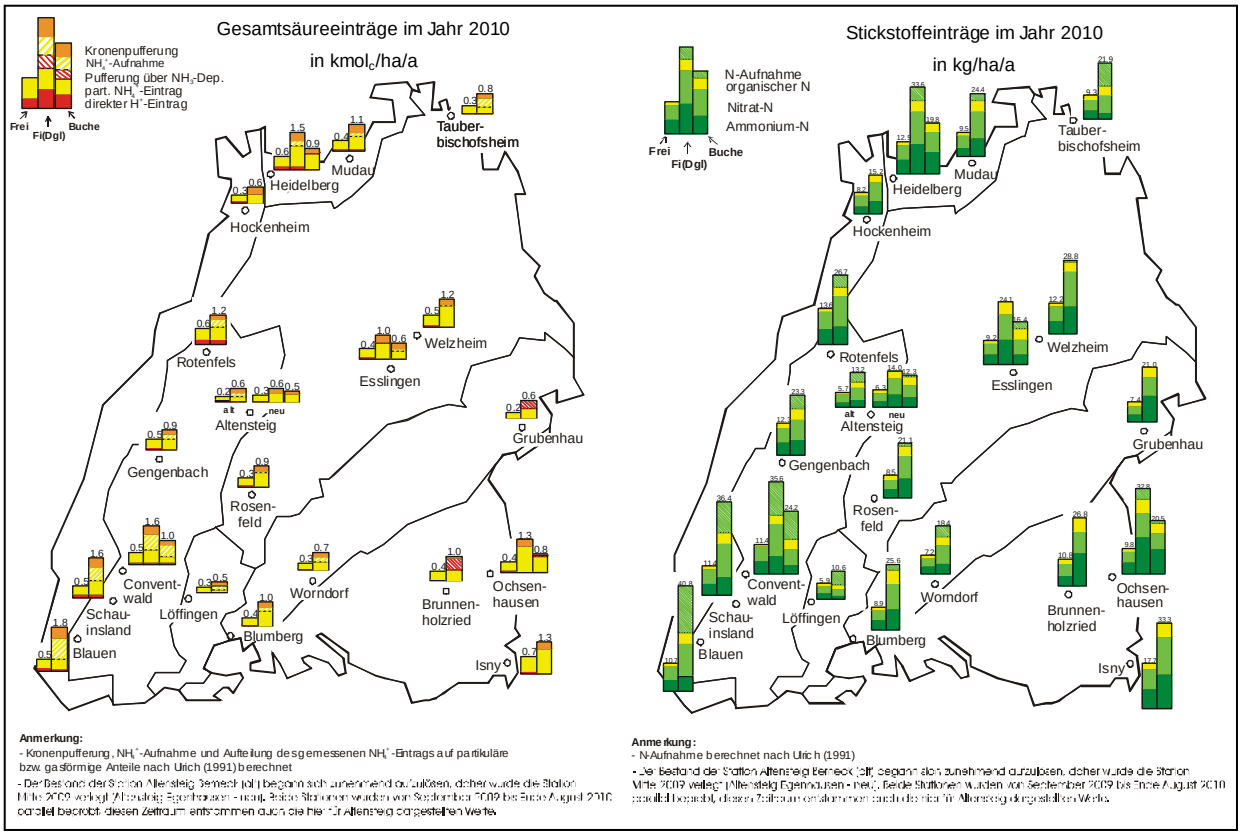


Abb. 47: *Deposition 2010: Gesamtsäureeintrag (links), Stickstoffeintrag (rechts)*

Ozonbelastung

Im Gegensatz zu den „klassischen“ Luftschadstoffen, wie Schwefel- und Stickstoffverbindungen, ist Ozon ein sekundär gebildetes Gas, welches erst unter der Einwirkung von Sonnenlicht aus der Reaktion von Stickoxiden und flüchtigen Kohlenwasserstoffen entsteht. Da hierfür Sonnenenergie benötigt wird, kommt es in der Regel nur in den Sommermonaten zu erhöhten Ozonkonzentrationen. Das farblose, stark oxidierende Gas zerstört wichtige Funktionen des Zellapparates der Pflanze, indem es über die Spaltöffnungen in das Innere der Nadeln bzw. Blätter eindringt und dort für die Photosynthese wichtige Zellen nachhaltig schädigt (WSL 2009). Bei den geschädigten Pflanzen zeigen sich typische Schadsymptome an Nadeln und Blättern. Auf der Blattoberseite sind punktförmige, chlorotische Flecken („Stippling“) zwischen den Blattnerven zu erkennen, die bei stärkerer Schädigung zu flächigen Nekrosen zusammenwachsen können. Auf der Blattunterseite sind derartige Symptome i.d.R. nicht zu finden, da zunächst nur die obersten Partien der Pallisadenzellen des Blattes geschädigt werden. Trotz vergleichbarer geringer Ozonkonzentration im Sommer 2011 wurden auf den FutMon-Flächen in Heidelberg, Conventwald (St. Märgen) und Esslingen Schädigungen durch Ozon an der Baumart Buche festgestellt (Abb. 48).

Abb. 48: *Schäden auf der Blattoberseite durch Ozon an Buchenblättern*

7 AUSWIRKUNGEN VON WITTERUNGSFAKTOREN AUF DAS BAUMWACHSTUM

In den vergangenen zehn Jahren waren die Winter meist schneearm und im Frühjahr etablierten sich häufig lang andauernde, warm-trockene Hochdruckwetterlagen. Im Winter konnte der Bodenwasservorrat nicht maximal aufgefüllt werden, so dass in dem darauffolgenden trockenen Frühjahr die Bodenwasservorräte schnell aufgebraucht wurden und für das Baumwachstum kritische Trockenheit erreicht wurde. Es hängt von Intensität und Dauer dieser ungewöhnlichen Frühjahrstrockenheit und auch von der danach sich ggf. entwickelnden Wiederbefeuchtung ab, wie stark sich diese „Extremwetterlagen“ auf die Baumphysiologie, das Wachstum und auch auf die Fruktifikation im Sinne einer „Notreaktion“ auswirken.

Phasen mit deutlichen Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten traten an den beiden dargestellten Wetterstationen Freiburg und Freudenstadt mit sehr ähnlichen zeitlichen Mustern auf, obwohl diese beiden Stationen sich in ihrer orographischen Lage extrem unterscheiden. Trockene Spätwinter- und Frühjahrswetterlagen mit Niederschlagsdefiziten bis ca. 60% gegenüber dem langfristigen Mittelwert traten mit 3 bis 9 Monate dauernden Trockenphasen in den Jahren 2003, 2004, 2010 und 2011, mit

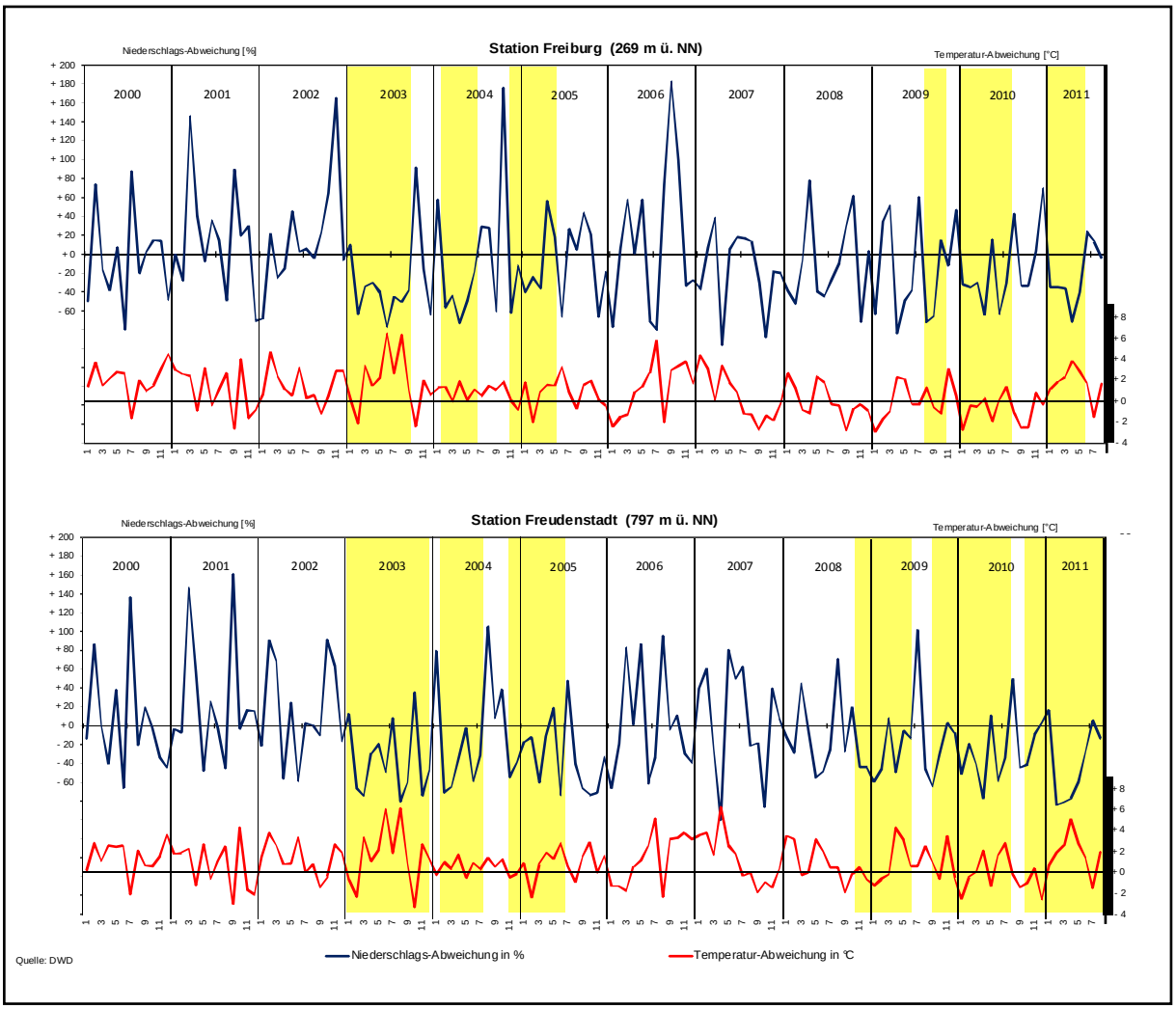


Abb. 49: *Abweichung für die monatliche Niederschlagssumme (%) und Monatsmitteltemperatur (°C) vom langjährigen Mittelwert (Klimanormalperiode 1961 – 1990) für die DWD – Wetterstationen Freiburg (oben) und Freudenstadt (unten). Gelbe Markierung = trockene Spätwinter-/Frühjahrssituationen*

kürzeren, mehrfach unterbrochenen Trockenphasen in 2005 und 2009 auf. In den Jahren 2003, 2005 und 2011 war dieses Niederschlagsdefizit gegenüber der langjährigen Temperatur von einer zwischen 2 und 4 – 5 °C wärmeren durchschnittlichen Tagesmitteltemperatur begleitet. In den Jahren 2004 und 2010 lagen die Durchschnittstemperaturen im Frühjahr nahe am langfristigen Mittelwert. Diese Witterungsanomalien umfassten im Frühjahr jeweils die Monate Januar bis Mai, in den Jahren 2003 und 2011 dauerten sie länger, bis in den Juli hinein an. An der Station Freudenstadt, in den Hochlagen des Schwarzwaldes, waren diese Abweichungen gegenüber dem langfristigen Mittelwert stärker ausgeprägt und äußerten sich in längeren, zusammenhängenden Trockenphasen als im Oberrheingraben an der Station Freiburg (Abb. 49).

An den Level II Stoffflussmessstationen werden Wasserspannung und Wassergehalt in stündlicher Auflösung gemessen, so dass die Wasserverfügbarkeit im Boden in einer quasi kontinuierlichen Datenreihe ausgewertet werden kann. Diese Messungen finden an den Stationen Conventwald (bei Freiburg), Altensteig, Heidelberg, Baltmannsweiler bei Esslingen und Steinhausen bei Ochsenhausen seit 2010 parallel in je einem Fichten- und einem Buchenbestand statt. Beide Bestände sind in Bezug auf Boden und Geländesituation, sowie dem Alter des Waldbestands weitgehend vergleichbar, so dass ein unverzerrter Baumartenvergleich möglich ist.

Neben den Wasserhaushaltsmessungen wird an allen an der oberen Baumschicht beteiligten Bäumen auf den 0,25 ha großen Versuchsflächen mittels Umfangmessbändern einmal jährlich der Jahreszuwachs erfasst. Auf den Messflächen Heidelberg und Ochsenhausen wurde an je 3 Buchen und 3 Fichten mit sehr fein auflösenden (20-30 µm) Weggebern der zeitliche Verlauf des Baumzuwachses in stündlichen Werten gemessen (Abb. 50). Im Folgenden werden diese Messungen gezeigt und diskutiert. Diese Messungen sind geeignet, den Zusammenhang zwischen den oben gezeigten Witterungsanomalien, der Wasserverfügbarkeit im Boden und dem Wachstumsverlauf der Bäume herauszuarbeiten.

Die an den Fichtenbeständen der Level II Flächen Heidelberg, Altensteig, Esslingen, Conventwald und Ochsenhausen vorliegenden Zeitreihen von mittels Umfangmessbändern gemessenen Jahreszuwachsdaten zeigen in Jahren mit günstigen Wachstumsbedingungen einen Durchschnittzuwachs von 4 bis 5 mm. Lediglich Esslingen hat mit 2 bis 3 mm einen deutlich niedrigeren Zuwachs. Das liegt am Boden dieses Standorts, der aus Kleinflächen mit reinem Sand und Ton besteht, beides Bodenarten, die nur geringe Mengen Wasser in pflanzenverfügbarer Form speichern können. Lehmböden dagegen speichern sehr viel mehr pflanzenverfügbares Wasser und können so in Trockenperioden die Bäume länger mit Wasser versorgen.

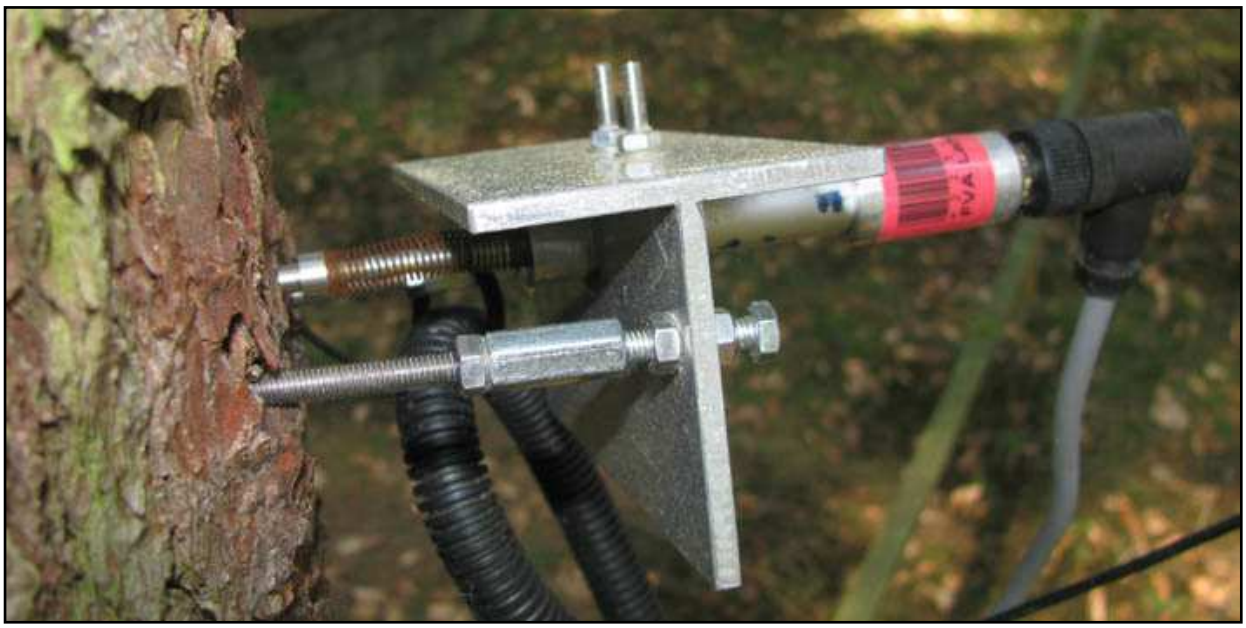


Abb. 50: *Messungen des Baumzuwachses mit einem Dendrographen auf Level II - Versuchsflächen*

Im Extrem-Trockenjahr 2003 und den drei Folgejahren sind für alle Standorte gegenüber der übrigen Zeitreihe deutlich niedrigere Jahreszuwächse zu beobachten (Abb. 51). Dabei ist zu beachten, dass diese Daten keine Einzelbaumdaten, sondern Mittelwerte aus 20 – 110 herrschenden Bäumen sind und dadurch wenig Störungen von kleinstandörtlichen Variationsursachen aufzeigen. In Altensteig hat sich der Beobachtungsbestand aufgelöst, so dass in den letzten 3 Jahren nur 5 bis 8 Bäume zur Verfügung standen.

An den Standorten Heidelberg, Conventwald und Esslingen war der Jahreszuwachs 2010 ebenfalls niedriger als der Durchschnitt, was mit der oben gezeigten Frühjahrstrockenheit erklärt werden kann.

An den Level II Flächen Conventwald und Ochsenhausen konnten durch die mit den elektronischen Weggebern zeitlich hoch auflösend gemessenen Zuwachsdaten zusätzlich zu den jährlichen Zuwachsdaten eine zeitlich exakte Parallelisierung zwischen Zuwachsreaktionen und Bodenwasserverfügbarkeit durchgeführt werden. So können z.B. Wachstumsreaktionen auf Trockenphasen direkt beobachtet und interpretiert werden. Die Auswertung war nur im Jahr 2011 möglich, da nach einer längeren Installationsphase erst da alle Messgeräte zur Erfassung des Bodenwasserhaushalts und der Baumdurchmesser fehlerfrei funktionierten.

Die aufgrund der Witterungsparameter der Abweichung der Niederschlagssumme und der Lufttemperatur vom langjährigen Mittelwert im Jahr 2011 von den ersten Januartagen an deutlich erkennbare Frühjahrstrocknis (Abb. 49) bildet sich mit einer Zeitverzögerung von ca. 3 Monaten auch in den Zeitreihen der Bodenwasserverfügbarkeit ab (Abb. 52). Im Frühjahr 2011 wird die Grenze der Saugspannung des Bodenwassers von 1000 – 1200 hPa, die baumphysiologisch relevanten Trockenstress signalisiert (v.WILPERT, 1990, 1991), ab Mitte Mai für die Buchenvarianten an beiden Standorten im Hauptwurzelraum unterschritten. In den Fichtenvarianten führt die Ausschöpfung des Bodenwasservorrats im Frühjahr nicht zu Saugspannungen, die physiologisch relevanten Trockenstress auslösen.

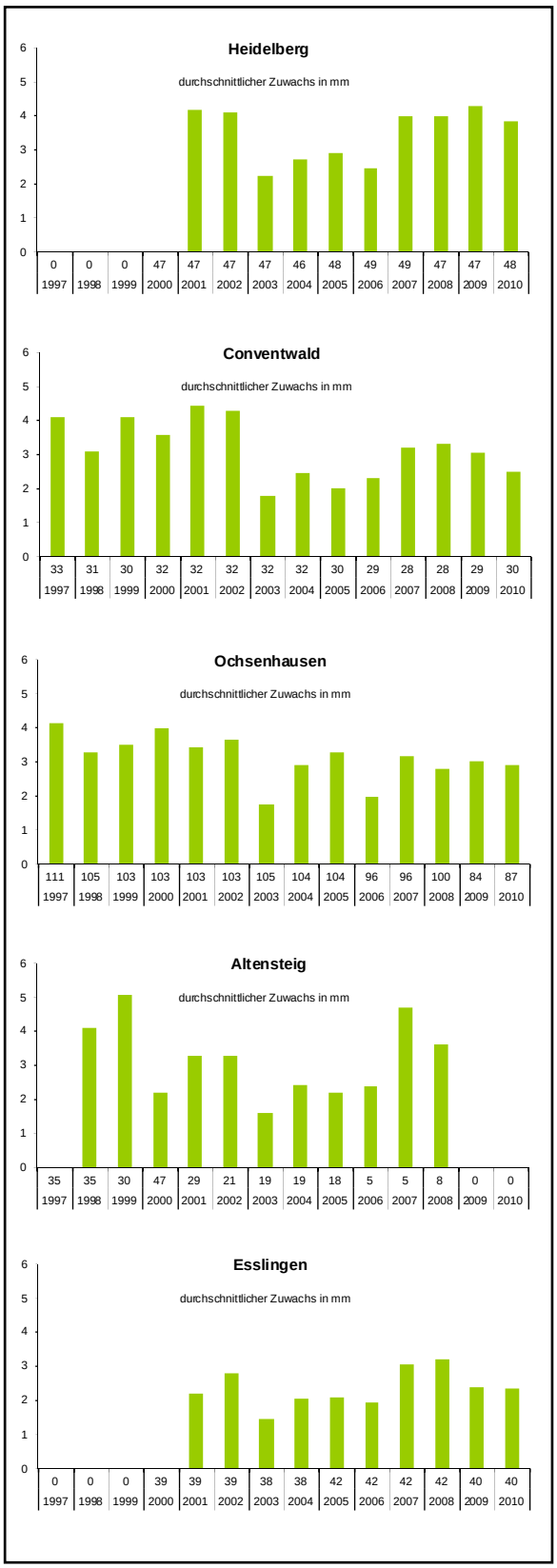


Abb. 51: *Zeitreihe des durchschnittlichen Zuwachs (mm) in den Fichtenbeständen der Level II Flächen Heidelberg, Conventwald, Ochsenhausen, Altensteig und Esslingen. Abszissen: Jahre und Anzahl Beobachtungsbäume*

Die Austrocknung und insbesondere die Wiederauffüllung des Bodenwasservorrats verläuft am Standort Conventwald, dessen Boden eine sehr viel höhere Wasserdurchlässigkeit aufweist, schneller als auf der Bobachtungsfläche Ochsenhausen, die durch Moränenlehme mit geringer Wasserleitfähigkeit, aber höherer Wasserspeicherkapazität gekennzeichnet ist. Insgesamt dauert die Phase physiologisch relevanter Austrocknung im Conventwald mit 2 bis 3 Wochen etwa halb so lang wie in Ochsenhausen. Der Bodenwasserhaushalt im Conventwald ist stärker von aktuellen Witterungsabläufen geprägt als in Ochsenhausen, wo der Bodenwasserspeicher den Wasserhaushalt ausgleichen kann.

In Ochsenhausen erkennt man, dass in 60 cm Bodentiefe auch in stark ausgeprägten Trockenphasen die Bodenwasserverfügbarkeit gegenüber 30 cm deutlich erhöht ist, während im Conventwald die Erhöhung der Saugspannung in beiden Bodentiefen nahezu synchron verläuft. Das heißt, dass der besser belüftete Boden im Conventwald gleichmäßiger und tiefer durchwurzelt ist und so der Bodenwasservorrat über den gesamten Wurzelraum in Trockenphasen sehr schnell ausgeschöpft wird.

Der Verlauf des Bodenwasservorrats ist in der Abbildungen 53 dargestellt. Insgesamt sieht man, dass der Bodenwasservorrat die Trockenphase im Frühjahr wesentlich unschärfer nachzeichnet als die Saugspannung. Die oben

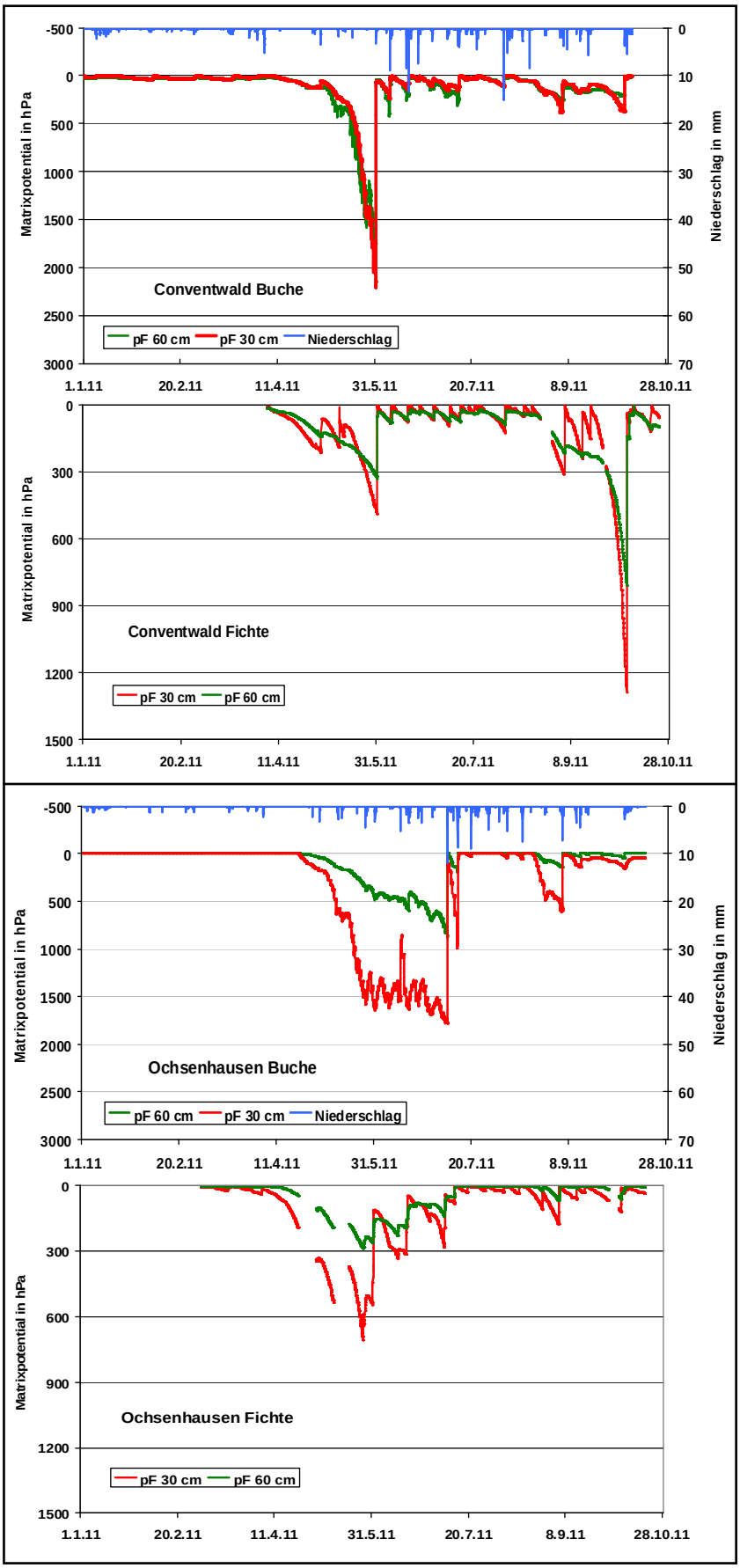


Abb. 52: *Zeitreihe der Bodenwasser - Saugspannung (hPa) für 2011 in 30 und 60 cm Tiefe in der Buchen- und Fichtenvariante der Level II Flächen Conventwald (oben) und Ochsenhausen (unten)*

erwähnte hohe Reagibilität des Bodenwasservorrats im Conventwald auf den aktuellen Witterungsverlauf ist aber besonders gut anhand dieses Parameters zu sehen – einzelne Niederschlagsereignisse sind als Aufsättigungsspitzen in beiden Bodentiefen nahezu gleich intensiv zu beobachten, während in Ochsenhausen in der Trockenphase Niederschläge zwar die 30 cm Bodentiefe erfassen, aber in 60 cm nicht mehr erkennbar sind.

Der Bodenwasservorrat ist in Ochsenhausen mit 20 bis > 40 Vol% höher als im Conventwald, wo der Bodenwasservorrat zwischen 15 und 30 Vol% beträgt und nur in kurzen, nicht länger als einen Tag andauernden Spitzen 40 Vol% erreicht. Diese von Starkregen ausgelösten Sättigungsspitzen werden entweder zeitnah von den Bäumen aufgenommen oder versickern schnell. Die Absenkung des Bodenwasservorrats während der Trockenphase beträgt im Conventwald im Buchenbestand ca. 10 Vol% und im Fichtenbestand etwa halb so viel. In Ochsenhausen ist die Ausschöpfung mit ca. 15 Vol% im Buchenbestand stärker und mit ca. 3 Vol% im Fichtenbestand schwächer ausgeprägt.

In den Abbildungen 54 und 55 sind jeweils für drei Buchen und drei Fichten die kurzzeitigen Wachstumsreaktionen der Bäume an den Versuchsflächen Conventwald und Ochsenhausen dargestellt. Im Vergleich zu den durchschnittlichen Zuwachsraten in Abbildung 51 ist zu beachten, dass die hier dargestellten Werte

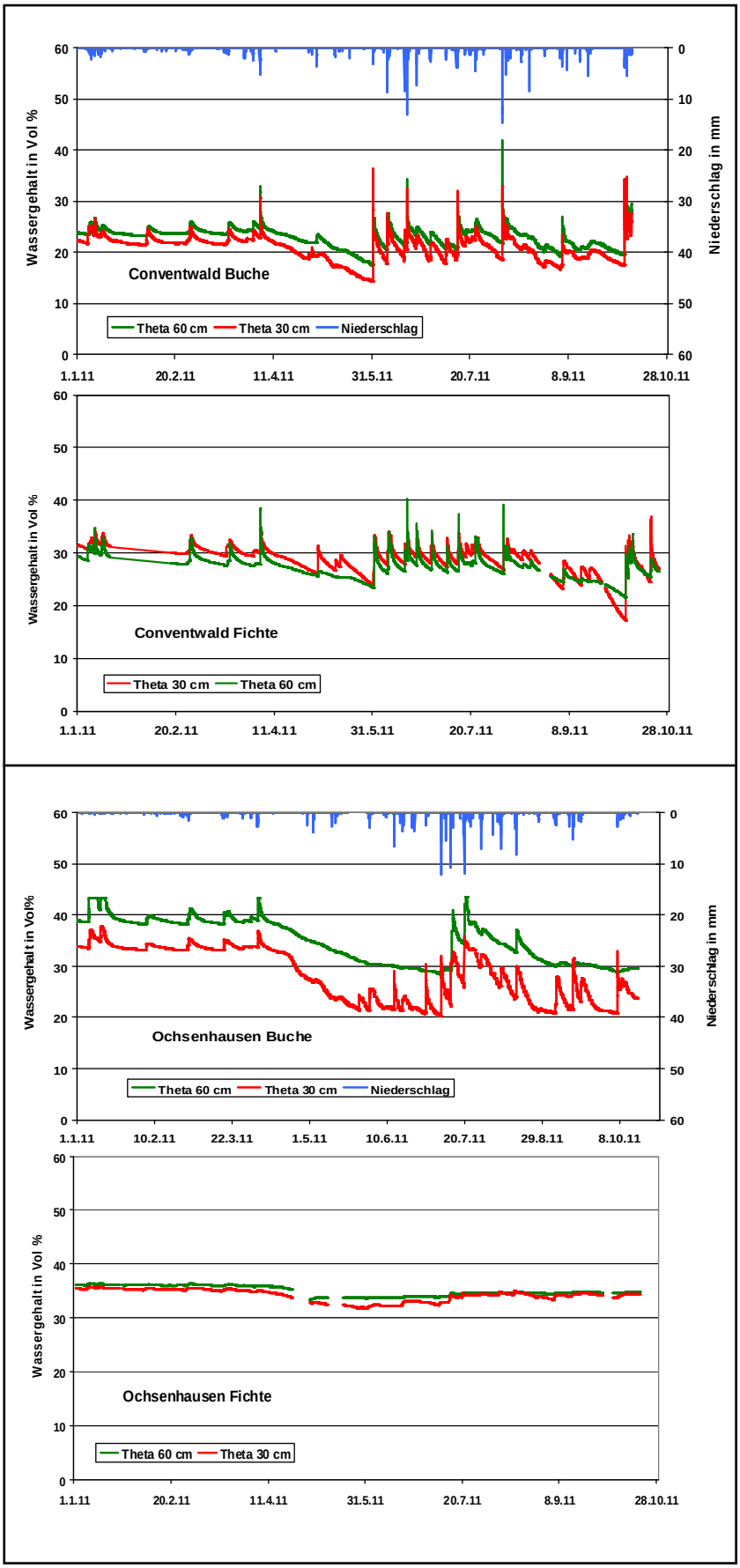


Abb. 53: *Zeitreihe der Bodenwassergehalts (Vol%) für 2011 in 30 und 60 cm Bodentiefe in der Buchen- und Fichtenvariante der Level II Fläche Conventwald (oben) und Ochsenhausen (unten)*

Radialzuwachsdaten sind, also für den Vergleich mit den Durchmesserzuwächsen verdoppelt werden müssen. Außerdem gehören die Bäume, an denen die Radialzuwachsdaten gemessen wurden, zur allerobersten Baumschicht, während die Umfangmessbänder an allen in der Kronenschicht beteiligten Bäumen, also auch an zwischenständigen, schwächer wüchsigen Bäumen angebracht sind. Trotzdem entsprechen die mittels der Dendrographen gemessenen Zuwachsdaten größenordnungsmäßig denjenigen der Messungen mit Umfangmaßbändern – sie betragen bei den Fichtenbeständen mit Zuwachswerten zwischen 3 und 6 mm/a ca. 130 – 150% der in Abbildung 51 gezeigten Werte, was aus den oben genannten Gründen plausibel erscheint.

Der Holzzuwachs setzt an beiden Standorten mit geringen Terminunterschieden innerhalb etwa einer Woche in der Zeit vom 25.04.2011 bis 05.05.2011 ein, wobei die Bäume im Conventwald wenige Tage früher als in Ochsenhausen mit dem Wachstum

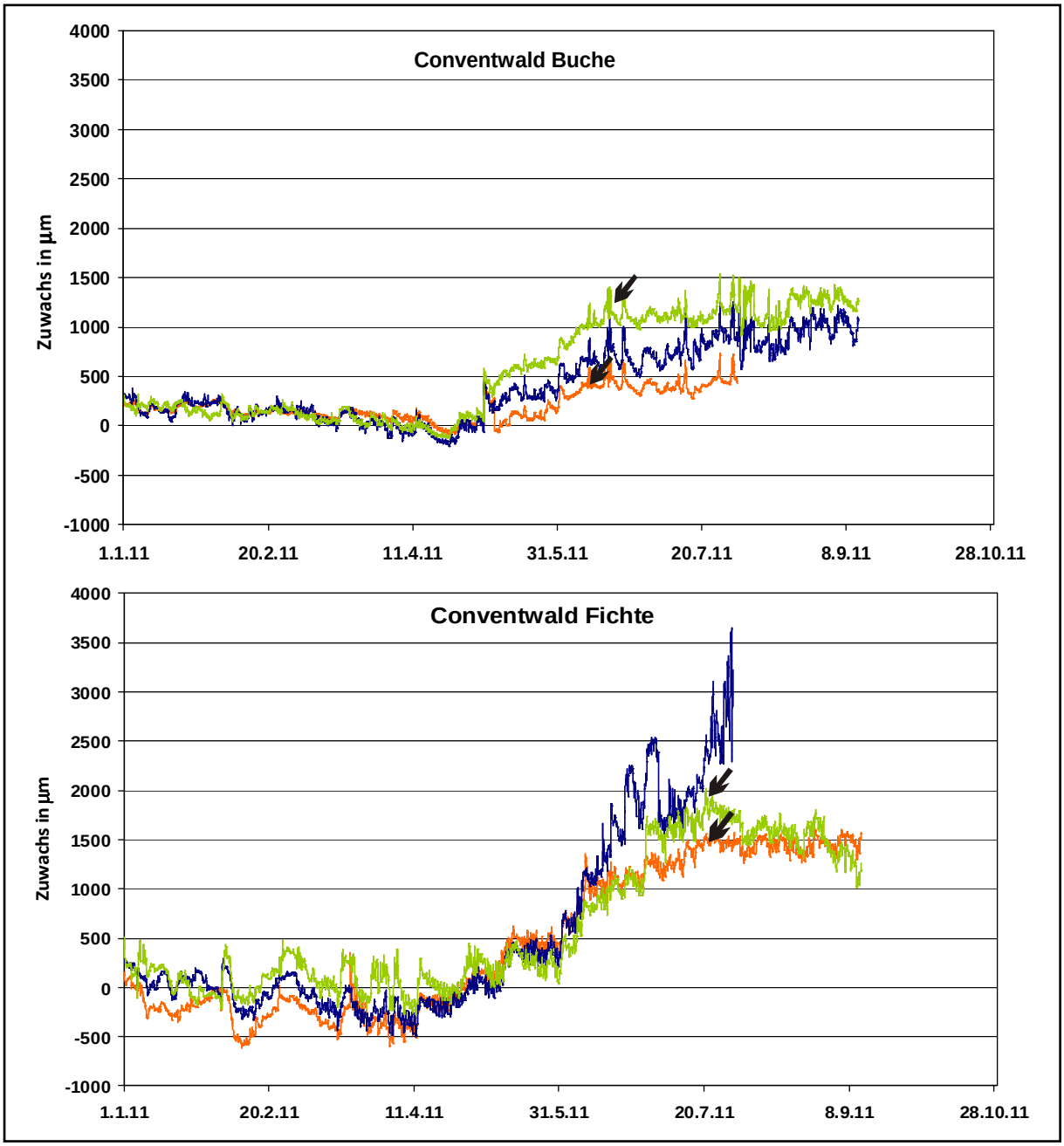


Abb. 54: *Zeitreihe des Jahrringbreiten - Wachstums (µm) für 2011 und je drei vorherrschende Bäume in der Buchen- und Fichtenvariante der Level II Fläche Conventwald. Pfeile zeigen das vorzeitige Ende der Wachstumsperiode*

begannen. Die ab Mitte Mai zumindest in den Buchenflächen ein schadensrelevantes Ausmaß erreichende Frühjahrstrocknis, ist zu diesem Zeitpunkt in den Zuwachsverläufen nicht in Form einer Unterbrechung oder deutlichen Verflachung zu erkennen. Offensichtlich ist in den Bäumen in dieser Frühjahrsphase ein ausreichender Feuchtevorrat gespeichert, um das Wachstum noch 1 – 1 ½ Monate aufrecht zu erhalten. Die Trockenphase reichte jedoch aus, um zu einem stark verfrühten Wachstumsabschluss bei den meisten Untersuchungsbäumen zu führen. Im Conventwald stellten zwei Buchen das Wachstum zwischen dem 12. und 18. Juni ein, eine Buche wuchs noch sehr schwach weiter. Bei den Fichten im Conventwald trat ebenfalls bei zwei der drei Bäume das Ende des Baumwachstums etwa einen Monat später um den 21. Juli ein, während ein Baum nach einer kurzen Wachstumsunterbrechung mit hoher Intensität weiter wuchs. Der Befund, dass die Auswirkung der Frühjahrstrocknis auf das Baumwachstum bei der Buche erheblich stärker ausgeprägt war, als bei der Fichte, korrespondiert mit der geringeren

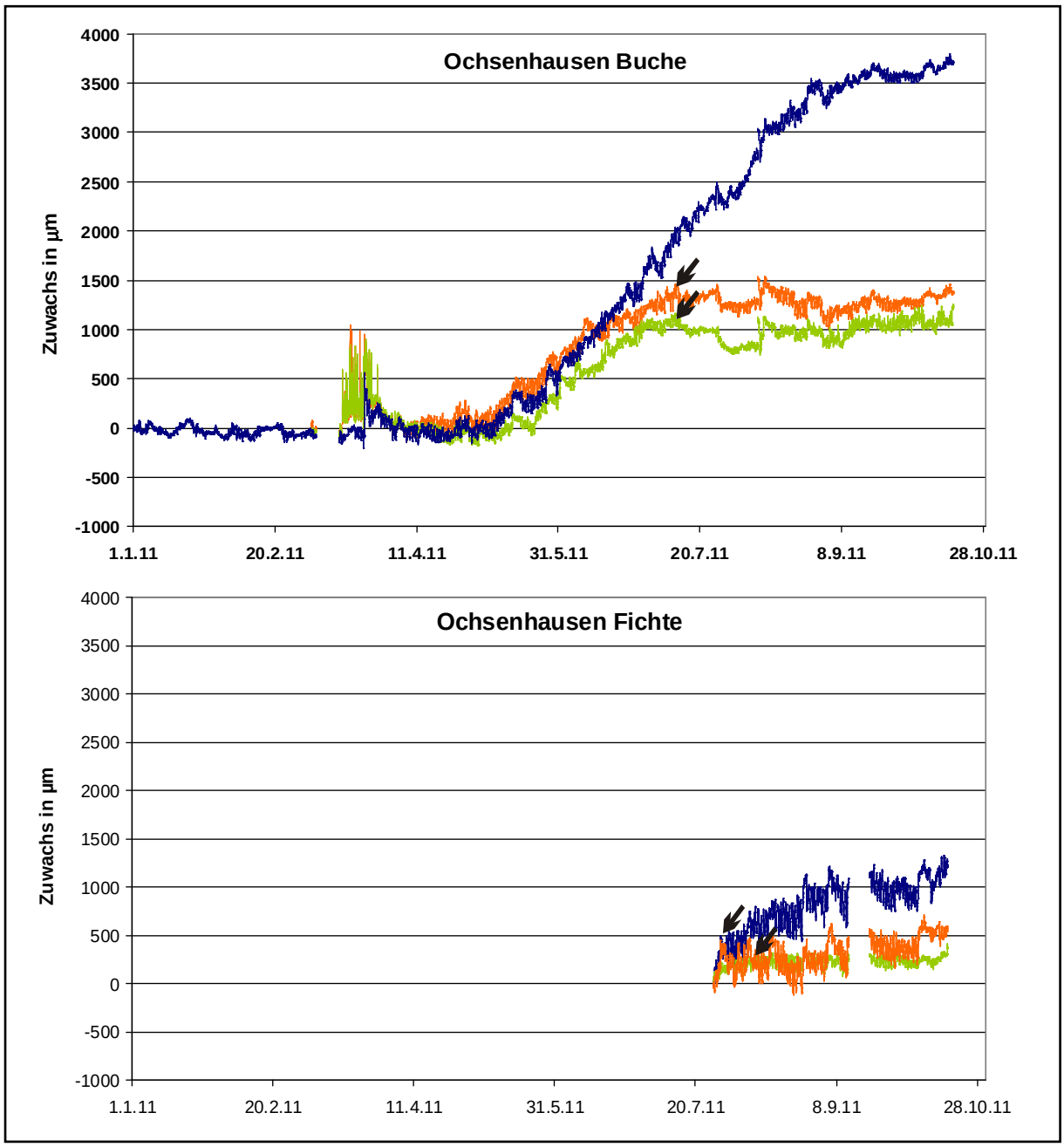


Abb. 55: *Zeitreihe des Jahrringbreiten - Wachstums (µm) für 2011 und je drei vorherrschende Bäume in der Buchen- und Fichtenvariante der Level II Fläche Ochsenhausen (bei Fichte durch Ausfall der Messgeräte nur Daten seit 26.7.2011). Pfeile zeigen das vorzeitige Ende der Wachstumsperiode*

Trockenheitsintensität der Waldböden bei der Fichte, die zu keinem Vitalitätsverlust der Fichten führte, während im Buchenbestand diese Schwelle überschritten wurde (Abb. 53).

In Ochsenhausen wuchsen die untersuchten Buchen deutlich stärker als im Conventwald (Abb. 54). Auch hier stellten zwei der drei Bäume das Wachstum deutlich verfrüht, um den 15. Juli herum nach einem Radialzuwachs von ca. 1 – 1,3 mm ein, während ein Untersuchungsbaum einen völlig normalen Wachstumsverlauf zeigte und bis zum regulären Abschluss des Baumwachstums Mitte Oktober einen Radialzuwachs von 3,7 mm erreichte. Die Fichten–Untersuchungsbäume in Ochsenhausen konnten in ihrem Durchmesserzuwachs leider nicht über die gesamte Vegetationsperiode verfolgt werden, da dort die Dendrographen bis zum 25. Juli durch einen technischen Defekt ausgefallen waren. In der restlichen Datenreihe kann man jedoch sehen, dass auch zwei der untersuchten Fichten zwischen 30. Juli und 06. August das Wachstum verfrüht eingestellt hatten.

Die Tatsache, dass durch Trockenphasen eingeschränkte Bodenwasserverfügbarkeit nicht sofort und akut zu Schäden an Bäumen und einer Einschränkung des Wachstums führt, ist nicht unbekannt. KOZLOWSI (1981) hat beschrieben, dass große Bäume mit ihrem Wasservorrat Trockenphasen von 3 bis 6 Wochen ohne, dass Absterbeerscheinungen auftreten, überstehen können. Erst nach dem Verbrauch dieses Wasservorrats wird Trockenstress manifest. Auch der Befund, dass einzelne Bäume bis zum regulären Vegetationszeitende schwach, oder in einem Fall in normalem Umfang weitergewachsen sind, während etwa zwei Drittel der Bäume das Wachstum erheblich verfrüht beendet haben, ist leicht zu erklären, denn Länge und Intensität der Frühjahrstrockenheit hängt von lokalen, kleinräumigen Variationen des Bodenwasservorrats ab. In Geländemulden oder an Unterhängen ist z.B. länger eine hohe Wasserverfügbarkeit gegeben, als in konvexen Geländepartien, da dort Wasser sich durch oberflächennahen Wasserfluss akkumuliert. Die Wasserhaushaltsmessungen konnten jedoch aufgrund des hohen Aufwands nur an einer Stelle der Versuchsflächen durchgeführt werden. Eine vorzeitige jahreszeitliche Seneszenz und Beendigung des Baumwachstums kann durch sommerliche Trockenphasen ausgelöst werden (V. WILPERT 1990, 1991).

Zwei Dinge sind jedoch im Witterungsverlauf des Jahres 2011 und den dadurch ausgelösten Baumreaktionen ungewöhnlich. Unerwartet war, dass diese offensichtlich endogen gesteuerte, vorzeitige Beendigung der Vegetationszeit schon durch ein trockenes Frühjahr ausgelöst wurde und das Baumwachstum trotz der ab Mitte Juni einsetzenden ergiebigen Niederschläge von den meisten Bäumen nicht mehr aufgenommen werden konnte. Die Ausbildung eines sogenannten doppelten Jahrrings, der bei einem plötzlichen Wechsel von extrem trockener zu feuchter Witterung auftreten kann, blieb somit aus. Unter Umständen wurde ein solcher von den wenigen Bäumen, die bis zu „regulären“ Vegetationszeitende gewachsen sind, ausgebildet, was durch eine spätere Beprobung nachzuweisen wäre.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich im Jahr 2011 erneut leicht verbessert. Günstige Witterungsbedingungen, geringer Befall von Schadinsekten sowie eine vergleichsweise geringe Schadstoffbelastung aus der Luft bilden die Rahmenbedingungen für die Ausbildung vitaler Baumkronen. Ein wichtiges Merkmal zur Bestimmung der Vitalität von Waldbäumen ist der Nadel-/Blattverlust, der jährlich an Stichprobenbäumen in Baden-Württemberg auf einem systematischen 8x8 km Rasternetz erhoben wird. Das mittlere Verlustprozent aller Bäume verringert sich im Jahr 2011 um 1,4 Prozentpunkte auf nunmehr 21,2 Prozent. Damit liegt der Schädigungsgrad der Wälder erstmals wieder auf dem Niveau des Extrem-Trockenjahres 2003, in dessen Folge ein außergewöhnlicher Schadensschub ausgelöst worden war, dessen Auswirkungen erst jetzt nach acht Jahren weitgehend überwunden sind.

In ihrem Kronenzustand deutlich verbessern konnten sich vor allem die Baumarten Fichte, Kiefer und Eiche. Vor allem die Baumart Eiche profitiert im aktuellen Jahr von der äußerst geringen Belastung durch blattfressende Raupen und der geringen Ausbreitung von pilzlichen Erregern, wie dem Mehltau, die in den letzten Jahren durch starkem Befall zu deutlichen Kronenschäden bei der Eiche führten. Untersuchungen auf den Level II-Versuchsflächen zeigen, dass trotz des sehr trockenen Frühjahrs die Wasserverfügbarkeit auf den untersuchten Fichtenstandorten in der gesamten Wachstumsphase ausreichend war und so gute Bedingungen für die Fichte zur Ausbildung vitaler Baumkronen herrschten. Der Kronenzustand der Buchen wird in diesem Jahr erneut durch eine außergewöhnlich starke Blüte und Fruchtausbildung beeinflusst. Durch die Anlage von Blütenknospen können die Buchen weniger vegetative Blattorgane ausbilden, was sich deutlich in einer eingeschränkten Verzweigungsstruktur der Buchenkronen äußert (LÜSCHER et al. 1990, SCHMITT 1991). Zudem kommt es bei der Produktion von Bucheckern zu einer Umverteilung der Nährstoffreserven, die eine erhebliche physiologische Belastung für die Bäume darstellt. Bei stark fruktifizierenden Buchen wurden während der Waldschadensinventur im Sommer 2011 deutlich kleinere Blätter, eine vorzeitige Verfärbung und deutlich verfrühter Blattabwurf beobachtet.

Klimastress und Fruktifikation der Buchen

Innerhalb der letzten zehn Jahre ist insbesondere bei der Baumart Buche eine deutliche Zunahme von Jahren starker Fruchtausbildung zu beobachten. Die drei stärksten Mastjahre der Buche fallen im Beobachtungszeitraum der Waldschadensinventur seit 1991 auf die Jahre 2006, 2009 und 2011. Die Tendenz kürzerer Abstände zwischen einzelnen Fruktifikationsereignissen bei der Buche wird im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings aktuell auch aus anderen Teilen des Bundesgebiets gemeldet (MUFV 2009, STMELF 2010). Literaturstudien belegen für die letzten etwa 170 Jahre eine stärkere Fruktifikation bei der Buche (Halbmast und Vollmast) durchschnittlich alle 4,7 Jahre, wobei sich Phasen mit starken und weniger starken Fruktifikationsereignissen abwechseln (PAAR et al. 2011).

Die Fruktifikation der Buche wird maßgeblich durch Witterungseinflüsse im Jahr vor der Fruktifikation gesteuert. Ein warm-trockener Sommer fördert die Anlage von Blütenknospen, so dass sich hieraus im Sommer des folgenden Jahres Bucheckern ausbilden können (WACHTER 1964). Die Witterungsaufzeichnungen der letzten Jahre belegen für Baden-Württemberg eine Häufung von ausgeprägten trocken-warmen Frühsommerphasen (Abb. 49), die sicherlich zu einer erhöhten Fruktifikation der Buchen beigetragen haben. Bis ins Jahr 2050 prognostizieren Klimaforscher für Baden-Württemberg eine Zunahme von deutlich wärmeren und tendenziell trockeneren Sommern. Nach den Berechnungen der Klimamodelle wird sich die Jahresmitteltemperatur in weiten Landesteilen Baden-Württembergs bis 2050 um weitere 1,7° Celsius erhöhen (KLIWA 2006). Dies könnte neben einem erhöhten Schädlingsdruck und einer Verschiebung der Vegetationszeiten, auch eine zunehmende Häufung der Fruktifikation bedeuten, was wiederum zu einer chronischen Belastung, einer verminderten Vitalität und eingeschränktem Wachstum der Buchen führen kann.

Neue Auswertungsmethoden

Mit Hilfe von multivariaten statistischen Verfahren wurden in den letzten Jahren neue Auswertungsmethoden entwickelt, um das umfangreiche Datenmaterial der Waldschadensinventur Baden-Württembergs mit einer durchgehenden Zeitreihe von mittlerweile über 25 Jahren besser interpretieren zu können. Durch ein multivariates Raum-Zeit-Modell ist es möglich für die Kronenzustandsdaten räumliche Muster und zeitliche Trends abzuleiten. Im Jahr 2011 wurde das bisher nur für die Fichte berechnete Modell auch auf die, in Baden-Württemberg häufigste Laubbaumart, die Buche ausgeweitet. Das Modell stellt den Nadel-/Blattverlust als Funktion des Raumes, der Zeit und des Alters dar, wobei Korrelationen sowohl in der räumlichen als auch in der zeitlichen Ebene berücksichtig werden (AUGUSTIN et al. 2009). Das Raum-Zeit-Modell erlaubt – insbesondere für Jahre geringerer Aufnahmedichten – eine durch Störfaktoren unverzerrte Darstellung des zeitlichen Trends und der räumlichen Verteilungsmuster der Kronenzustandsdaten und stellt dadurch eine bessere Interpretationsgrundlage der Waldschadensergebnisse dar. Ein großer Vorteil dieses Modells ist es, dass sowohl der Zeittrend als auch die räumlichen Muster mit eigenen Vertrauensbereichen versehen sind, so dass mit statistischer Sicherheit die beobachteten Unterschiede in Raum und Zeit bewertet werden können.

Für die Baumarten Fichte und Buche ist nach Auswertung der Modellergebnisse ein grundlegender Wandel des Schadgeschehens seit etwa der Jahrtausendwende erkennbar. Während zu Beginn der Waldschadensinventur im Wesentlichen Nadelbaumarten wie die Fichte in Gebieten mit versauerungsempfindlichen Standorten erhöhte Kronenschäden aufwiesen, zeigen Buchen und Fichten etwa ab dem Jahr 2000 auch auf anderen, gut nährstoffversorgten Standorten deutliche Kronenschäden. Es kann davon ausgegangen werden, dass hierfür veränderte klimatische Bedingungen, wie zunehmender Trockenstress, verantwortlich sind. Die Ergebnisse der Waldschadensinventur zeigen somit schon heute in der Veränderung des Kronenzustandes der Bäume erste Auswirkungen eines beginnenden Klimawandels an.

Für die Baumart Buche wurde das Modell um die zusätzliche Einflussgröße „Fruktifikation“ erweitert, da der Einfluss der Fruktifikation auf den Blattverlust der Buche signifikant hoch ist. Das bedeutet, dass durch das Modell die Blattverluste der Buche erstmals ohne einen Einfluss der Fruktifikation dargestellt werden können und so die relative Bedeutung der Fruktifikation für die Schadensentwicklung abgeschätzt werden kann. Im zeitlichen Verlauf der Blattverlustwerte der Buche zeigt sich, dass in dem starken Mastjahr 2009 der Blattverlust auch ohne den Einfluss einer Fruchtausbildung ansteigt und somit ein zusätzlicher Stressfaktor auf den Kronenzustand der Buchen wirkt. Dagegen nimmt der modellierte, um den Einfluss der Fruktifikation bereinigte Blattverlust der Buchen im starken Fruktifikationsjahr 2011 entgegen den beobachteten Aufnahmeergebnissen ab. Der Kronenzustand der Buchen wäre also ohne den Fruktifikationseffekt dem positiven Verlauf der meisten anderen Baumarten gefolgt.

Einfluss der Witterung auf das Baumwachstum

Der Witterungsverlauf im Jahr 2011 war durch eine außergewöhnlich stark ausgeprägte und bis Mitte Juni andauernde Frühjahrstrockenheit gekennzeichnet. An den Stationen des Intensiven Umweltmonitorings (EU Level II) werden neben der Erfassung des Gesundheitszustands der Bäume und zahlreichen anderen Parametern, Messungen zur Erfassung des Bodenwasserhaushalts und des Baumwachstums durchgeführt. Dadurch war es möglich die Sondersituation einer stark ausgeprägten Frühjahrstrockenheit in diesem Jahr in ihrer Auswirkung auf das Baumwachstum auszuwerten. Die Auswertung zur Frühjahrstrockenheit wurde an den bezüglich Regionalklima und Bodeneigenschaftenn sehr unterschiedlichen Intensivmessflächen Conventwald bei Freiburg und Ochsenhausen durchgeführt. An allen Level II Flächen wurden zusätzlich die mit Umfangmessbändern erfassten Jahreszuwachsdaten als Zeitreihe dargestellt, um die Bedeutung des Trockenjahrs 2003 für das Baumwachstum generell darzustellen. Wir konnten zeigen, dass das Extremtrockenjahr 2003 für insgesamt vier Jahre in Folge zu einer deutlich ausgeprägten Zuwachsdepression führte. An den beiden Standorten, an denen die Frühjahrstrockenheit 2011 untersucht wurde, konnte gezeigt werden, dass diese auf beiden Standorten im Wurzelraum der Buchenbestände zu Wassermangel–Intensitäten

geführt hat, die akute Trocknisschäden auslösen. In den jeweiligen Fichtenbeständen war die Intensität des Wassermangels niedriger. Trotz dieser Unterschiede führte die Frühjahrstrocknis bei beiden Standorten in Buchen- und Fichtenbeständen bei ⅔ der Bobachtungsbäume dazu, dass das Baumwachstum zwischen Mitte Juni und Mitte Juli extrem früh eingestellt wurde. Ganz ungewöhnlich ist, dass das Wachstum dieser Bäume nicht im Spätjahr wieder eingesetzt hat, da ab Mitte Juni an beiden Standorten außerordentlich ergiebige Niederschläge gefallen sind und die Bäume dieses Wasser offensichtlich auch aufgenommen hatten, wie man an der Amplitude der täglichen Quell- und Schwindbewegungen der Baumstämme erkennen kann (Abb. 54 und 55). Das bedeutet, dass die Trockenphase im Frühjahr dazu geführt hat, dass das Baumwachstum offensichtlich endogen gesteuert eingestellt wurde, obwohl zum Zeitpunkt des vorzeitigen Wachstumsendes genügend Wasser zur Verfügung stand und auch von den Bäumen aufgenommen wurde. Die Erkenntnis, dass Trockenphasen schon am Anfang der Vegetationsperiode zur vorzeitigen Beendigung des Baumwachstums führen können, ist neu. Bislang war angenommen worden, dass dieses erst in der zweiten Hälfte der Vegetationszeit durch Sommertrocknis möglich ist (V.WILPERT, 1990). Insofern tragen die dargestellten Untersuchungen an den intensiven Ökosystem – Monitoringflächen (Level II) wesentlich zur sachlich zutreffenden und rechtzeitigen Bewertung der Auswirkungen von durch den Klimawandel veränderten Witterungsmustern auf Gesundheit und Produktivität der Bäume bei.

Bedeutung des Forstlichen Umweltmonitorings

Das Forstliche Umweltmonitoring auf europäischer Ebene ist ein gemeinsames Programm der Europäischen Union und der Vereinten Nationen und wurde Anfang der 1980er Jahre als Reaktion auf Luftverschmutzung und ihre Auswirkung auf die Wälder begründet (Gesetzesgrundlagen: Ratsverordnung Nr. 3528/86 „zum Schutz des Waldes gegen und Luftverschmutzung“ der Europäischen Union aus dem Jahr 1986, diverse Folgeverordnungen und die Genfer Luftreinhaltekonvention [CLRTAP] der Vereinten Nationen aus dem Jahr 1979). Das in dieser Form weltweit größte transnationale Waldmonitoringsystem basiert auf den nationalen forstlichen Umweltmonitoringsystemen von 40 europäischen Staaten, darunter 26 EU-Mitgliedsstaaten sowie der USA und Kanada.

Das Forstliche Umweltmonitoring wurde Anfang der 80er Jahre begründet, in einer Zeit, in der in Deutschland und in anderen europäischen Ländern großräumig auftretende Kronenverlichtungen an vielen Baumarten beobachtet wurden und hohe Schadstoffbelastungen der Luft sowie zunehmende Versauerung der Böden und Gewässer eine intensive, öffentliche Umwelt- und Waldschadensdiskussion auslösten. In Deutschland wurden 1983 daraufhin auf Länderebene die ersten Terrestrischen Waldzustandsinventuren (TWI) auf Stichprobenbasis durchgeführt, mit dem Ziel, den Einfluss von Luftschadstoffen auf die Wälder genauer untersuchen zu können. Wenig später wurde das neu geschaffene Forstliche Umweltmonitoring durch die Komponenten Waldernährung und chemischer Bodenzustand mit der sog. Bodenzustandserhebung (BZE) erweitert, um die Auswirkungen der Umweltveränderungen auf das Wirkungsgefüge von Waldökosystemen analysieren, notwendige Handlungsempfehlungen ableiten und politikrelevante Informationen liefern zu können. Im Jahr 1994 wurde das bestehende Stichprobennetz (Level I) mit prozessorientierten Intensivmessflächen des sogenannten Level II-Programms (Dauerbeobachtungsflächen) ergänzt, um dynamische Veränderungen und komplexe Kausalketten unterschiedlicher Umwelteinflüsse in exemplarisch ausgewählten Fallstudien zu untersuchen. Als Einflussgrößen werden auf diesen Flächen eine Vielzahl von Parametern zu wesentlichen Ökosystemkompartimenten bzw. Umwelteinflüssen, in zum Teil hoher zeitlicher Auflösung erhoben. Dieser Teil des Monitoringsystems hat seinen Schwerpunkt in der kontinuierlichen Erfassung von Parametern, die ein Prozessverständnis für wesentliche Komponenten der Waldökosysteme ermöglichen sollen. Diese intensive Stufe des Forstlichen Umweltmonitorings kann aus Kostengründen nicht flächendeckend in einem herkömmlichen statistisch abgesicherten Stichprobenverfahren durchgeführt werden und erhebt somit auch keinen Anspruch auf eine flächenbezogene Repräsentativität. Das Level II-Messnetz hat jedoch den Anspruch, bezogen auf die in Deutschland bzw. Europa vor-

herrschenden Waldökosysteme mit der Auswahl der Intensivmessflächen repräsentativ zu sein.

Die thematischen Schwerpunkte des Forstlichen Umweltmonitorings können wie folgt kurz zusammengefasst werden:

- **Waldzustand**: biotische und abiotische Schäden, Nadel- bzw. Blattverluste, Vergilbung;
- **Ernährung**: Versorgung der Bäume mit Nährelementen und deren Relation zueinander;
- **Bodenzustand**: chemischer und physikalischer Bodenzustand;
- **Produktivität**: Einzelbaum- und Bestandeswachstum;
- **Deposition**: Eintrag von Stickstoff, Säure und basischen Stoffen
- **Sickerwasser**: dynamische Speicher- und Auswaschungsprozesse, damit Folgewirkungen für Hydrosphäre;
- **Witterung**: Temperatur und Niederschlag im Bestand und korrespondierenden Freilandflächen

Ab dem Jahr 2003 wurde das Forstliche Umweltmonitoring um folgende Themenfelder erweitert:

- **Biodiversität**: biologische Vielfalt
- **Klimawandel**
- **Kohlenstoffspeicherung**
- **Schutzfunktionen der Wälder**

Das Forstliche Umweltmonitoring gab wesentliche Impulse zur Luftreinhaltepolitik. Es ist die wissenschaftlich abgesicherte Grundlage zu Kompensationsmaßnahmen im Wald (z.B. Bodenschutzkalkung). Außerdem gaben sie den Anstoß für Waldumbau in Richtung standortsgerechter Laubbaumarten. Dabei ist die Bewertung des „Ökologischen Gewinns“, z.B. in Form verminderter Nitratausträge, auf der Basis der intensiven Ökosystem-Fallstudien (Level II) möglich. Aktuelle Auswertungen zur Klimasensitivität von Wäldern und der Entwicklung von Planungsinstrumenten zur Anpassung der langfristigen Baumartenplanung an neue Klimabelastungen basieren ganz wesentlich auf Monitoringdaten. Ein weiteres aktuelles Metathema ist die Abschätzung von Nutzungspotentialen und der standörtlichen Tragfähigkeit von Waldböden für erhöhte Nutzungsintensitäten im Rahmen von Holzenergie–Konzepten, die ohne eine breite Einbeziehung von Monitoringdaten nicht einmal ansatzweise realisierbar wäre. Das Forstliche Umweltmonitoring hat sich damit als unverzichtbare Informationsquelle zur Sicherung der Multifunktionalität von Wäldern und als zentrales Instrument der Nachhaltigkeitskontrolle erwiesen.

In Bezug auf die Steuerung der Bodenschutzkalkung im Wald oder die Forstliche Nachhaltigkeitskontrolle, wie sie durch die Nachhaltigkeitsinitiative von ForstBW derzeit in der Strategie für Nachhaltigkeits-Management (SNM) programmatisch entwickelt wird, stellen die quantitativen und statistisch bewertbaren Erkenntnisse aus dem Forstlichen Umweltmonitoring die unabdingbare Datenbasis dar und werden zunehmend in Richtung praxisorientierter Expertensysteme weiterentwickelt. So haben sie schon lange die Qualität von verlässlichen Entscheidungs–Unterstützungswerkzeugen, auf deren Basis sichere betriebliche Entscheidungen und Anpassungen an sich verändernde Umweltbedingungen getroffen werden können, wie z.B. die langfristige Festlegung der Baumartenwahl.

9 LITERATURVERZEICHNIS

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

Augustin, N. (2006): Terrestrial Inventory Survey (TWI): Simulation study to investigate different sampling schemes. Interner Projektbericht 13 S.

Augustin, N. Lang, S. Musio, M. v. Wilpert, K. (2007): A spatial model for the needle losses of pine trees in the forests of Baden-Württemberg: An application of Bayesian structured additive regression. Applied Statistics (Journal of the Royal Statistical Society, Series C). 56/1, S. 29-50.

Augustin, N., Musio, M., v. Wilpert K., Kublin, E., Wood, S.N.,Schumacher, M. (2009): Modelling spatio-temporal forest health monitoring data. Accepted for publication in the Journal of the American Statistical Association, 104/487, S. 899-911, DOI:10.11987jasa.2009ap07058

Augustin, N. (2011a): Spatio-temporal modelling of defoliation of beech (TWI 1985 - 2011): Results. Unveröffentlichter Projektbericht, 10 S.

Augustin, N. (2011b): Spatio-temporal modelling of defoliation of spruce (TWI 1985 - 2011): Results. Unveröffentlichter Projektbericht, 8 S.

FVA (2008): Waldzustandsbericht 2008. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 56 S.

FVA (2009): Waldzustandsbericht 2009. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 65 S.

Kliwa (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland. Kliwa Berichte, Heft 9. Projekt Klimaveränderung und Wasserwirtschaft der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), 100 S.

Kozlowski, T.T. (1981): Water deficits and plant growth, Vol. 6, Academic press New York, 571 S.

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

MUFV (Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz). Waldzustandsbericht 2009. 71 S.

Musio, M., Augustin, N, v. Wilpert, K.. (2006): Geoadditive Bayesian models for forestry defoliation data: a case study. Environmetrics, accepted.

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

Schmitt, M. (1991): Zusammenhang zwischen Blattverlust und Fruktifikation bei Buche. AFZ-DerWald, 10/1991, S. 501-503

STMELF 2010 (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten): Ergebnisse der Kronenzustandserhebung 2010 in Bayern. 11 S.

v. Wilpert, K. (1990): Die Jahrringstruktur von Fichten in Abhängigkeit vom Bodenwasserhaushalt auf Pseudogley und Parabraunerde. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, H. 24, Hrsg. Institut f. Bodenkunde u. Waldernährungslehre d. Univ. Freiburg, 184 S. + Anhang

v. Wilpert, K. (1991): Intraannual variation of radial tracheid diameters as monitor of site specific water stress. Dendrochronologia 9, S. 95-113

v. Wilpert, K.; Wolff, B.; Spellmann, H. (2006): Bedeutung und künftige Ausrichtung des forstlichen Umweltmonitorings. AFZ-DerWald, 4/2006, S. 176-181

v. Wilpert, K.; Schäffer, J.; Holzmann, S.; Hug, R.; Meining, S.; Zirlewagen, D.; Augustin, N. (2010): Was Waldzustandserfassung und Forstliche Umweltüberwachung bewirkt haben - Ableitung eines langfristigen Kalkungsprogramms. AFZ-Der Wald 3/2010, S. 20-25.

Wachter, H. (1964): Über die Beziehung zwischen Witterung und Buchenmastjahren. Forstarchiv35/4, S. 69-78

WSL (2009): Validierung von visuellen Ozonsymptomen auf Buchenblättern. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Validierungsbericht erfolgt durch Günthardt-Goerg, S., Menard, T. 8 S.