Waldzustandsbericht 2009

der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt 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, Jürgen Schäffer, Yvonne Morgenstern (alle FVA Baden-Württemberg)
Dietmar Zirlewagen (Interra, Kenzingen)

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 Methodik und Durchführung der Waldschadensinventur 11

3.1 Methodik 11

3.2 Durchführung 2009 13

4 Ergebnisse der Kronenzustandserhebung 17

4.1 Der Wald in Baden-Württemberg 17

4.2 Fruchtausbildung und Blattverlust 25

4.3 Regionen Baden-Württembergs 28

5 Ergebnisse der Bodenzustandserhebung 33

6 Ergebnisse der Intensivmessflächen 41

7 Einflüsse auf den Waldzustand 47

7.1 Witterung und Klima 48

7.2 Waldschutzsituation 2008/2009 50

7.3 Stoffeinträge 53

8 Zusammenfassung und Diskussion 61

9 Literaturverzeichnis 64

10 Glossar 65

1 VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

fast 30 Jahre nach Beginn der öffentlichen Debatte um das Waldsterben, hat sich die Diskussion um den Waldzustand verändert. Nicht mehr das kurzfristige Sterben ganzer Waldgebiete steht im Fokus, sondern die Erhaltung beziehungsweise Wiederherstellung der Vitalität des gesamten Ökosystems Wald. Deshalb beschränkt sich auch der diesjährige Waldzustandsbericht nicht nur auf den Aspekt "Nadel-/Blattverlust", der im Rahmen der jährlichen terrestrischen Waldschadensinventur erfasst wird. Er thematisiert zahlreiche Aspekte des forstlichen Umweltmonitorings und wie sie sich auf den Waldzustand auswirken. Der Bericht 2009 macht die Bedeutung von Umweltmessnetzen für einen verantwortungsvollen Umgang mit unserer Natur deutlich: Veränderungen werden nachweisbar. Dies ist die Grundlage für das Ergreifen von Maßnahmen, deren Auswirkungen dokumentiert werden.

Der mittlere prozentuale Nadel-/Blattverlust, berechnet aus den Werten aller Baumarten in Baden-Württemberg, erhöhte sich gegenüber 2008 um zwei Prozentpunkte auf insgesamt 25,6 Prozent, was jedoch weitgehend auf natürliche Ursachen zurückzuführen ist. Belastend für die Bäume war die zum Teil extrem starke Fruchtbildung. Dies trifft vor allem für die Buche zu, bei welcher der mittlere Blattverlust von 36 Prozent deutlich über dem Landesdurchschnitt liegt und die mit einem Anteil von über 60 Prozent an stärker fruktifizierenden Bäumen in der Aufnahme vertreten war. Zwischen der Intensität der Fruktifikation und dem Verlichtungszustand der Baumkronen besteht eine natürliche Abhängigkeit. Durch die Fruchtbildung werden Reservestoffe der Bäume verbraucht, die dann nicht mehr für die Ausbildung von Blättern zur Verfügung stehen. Folglich lässt der erhöhte Blattverlust der Buchen zunächst nicht eindeutig auf einen umweltbedingten Vitalitätsverlust schließen. Allerdings macht der Befund, dass im vergangenen Jahrzehnt eine zunehmende Häufung von überdurchschnittlich starken Blütejahren beobachtet wurde, nachdenklich. Dies kann eine Reaktion auf durch den Klimawandel veränderte Witterungsbedingungen sein. Weitere Beobachtungen in den kommenden Jahren werden dies zeigen.

Bei den Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer und Eiche ist der Nadel-/Blattverlust gegenüber dem Vorjahr kaum verändert.

Der diesjährige Waldzustandsbericht weist darauf hin, dass der stattfindende Klimawandel sich bereits in vielerlei Hinsicht auf den Wald auswirkt. Beleg hierfür ist eine verstärkte Verschiebung der Vegetationszeiten. Wenn die derzeitigen Klimaprognosen für den Südwesten von Deutschland zutreffen, bekommen wir eine weitere Zunahme von milderen und regenreicheren Wintermonaten sowie deutlich wärmere und tendenziell trockenere Sommermonate. Die Folgen für den Wald wären unter anderem Trockenstress in den Sommermonaten und ein

dadurch bedingter, verstärkter Schädlingsdruck, aber auch erhöhte Spätfrostgefahr durch den früheren Beginn der Vegetationsperiode.

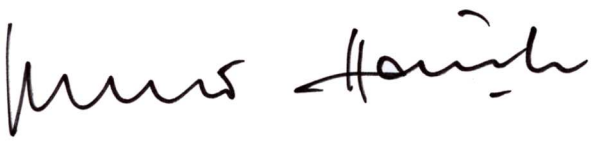
Einen Schwerpunkt bildet dieses Jahr die Darstellung der Bodenentwicklung zwischen den beiden Aufnahmen des chemischen Bodenzustandes der Jahre 1992 und 2007. Außerdem wurde, basierend auf der mittlerweile mehr als 25 Jahre umfassenden Messdatenreihe des Depositionsmessnetzes, eine landesweite Karte der Säure- und Stickstoffbelastung und deren Entwicklung über den gesamten Zeitraum der industriellen Entwicklung seit 1880 abgeleitet. Diese Auswertung zeigt eindrucksvoll den Erfolg der Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Folge der öffentlichen Waldschadensdiskussion der 1980er und 1990er Jahre. Mittlerweile haben die Säureeinträge wieder ein Niveau erreicht, das in etwa dem „frühindustriellen“ Stand von 1905 entspricht. Ein Erfolg konsequenter Luftreinhaltungspolitik!

Die Tatsache, dass wir es weitgehend nicht mehr mit Säureeinträgen zu tun haben, welche die Toleranzfähigkeit der Wälder überschreiten, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass durch Bodenversauerung eine „depositionsbedingte Altlast“ verbleibt, welche die Waldökosysteme und ihre Funktionen belastet. Es besteht also trotz der Reduktion von Säuredepositionen ein erheblicher Sanierungsbedarf, um die natürliche Funktionalität der Waldböden wieder herzustellen. Durch die Reduktion der akuten Depositionsbelastung ist die Wiederherstellung der natürlichen Bodenqualität, wie sie vor „Saurem Regen“ und Stickstoffüberschuss geherrscht hat, möglich.

Die Bodenschutzkalkung ist neben der Reduktion der Luftschadstoffe die dominierende Einflussgröße, die in den vergangenen 15 Jahren zu einer Verminderung der Bodenversauerung geführt hat. Für die Ableitung einer langfristig wirksamen Strategie zur Bodenschutzkalkung stellen die Bodenzustandsdaten eine unverzichtbare Grundlage dar. Beispielhaft wird ein Kalkungskonzept zur Regeneration zentraler Bodenfunktionen für den Schwarzwald auf Basis von bis über 80 Jahre zurückliegenden Messungen abgeleitet. Danach ist für die am stärksten von depositionsbedingter Bodenversauerung betroffene Region ein Kalkungsbedarf von durchschnittlich zweieinhalb Kalkungskampagnen im 10-Jahresabstand nötig, um eine Regeneration der natürlichen Bodenfunktionen zu erreichen. Dies bedeutet, dass ein solches Regenerationskonzept auf einen Zeitraum von durchschnittlich 25 Jahren in die Zukunft geplant werden muss.

Durch das Zusammenwirken von Luftreinhaltungspolitik und der Nutzung aller forstbetrieblichen Optionen zur Kompensation schädlicher Umwelteinflüsse sowie zur Stabilisierung der Wälder und ihrer Funktionen wurde die Voraussetzung zur Wiederherstellung der natürlichen Bodenqualität in einem vergleichsweise überschaubaren Zeitraum geschaffen. Es ist Teil des "Generationenvertrags" und damit unsere Aufgabe, die Wälder und ihre vielfältigen Funktionen langfristig zu stabilisieren und sie damit fit für die neuen Belastungen durch den globalen Klimawandel und seine Folgen zu machen.

Stuttgart, im November 2009



Peter Hauk MdL

Minister für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg

2 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Das Forstliche Umweltmonitoring wurde Anfang der 1980er Jahre aufgebaut, um den Einfluss von Luftschadstoffen auf die Wälder genauer zu untersuchen. Durch die Weiterentwicklung des Messprogramms und dessen Auswertungsroutinen ist es mittlerweile möglich auch andere Einflussgrößen, wie zum Beispiel die Auswirkungen des Klimawandels oder den Einfluss von biotischen Schaderregern auf den Waldzustand, darzustellen.

Ziel des Forstlichen Umweltmonitorings ist es, Veränderungen der Waldökosysteme frühzeitig zu erkennen und deren Ursache zu ergründen. Hierfür ist es notwendig Umwelteinflüsse, Ökosystemreaktionen sowie Systemszustände mit hinreichender Intensität und Kontinuität zu messen, um langfristige Entwicklungstrends erkennen und kausal interpretieren zu können. Durch das Forstliche Umweltmonitoring stehen heute umfassende Instrumente der Ökosystemforschung europaweit harmonisiert zur Verfügung, die auf Fehlentwicklungen hinweisen und es dadurch ermöglichen, dass gezielte Gegenmaßnahmen ergriffen werden (Abb. 1).

Entstehung des Monitorings

Schädigungen an Tannen im Schwarzwald mit starker Vergilbung der Nadeln und erheblichen Nadelverlusten waren der Auslöser für den Aufbau des Forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland. Bereits 1978 wurden erste Versuchsflächen zur langfristigen Untersuchung der Waldschäden in Baden-Württemberg angelegt. Nachdem vergleichbare Schadsymptome auch an anderen Baumarten sowie in anderen Regionen Baden-Württembergs beobachtet wurden, erfolgte 1983 die erste landesweite Waldschadensinventur. Wenig später wurde das Forstliche Umweltmonitoring um die Komponenten Waldernährung und chemischer Bodenzustand erweitert, um die Auswirkungen neuartiger Umweltveränderungen auf Stoffbilanzen der Waldökosysteme besser abschätzen zu können und notwendige Handlungsempfehlungen abzuleiten. Seit Mitte der 1990er Jahre wurden fallstudienartige Intensivmessflächen (Level II Flächen) installiert, auf denen neben einer jährlichen Erhebung des Kronenzustandes hauptsächlich Messungen zu Meteorologie, Säure- und

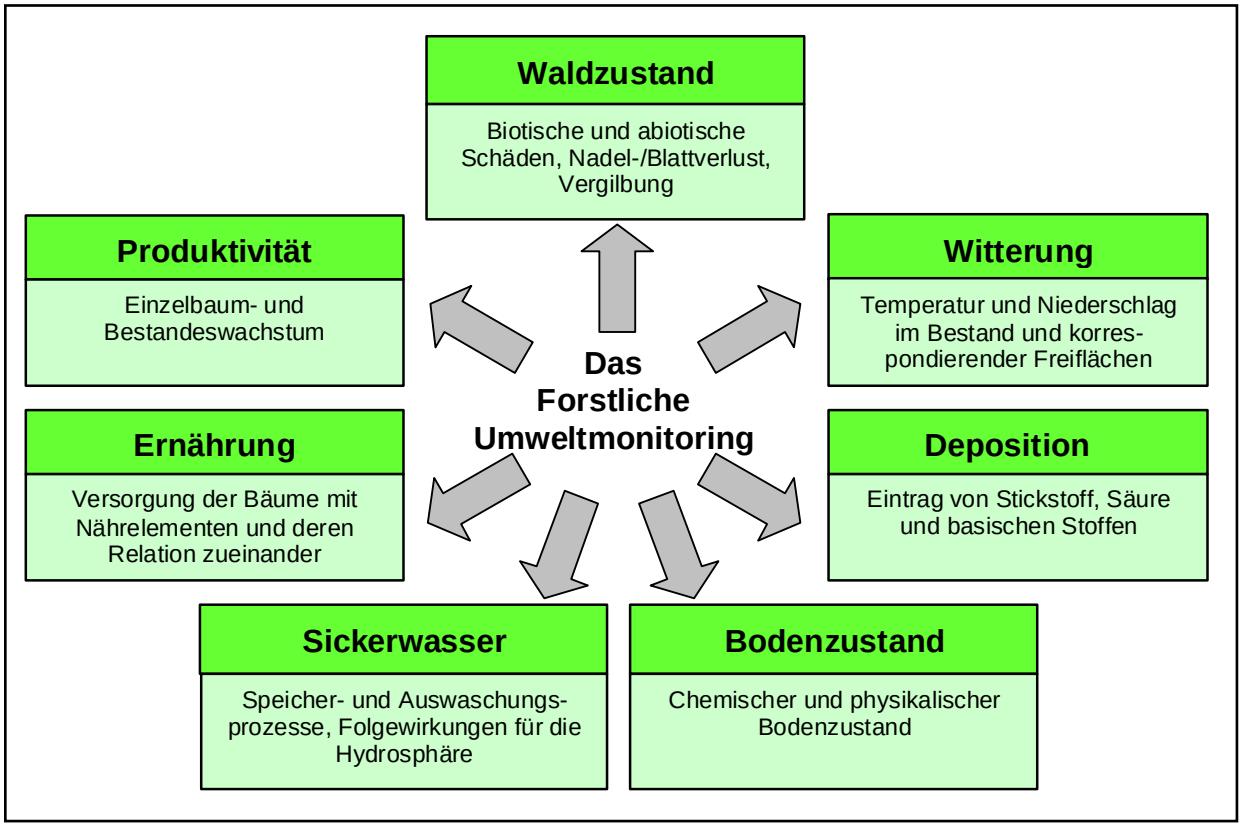


Abb. 1: Inhaltliche Themen und Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings

Stickstoffeinträgen sowie zum Stoffhaushalt des Bodens durchgeführt werden.

Aufbau des Forstlichen Umweltmonitorings

Das Forstliche Umweltmonitoring ist durch zwei unterschiedliche Aufnahmeebenen gekennzeichnet. Zum einen werden Daten auf Rasterstichproben erhoben, welche als systematische Stichprobenpunkte angelegt sind und flächenrepräsentative Ergebnisse für das Land Baden-Württemberg bzw. die großen Wuchsgebiete liefern. Daneben finden prozessorientierte Untersuchungen auf speziell ausgewählten Versuchsflächen statt, die intensiv mit Messinstrumenten ausgestattet sind und mit hoher zeitlich/räumlicher Auflösung und einer vielfältigen Parameterkombination (Deposition, Meteorologie, Bodenwasser- und Stoffhaushalt, Waldernährung, Kronenzustand, Baumwachstum und Bodenvegetation) zahlreiche kausalanalytische Auswertungs- und Interpretationsansätze ermöglichen (Übersicht 1).

Rasterstichproben

Rasterstichproben sind Schnittpunkte eines über ganz Baden-Württemberg gelegten Stichprobennetzes. Die Abstände zwischen den einzelnen Punkten variieren je nach Stichprobenumfang. In Baden-Württemberg wurde in der bisherigen Aufnahmeperiode die Stichprobe im 16x16, 8x8 und 4x4 km-Netz durchgeführt. Auf diesem systematisch angelegten Netz dient jeder Koordinatenschnittpunkt, der in ein Waldgebiet fällt, als Stichprobenpunkt für die Aufnahme unabhängig von Baumalter, Bestandesstruktur oder sonstigen Kriterien.

Eine statistische Simulation unterschiedlicher Messnetzdichten belegt eindeutig die Vorteile von jährlichen Erhebungen auf einem 8x8 km-Netz (AUGUSTIN et al. 2009). Nach Abwägung zwischen ausreichender Genauigkeit und benötigtem Aufwand ist für Baden-Württemberg diese Rasternetzdichte langfristig die beste Lösung für ein qualitativ hochwertiges

Übersicht 1: Monitoringnetze im Wald

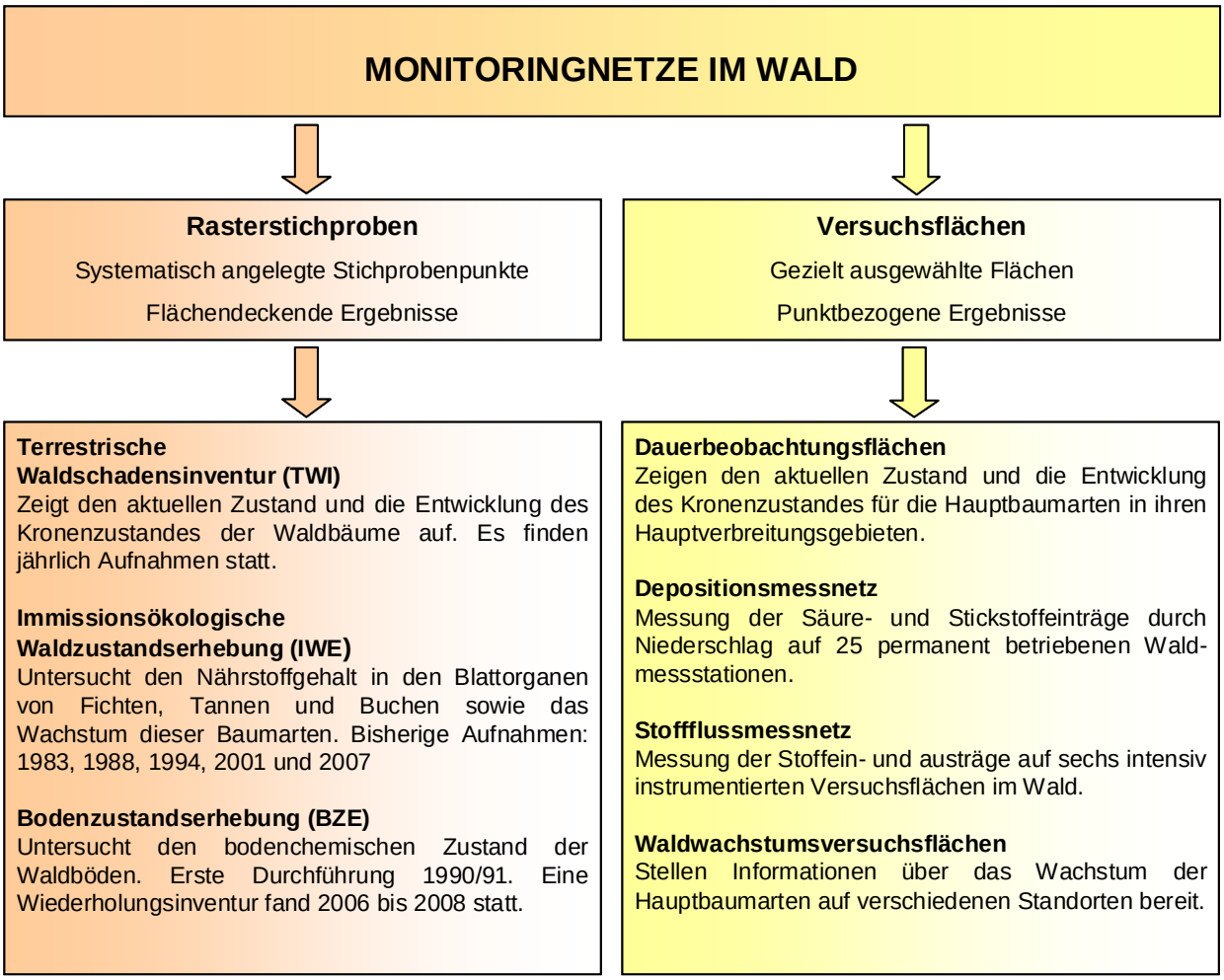


Abb. 2: Untersuchungen auf den Rasterstichproben: Kronenzustand, Zuwachs, Bodenzustand, Bodenanalysen im Labor

Monitoring der Wälder. In Baden-Württemberg werden an jedem Stichprobenpunkt des 8x8 km-Netzes unterschiedliche Untersuchungen des Waldmonitorings kombiniert. Neben der Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI) werden am identischen Messpunkt auch die Bodenzustandserhebung (BZE), die Ernährungsinventur (IWE) sowie waldwachstumskundliche Untersuchungen nach der Methodik der Bundeswaldinventur (BWI) durchgeführt (Abb. 2). Durch die Bündelung der unterschiedlichen Untersuchungen auf den gleichen Stichprobenpunkten wird eine Verknüpfung der verschiedenen Aufnahmeparameter für integrierende Auswertungen ermöglicht und die Vorraussetzung für eine Regionalisierung der Daten des Waldmonitorings geschaffen. Damit erlangen die Ergebnisse des Forstlichen Umweltmonitorings die Qualität und Bedeutung von forstlichen Planungsinstrumenten (v. WILPERT et al. 2006).

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 sowie waldwachstumskundliche Flächen.

Auf den Versuchsflächen des Level II Stoffflussmessnetzes werden im Wesentlichen die Baumreaktionen im Kronenzustand und Baumwachstum in Abhängigkeit von veränderten Bodeneigenschaften

und Witterungsabläufen bearbeitet, die Variation und Trends der Waldernährung in Abhängigkeit von Umweltbedingungen und der Stoffhaushalt der untersuchten Waldökosysteme bilanziert.

Im Sommer 2009 wurden im Rahmen des europäischen Monitoringprogramms „FutMon“ in unmittelbarer Nähe von fünf bereits bestehenden Fichten Versuchsflächen korrespondierende Buchen Versuchsflächen angelegt und mit baugleichen Messapparaturen ausgestattet. Diese Flächenpaare wurden in Kirchzarten (Conventwald), Altensteig, Esslingen, Ochsenhausen und Heidelberg angelegt. Die Messergebnisse sollen mittelfristig zeigen, inwieweit Fichten- bzw. Buchenbestände an örtlich eng zusammen liegenden Standorten gegenüber vergleichbarer Umwelteinflüsse unterschiedlich reagieren (Abb. 3).

Zusätzliche Datenquellen

Alle Informationen der Unteren Forstbehörden über konkrete Schadereignisse beispielsweise durch biotische Schaderreger oder Schäden durch Witterungseinflüsse ergänzen das Forstliche Umweltmonitoring. Zusätzlich werden Daten externer Institutionen zur Beurteilung der Umwelteinflüsse auf das Waldökosystem ausgewertet. Dazu gehören unter anderem die Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die Immissionsstationen der Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württembergs (LUBW) und Messstationen des Umweltbundesamtes (UBA). Drei der LUBW-Messstationen befinden sich als so genannte Hintergrundmessstationen im Wald und liefern so Messdaten über die Schadstoffkonzentration der Luft innerhalb des umliegenden Waldes.

Internationale Einbindung der Aufnahmenetze

Das Monitoringnetz Baden-Württemberg 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 sowie deutschen Waldzustandes herangezogen (Abb. 4). Das Level I Netz umfasst die jährliche Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) sowie die zwischen 2006 und 2008 zum zweiten Mal durchgeführte Bodenzustandserhebung

Abb. 3: Buchen Versuchsfläche, Conventwald

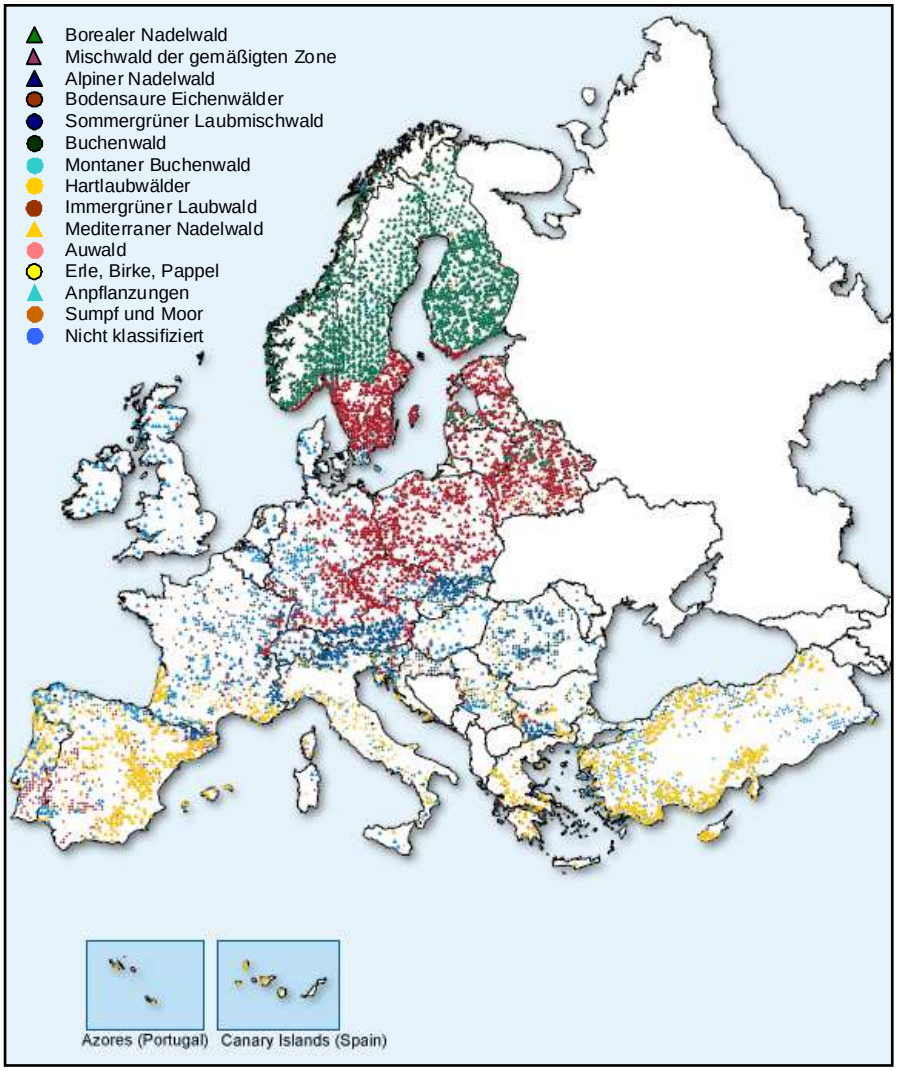


Abb. 4: Verteilung der Level I Plots (16x16 km-Netz) in Europa (aus: ICP 2007)

(BZE) im Wald. Von den Versuchsflächen Baden-Württembergs sind insgesamt fünf Intensivmessflächen mit jeweils einem Fichten- und Buchen-Plot in das Europäische Monitoring-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 weitere Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

Bedeutung der Umweltmessnetze im Wald

Die Befunde des Forstlichen Umweltmonitorings gaben in der Vergangenheit wesentliche Impulse zur Luftreinhaltepolitik. Sie bildeten die wissenschaftlich abgesicherte Grundlage zur Einleitung von Kompensationsmaßnahmen, wie z.B. die Bodenschutzkalkungen im Wald. Außerdem gaben sie den Anstoß für eine konsequente Umsetzung von Waldumbaumaßnahmen in Richtung standortsgerechter Mischbestände. Durch das intensive Monitoring ist eine Bewertung der ökologischen Funktionen des Waldes möglich. Das Forstliche Umweltmonitoring hat sich damit als unverzichtbare Informationsquelle zur nachhaltigen Sicherung der Waldökosystemfunktionen erwiesen.

Die flächenbezogenen Aussagen des Rastermessnetzes und die punktuellen Prozesskenntnisse der Versuchsflächen ergänzen sich komplementär. Das Rastermessnetz ist eine unverzichtbare Grundlage für die Ableitung landschaftsbezogener und regionaler Aussagen. Dies ist für die Identifikation von Schäden und die praktische Steuerung von Ökosystemen besonders wichtig, da forstliche Planung zwingend im Landschaftsbezug stattfindet. Auf der Ebene der Versuchsflächen werden neue Ökosystemprozesse beobachtet, die z. B. durch Säure- und Stickstoffein-träge sowie durch Witterungsextreme ausgelöst und / oder verstärkt werden. Diese streng genommen nur im Bereich der räumlich eng begrenzten Versuchsflächen gültigen Ergebnisse können anhand von Schlüsselinformationen aus den Rastermessnetzen auf den für praktische Planungen relevanten Landschaftsmaßstab übertragen werden.

3 METHODIK UND DURCHFÜHRUNG DER WALDSCHADENSINVENTUR

3.1 Methodik

Die Waldschadensinventur ist das zentrale Instrument zur Untersuchung des Vitalitätszustandes der Wälder. Die Beurteilung des Kronenzustandes liefert aktuelle Informationen über den Gesundheitszustand der Bäume, die mit vergleichsweise geringem Aufwand erhoben werden. In Baden-Württemberg wird der Waldzustand seit 1983 jährlich aufgenommen. Das Aufnahmeverfahren wird seitdem in seinen Grundzügen mit einigen Weiterentwicklungen angewandt, so dass mittlerweile die Ergebnisse in Form von Zeitreihenstudien auswertbar sind. Somit kann eine zeitnahe Beschreibung des aktuellen Waldzustandes im Sinne eines Frühwarnsystems erfolgen.

Durch internationale Vereinbarungen in Folge der Genfer Luftreinhaltekonvention von 1984 ist die Waldschadensinventur inzwischen in ein komplexes Umweltmonitoringsystem eingebunden. Weltweit beteiligen sich 40 Staaten an dem Programm zur Überwachung der Wälder („International Cooperation Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests“). Die erhobenen Daten der Waldschadensinventur bilden somit nicht nur die Grundlage für die Beurteilung des Waldzustandes in Baden-Württemberg, sondern fließen auch in nationale und internationale Auswertungen ein.

Aufnahmepunkte

Die Aufnahmepunkte der Waldschadensinventur liegen auf dem systematischen Rasterstichprobennetz Baden-Württembergs. Sobald ein Schnittpunkt des 8x8 km bzw. 16x16 km-Rasters auf Wald trifft, wird ein Stichprobenpunkt der Waldschadensinventur aufgenommen und zur besseren Auffindbarkeit dauerhaft gekennzeichnet. Auf jedem Aufnahmepunkt werden nach einem systematischen Verfahren zufällig 24 herrschende Bäume ausgewählt und markiert, so dass eine Aufnahme derselben Baumindividuen in den Folgejahren gewährleistet bleibt (Abb. 5).

Die Aufnahmepunkte der Waldschadensinventur unterliegen keiner Nutzungseinschränkung, die Bäume unterliegen einer ordnungsgemäßen Forstwirtschaft. Aus dem Bestand entfernte Bäume werden nach einer systematisch festgelegten Zufallsauswahl wieder durch andere Bäume ersetzt. Der Ausfallgrund (wie z.B. forstliche Nutzung, Sturmwurf, biotische Schäden) wird soweit möglich ermittelt.

Aufnahmeparameter

Die Vitalität von Bäumen steht in enger Beziehung zu Dichte und Farbe der Belaubung bzw. Benadelung. Als wesentliche Kenngrößen zur Beurteilung des Kronenzustandes dienen der Nadel-/Blattverlust und

Abb. 5: Stichprobenpunkt der Waldschadensinventur in der Praxis (links) und in der Theorie (rechts)

die Vergilbung. Zusätzlich können verkürzte Jahrestriebe sowie Störungen in der Verzweigungsstruktur Hinweise auf einen Vitalitätsverlust geben. An jedem Probebaum der Waldschadensinventur wird der aktuelle Nadel-/Blattverlust (NBV) und die Vergilbung der Blattmasse in Bezug auf eine voll belaubte und unverfärbte Baumkrone des Erhebungsgebietes (Referenzbaum) eingeschätzt. Die Aufnahme erfolgt in 5%-Stufen von 0 bis 100 Prozent. Die Werte von Nadel-/Blattverlust und Vergilbung werden zu Schadstufen zusammengefasst und zu so genannten Kombinationsschadstufen miteinander verrechnet (Tabelle 1).

Zusätzlich werden alle weiteren visuell erkennbaren Merkmale des Baumes erfasst, die den Kronenzustand möglicherweise beeinflussen können. Hierunter fallen unter anderem die Intensität der Fruchtbildung, Befall von Insekten, Schäden durch abiotische Faktoren (z.B. Trocknisschäden) oder Mistelbefall. Seit Beginn der Waldschadensinventur ist die differentialdiagnostische Untersuchung von möglichen Schadursachen ein wichtiger Bestandteil der Erhebungen. Im Jahr 2005 wurde eigens hierfür auf europäischer Ebene ein neues Aufnahmeprogramm („Assessment of damage cause“) entwickelt, so dass eine einheitliche Aufnahme möglich ist.

Tabelle 1: Schadstufenberechung

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-	**Vergilbungsstufe**			
verluststufe	**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	

Auswertung

Die Ergebnisse der Waldschadensinventur werden gewichtet auf die Baumartenflächen Baden-Württembergs ausgewertet und waldflächenbezogen dargestellt. Damit werden die Ergebnisse der einzelnen Stichprobenbäume entsprechend ihrem Vorkommen in Baden-Württemberg berücksichtigt. So können auf der Basis des 8x8 km-Netzes Aussagen über den Kronenzustand der einzelnen Hauptbaumarten und einzelner Regionen Baden-Württembergs getroffen werden. Dagegen lassen sich im europäischen 16x16 km-Netz auf Grund der deutlich niedrigeren Aufnahmedichte lediglich flächenbezogene Aussagen über den Gesamtwald Baden-Württembergs treffen, ohne dass jedoch die Ergebnisse auf Baumarten und Regionen bezogen darstellbar sind.

Die hohe Aufnahmedichte und die gute Verteilung der Fichte im 8x8 km-Netz erlauben mit Hilfe neuer statistischer Verfahren eines Raum-Zeit-Modells, den Kronenzustand der Fichten näher zu analysieren (AUGUSTIN 2006). Hierbei werden die Nadel-/Blattverluste in Funktion der Einflussgrößen Alter, Raum und Zeit dargestellt. In diesem Modell werden Wechselbeziehungen zwischen zeitlichen Trends und räumlichen Mustern berücksichtigt und unterschiedlich verlaufende Zeittrends in verschiedenen Regionen Baden-Württembergs identifiziert. Die Ergebnisse des Raum-Zeit-Modells sind deutlich präziser, d.h. mit kleinerem Fehlerrahmen darstellbar, und können somit zur besseren Interpretation der Waldschadensdaten genutzt werden.

Qualitätssicherung

Auf die Qualitätssicherung der jährlichen Waldschadensinventur wird sehr großen Wert gelegt. In regelmäßigen Abständen werden internationale Trainingskurse zur Bewertung von Baumkronen durchgeführt. Dabei sind Vertreter der Waldschadensinventuren der einzelnen EU-Staaten beteiligt, die unabhängig voneinander dieselbe Stichprobe an Waldbäumen bewerten. Auf Bundesebene findet jährlich ein Abstimmungskurs aller Inventurleiter der 16 Bundesländer zur Harmonisierung der Kroneneinschätzung statt. In Baden-Württemberg werden zudem alle Aufnahmeteams obligatorisch vor der Inventur auf den Schulungsparcours der Forstlichen Versuchs-

und Forschungsanstalt (FVA) geschult. Dabei wird neben dem Aufnahmeverfahren praxisgerecht die Kronenansprache an Hauptbaumarten, Nebenbaumarten und Jungbeständen eingehend trainiert.

3.2 Durchführung 2009

Die 27. Terrestrische Waldschadensinventur in Baden-Württemberg erfolgte auf dem 8x8 km Netz (Monitoringnetz). Nach einer eingehenden Schulung der Aufnahmetrupps in der dritten Juli Woche wurden die Außenaufnahmen im Zeitraum vom 23. Juli bis 15. August von forstlichen Sachverständigen durchgeführt. Auf die Kontinuität des Aufnahmezeitpunktes wird großen Wert gelegt, da nur in diesem Zeitfenster alle Baumarten vollständig ausdifferenziert sind und die Auswirkungen des Sommers auf den Kronenzustand erfasst werden können. Die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) war für die fachliche Leitung, Schulung und Kontrolle der Aufnahmetrupps verantwortlich.

Von den insgesamt 303 Stichprobepunkten des Monitoringnetzes in Baden-Württemberg konnten bei der diesjährigen Inventur 279 Punkte aufgenommen werden (Abb. 6). Im Vergleich zur Vorjahresinventur wurden zwei ehemals ruhende Stichprobenpunkte neu angelegt und aufgenommen. An den restlichen 24 Stichprobepunkten ruht die Aufnahme weiterhin, da nach den vorgegebenen Bedingungen der Waldschadensinventur nicht genügend Bäume auffindbar sind. Die meisten ruhenden Aufnahmepunkte liegen auf alten Sturmwurfflächen des Orkans „Lothar“ von 1999 und können wahrscheinlich in den nächsten Jahren wieder sukzessive in die Waldschadensinventur einbezogen werden.

An den 279 aufgenommenen Stichprobenpunkten der Waldschadensinventur 2009 konnten insgesamt 6.641 Bäume untersucht und ausgewertet werden. Davon fallen etwa ein Drittel auf die Altersgruppe bis 60 Jahre und zwei Drittel auf die Altersgruppe über 60 Jahre. Durch die in den nächsten Jahren zu erwartenden Neuaufnahmen von Stichprobenpunkten auf ehemaligen Sturmflächen wird sich das Verhältnis weiter in Richtung jüngere Bäume verschieben und somit den realen Verhältnissen in ganz Baden-Württemberg, wie sie durch die Bundeswaldinventur II beschrieben wurden, angleichen.

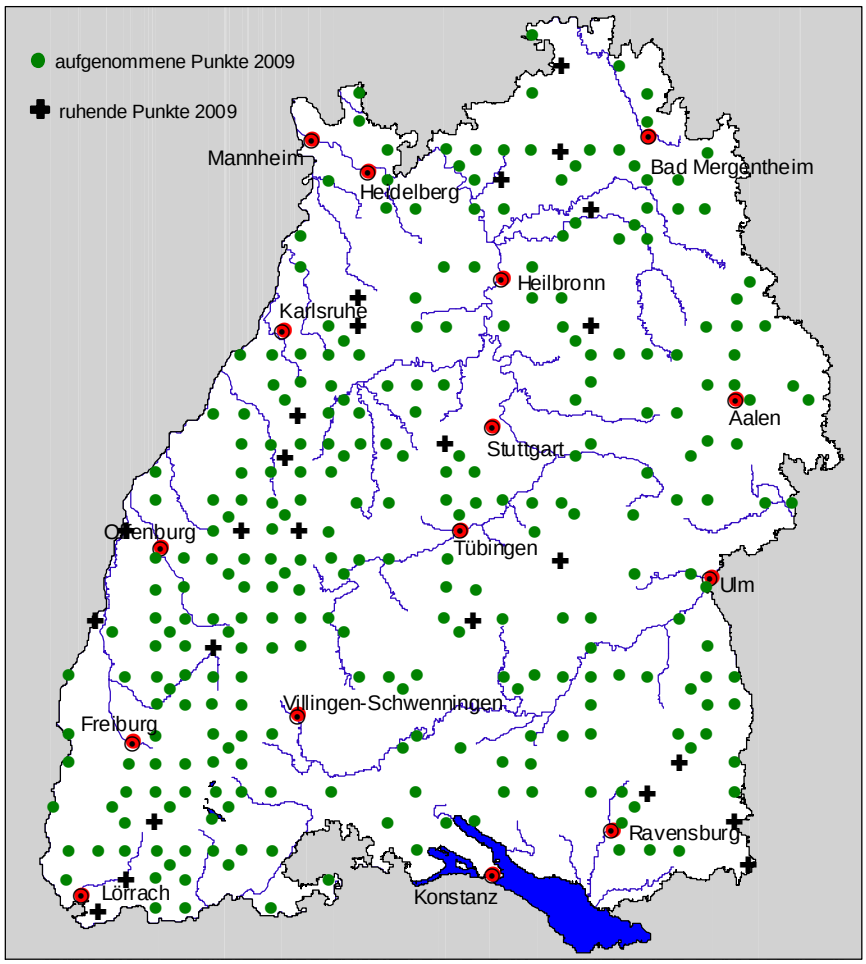


Abb. 6: Verteilung der Stichprobenpunkte der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg (8x8 km-Netz)

Tabelle 2: Anzahl untersuchter Probenbäume der Waldschadensinventur 2009

Anzahl untersuchter Probebäume TWI 2009		Fichte	Tanne	Kiefer	sNh	Eiche	Buche	sLh	Summe	Stichproben-punkte
Wuchsbebiete	Oberrheinisches Tiefland	0	0	20	20	61	15	287	403	17
	Odenwald	55	10	14	38	23	95	29	264	11
	Schwarzwald	977	681	78	42	37	378	98	2.291	96
	Neckarland	253	175	132	60	352	669	315	1.956	82
	Baar-Wutach	53	9	2	0	0	5	2	71	3
	Schwäbische Alb	435	8	7	15	4	144	106	719	30
	Südwestdeutsches Alpenvorland	554	7	4	31	24	163	154	937	40
Gesamt Baden-Württemberg	bis 60 Jahre	658	93	47	109	146	418	724	2.195	/
	über 60 Jahre	1.669	797	210	97	355	1.051	267	4.446	/
	Summe	**2.327**	**890**	**257**	**206**	**501**	**1.469**	**991**	**6.641**	**279**

Die Verteilung der untersuchten Bäume ist nach Baumarten getrennt in Tabelle 2 dargestellt. Die Fichte nimmt mit insgesamt 2.327 Bäumen und damit über einem Drittel aller untersuchten Bäume den größten Anteil der Stichprobe ein, gefolgt von Buche und den sonstigen Laubhölzern. Dies entspricht in etwa den tatsächlichen Baumartenverhältnissen in Baden-Württemberg. Der Anteil der Tanne ist bei der Waldschadensinventur etwas erhöht, da der Schwarzwald mit seinen hohen Tannenvorkommen auf Grund der großen zusammenhängenden Waldfläche im Monitoringnetz überproportional vertreten ist. Über ¾ aller Tannen der Stichprobe stehen im Schwarzwald. Dagegen sind die Laubbaumarten Buche und Eiche am stärksten im Wuchsgebiet Neckarland vertreten.

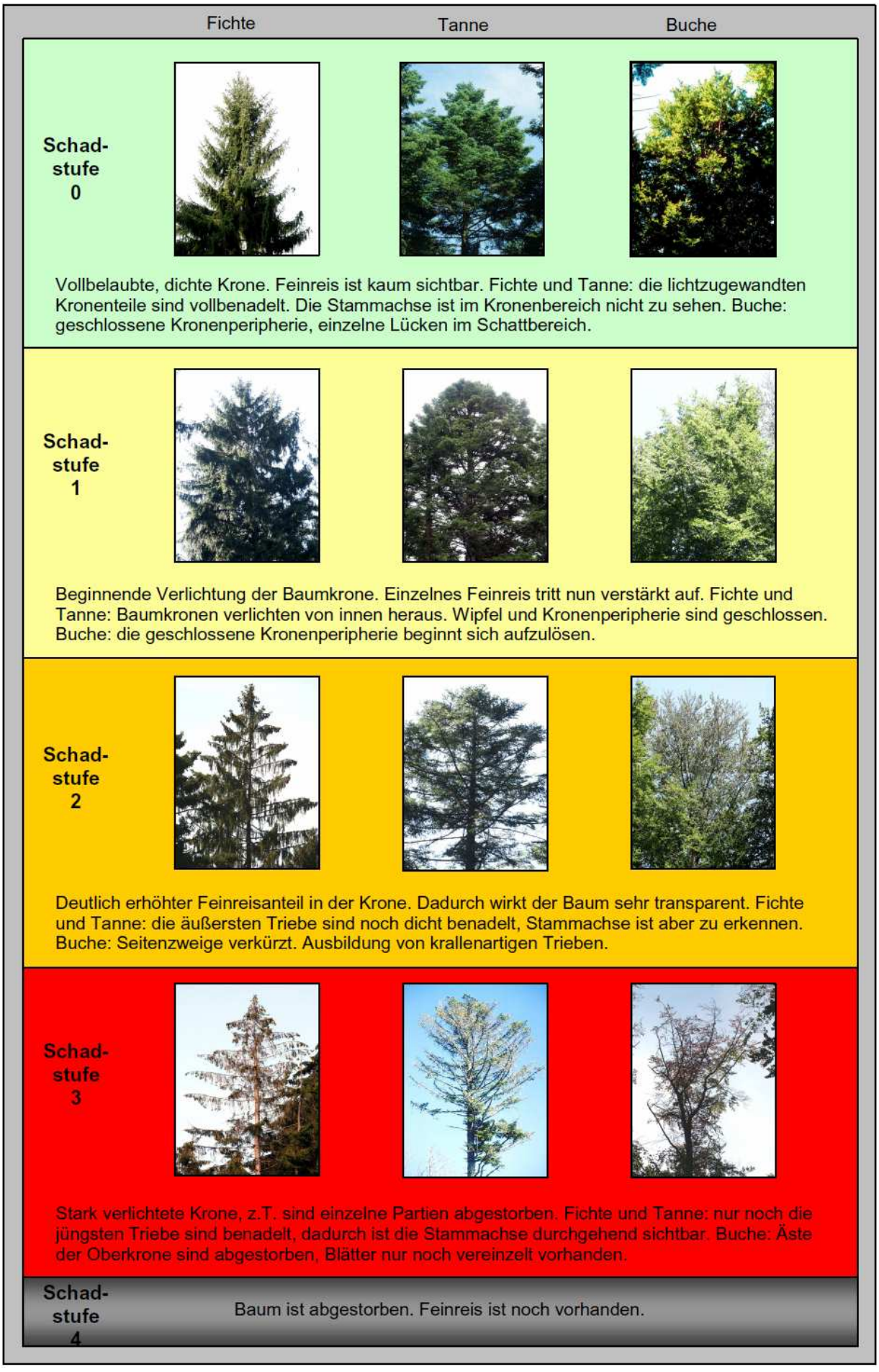


Abb. 7: Schadstufenübersicht und Kronenfotos der drei Hauptbaumarten Baden-Württembergs

4 ERGEBNISSE DER KRONENZUSTANDSERHEBUNG

4.1 Der Wald in Baden-Württemberg

Nach der deutlichen Verbesserung des Waldzustandes in Baden-Württemberg in den letzten beiden Jahren ist bei der aktuellen Erhebung 2009 wieder ein Anstieg des mittleren Nadel-/Blattverlust zu verzeichnen. Das mittlere Verlustprozent, berechnet aus den Werten aller Baumarten in Baden-Württemberg, erhöht sich um zwei Prozentpunkte auf insgesamt 25,6 Prozent und liegt damit etwa wieder auf dem Niveau des Jahres 2007. Der Stichprobenfehler des mittleren Nadel-/Blattverlustes der aktuellen Inventur lag bei ± 0,73 Prozentpunkten, so dass die Veränderung im Vergleich zum Vorjahr hochsignifikant ist (Abb. 8).

Die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Nadel-/Blattverluststufen aller Baumarten zeigt einen Anstieg der Waldfläche mit mittlerem und höherem Nadel-/Blattverlust (>30%). Dagegen verringert sich der Anteil der Waldfläche mit einer Nadel-/Blattverluststufe zwischen 10 und 30 Prozent deutlich. Der Waldflächenanteil der niedrigeren Nadel-/Blattverluststufen (<10%) steigt gegenüber dem Vorjahr an. Das bisherige Maximum der Nadel-/Blattverluststufen von 15 und 20% verringert sich, so dass die Nadel-/Blattverluststufen zwischen 5 und 40% in ihrer Häufigkeit in Prozent der Waldfläche in etwa gleich belegt sind. Auffällig ist zudem die prozentual starke Erhöhung der Stufen zwischen 40 und 70% Nadel-/Blattverlust. In diesem Bereich befinden sich im Jahr 2009 insgesamt knapp 24% der Waldfläche Baden-Württembergs, was einer Erhöhung des Anteils im Vergleich zum Vorjahr um 10 Prozentpunkte entspricht (Abb. 9).

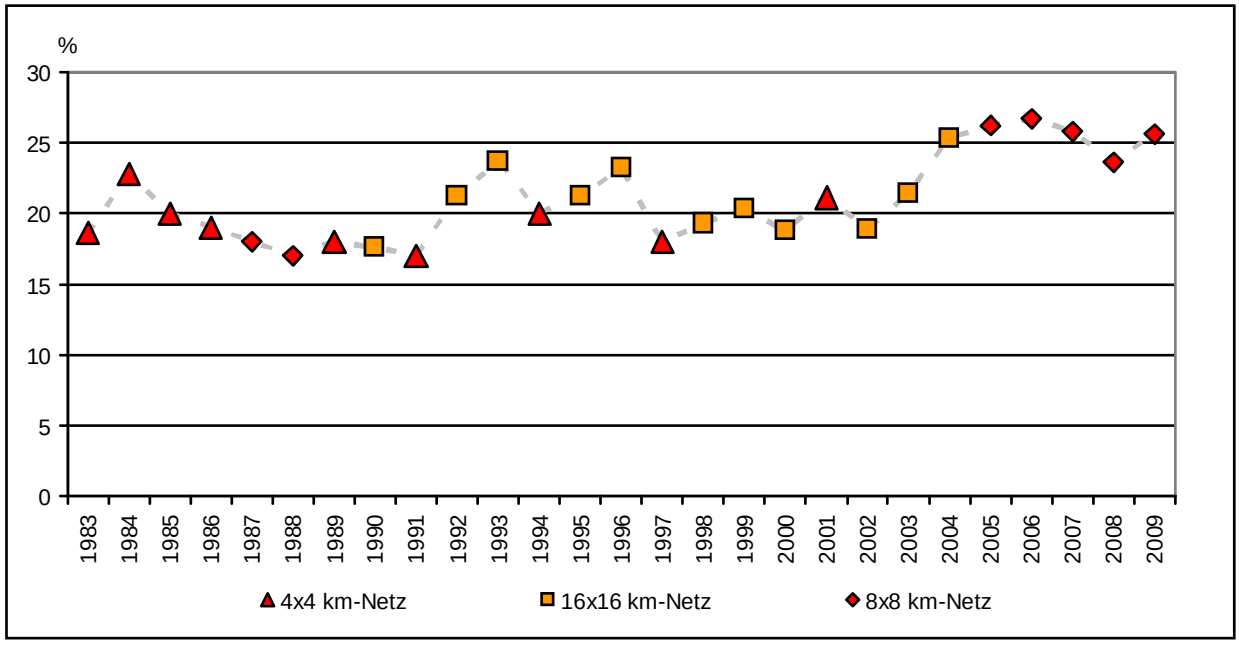


Abb. 8: Mittlerer Nadel-/Blattverlust aller Baumarten

Während bei den Nadelbäumen vorwiegend nur geringe Abweichungen der Häufigkeitsverteilung gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen sind, zeigt sich bei den Laubbäumen in Baden-Württemberg eine deutliche Verschiebung hin zu höheren Blattverluststufen. Lag im Jahr 2008 das Maximum der Häufigkeitsverteilung bei den Laubbäumen noch bei 15 bzw. 20% Blattverlust, ist es dieses Jahr, wenn auch geringer ausgeprägt, bei 35 bzw. 40% zu verzeichnen. Insgesamt wird die Kurve der Häufigkeitsverteilung bei den Laubbäumen deutlich flacher und breiter. Bei den Nadelbäumen ist dagegen nur eine leichte Abflachung der Verteilungskurve zu erkennen. Das Maximum bleibt hier, wie im Jahr 2008, bei 15 Prozent (Abb. 9).

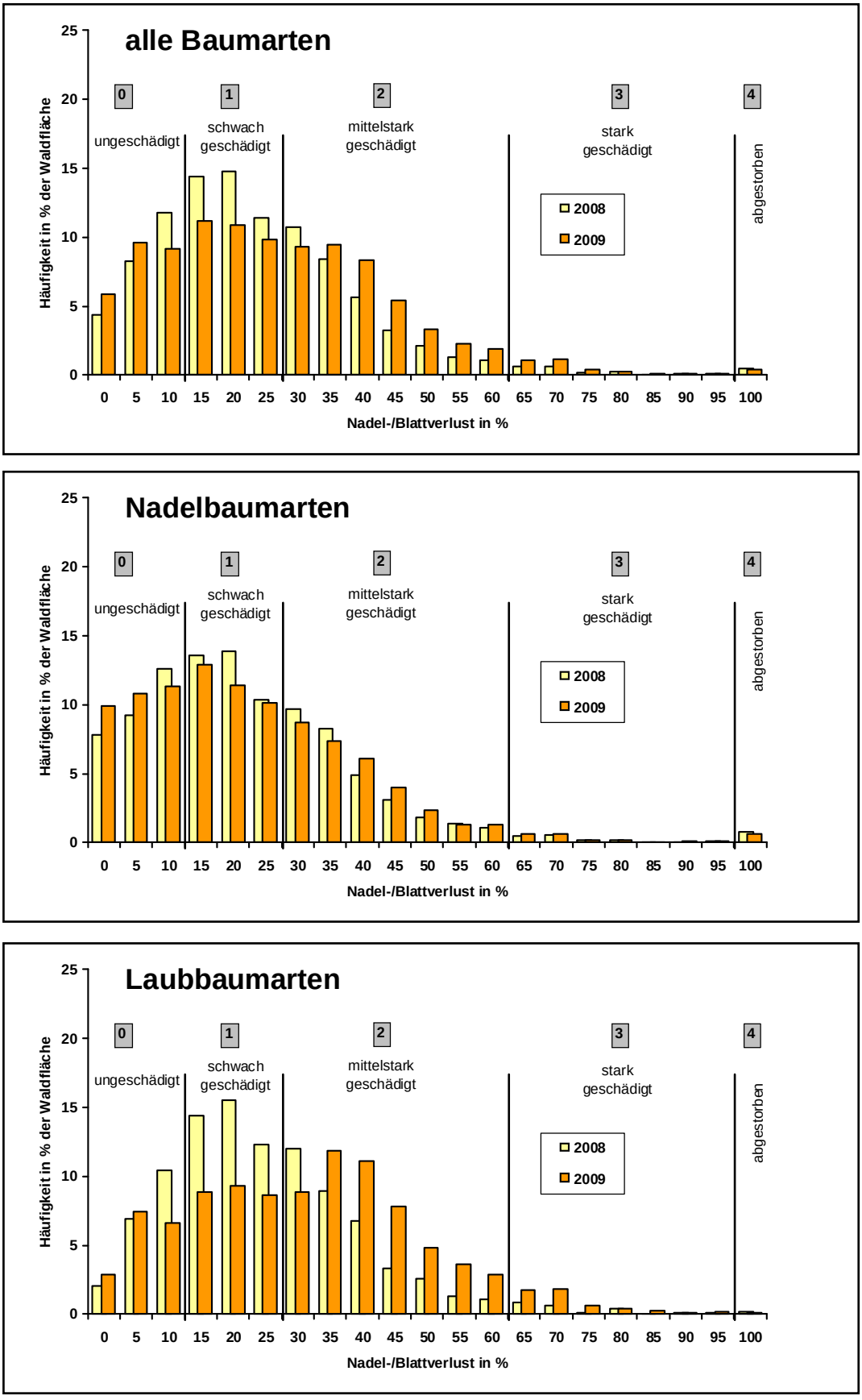


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste im Vergleich der Jahre 2008/2009

Nadel-/Blattverlust der Baumarten

Für die einzelnen Baumarten stellt sich das Ergebnis der Waldschadensinventur sehr unterschiedlich dar (Abb. 10). Für die Hauptbaumart **Fichte**, die mit über einem Drittel an der Gesamtanzahl der Untersuchungsbäume vertreten ist, kann eine leichte Verringerung des mittleren Nadelverlusts um 0,2 Prozentpunkte festgestellt werden. Mit insgesamt 21 Prozent Nadelverlust ist die Fichte somit weiterhin die Baumart mit den geringsten Kronenschäden in Baden-Württemberg. Die Baumart **Tanne** zeigt sich in den letzten Jahren als ausgesprochen stabile Baumart mit gleich bleibendem Schadniveau. Im Vergleich zum Jahr 2008 ist das mittlere Verlustprozent der Tannen leicht um 1,1 Prozentpunkte auf 24,2 Prozent angestiegen. Ein vergleichbarer Anstieg ist auch bei der **Kiefer** zu beobachten. Der mittlere Nadelverlust steigt hier um einen Prozentpunkt auf nunmehr 27,4 Prozent an.

Der mittlere Blattverlust der **Buchen** ist gegenüber dem Vorjahr deutlich um 9,6 Prozentpunkte auf 36,0 Prozent angestiegen. Nach der Erholung des Kronenzustandes in den letzten beiden Jahren ist somit wieder ein deutlicher Anstieg des Verlustprozents zu beobachten. Ursächlich hierfür ist vor allem die sehr starke Blüte und Fruchtausbildung der Buchen, die eine erhebliche Belastung für die Bäume darstellt und zu einer weniger dichten Belaubung führt. In aller Regel können sich stark fruktifizierende Buchen im Folgejahr wieder von derartigen natürlichen Belastungen erholen. Weitere Ausführungen zu diesem Themenkomplex finden sich im Kapitel 4.2 „Fruchtausbildung und Blattverlust“.

Der Kronenzustand der **Eichen** hat sich gegenüber dem letzten Jahr leicht verschlechtert. Der mittlere Blattverlust der Eichen erhöht sich um 1,1 Prozentpunkte auf nunmehr 34,3 Prozent. Somit ist nach einer Stagnation des Kronenzustandes auf hohem Niveau dieses Jahr wieder eine leichte Verschlechterung des Kronenzustandes zu verzeichnen.

Die Baumartengruppe der **sonstigen Nadelbäume** setzt sich nahezu zu gleichen Teilen aus Douglasien und Lärchen zusammen. Der mittlere Nadelverlust dieser Gruppe erhöht sich gegenüber dem Vorjahr leicht und liegt mit 27,3 Prozent knapp zwei Prozentpunkte über dem Durchschnittswert aller Bäume. Während die meist jüngeren Douglasien im Durchschnitt einen geringeren Nadelverlust aufweisen, zeigen die Lärchen durchschnittlich ein höheres Verlustprozent.

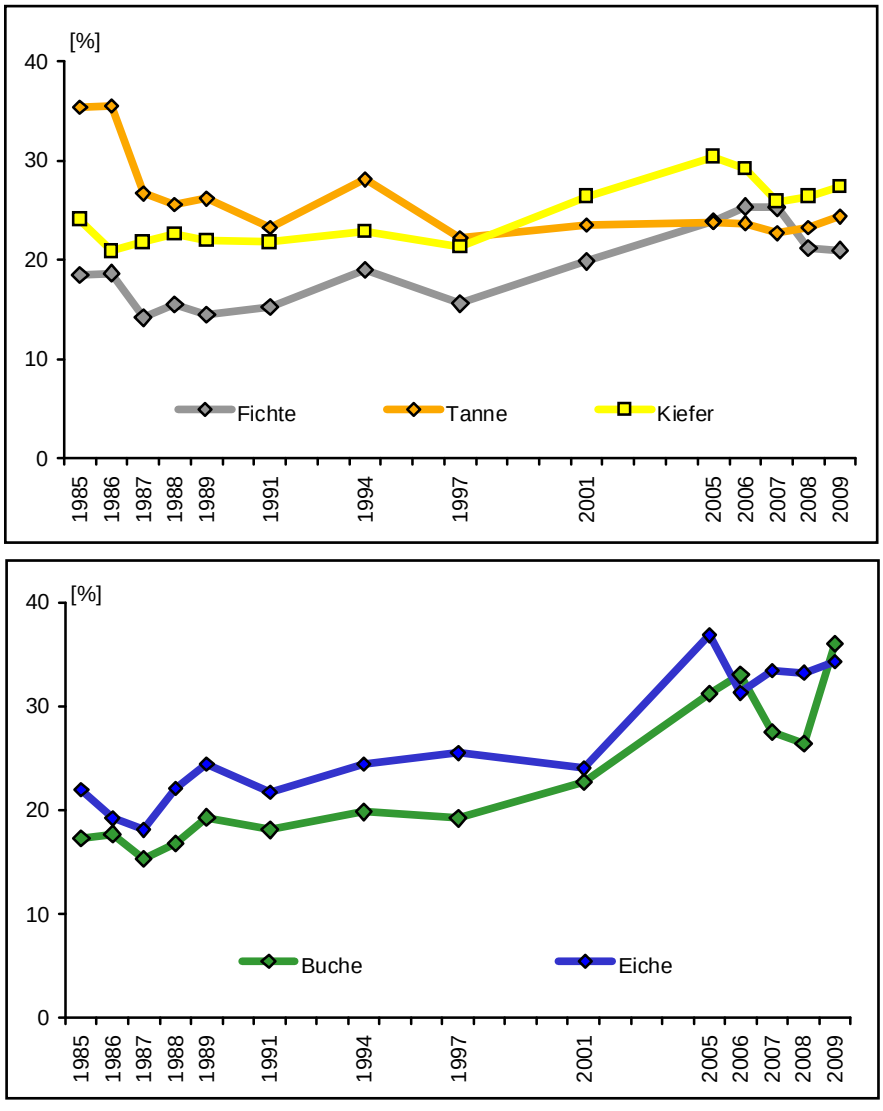


Abb. 10: mittlerer Nadel-/Blattverlust nach Baumarten

In der Gruppe der **sonstigen Laubbäume** ist eine Vielzahl von unterschiedlichen Baumarten vertreten. Den größten Anteil nehmen hierbei die Baumarten Esche und Ahorn ein. Der mittlere Blattverlust dieser Baumartengruppe steigt gegenüber dem Vorjahr ebenfalls leicht an, liegt aber im Vergleich zu den sonstigen Nadelbaumarten mit 20,7 Prozent deutlich unterhalb des Durchschnittswerts aller Baumarten. Dies lässt sich zum einen mit dem überdurchschnittlich hohen Anteil junger Bäume innerhalb dieser Baumartengruppe begründen. Zum anderen ist dies sicherlich auch Ausdruck der spezifischen Anpassungsfähigkeit an extreme Standortsbedingungen der vielen unterschiedlichen Baumarten dieser Gruppe.

In Abbildung 11 sind die Häufigkeitsverteilungen der Nadel-/Blattverlustwerte für die einzelnen Hauptbaumarten Baden-Württembergs dargestellt. Es wird ersichtlich, dass die derzeit das geringste Schadniveau aufweisenden Baumarten Fichte und Tanne ihr Maximum der Häufigkeiten bei 0 bis 15 Prozent Nadelverlust haben. Dagegen weist die Baumart Kiefer eine stark linksschiefe Verteilung der Häufigkeiten auf, mit einem ausgeprägten Maximum bei 20 Prozent Nadelverlust. Bessere Nadelverlustwerte sind bei der Kiefer im Vergleich zu den anderen Nadelbaumarten deutlich unterrepräsentiert. Der Verlauf der Häufigkeitsverteilung für die derzeit am stärksten geschädigten Baumarten Buche und Eiche ist mit einem Maximum bei 35 bzw. 40 Prozent sehr ähnlich. Zu beiden Seiten flachen die Kurven ähnlich einer Normalverteilung ab. Bei der Baumart Eiche ist ein höherer Flächenanteil mit geringeren Blattverlusten zu verzeichnen.

Vergilbung

In Baden-Württemberg ist die betroffene Waldfläche mit vergilbten Nadeln bzw. Blättern weiter äußerst gering. Lediglich 1,2 Prozent der Fläche zeigt überhaupt eine Gelbfärbung der Blattorgane, ein Großteil davon lediglich mit geringer Intensität (Abb. 12). Vergilbungen der Blattorgane sind meist auf einen Nährstoffmangel der Bäume zurückzuführen. Bedingt durch im Niederschlag angereicherten Schwefel- und Stickstoffverbindungen wird das Nährelement Magnesium aus dem Boden ausgewaschen, so dass es den Bäumen nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Solche, durch den Menschen verursachte Versauerungsprozesse im Boden, werden seit Anfang der 1980er Jahre in Baden-Württemberg durch Bodenschutzkalkungen kompensiert. Der Rückgang der Vergilbung an Nadeln und Blättern ist nicht zuletzt durch die Waldkalkung und die zwi-

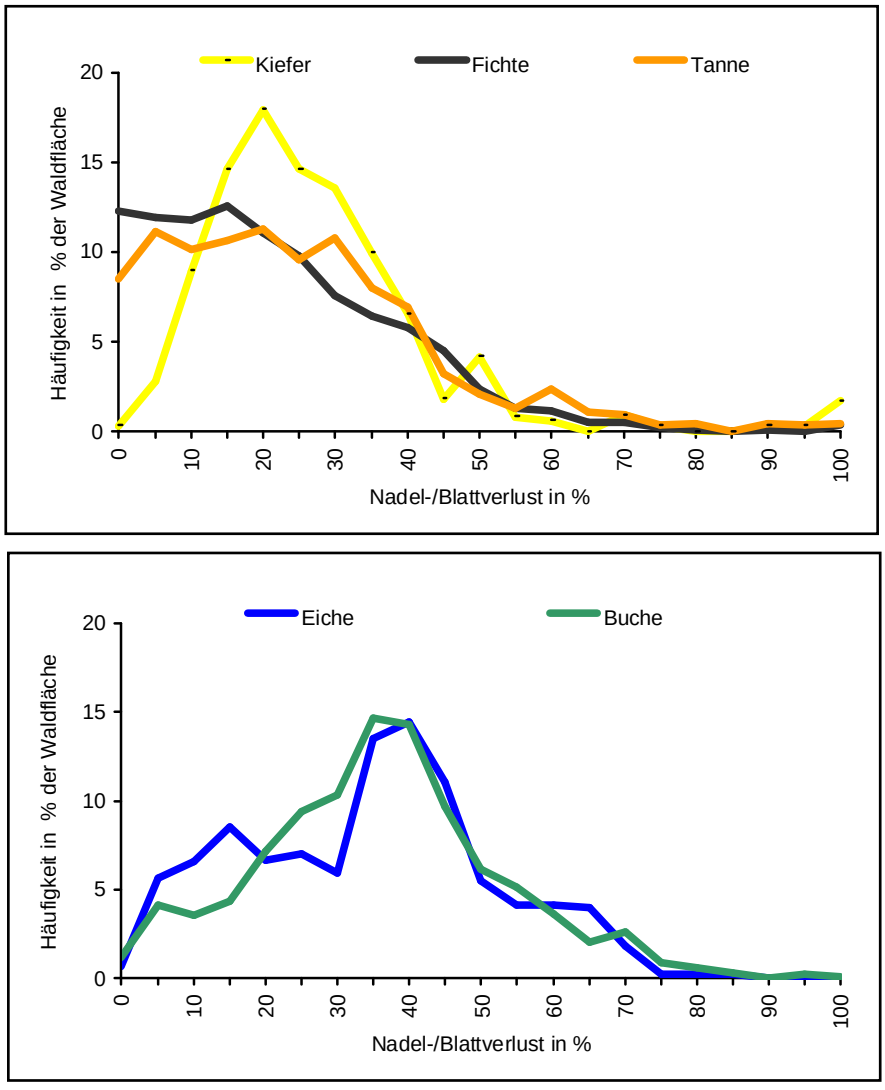


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung des Nadel-/Blattverlusts nach Baumarten

schenzeitlich durchgeführten Wiederholungskalkungen begründet, sowie durch mittlerweile deutlich nachlassende Säureeinträge (siehe Kap. 7.3).

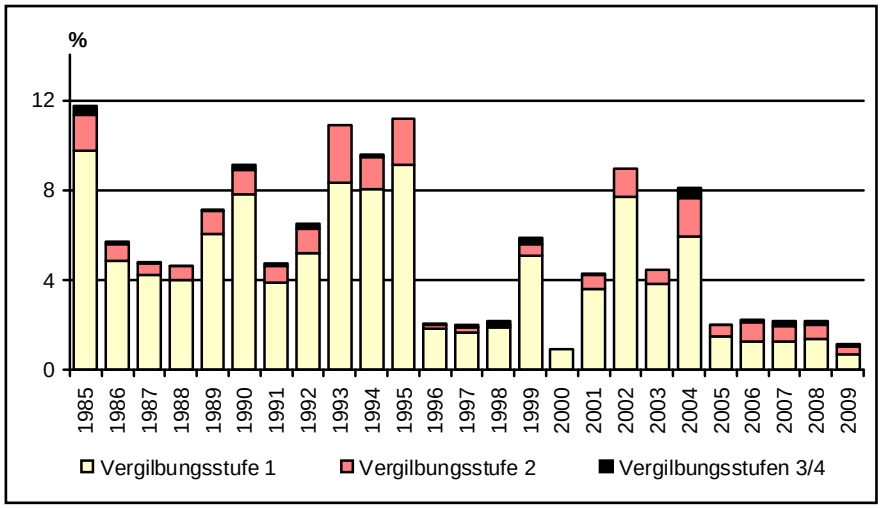


Abb. 12: Anteil vergilbter Waldfläche in Baden-Württemberg

Blattverfärbung an Buche

In weiten Teilen des Landes wurde bereits im August eine vorzeitige Laubverfärbung an Buchen beobachtet. Die Verfärbung der Blätter verlief nahezu schlagartig von grün nach rot bzw. braun, ohne den sonst üblichen herbstlichen Farbverlauf (Abb. 13). Erste Untersuchungen der FVA Baden-Württemberg zeigten, dass die betroffenen Blätter rasch abtrockneten und durch schwache Windwirkung oder leichte Berührung abfielen, die angelegten Knospen aber bei den meisten Untersuchungsbäumen noch grün und gesund waren. Zunächst schienen nur einzelne Randbäume oder stark exponierte Bäume, deren Krone weit über das Kronendach des Bestandes herausragte, betroffen zu sein. Im späteren Verlauf verfärbten sich aber auch ganze Buchenbestände. Dies wurde vorwiegend auf sonnenexponierten und trockenen Standorten beobachtet. Zudem waren nur Buchen mit starker Fruchtbildung (Bucheckern) von dieser frühzeitigen Verfärbung betroffen. Ähnliche Beobachtungen wurden unter anderen auch in den Bundesländern Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz gemacht (PETERCORD et al. 2009, NWD-FVA 2009).

Abb. 13: verfrühte Laubverfärbung an Buche im August 2009

Die frühzeitige Verfärbung der Buchen im Sommer 2009 ist als eine physiologische Stresssituation anzusehen. Durch die außergewöhnlich starke Fruktifikation der Buchen und die dadurch bedingte Umverteilung der Nährelemente innerhalb des Baumes verringert sich die Saugspannung der Blattzellen, so dass nicht mehr ausreichend Wasser in die Zellen diffundieren kann. Es kommt zum Trockenstress der Buchen, der durch die im Spätsommer 2009 einsetzende Trockenheit und starker Sonneneinstrahlung verschärft wird.

Schadstufen

Die Kombinationsschadstufen werden als Übersicht über das Gesamtergebnis aus dem Nadel-/Blattverlust und der Vergilbung der Bäume berechnet. Da die Vergilbung an Nadeln und Blättern in den letzten Jahren nur noch sehr vereinzelt auftritt, wird die Schadstufenverteilung derzeit maßgeblich vom Nadel-/Blattverlust beeinflusst. Im Jahr 2009 hat sich der Anteil der Schadstufe 2 (mittelstark geschädigte Bäume) um sechs Prozentpunkte auf insgesamt 38% deutlich vergrößert. Dagegen sank der Anteil der Schadstufe 1 (schwach geschädigte Bäume) um acht Prozentpunkte auf 32 Prozent der Waldfläche Baden-Württembergs. Nahezu unverändert zum Vorjahr blieben die Schadstufen 0 (ungeschädigte Bäume) und die Schadstufen 3 bzw. 4 (stark geschädigte bzw. abgestorbene Bäume).

Der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche, der die Summe der Schadstufen 2 bis 4 darstellt, erhöhte

Tabelle 3: Entwicklung der Schadstufenanteile 1983 bis 2009

Jahr	SST 0	SST 1	SST 2	SST 3/4	SST 2-4 (deutliche Schäden)	mittlerer NBV in %	Aufnahme-dichte
1983	51	31	17	1	**18**	/	4x4
1984	34	42	22	2	**24**	/	4x4
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

sich von 35 Prozent im Jahr 2008 auf 42 Prozent im Jahr 2009 (Tabelle 3).

Ausgefallene Bäume / Ersatzbäume

Bei der diesjährigen Waldschadensinventur sind insgesamt 308 Bäume auf 97 Stichprobenpunkten ausgefallen. Dies entspricht einem Anteil von 4,6 Prozent aller Untersuchungsbäume. Von den 308 ausgefallenen Bäumen waren 25 Bäume als stehendes Totholz mit Feinreisiganteil an den Stichprobenpunkten vorhanden und gingen somit in die Bewertung des Waldzustandes mit ein. Die übrigen 283 Bäume waren zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits entnommen oder sie waren, z. B. durch Windwurf oder Kronenbruch, nicht mehr Bestandteil der Aufnahme. Der Großteil der so ausgefallenen Bäume konnte von den Aufnahmetrupps durch neue Stichprobenbäume ersetzt werden. Das Durchschnittsalter der Ersatzbäume beträgt 78,3 Jahre und liegt somit leicht unter dem der ausgefallenen Bäume (80 Jahre). In der Regel werden ausgefallene Bäume eines Stichprobenpunktes durch gleichaltrige Bäume desselben Waldbestandes ersetzt. Entstehen beispielsweise durch Windwurf am Stichprobenpunkt größere Bestandeslücken, ist es aber auch möglich, jüngere Ersatzbäume mit in die Stichprobe einzubeziehen. Fallen alle Bäume eines Stichprobenpunktes aus, dauert es im Allgemeinen einige Jahre bis wieder ein neuer, jüngerer Bestand herangewachsen ist, der dann wieder in die Stichprobe der Waldschadensinventur aufgenommen werden kann (Abb. 15).

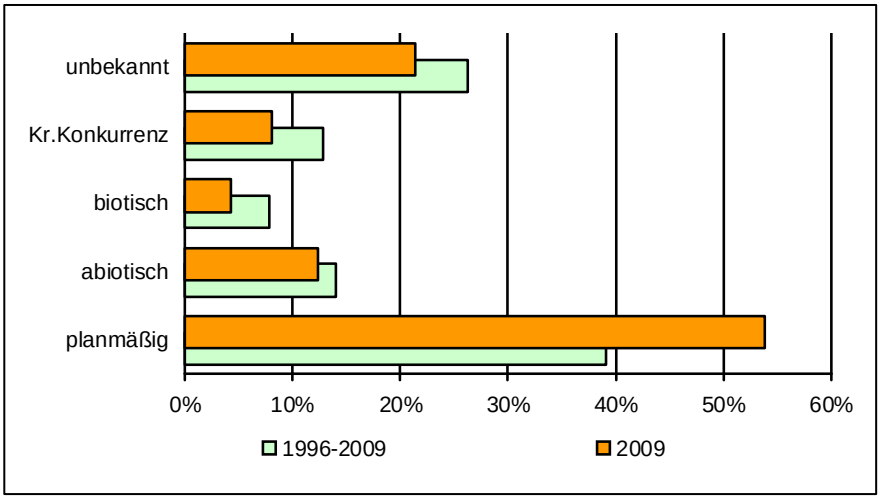


Abb. 14: ausgefallene Stichprobenbäume 2009

Die prozentuale Verteilung der ausgefallenen Bäume auf die einzelnen Baumarten ist nahezu identisch mit der Baumartenverteilung der Stichprobe. Dies ist insofern bemerkenswert, da in den letztjährigen Aufnahmen jeweils die Fichte auf Grund des hohen Schädlingsdrucks der Fichten-

Abb. 15: Stichprobenpunkt mit jungen Fichten auf ehemaliger Sturmwurffläche

Borkenkäfer am Anteil der ausgefallenen Bäume überproportional vertreten war. Im Jahr 2009 war die Schädigung durch Fichten-Borkenkäfer deutlich geringer, so dass sich der Anteil der ausgefallenen Fichten innerhalb der Stichprobe gegenüber den Vorjahren verringerte.

Für jeden ausgefallenen Baum wird von den Aufnahmetrupps am Stichprobenpunkt der Waldschadensinventur der Ausfallgrund festgehalten. Demnach wurden über die Hälfte der ausgefallenen Bäume im Jahr 2009 durch eine planmäßige, forstwirtschaftliche Nutzung aus dem Bestand entfernt (Abb. 14). Insgesamt 12 Prozent der ausgefallenen Bäume sind auf Grund einer abiotischen Ursache nicht mehr in der Stichprobe vertreten. Dies sind im Wesentlichen Bäume, die durch Sturmböen bzw. Nassschnee abgebrochen oder umgefallen sind. Aus biotischer Ursache (z. B. Fichten-Borkenkäfer) wurden lediglich vier Prozent der ausgefallenen Bäume ersetzt. Dies entspricht knapp der Hälfte des Durchschnittswertes seit 1996. Auf Grund einer geänderten Kronenkonkurrenz innerhalb des Bestandes (Kraft´sche Klasse) mussten insgesamt acht Prozent der ausgefallenen Bäume aus der Stichprobe genommen werden. Nur herrschende Bäume werden in der Waldschadensinventur erfasst (siehe Kap. 3.1). Bei 21 Prozent der ausgefallenen Bäume konnte kein gesicherter Ausfallgrund mehr ermittelt werden.

Baumalter

Der Kronenzustand steht im engen Zusammenhang mit dem Alter der Bäume. Jüngere Bäume sind in der Regel deutlich vitaler, als ältere Bäume. Ab einem Baumalter zwischen 50 und 60 Jahren treten vermehrt Schadsymptome auf, die sich in einem höherem Nadel-/Blattverlust widerspiegeln (Abb. 16).

Baumphysiologisch kann das höhere Schadniveau ab diesem relativ geringen Baumalter nicht vollständig erklärt werden. Es wird angenommen, dass die Bäume durch eine Akkumulation der langfristig einwirkenden Schadwirkungen mit zunehmendem Alter gegenüber Schädigungen anfälliger werden und dadurch einen höheren Nadel-/Blattverlust aufweisen.

Zeittrend der Fichte

Die Entwicklung des Kronenzustandes getrennt nach Altersgruppen ist für die Fichte in Abbildung 17 dargestellt. Der Zeittrend ist hierbei nach dem Alter standardisiert, um den Effekt ungleichmäßiger Altersverteilungen auszuschließen. Zu erkennen ist eine deutlich Rangfolge des Schädigungsniveaus der Fichten zwischen dem mittleren Alter von 95, 75 und

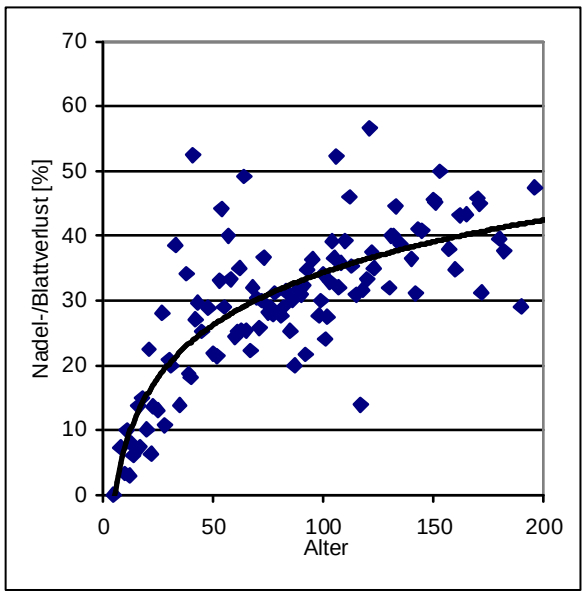


Abb. 16: Einfluss des Baumalters auf den Nadel-/Blattverlust

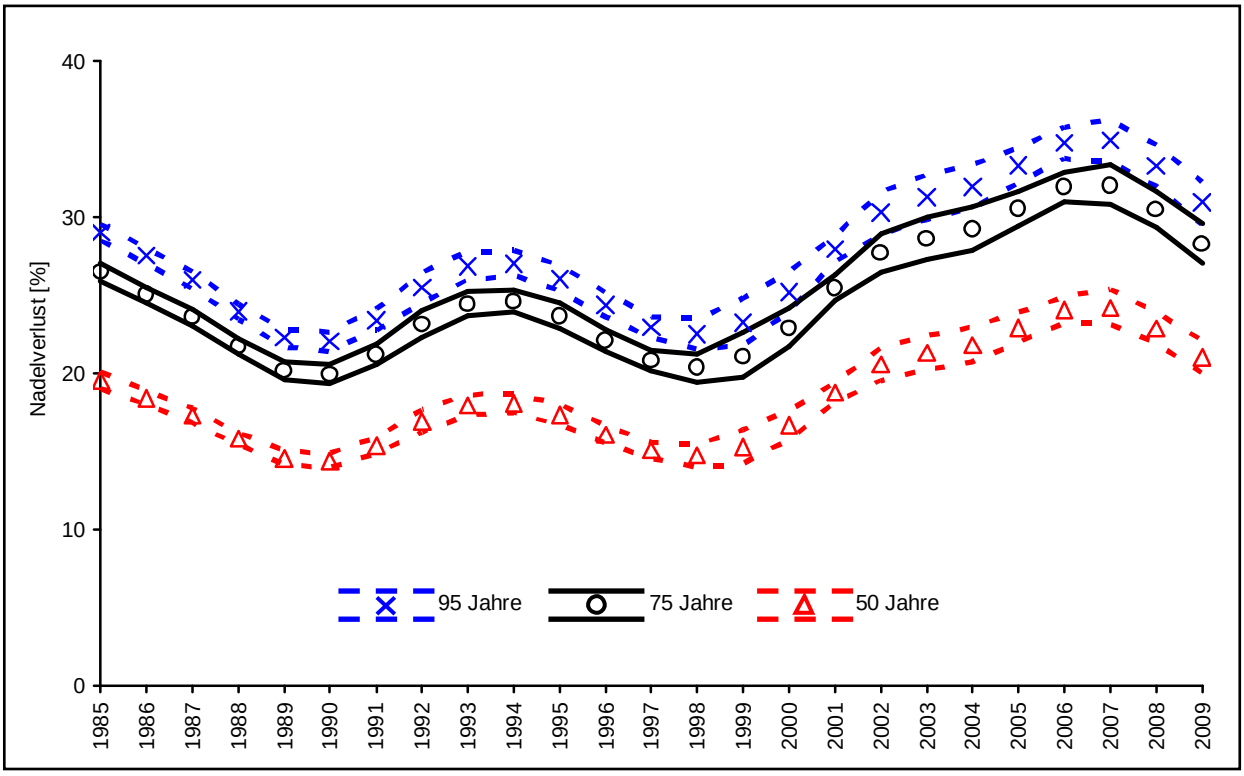


Abb. 17: Zeitlicher Trend der Nadelverluste bei der Fichte (nach Altersgruppen getrennt)

50 Jahren. In der zeitlichen Entwicklung der Nadelverluste zeigen jedoch alle drei Kurven eine hohe Parallelität.

Mit Hilfe der Auswertungen des Raum-Zeit-Modells (AUGUSTIN et al. 2009) wird zudem die positive Entwicklung des Kronenzustandes der Hauptbaumart Fichte in Baden-Württemberg innerhalb der beiden letzten Jahre deutlich. Entgegen dem Gesamtergebnis aller Baumarten, zeigt die Fichte in dieser um Alters- und Regionaleffekte bereinigten Form, eine deutliche Verringerung des Nadelverlustes in den beiden zurückliegenden Jahren. In der gesamten Zeitreihe seit 1985 lässt sich allerdings ein ansteigender Trend der Nadelverluste erkennen, der durch eine periodische Schwankung der Nadelverluste überlagert wird. Auffällig ist, dass das periodische Muster der Schwankungen der Nadelverluste mit Maxima im ca. 10 Jahresabstand seit etwa dem Jahr 1999 durchbrochen wird und ein diffuseres Bild mit deutlich kürzeren Stress- und Erholungsphasen auftritt. Dies kann vorsichtig als eine Reaktion der Fichten auf die sich ändernden Witterungsbedingungen mit zunehmenden Klimaextremen interpretiert werden.

4.2 Fruchtausbildung und Blattverlust

Die Waldbäume zeigten im Jahr 2009 eine außergewöhnlich starke Blüte und Fruchtausbildung in Baden-Württemberg. Insgesamt wiesen knapp 60 Prozent aller Stichprobenbäume Fruchtbehang auf, davon die Hälfte in mittelstarker bis starker Intensität. Die Anlage von Blütenknospen erfolgt bereits im Frühjahr des vorangegangenen Jahres. Lange Perioden mit hoher Sonnenscheindauer und geringen Niederschlägen, wie sie im Frühjahr 2008 in weiten Teilen Baden-Württembergs gemessen wurden, fördern dabei den Fruchtansatz für ein nachfolgendes gutes Samenjahr (BARTELS 1993).

Regionale Verteilung

Regional betrachtet zeigen sich in der Verteilung der stärkeren Fruktifikation auf den Stichprobenpunkten der Waldschadensinventur Schwerpunkte in den Laubholzgebieten Baden-Württembergs. Während die von Nadelholz geprägten Hochlagen des Schwarzwaldes sowie die Region Oberschwabens

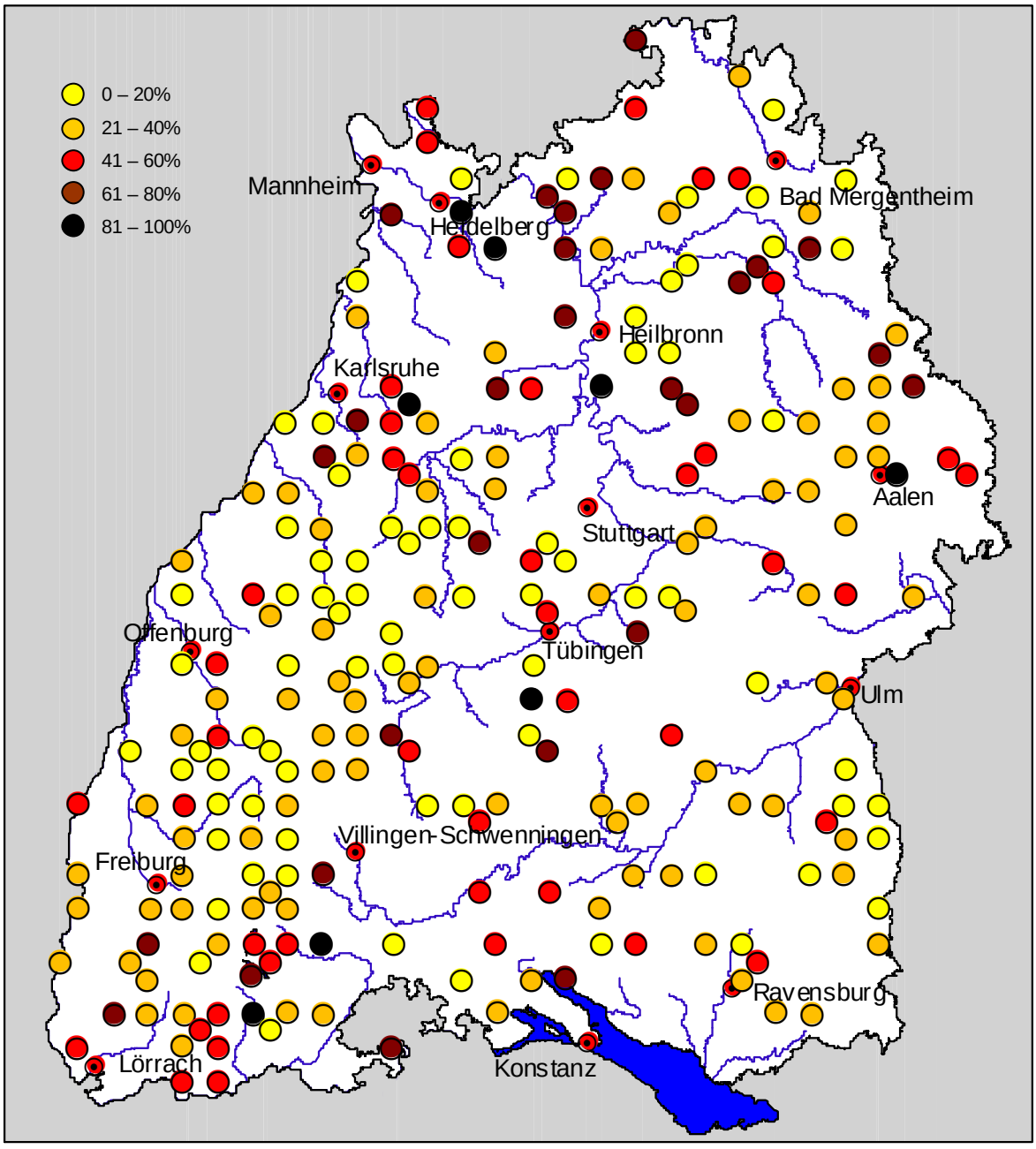


Abb. 18: Prozentualer Anteil der stärker fruktifizierenden Bäume (Fruktifikatonsstufe 2 bzw. 3) an Stichprobenpunkten mit einem Bestandesalter >50 Jahre

einen deutlich geringeren Anteil an stärker fruktifizierenden Bäumen aufweisen, sind in den von Laubholz geprägten Gebieten der Schwäbischen Alb, des Neckarlandes und Odenwaldes erheblich mehr Bäume mit stärkerem Fruchtbehang aufzufinden. In Abbildung 18 lässt sich sogar an Hand der räumlichen Verteilung der Fruktifikation die laubholzdominierte Rheinebene und die Vorbergzone des Schwarzwaldes abgrenzen.

Baumarten

Besonders häufig und mit besonders starker Intensität wurde eine Fruchtausbildung bei der Baumart Buche beobachtet. Über 60 Prozent aller Buchen im blühfähigen Alter zeigten eine mittlere bis starke Fruchtausbildung. Ähnlich stark fruktifizierten die Laubbaumarten Hainbuche, Linde und Ahorn. Der Anteil an stärker fruktifizierenden Fichten und Tannen lag mit 25 bzw. 29 Prozent in der Zeitreihe betrachtet auch noch relativ hoch. Eine etwas geringere Fruchtintensität zeigten im Jahr 2009 dagegen die Baumarten Kiefer und Eiche (Abb. 19).

Die Buchenmast im Jahr 2009 ist derart intensiv, wie sie seit 1991, dem Beginn der regelmäßigen Aufnahme des Parameters Fruktifikation bei der Waldschadensinventur noch nicht beobachtet wurde. In den bisherigen Mastjahren der Buche wiesen deutlich weniger Bäume eine mittelstarke bis starke Fruktifikation auf. Zudem ist eine Häufung der Mastjahre bei der Buche zu beobachten. Nach 2004 und 2006 stellt das aktuelle Jahr bereits die dritte größere Buchenmast innerhalb des letzten Jahrzehnts dar (Abb. 20). Die Witterungsbedingungen der letzten Jahre, mit hohen Frühlingstemperaturen und geringen Niederschlägen, scheinen eine häufigere Fruktifkation der Buchen zu fördern.

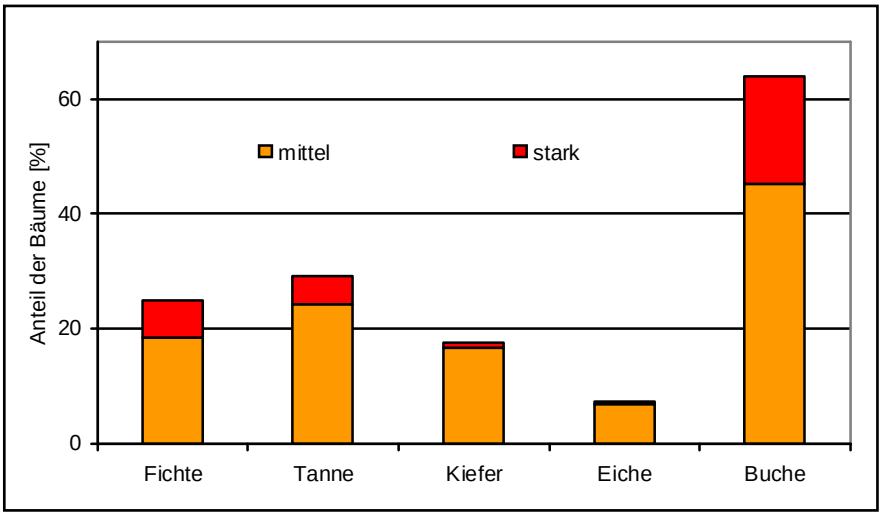


Abb. 19: Fruktifikationsintensität nach Baumarten (mittlerer und starker Fruchtbehang)

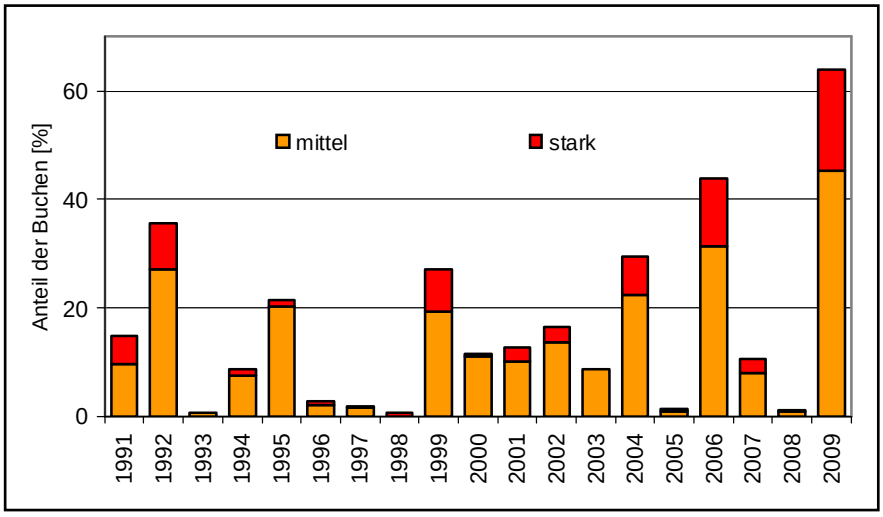


Abb. 20: Fruktifikationsintensität der Buchen seit 1991 (mittlerer und starker Fruchtbehang)

Kronenzustand

Eine starke Fruktifikation stellt für Bäume eine außergewöhnliche Belastung dar. Insbesondere bei Baumarten mit großen Früchten, wie Buche und Eiche, wird ein erheblicher Anteil an Reservestoffen für die Ausbildung der Früchte verbraucht, so dass dies im Jahr der Mast zu Vitalitätsverlusten der Bäume führen kann. Neben Zuwachseinbußen der betroffenen Bäume kann sich eine stärkere Fruktifikation auch negativ auf den Kronenzustand der Bäume auswirken (SCHMIDT 1991). Der Zusammenhang zwischen starker Fruktifikation und erhöhten Nadel-/Blattverlust kann mit den Ergebnissen der Waldschadensinventur für die Baumarten Fichte und Buche belegt werden (Abb. 21).

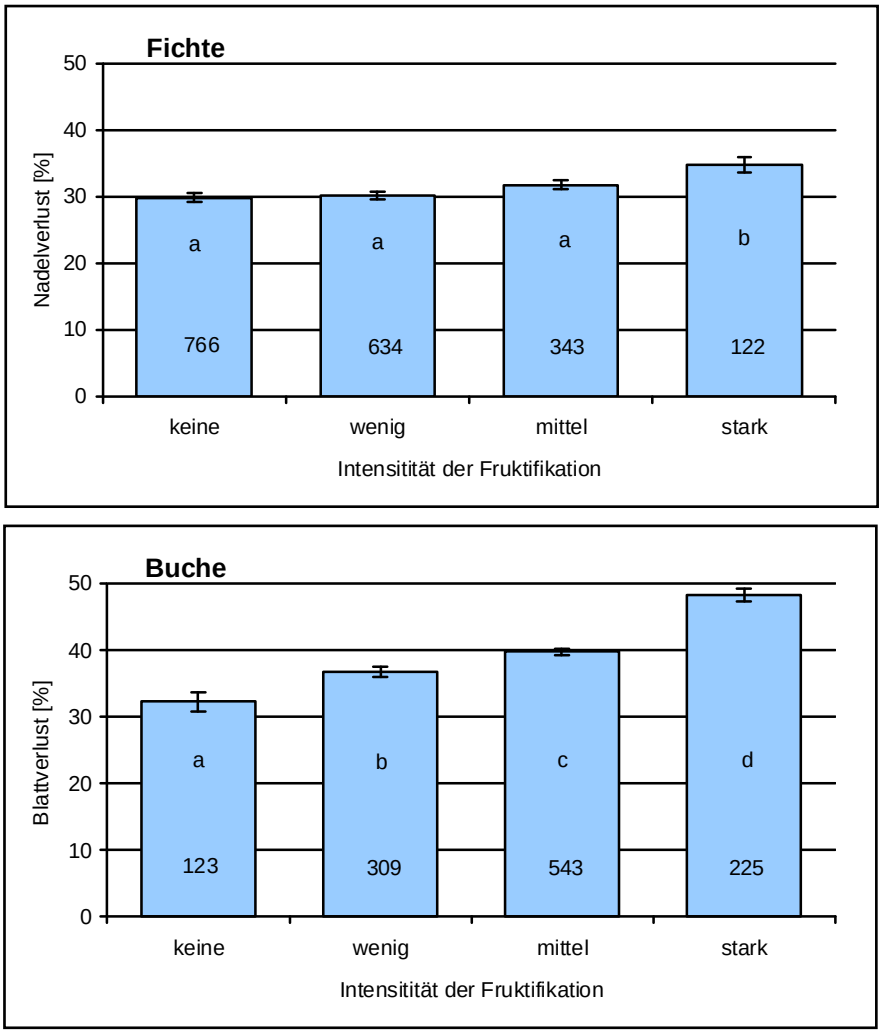
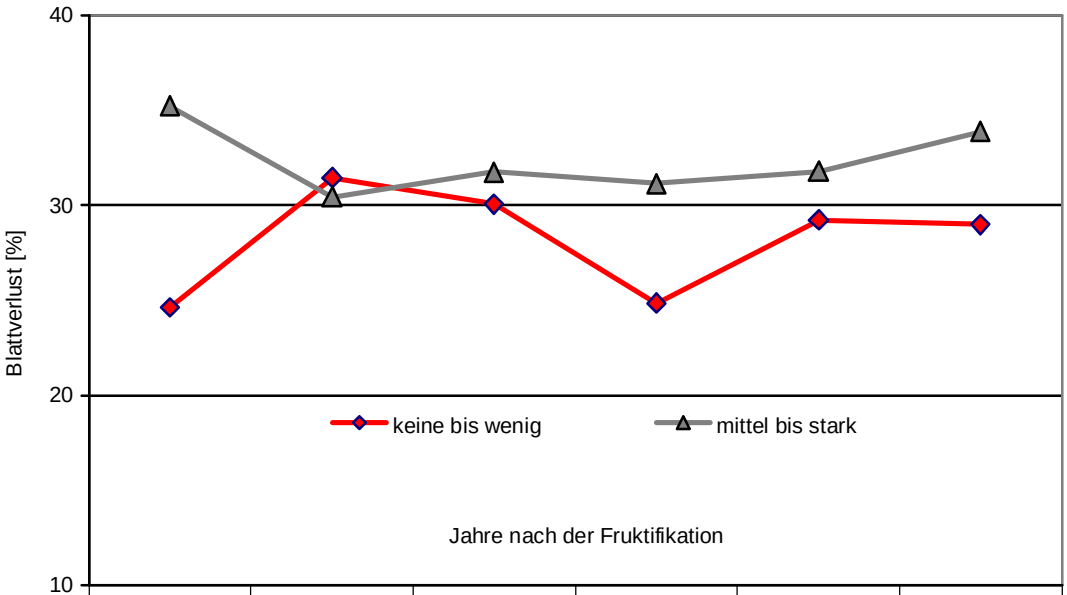


Abb. 21: mittlerer Nadel-/Blattverlust von Fichte (oben) und Buche (unten) in Abhängigkeit zur Intensität der Fruktifikation (Baumanzahl ist angegeben). Säulen unterschiedlicher Indizes zeigen eine signifikante Abweichung (p=0,05)

Eine stärkere Fruchtausbildung wirkt sich demnach direkt auf den Kronenzustand der Bäume aus. Während bei der Baumart Fichte ein lediglich leicht erhöhter Nadelverlust erst bei starkem Fruchtbehang zu beobachten ist, stellt sich bei der Baumart Buche dieser Effekt deutlich stärker und bereits bei geringerem Fruchtbehang ein. Der mittlere Blattverlust der Buchen ohne Fruchtbehang liegt bei 32% und damit knapp acht Prozentpunkte niedriger wie der von mittelstark fruktifizierenden Buchen. Bei den stark fruktifizierenden Buchen beträgt der Unterschied sogar 16 Prozent.

Die Regeneration des Kronenzustandes nach einem stärkeren Fruchtbehang vollzieht sich in gesunden Waldbeständen relativ schnell innerhalb eines Jahres. In Abbildung 22 ist die Entwicklung des Blattverlusts von mittelstark bis stark fruktifizierenden, im Vergleich zu wenig oder nicht fruktifizierenden Buchen, dargestellt. Bei der Darstellung handelt es sich um eine jahresübergreifende Auswertung der bisherigen Daten der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg. Im Buchenmastjahr (Jahr 0) weisen die stärker fruktifizierenden Buchen, wie oben bereits für das Jahr 2009 beschrieben, einen deutlich höheren Blattverlust gegenüber dem Vergleichskollektiv auf. Bereits im ersten Jahr nach der Fruktifikation regeneriert sich der Kronenzustand aber weitestgehend. In der weiteren zeitlichen Entwicklung verharrt der Blattverlust dieses Kollektives aber auf z. T. deutlich erhöhtem Schadniveau. Es ist davon auszugehen, dass einzelne vorgeschädigte Buchen sich auf Grund des hohen Blattverlustes nicht mehr vollständig regenerieren können und so über Jahre starke Schädigungen in der Krone aufweisen.



Fruktifikation	0	1	2	3	4	5
keine bis wenig	24,6	31,4	30,1	24,8	29,2	29,0
mittel bis stark	35,2	30,4	31,7	31,1	31,8	33,9

Abb. 22: Entwicklung des Blattverlusts von Buchen in den fünf Folgejahren nach einem Mastjahr (Jahr 0) in Abhängigkeit von der Fruktifikationsstärke

4.3 Regionen Baden-Württembergs

Der Kronenzustand wird dieses Jahr maßgeblich vom deutlich erhöhten Blattverlust der Buchen in Verbindung mit einer außergewöhnlich starken Fruktifikation bestimmt. Dieses spiegelt sich auch im Waldzustand der einzelnen Regionen Baden-Württembergs wider. In den Wuchsgebieten mit einem hohen Buchenanteil, wie Neckarland und Schwäbische Alb, steigt der mittlere Nadel-/Blattverlust an. Dagegen erhöht sich das Verlustprozent im Südwestdeutschen Alpenvorland nur leicht. Im Fichten und Tannen dominierten Schwarzwald verringert sich der mittlere Nadel-/Blattverlust sogar geringfügig (Abb. 23).

Auf Grund der Stichprobendichte des 8x8 km-Netzes der Waldschadensinventur können nur für die großen Wuchsgebiete *Schwarzwald*, *Neckarland*, *Schwäbische Alb* und *Südwestdeutsches Alpenvorland* regionale Aussagen über den Waldzustand getroffen werden (Abb. 24).

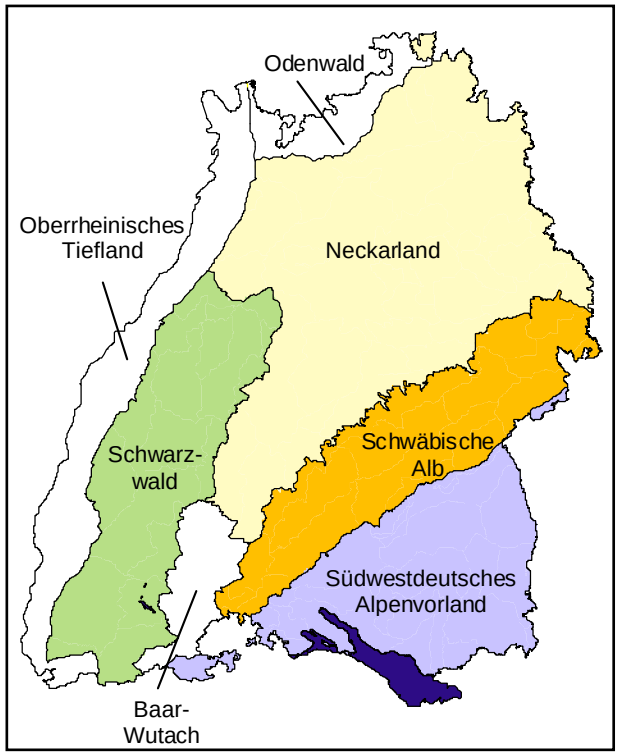


Abb. 24: Wuchsgebiete in Baden-Württemberg

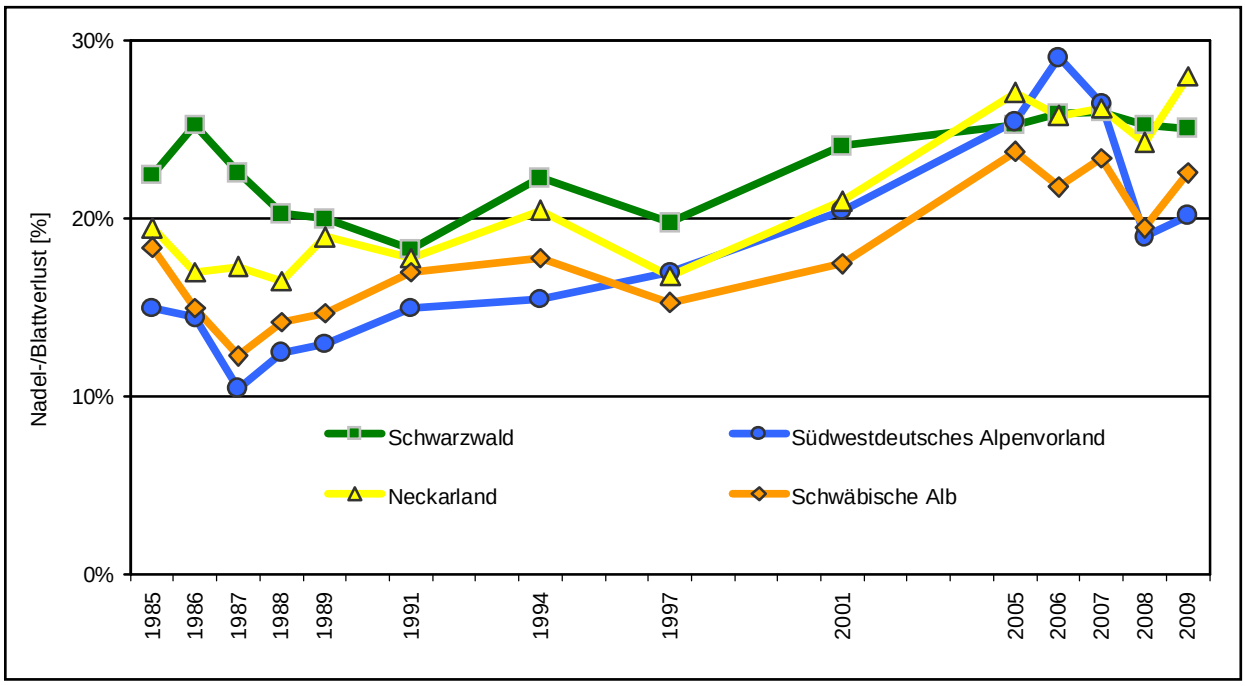


Abb. 23: Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes in den Wuchsgebieten

Der starke Anstieg des Blattverlustes der Baumart Buche wurde in allen großen Wuchsgebieten beobachtet. Im Vergleich zum Vorjahr erhöhen sich die Werte zwischen 12 Prozent im Schwarzwald und sechs Prozent im Südwestdeutschen Alpenvorland. In allen Wuchsgebieten ist die Buche im Jahr 2009 die Baumart mit dem höchsten Blattverlust (Abb. 25).

Die Bäume im **Neckarland** weisen 2009 im Durchschnitt den höchsten mittleren Nadel-/Blattverlust in Baden-Württemberg auf. Neben dem starken Anstieg des Blattverlusts der Buchen um 11 Prozentpunkte, erhöht sich der Nadel-/Blattverlust der Tannen (drei Prozentpunkte) und der Fichten und Eichen (je ein Prozentpunkt). Bei der Kiefer wurde im Vergleich zum Vorjahr nahezu keine Veränderung festgestellt. Insbesondere das nach wie vor hohe Schadniveau der Eichen im Neckarland ist bemerkenswert. Der Kronenzustand der Eichen hat sich immer noch nicht von den Auswirkungen der Trockenheit der Jahre 2003 und 2006 erholt.

Erfreulich stellt sich der Kronenzustand der Fichten im **Schwarzwald** dar. Der mittlere Nadelverlust der Hauptbaumart Fichte verringert sich um drei Prozentpunkte auf 23 Prozent und liegt damit wieder auf dem Niveau des Jahres 2001. Für die Baumarten Tanne und Kiefer können im Schwarzwald keine Veränderungen des Kronenzustandes beobachtet werden.

Auf der **Schwäbischen Alb** und im **Südwestdeutschen Alpenvorland** ist eine ähnliche Entwicklung der beiden Hauptbaumarten Buchen und Fichte zu beobachten. Während der Blattverlust der Buchen, wie in allen anderen Wuchsgebieten, deutlich ansteigt, ergibt sich für die Baumart Fichte keine Veränderung gegenüber dem Vorjahr. Der Kronenzustand der Fichte verharrt im aktuellen Jahr in den beiden Wuchsgebieten bei vergleichsweise geringen Nadelverlustwerten von 17 Prozent auf der Schwäbischen Alb und 19 Prozent im Südwestdeutschen Alpenvorland.

Räumlicher Trend

Die statistische Datenanalyse mittels des multivariaten Raum-Zeit-Modells ermöglicht, standardisiert für die Baumart Fichte, neben einer zeitlichen auch eine räumliche Darstellung der Nadelverluste in Baden-Württemberg (Abb. 26). Zu Beginn der Waldschadensinventur treten höhere Nadelverluste bei der Fichte verstärkt in Gebieten mit versauerungsempfindlichen Standorten auf. Starke Bodenversauerung und dadurch verursachter Magnesiummangel führen in diesem Zeitraum zu erhöhten Kronenschäden. Dies betrifft im Wesentlichen die Kristallingebiete des Schwarzwaldes und des Odenwaldes. Bis ins Jahr

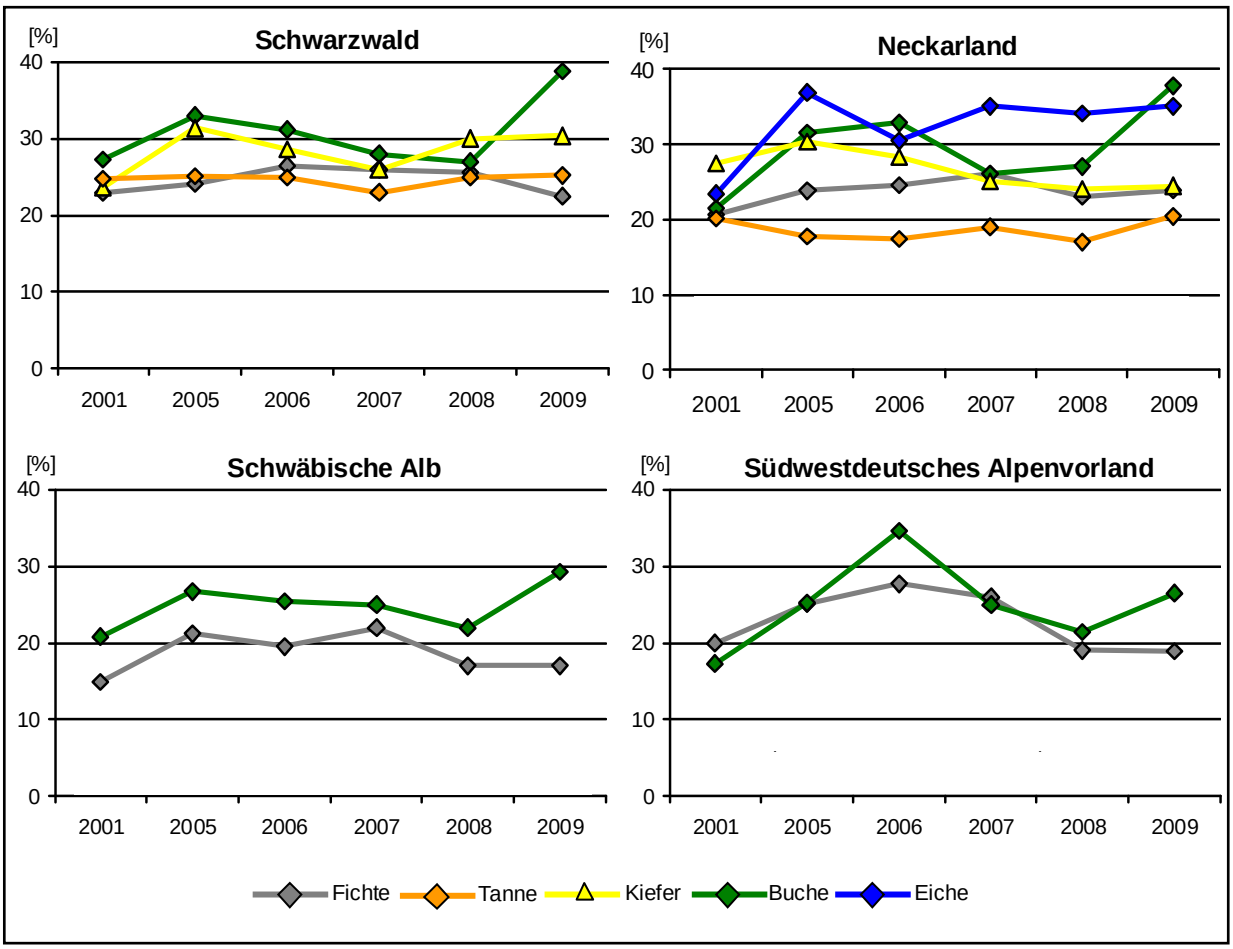


Abb. 25: Mittlerer Nadel-/Blattverlust der Hauptbaumarten in den Wuchsgebieten

2000 zeigt sich diese räumliche Verteilung der Nadelverluste, mehrmals unterbrochen durch mehrjährige Erholungsphasen. Ab dem Jahr 2001 verändert sich das räumliche Muster der erhöhten Nadelverlustwerte in Baden-Württemberg. Die Schadensschwerpunkte begrenzten sich nun nicht mehr ausschließlich auf die Kristallingebiete des Schwarzwaldes und des Odenwaldes sondern erstreckten sich jetzt auch auf gut nährstoffversorgte Lehmstandorte im Neckarland und Alpenvorland. In den Jahren 2002 bis 2007 vergrößern sich diese Areale und wachsen zu einem weite Landesteile umfassenden Schadgebiet zusammen. Ab dem Jahr 2008 ist wieder eine räumliche Trennung der einzelnen Schadgebiete zu erkennen. Dieser positive Trend setzt sich verstärkt im Jahr 2009 fort. Die Intensität der Kronenschäden verringert sich und die einzelnen Schadgebiete werden deutlich kleiner. Die Verschiebung der Schadgebiete ab dem Jahr 2001 von den nährstoffarmen Mittelgebirgslagen auf die gut versorgten Lehm- und Tonstandorte mit einem trocken warmen Tieflandklima legt nahe, dass ab diesem Zeitpunkt ein neuer Schadfaktor in den Vordergrund tritt. Als wesentlicher Stressfaktor können auf Grund der Beobachtungen vor Ort und den gemessenen Daten veränderte Klimabedingungen angenommen werden. Eine Kombination von chronischer Versauerung der Waldböden und häufig auftretendem Klimastress wirkt dabei sicherlich schadensverstärkend.

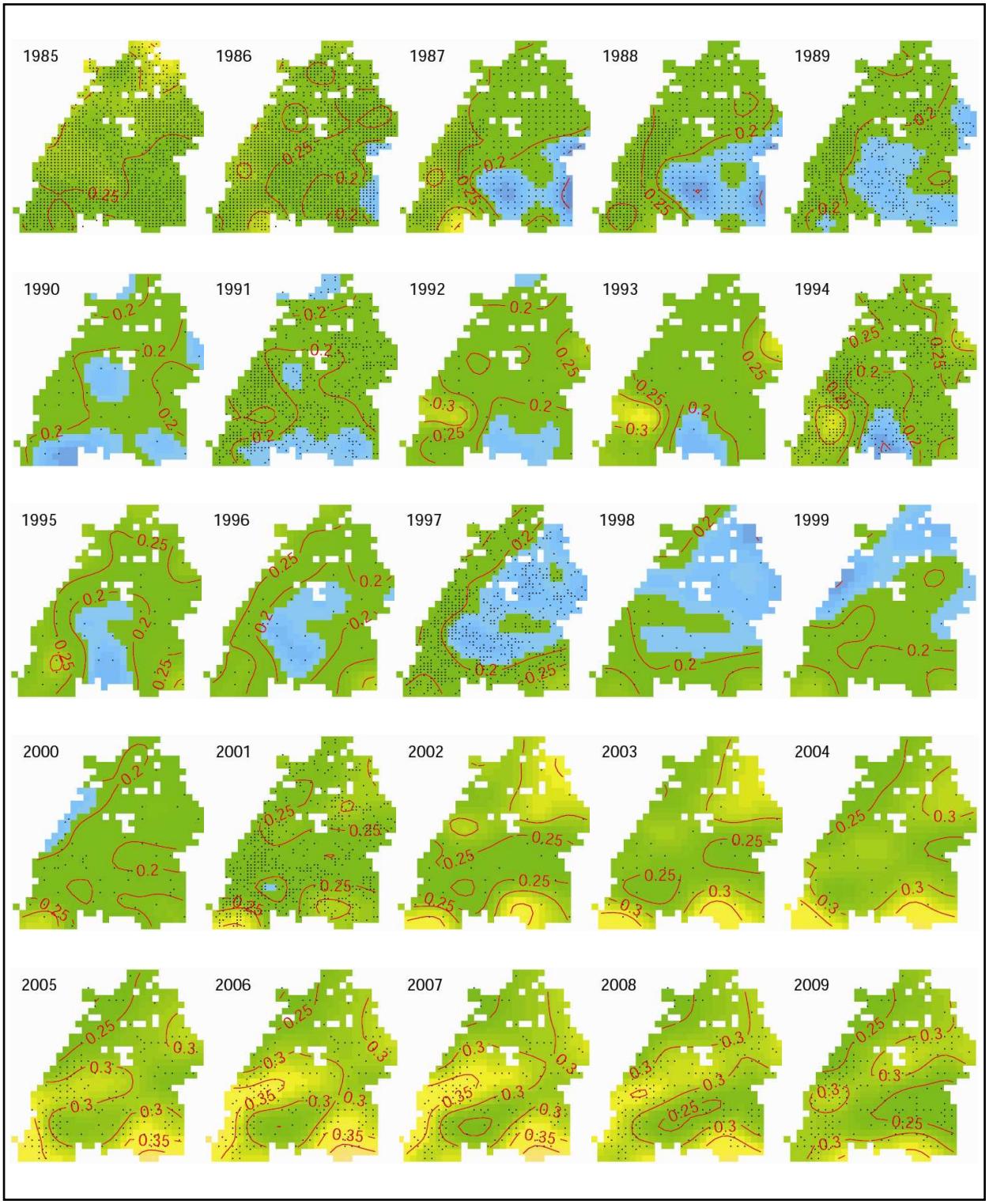


Abb. 26: Raum-Zeitanalyse der Waldschadensdaten für die Baumart Fichte (blau bis grün: keine bis schwache Schäden, gelb bis orange: mittlere bis starke Schäden; rote Linien: Isolinien gleichen Nadel-/Blattverlusts)

5 ERGEBNISSE DER BODENZUSTANDSERHEBUNG

Ein wesentliches Ziel der ersten Wiederholung der Bodenzustandserhebung (BZE) ist neben der Beschreibung des aktuellen Bodenzustands die Herleitung von Trends bodenchemischer Eigenschaften. Bei der Erstinventur stand insbesondere die Frage der Bodenversauerung im Vordergrund der Erhebungen und anschließenden Auswertungen. Im Zuge der Wiederholungsinventur sollen nun Erkenntnisse in weiteren Themenfeldern gewonnen werden. Während bei den Säureeinträgen in den zurückliegenden Jahren eine deutliche Abnahme zu verzeichnen war, stagnierten die Stickstoffeinträge. Es war daher zu erwarten, dass die Stickstoffsättigung der Waldböden zwischen den beiden Inventurzeiträumen zugenommen hat.

Die im Zuge der ersten Bodenzustandserhebung

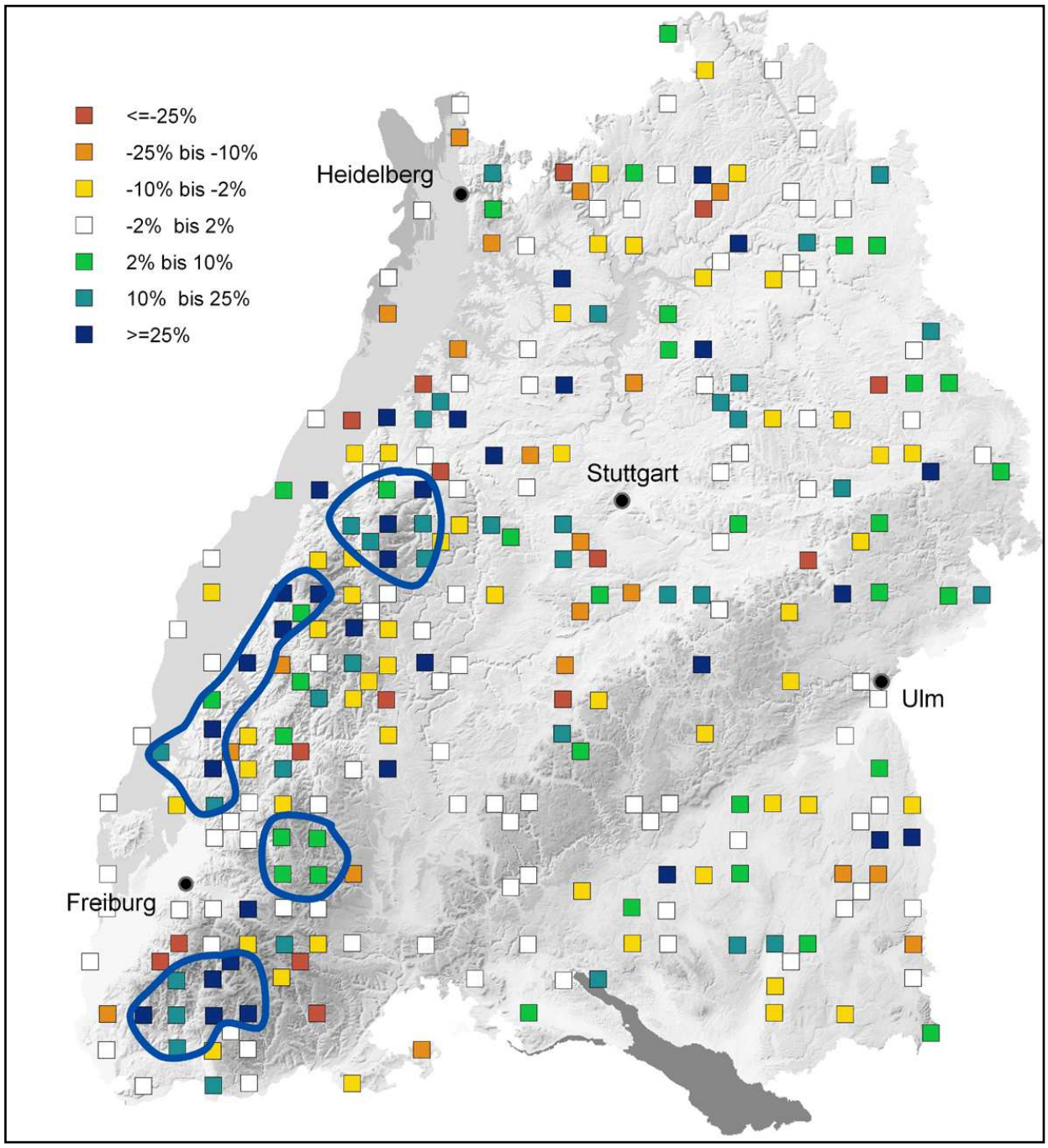


Abb. 27: Differenz der Basensättigungen zwischen BZE 2 und BZE 1 in 0 bis 5cm Bodentiefe

festgestellte Versauerung, Entbasung und landesweite Nivellierung bodenchemischer Eigenschaften waren Anlass, die Anstrengungen im Bereich des Umbaus nadelbaumdominierter Bestände in standortsgerechte Laubbaumbestände sowie die Kompensation von Säureeinträgen durch Bodenschutzkalkungen zu verstärken. Die Bewertung der positiven Effekte dieser betrieblichen Maßnahmen, wie auch des Einflusses der rückläufigen Stoffeinträge, sollten durch die Auswertungen der BZE-Daten geleistet werden.

Mit dem Beitritt zum Kyotoprotokoll hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, Inventare für die Treibhausgase zu erstellen. Da Waldböden als Quellen und Senken für Kohlenstoff anrechenbar sind, muss über den Zustand und die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte Bericht erstattet werden. Dies kann nur im Rahmen eines kontinuierlichen Bodenmonitorings geleistet werden.

Durch die erstmalige Aufnahme von bodenphysikalischen und bodenhydraulischen Kenngrößen werden die Grundlagen für die Erstellung von Wasserhaushaltsmodellen gelegt, die eine Bewertung des Trockenstressrisikos im Geländemaßstab ermöglichen. Hierdurch können die sich durch den Klimawandel ergebenden Risiken bewertet werden. Bodenphysikalische Größen sind außerdem die Voraussetzung für die Berechnung von Stoffvorräten im Boden, wie z. B. die Kohlenstoffvorräte.

Bodenversauerung

Zur Charakterisierung der Bodenversauerung eignet sich in besonderem Maße die Basensättigung, die als Summengröße die Säureneutralisationskapazität der Böden charakterisiert. Im Gegensatz zum pH-Wert als Indikator für die Säurestärke im Boden, unterliegt diese einer geringeren zeitlichen Dynamik. Abbildung 27 zeigt eine landesweite Übersicht über die Entwicklung der Basensättigungswerte zwischen BZE 1 und BZE 2 für die oberste Tiefenstufe des Mineralbodens von 0 bis 5 cm Bodentiefe. Die dargestellten Werte sind Differenzen zwischen der Erst- und Wiederholungsinventur. Positive Effekte von Bodenschutzkalkungen und Umbaumaßnahmen in Richtung laubbaumdominierter Wälder müssten am deutlichsten in den obersten Tiefenstufen nahe der Mineralbodenoberfläche erkennbar sein. Die Ausstattung der Böden mit Neutralkationen hat sich im Schwarzwald in zusammenhängenden Flächen deutlich verbessert, während in den östlichen Landesteilen lokale Erhöhungen und Absenkungen der Basensättigungswerte in kleinflächiger Mischung zu erkennen sind (Schwäbisch-Fränkischer Wald, Virngrund, Hohenloher Ebene). Eine Erhöhung der Basensättigungswerte ist überwiegend in Regionen eingetreten, in denen in den zurückliegenden Jahren Schwerpunkte der Bodenschutzkalkungen lagen. In den ungekalkten Gebieten des Neckarlandes hat die Basensättigung tendenziell abgenommen. In Oberschwaben zeichnet sich kein einheitliches Flächenmuster ab.

Für weiter gehende Auswertungen wurden die BZE-Profile anhand der Tiefengradienten der Basensättigungen in Profiltypen klassifiziert. Diese Tiefenprofiltypen können in Bezug auf Versauerungsprozesse im Sinne einer Mustererkennung interpretiert werden. Auswertungen im Zuge der BZE 1 haben gezeigt, dass Erklärungsvariablen wie Ausgangsgestein, Bodentyp oder Wuchsgebiet nur im Bereich extrem hoher und sehr niedriger Basensättigungen prägend wirken. Dieser Befund wurde als Hinweis auf eine anthropogene, weitgehend von Standortsvariablen unabhängige Nivellierung der Basensättigungen im Wurzelraum interpretiert. Die Zuordnung zu den Tiefenprofiltypen lässt sich auch für den Zeitvergleich nutzen. Vorteil dieser Vorgehensweise ist die Zusammenfassung von Profilkollektiven mit vergleichbaren Ausgangsbedingungen. Die Klassifizierung der Messnetzpunkte erfolgte anhand der Basensättigungstiefenprofile aus der BZE 1. Die beiden verbreitetsten Profiltypen der gut basenversorgten BZE-Punkte (BAS= hohe Basensättigungen von über 50% im gesamten Tiefenprofil) bzw. der armen, tiefenversauerten Messnetzpunkte (TVS=Basensättigungen von unter 20% in den Tiefenstufen 60 bis 90cm, in den darüber liegenden Tiefenstufen von unter 10% bzw. 20% in 0 bis 5cm) nehmen im Gesamtkollektiv Anteile von 43% bzw. 29% der Probepunkte ein. In diesen beiden Kollektiven ist der Einfluss von Waldkalkung und/oder Waldumbau am geringsten ausgeprägt, da die Böden entweder einen sehr hohen Säurevorrat oder einen sehr hohen Basenvorrat aufweisen und so durch Waldbewirtschaftung wenig

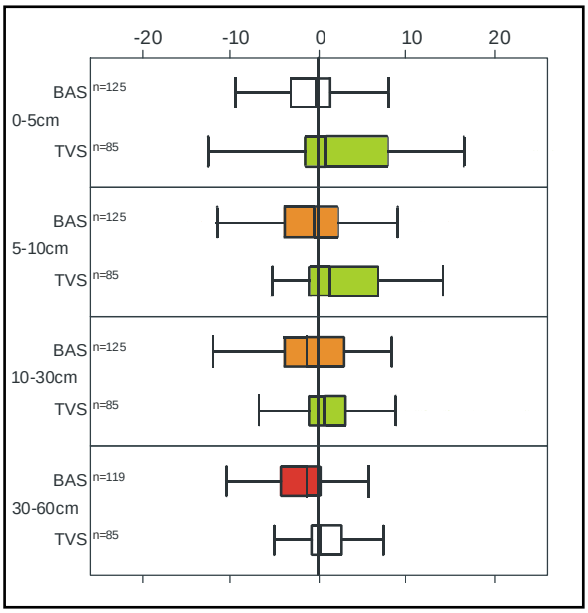


Abb. 28: Relative Änderung der Basensättigung zwischen BZE 2 und BZE 1 auf gut basenversorgten (BAS) und tief versauerten Standorten (TVS) bezogen auf den Ausgangszustand der BZE 1 (grün: Zunahme; rot: Abnahme)

beeinflussbar sind. Die stoffliche Entwicklung in diesen Böden bildet also am klarsten umweltgeprägte Trends ab. In Abbildung 28 ist für diese beiden Kollektive differenziert die zwischen den beiden Inventuren auf den Ausgangszustand der BZE 1 berechnete relative Änderung der Basensättigung dargestellt. Für die tief versauerten Profile (TVS) ist in den Oberböden bis 30 cm Tiefe eine leichte Verbesserungstendenz erkennbar, die Mediane der Änderungsraten dieses Kollektivs liegen im positiven Bereich. In 30 bis 60 cm Bodentiefe ist für diesen Profiltyp keine Entwicklungstendenz erkennbar. Bei den gut basenversorgten Standorten ist mit Ausnahme der obersten 0 bis 5 cm eine tendenzielle Abnahme der Basensättigungen festzustellen. Insgesamt sind die Änderungsraten gering.

Positive Wirkungen von Bodenschutzkalkungen

Eine Erklärungsmöglichkeit für die unterschiedlichen Entwicklungstendenzen dieser beiden Straten liegt in der Umsetzung von Bodenschutzkalkungen. Diese wurden prioritär auf den tief versauerten Standorten durchgeführt. In Abbildung 29 sind die jährlichen Änderungsraten der Basensättigungen für Profile dargestellt, die nicht gekalkt, einmal vor Durchführung der BZE 1-Aufnahmen gekalkt, vor und nach Durchführung der BZE 1 gekalkt und einmal nach Durchführung der BZE 1 gekalkt wurden. Für das Kollektiv der ungekalkten Messnetzpunkte ist keine gerichtete Änderung bis in eine Bodentiefe von 60 cm festzustellen. Die höchsten positiven Änderungen treten im Oberboden an den nach 1992 gekalkten Messnetzpunkten auf. Für dieses Kollektiv lässt sich ein positiver Kalkungseffekt bis in eine Bodentiefe von 60 cm nachweisen. In abgeschwächter Form ist diese Aussage auch für die vor und nach den BZE 1-Aufnahmen gekalkten Punkte gültig. Der Kalkungseffekt auf den nur einmalig vor der BZE 1 gekalkten Punkten scheint dagegen schon weitestgehend aufgebraucht zu sein. Eine Erklärung für die höhere Basenveränderung an den nach 1992 gekalkten Punkten im Vergleich zu den zweifach gekalkten Punkten dürfte in der Ausdehnung der Bodenschutzkalkung auf Regionen liegen, in denen günstigere Ausgangssubstrate die Regeneration der chemischen Bodeneigenschaften erleichtern. Ein der Basensättigung vergleichbares Bild ist bei den austauschbaren Magnesiumvorräten gegeben (Abb. 30). Da Magnesium mit hohen Anteilen im dolomitischen Ausbringungsmaterial der Bodenschutzkalkung ver-

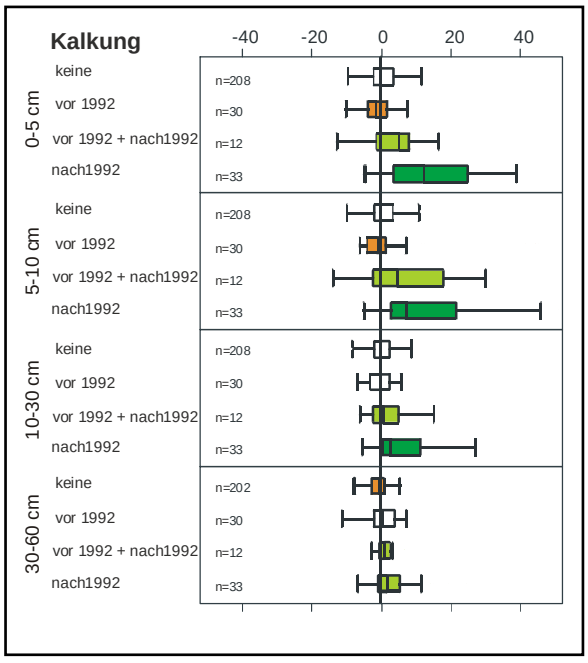


Abb. 29: Relative Änderung der Basensättigung stratifiziert nach Kalkungsgeschehen an den Messnetzpunkten, Bezug: Basensättigung zum Zeitpunkt der BZE 1 (grün: Zunahme; rot: Abnahme)

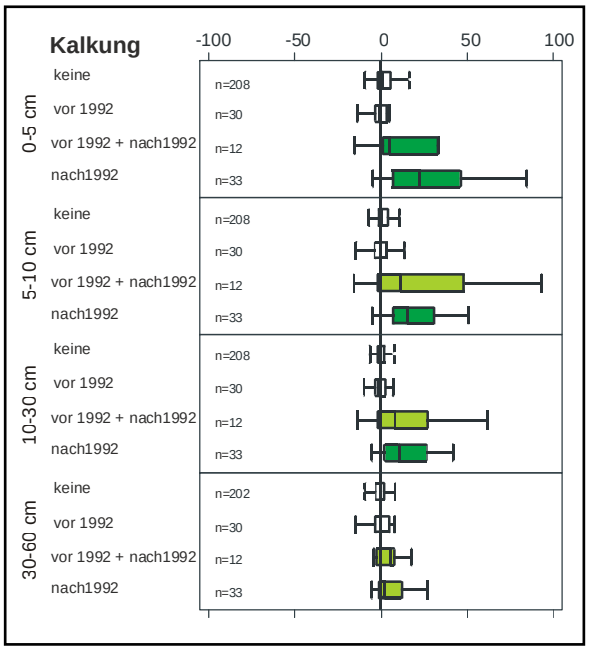


Abb. 30: Relative Änderung der austauschbaren Magnesiumvorräte stratifiziert nach Kalkungsgeschehen an den Messnetzpunkten, Bezug: Magnesiumvorrat zum Zeitpunkt der BZE 1 (grün: Zunahme; rot: Abnahme)

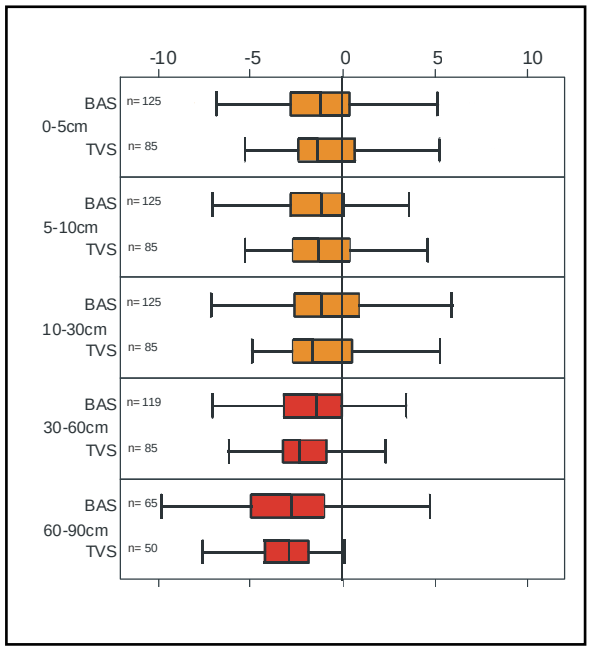


Abb. 31: Relative Änderung der Stickstoffgehalte auf gut basenversorgten (BAS) und tief versauerten Standorten (TVS) bezogen auf den Ausgangszustand der BZE 1(grün: Zunahme; rot: Abnahme)

treten ist, ist die Gleichläufigkeit der Entwicklung von Basensättigung und austauschbarem Magnesiumanteil plausibel. Die bis in den tieferen Mineralboden hineinreichenden positiven Änderungsraten für das leicht mobilisierbare Magnesium verdeutlicht die durch die Kalkungen erreichbare längerfristige Stabilisierung der Magnesiumversorgung der Wälder, was sich im Kronenzustand in einer geringeren Vergilbungsneigung äußert.

Veränderung im Stickstoffstatus

Analog zur Darstellung der Entwicklung der Basensättigungen sind in Abbildung 31 die Veränderungen der Stickstoffgehalte für die Basensättigungsprofiltypen der gut versorgten, basischen Messnetzpunkte und der armen, tiefversauerten Messnetzpunkte dargestellt. Für die Stickstoffgehalte in den Mineralböden wäre aufgrund der Höhe der Stickstoffdepositionen in den zurückliegenden Jahren ein Anstieg zu erwarten gewesen. Entgegen dieser Erwartung nahmen die Stickstoffgehalte im Mineralboden ab, wobei die höchsten Änderungsraten im Mineralboden von 30 bis 60 cm nachzuweisen sind. Die Lage der Mediane der beiden Tiefenprofiltypen ist dabei nahezu identisch. Für die basenreichen Messnetzpunkte ist eine höhere Streuung festzustellen, was auf eine tendenziell höhere Dynamik der Stickstoffumsetzung hindeutet. Offensichtlich hat im Zeitraum zwischen BZE 1 und BZE 2 eine Mobilisierung labiler Mineralbodenstickstoffvorräte stattgefunden, deren Ursachen möglicherweise in den veränderten klimatischen Einflüssen und deren Folgewirkungen (z. B. höhere mikrobielle Abbauraten organischer Substanz), der Wirkungen des Bestandesumbaus (Begründung laubholzreicherer Bestände, die mehr Nitrat aufnehmen) sowie abnehmender Stickstoffeinträge an den Messnetzpunkten begründet liegen. Vorsichtig kann dieser Befund dahingehend interpretiert werden, dass das Risiko einseitiger Stickstoffübersättigung und daraus resultierender ungeregelter Nitratausträge etwas zurückgegangen ist.

Humusauflage und Humusgewichte

Neben den positiven Entwicklungen der bodenchemischen Situation im Mineralboden, zeichnen sich auch in den organischen Auflagen Veränderungen in Richtung günstigerer Humusformen ab. Abbildung 32 zeigt die Häufigkeit der an den BZE-Messnetzpunkten im Rahmen der der BZE 1 und BZE 2 angesprochenen Humusformen. Zum Zeitpunkt der

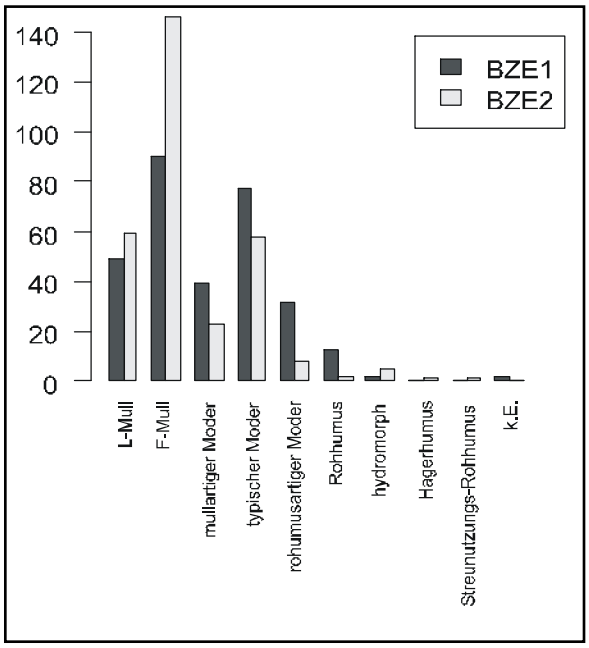


Abb.32: Häufigkeiten der vorkommenden Humusformen an den BZE-Messnetzpunkten

BZE 1 –Aufnahmen war die Verteilung durch eine Zweigipfligkeit gekennzeichnet: neben den Mullhumusformen (L-Mull und F-Mull nahmen einen Anteil von 46% ein) spielte der typische Moder mit den Übergangsformen in Richtung Mull und Rohhumus (49%) eine gleich bedeutende Rolle. Rohhumus war mit 4% im Gesamtkollektiv vertreten. Der Anteil der Auflagehumusformen ging zwischen den beiden Erhebungen deutlich zurück: Moder und Rohhumus sind nur noch insgesamt mit 30% vertreten. Die Mullhumusformen nehmen aktuell einen Anteil von über 65% ein, wobei der F-Mull mit 48% dominiert.

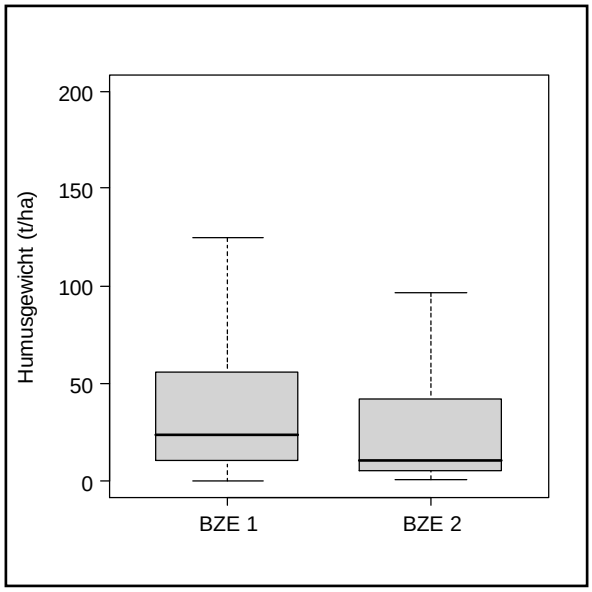


Abb. 33: Humusgewichte in t/ha

Diese Abnahme der Auflagehumusformen spiegelt sich auch in den Humusgewichten je ha wider. Der in Abbildung 33 dargestellte Boxplot zeigt die Verteilung der Humusgewichte für die BZE 1 und BZE 2. Der Median der Humusgewichte für die BZE 1 lag bei 23,5 t/ha, für die BZE 2 bei 10,2 t/ha. Die bereits zum Zeitpunkt der BZE 1 ausgeprägte Schiefe der Verteilung ist bei der BZE 2 noch extremer ausgeprägt.

Langfristige Bodenschutzkalkungsstrategie

Zu Beginn der Bodenschutzkalkungen war die Kompensation der aktuellen Säureeinträge in die Waldbestände ein vorrangiges Ziel. Nachdem diese Belastung rückläufig ist, gewinnt die Regeneration verloren gegangener Standortsqualität und –vielfalt an Bedeutung. Als Kenngröße, die den quasi-natürlichen bodenchemischen Zielzustand einer langfristigen Kalkungsstrategie beschreibt, kann die vorindustrielle Basenausstattung der Waldböden herangezogen werden. Anhand historischer Messungen des Versauerungszustands von Waldböden auf den wichtigsten geologischen Ausgangssubstraten im Schwarzwald aus dem Jahr 1927 lässt sich der vorindustrielle Status der Basensättigung ableiten. Mit Hilfe von Regionalisierungsmodellen kann dieser als flächendeckend verfügbare Information bereitgestellt werden. Ein Ausschnitt dieses Regionalisierungsergebnisses ist in Abbildung 34a für den Südschwarzwald dargestellt. Für diese Region ist eine Zweiteilung der historischen Basensättigungswerte zu erkennen. Während das Modell in der nördlichen Hälfte höhere Ausgangswerte der Basensättigung mit einem weniger stark ausgeprägten morphologischen Gradienten von den Hangrücken in Richtung der Unterhänge aufweist, zeigt der südwestliche und südöstliche Teil stärkere Hanggradienten mit niedrigen Basensättigungswerten im Bereich der Kuppen und Rücken. In diesen exponierten Lagen war die natürliche Versauerung bereits 1927 weit fortgeschritten. Für die Herleitung des Ist-Zustands der Basensättigung können die Messdaten aus der BZE 1 und der BZE 2 verwendet werden. Der regionalisierte Basensättigungszustand für das Stichjahr der BZE 2 (2007) ist in Abbildung 34b dargestellt. Die sich im historischen Basensättigungszustand darstellende Differenzierung der Region ist im Modellergebnis für das Jahr 2007 nicht mehr erkennbar. Vor

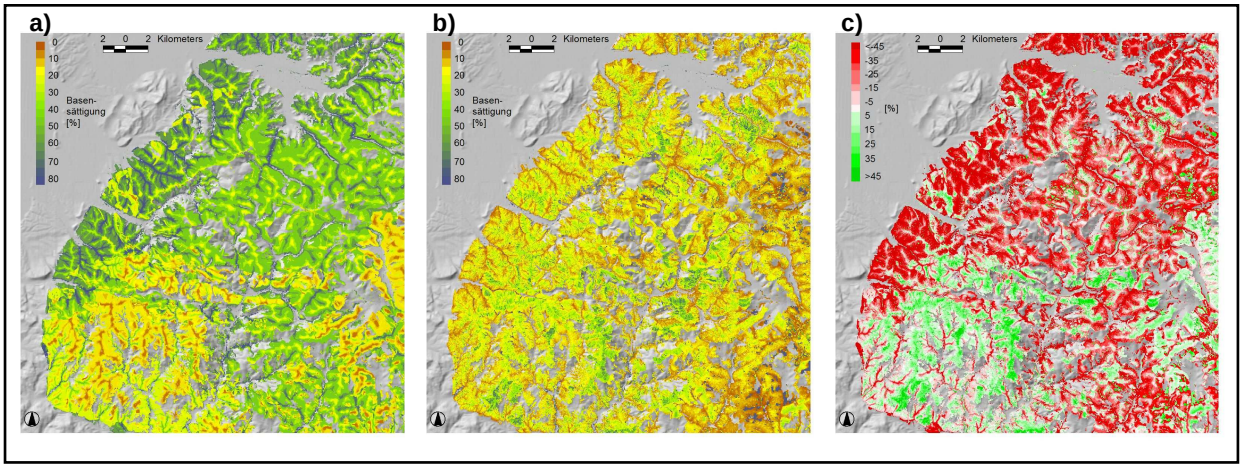


Abb. 34: Basensättigung im Südschwarzwald: links (a): Rekonstruktion des vorindustriellen Basenvorrats (1927), Mitte (b): interpolierte Daten aus den BZE 2 Ergebnissen, rechts (c): Basendefizit 2007-1927

allem auf den reicheren Substraten hat die Versauerung in 80 Jahren zu einer massiven Absenkung und damit zu einer Nivellierung der Basensättigung geführt. In Abbildung 34c ist das aus den Modellen für die Vergleichsjahre 1927 und 2007 Defizit der Basensättigung aus vorindustriellem und Ist-Zustand des Jahres 2007 dargestellt. Die für den Soll-Zustand beschriebenen Regionen mit sehr niedrigen Ausgangswerten der Basensättigung im südlichen und östlichen Teil weisen 2007 nur in talnahen Lagen Basendefizite auf während auf den ehemals besser versorgten Standorten flächig hohe Defizite erkennbar sind.

Aus den Basendefiziten lassen sich flächendeckend Kalkbedarfswerte berechnen, die unter Annahme einer Standarddosierung (praxisüblich: 3 t/ha Dolomit je ha) in die Anzahl notwendiger Kalkungen bis zum Erreichen des historischen Basensättigungszustandes umgerechnet werden können. Abbildung 35 zeigt diese Kalkbedarfswerte für den Schwarzwald, bezogen auf die BZE 1 (1992) und BZE 2 (2007). Zusätzlich sind in diesen Übersichten die bereits durchgeführten Kalkungen durch schwarze Umrandungen gekennzeichnet. Standortsspezifisch ergibt sich die Notwendigkeit von bis zu 4 Kalkungen. Für den Schwarzwald sind nach aktuellem BZE 2-Stand auf rund 12% der Flächen keine Kalkungen, auf 45% eine bzw. zwei Kalkungen und auf 40% drei bzw. vier Kalkungen erforderlich. Im Vergleich zum Modellergebnis für das Jahr 1992 hat sich die Fläche, auf der keine Kalkung mehr erforderlich ist, verdoppelt. Der gesamte Bedarf an zu kalkenden Flächen (rund 660.000 ha), hat um 64.300 ha abgenommen. Dieser Erfolg ist auf die zwischen den beiden BZE-Aufnahmen durchgeführten Kalkungen zurückzuführen.

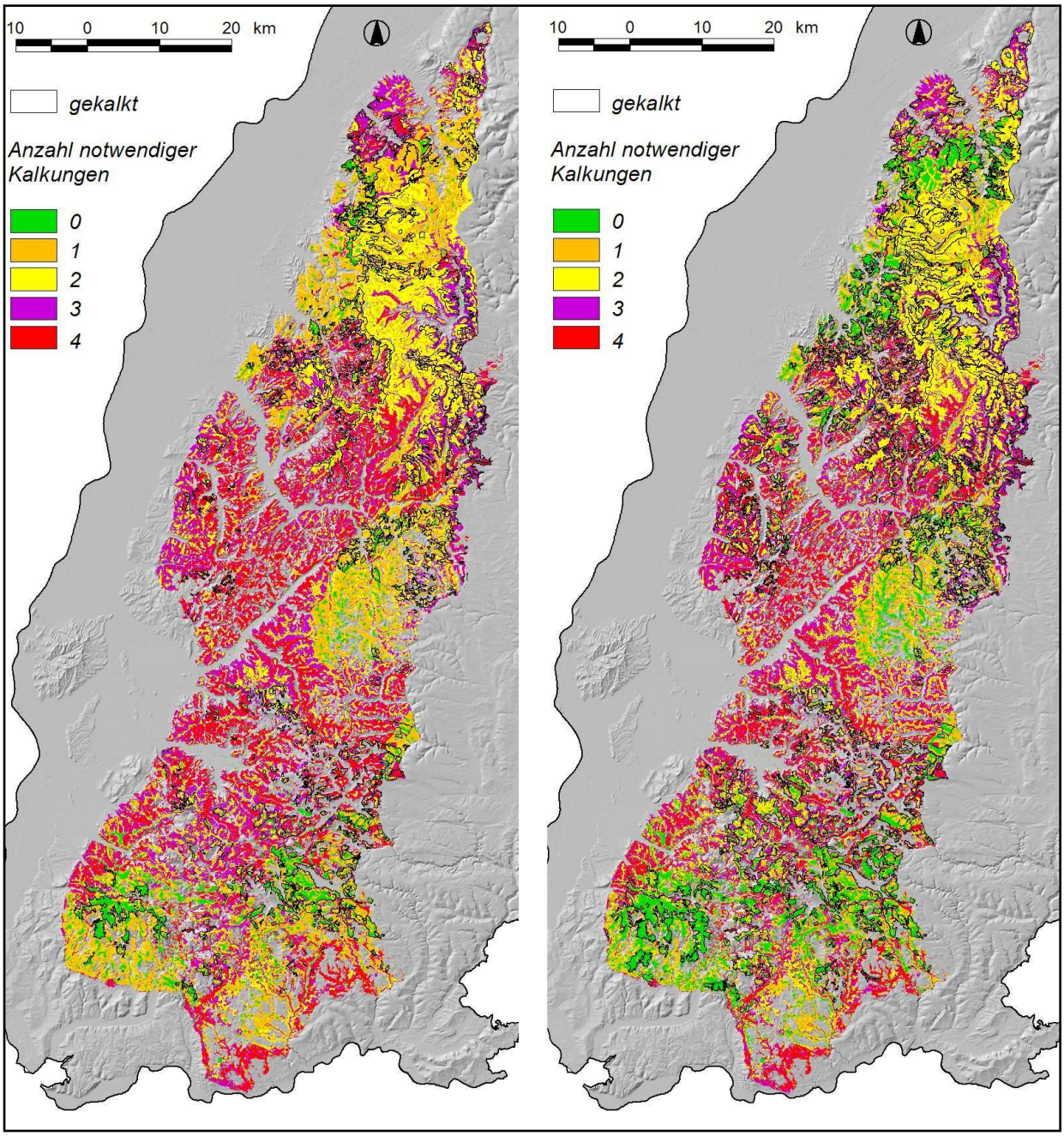


Abb. 35: Anzahl notwendiger Kalkungen im Vergleich, links: BZE 1 (1992), rechts: BZE 2 (2007)

6 ERGEBNISSE DER INTENSIVMESSFLÄCHEN

Seit Januar 2009 wird das intensive Ökosystem–Monitoring der EU (ehemals ICP Forests Level II) als FutMon IM1 Projekt aus dem LIFE+ Programm kofinanziert. Im Rahmen dieser organisatorischen Neueinbindung wurde die Anzahl der intensiv untersuchten Ökosystemfallstudien von 10 Flächen im ehemaligen Level II Programm auf fünf Standorte (Conventwald, Heidelberg, Altensteig, Esslingen und Ochsenhausen) reduziert. Gleichzeitig wurde der Untersuchungsumfang auf den bisher aus Standardisierungsgründen ausschließlich auf die Baumart Fichte bezogenen Versuchsanlagen um jeweils einen Buchenplot erweitert. Damit wurde die zweite Hauptbaumart in das Untersuchungsprogramm einbezogen und die Möglichkeit eröffnet, unter quasi identischen Standortsbedingungen Baumartenunterschiede in der Ökosystemantwort auf sich verändernde Umweltbedingungen in den wichtigsten Naturräumen Baden-Württembergs zu vergleichen. Bislang war dieser Baumartenvergleich nur am Standort der Ökosystemfallstudie Conventwald möglich. Der Bedarf dieser methodischen Erweiterung des Untersuchungsprogramms ergab sich hauptsächlich aus dem laufenden Klimafolgen – Forschungsprojekt der FVA, in dem die Reaktion der beiden Hauptbaumarten auf veränderte Klimabedingungen untersucht wird. Die Auswahl der Buchenplots orientierte sich an folgenden Kriterien:

- sie sollten orographisch und bodenkundlich dem Fichtenplot vergleichbar sein
- der Bestand sollte in einer dem Fichtenbestand vergleichbaren Altersphase sein
- die Entfernung zwischen beiden Plots sollte so klein wie möglich sein

An den Buchenplots werden die gleichen Untersuchungen wie auf den Fichtenplots durchgeführt. Die Plots umfassen, wie bei der Fichte, 0,25 ha. Derzeit sind auf diesen Flächen die Baummarkierungen für die flächige Kronenzustandserfassung angebracht, ein Depositionsmessfeld, Bodentemperatursonden in zwei Bodentiefen, ein Saugkerzenplot zur Gewinnung von Bodenwasserproben sowie ein bodenphysikalischer Messplot zur synchronen Messung von Wassergehalt und Saugspannung in zwei Bodentiefen installiert. An allen Untersuchungsbäumen wurden permanente Zuwachsmaßbänder zur Messung des jährlichen Zuwachses angebracht. Außerdem wurden an jeweils drei vorherrschenden Bäumen Dendrometer installiert, die zeitlich im Halbstundentakt Zuwachs und Durchmesserschwankungen registrieren. Die meteorologischen Messungen am Fichtenplot werden für die Auswertungen an beiden Baumartenvarianten gemeinsam verwendet. Die Zielgrößen der Untersuchungen an beiden Baumartenplots sind in Übersicht 2 dargestellt.

Übersicht 2: Untersuchungsziele auf FutMon-Flächen

- Abhängigkeit des Kronenzustands von stofflichen und klimabedingten Umwelteinflüssen
- Abhängigkeit der Bodenwasserverfügbarkeit von Klimafaktoren
- Intensität und Dynamik von Stofftransporten durch den Boden
- Dynamik der Ernährung der beiden Hauptbaumarten
- Wachstumsdynamik und kurzfristige Schwankungen in der Hydratur der beiden Hauptbaumarten in Abhängigkeit von den oben genannten Prozessen.

Abbildung 36 zeigt beispielhaft den Zusammenhang zwischen dem Verlauf der jährlichen Zuwachswerte und dem Kronenzustand aus der Fallstudie Conventwald, an der schon eine längere Zeitreihe vorliegt. Man sieht, dass der Verlauf des Kronenzustands eine gewisse Ähnlichkeit mit der Zuwachszeitreihe aufweist.

In Abbildung 37 wird die Schadstufenverteilung und der mittlere Blattverlust der vier FutMon – Buchenflächen, an denen im Jahr 2009 eine Kronenzustandserhebung durchgeführt worden war (61F Heidelberg, 80F Conventwald, 82F Ochsenhausen und 83F Altensteig), gezeigt. Die Abbildung zeigt, dass der

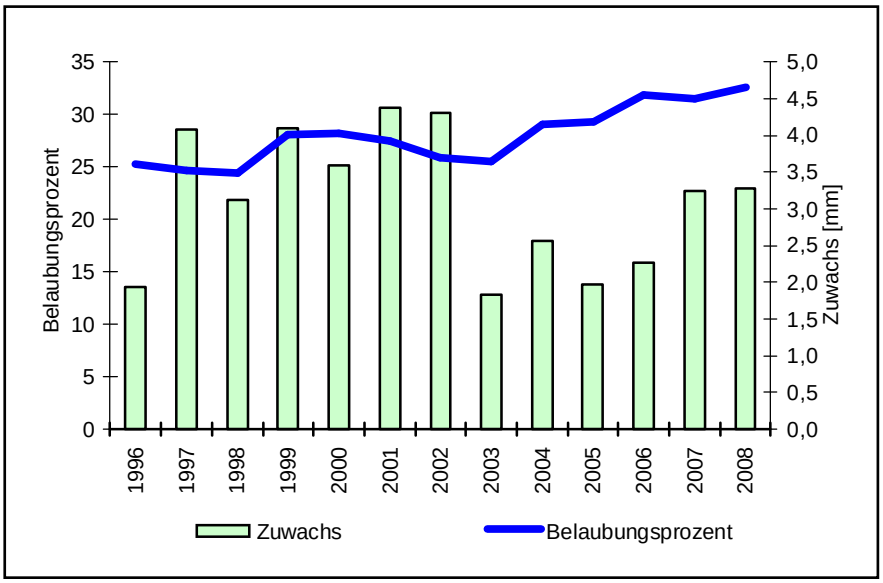


Abb. 36: Jährlicher Zuwachs und Belaubungsdichte von Fichten auf der Fut-Mon Fläche Conventwald (Kirchzarten)

Kronenzustand an den Standorten Conventwald, Ochsenhausen und Altensteig mit mittleren Blattverlusten zwischen 30 und 35% sehr ähnlich und in Heidelberg mit etwa 20% deutlich günstiger ist.

Mit der gleichzeitigen Beobachtung benachbarter Buchen – und Fichtenbestände können baumartenspezifische Wachstumsreaktionen beobachtet und verglichen werden (Abb. 38). Die drei Fichten im Conventwald weisen ein wesentlich stärkeres Wachstum, als die benachbarten Buchen auf. Alle Bäume zeigen jedoch ähnliche Reaktionsmuster.

Die gleichzeitige Messung von Saugspannung des Bodenwassers (Wasserverfügbarkeit) und der Durchmesserentwicklung (Abb. 39) erlaubt eine Abschätzung der Bedeutung der Bodenwasserverfügbarkeit für Verlauf und Dauer des Jahrringwachstums. Dies ist im Jahr 2009 von besonderem Interesse, da dieses Jahr bis auf den Spätsommer, in dem eine scharfe und schnell verlaufende Austrocknung eintrat, eine nahezu uneingeschränkte Bodenwasserverfügbarkeit in der gesamten Vegetationsperiode vorlag. In Abbildung 39 erkennt man, dass am Standort Ochsenhausen die Saugspannung des Bodenwassers im Hauptwurzelraum bei 30 cm Bodentiefe Ende Juli von Werten um -600 hPa (Untergrenze des leicht verfügbaren Bodenwassers) innerhalb von 3 bis 4 Wochen die Schwelle des schwer verfügbaren Bodenwassers bei -2000 hPa Saugspannung unterschritten hat. Nach Unterschreitung dieser Schwelle sank die Saugspannung innerhalb der außerordentlich kurzen Zeitspanne von weiteren zwei Wochen auf Werte um -10.000 hPa. Das ist der Bereich in der Nähe des „permanenten Welkepunkts“, bei dem mit irreversiblen Trockenschäden, wie dem Absterben von Kronenteilen gerechnet werden muss.

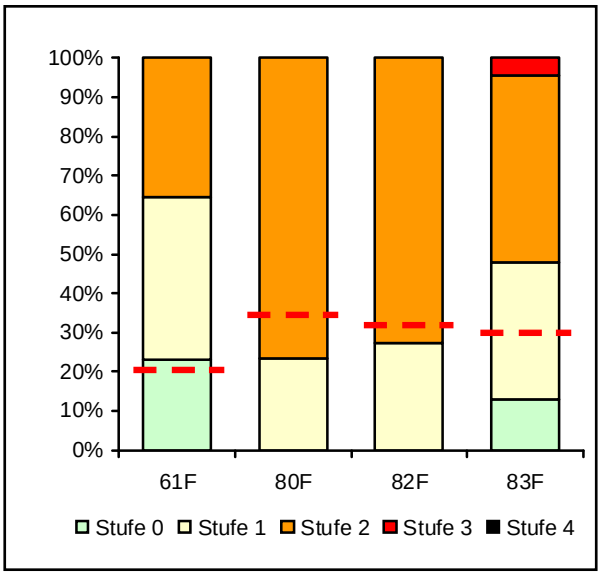


Abb. 37: Schadstufenverteilung der Fut-Mon Buchen-Flächen im Jahr 2009 (gestrichelte Linie: mittlerer Blattverlust)

Der mittels eines Dendrometers (vgl. Abb. 2, oben rechts) gleichzeitig aufgezeichnete Zuwachsverlauf einer vorherrschenden Buche zeigt über die gesamte Vegetationszeit bis Ende Juli einen nahezu linearen Verlauf des Radialzuwachses. Nach Unterschreitung eines Saugspannungswertes von ca. -1000 hPa im Hauptwurzelraum bei 30 cm Bodentiefe ist im Zuwachsverlauf ein scharfer Knick erkennbar. Ende Juli wurde das Jahrringwachstum eingestellt.

Ein sehr viel schwächerer und um ca. drei Wochen später einsetzender Anstieg der Bodenwasser–Saugspannung wurde in 60 cm Bodentiefe beobachtet. Dies zeigt, dass die Wasservorräte in dieser Tiefenstufe aufgrund geringerer Durchwurzelung und eingeschränkter kapillarer Leitfähigkeit deutlich weniger

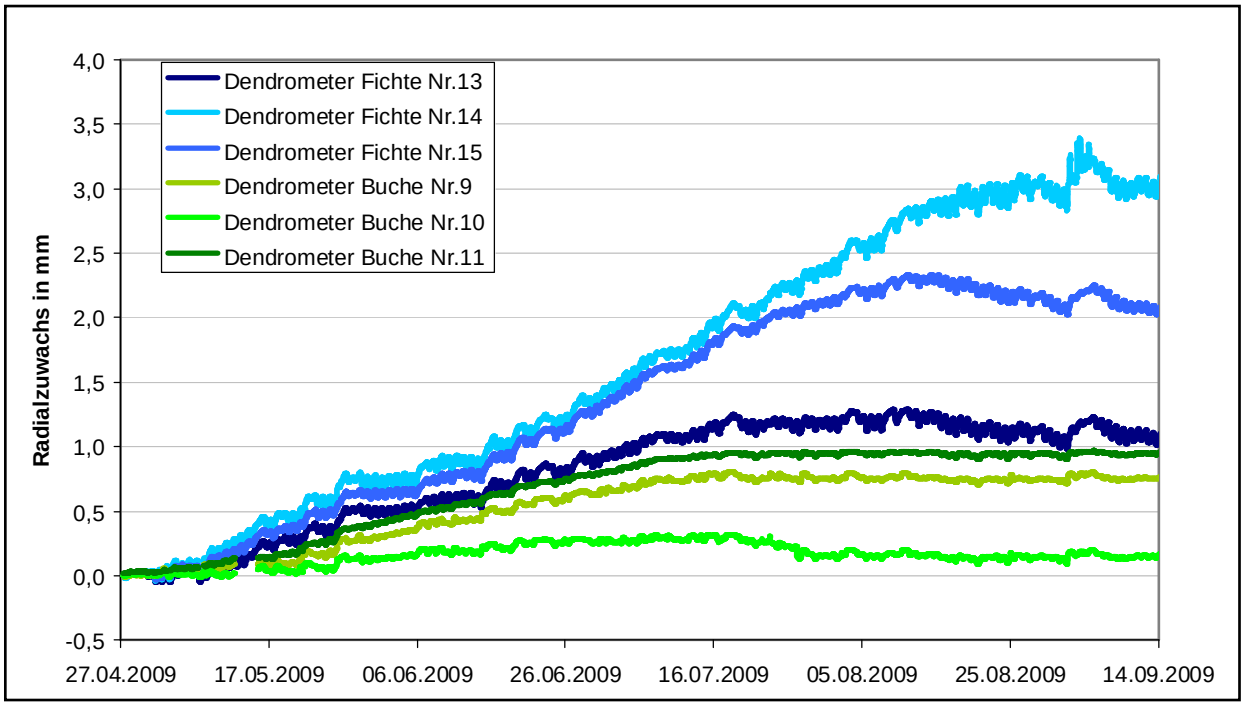


Abb. 38: Vergleich der Radialzuwächse bei Fichten und Buchen im Conventwald (Südschwarzwald), sowie die durch wechselnde Wasserversorgung verursachte Tages- und mittelfristige Schwankungen

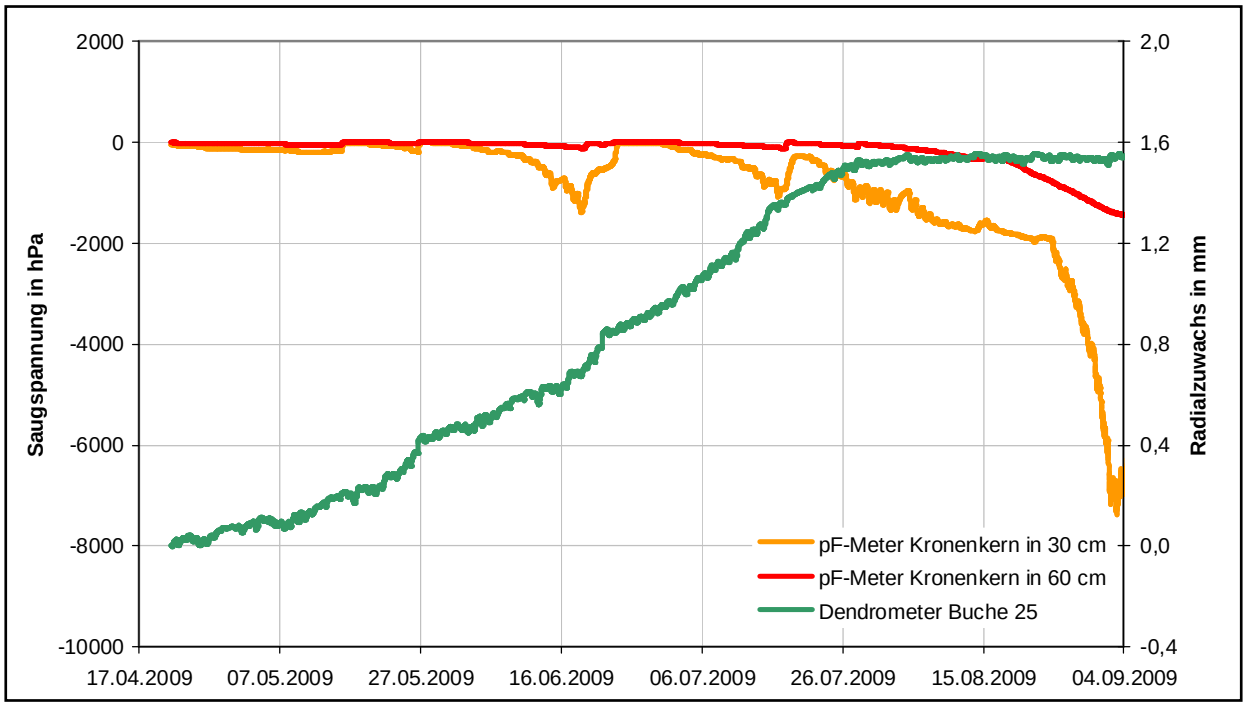


Abb. 39: Verlauf der Bodenwasser – Saugspannung (hPa) in 30 und 60 cm Bodentiefe und des Radialzuwachses einer vorherrschenden Buche in Ochsenhausen

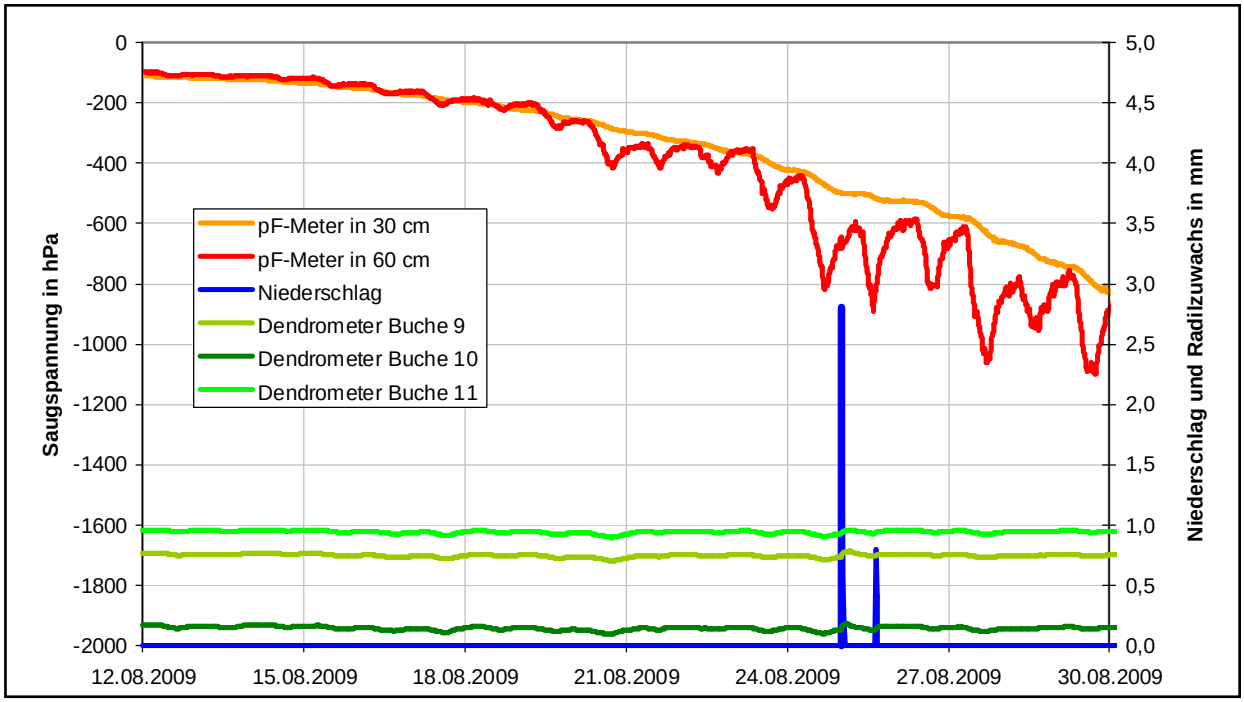


Abb. 40: Vergleich der Tagesgänge der Radialzuwächse und Saugspannungen bei Buchen im Conventwald (Südschwarzwald) im August 2009

und indirekter zur Wasserversorgung der Bäume beitragen. Leider musste diese Darstellung am Standort Ochsenhausen auf eine Buche beschränkt werden, da direkt nach Installation der Messgeräte durch technische Störungen nicht mehr ungestörte Messwertreihen zur Verfügung standen. Trotz dieser statistischen Einschränkung erlauben die vorliegenden Beobachtungen eine qualitative Einschätzung des Zusammenhangs zwischen Bodenwasserverfügbarkeit und Jahrringwachstum auf den dortigen Lehmböden. Vorsichtig lässt sich schon an diesem Einzelbeispiel ableiten, dass offensichtlich gegen Ende der Vegetationsperiode durch spätsommerliche Austrocknung das Jahrringwachstum vorzeitig eingestellt wird. Dieser Prozess wird durch Überschreitung des Saugspannungs-Schwellenwerts von ca. -1000 hPa ausgelöst, der offensichtlich auch in einem überdurchschnittlich gut wasserversorgten Jahr wie 2009 wirksam ist. Dieser baumphysiologische Befund korrespondiert mit den oben beschriebenen Beobachtungen zur frühzeitigen Blattverfärbung der Buchen. Untersuchungen wie diese sind für eine Prognose von Produktivität und Wachstum unserer Wälder unter veränderten Klimabedingungen unabdingbar.

Im Conventwald liegt der Hauptwurzelraum aufgrund des porenreichen, tiefgründigen, skelettreichen Bodens und der besseren Durchwurzelbarkeit tiefer als an dem dichteren Lehmboden in Ochsenhausen. Dadurch sind Signale des Wurzelwasserentzuges in Form eines deutlichen Tagesgangs der Saugspannung mit zunehmender Trockenheit in 60 cm Tiefe zu beobachten, während in niederschlagsreichen Perioden dieser Tagesgang weniger ausgeprägt ist (Abb. 40). Obwohl die drei untersuchten Buchen ein deutlich unterschiedliches Zuwachsniveau aufweisen, sieht man ähnliche Reaktionsmuster vor, während und nach einem mit knapp 3 mm vergleichsweise schwachen Niederschlagsereignis. Da im August 2009 das Wachstum der Buchen wie in Ochsenhausen aufgrund der spätsommerlichen Trockenheit schon eingestellt war und die Dendrographenwerte einer x-Achsenparallelen folgen, sind die Abweichungen von der x-Achsenparallelen durch Schwankungen in der Wasserversorgung bedingt.

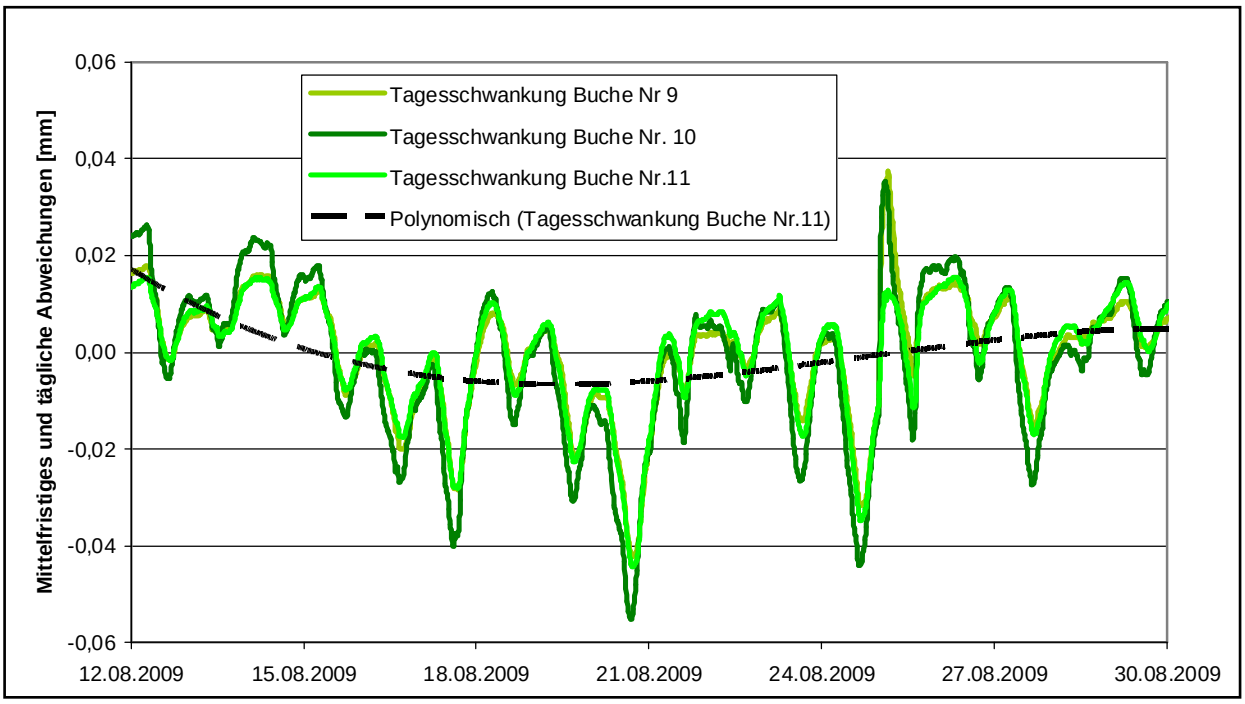


Abb. 41: Durch wechselnde Wasserversorgung bedingte Tagesschwankungen und mittelfristiger Trend um den Radialzuwachs bei Buchen im Conventwald im August 2009

In Abbildung 41 werden diese Abweichungen in Form von ausgeprägten Tagesschwankungen und einem mittelfristigen, durch die Hydratur der Bäume bedingten Trendverlauf dargestellt. Man sieht, dass die Amplitude der Tagesschwankungen Anfang August bei noch hinreichender Wasserverfügbarkeit im Boden mit ± 0,02 mm relativ gering ist. Im Zeitraum vom 16. bis 26. August werden mit abnehmender Wasserverfügbarkeit die Tagesamplituden deutlich größer. Die Saugspannung sinkt in diesem Zeitraum auf ca. -800 hPa ab. In den Tagen bis zum 30. August sinkt die Wasserverfügbarkeit weiter ab (Abb. 40) und die Amplitude der Radiusschwankungen nimmt wieder ab. Dies kann insofern als Trockenstressindiz gewertet werden, als die wieder abnehmende Tagesamplitude der Radiusschwankung ein klarer Hinweis darauf ist, dass das während des Tages entstandene Wasserdefizit im Stamm in der Nacht nicht wieder vollständig durch Wurzelwasseraufnahme aufgefüllt werden kann.

7 EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND

Auf das Waldökosystem wirken zahlreiche Umweltfaktoren ein, die den Waldzustand beeinflussen. Die Aufgabe des Forstlichen Umweltmonitorings ist es, die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Waldzustand zu erfassen und deren Auswirkungen auf die Wälder aufzuzeigen. Im Wesentlichen lassen sich dabei drei Gruppen von Einflussfaktoren zusammenfassen:

- **Stoffeinträge**
- **Witterung**
- **biotische Schädigungen**

Die Wirkungswege der einzelnen Einflussfaktoren sind sehr unterschiedlich. Sie können direkt auf den Baum wirken und dessen Vitalität beeinflussen, wie beispielsweise Schadinsekten, die durch Blattfraß o. ä. zu einem direkten Vitalitätsverlust bei den Bäumen führen. Andererseits kann der Waldzustand auch indirekt beeinflusst werden. So führt beispielsweise der Eintrag von Luftschadstoffen zu einer Versauerung der Böden und damit zu einer chronischen Belastung und langfristigen Destabilisierung der Wälder. Die einzelnen Faktoren stehen zudem in Wechselbeziehung zueinander und können sich in ihrer Wirkung verstärken oder aber auch abschwächen. Eine starke Bodenversauerung kann zu einer Störung der Nährstoffversorgung und Wasseraufnahmefähigkeit der Bäume führen, was wiederum die Anfälligkeit der Bäume gegenüber Witterungsextremen, Insektenfraß oder aber auch starker Blüte und Fruchtbildung erhöht (Abb. 42).

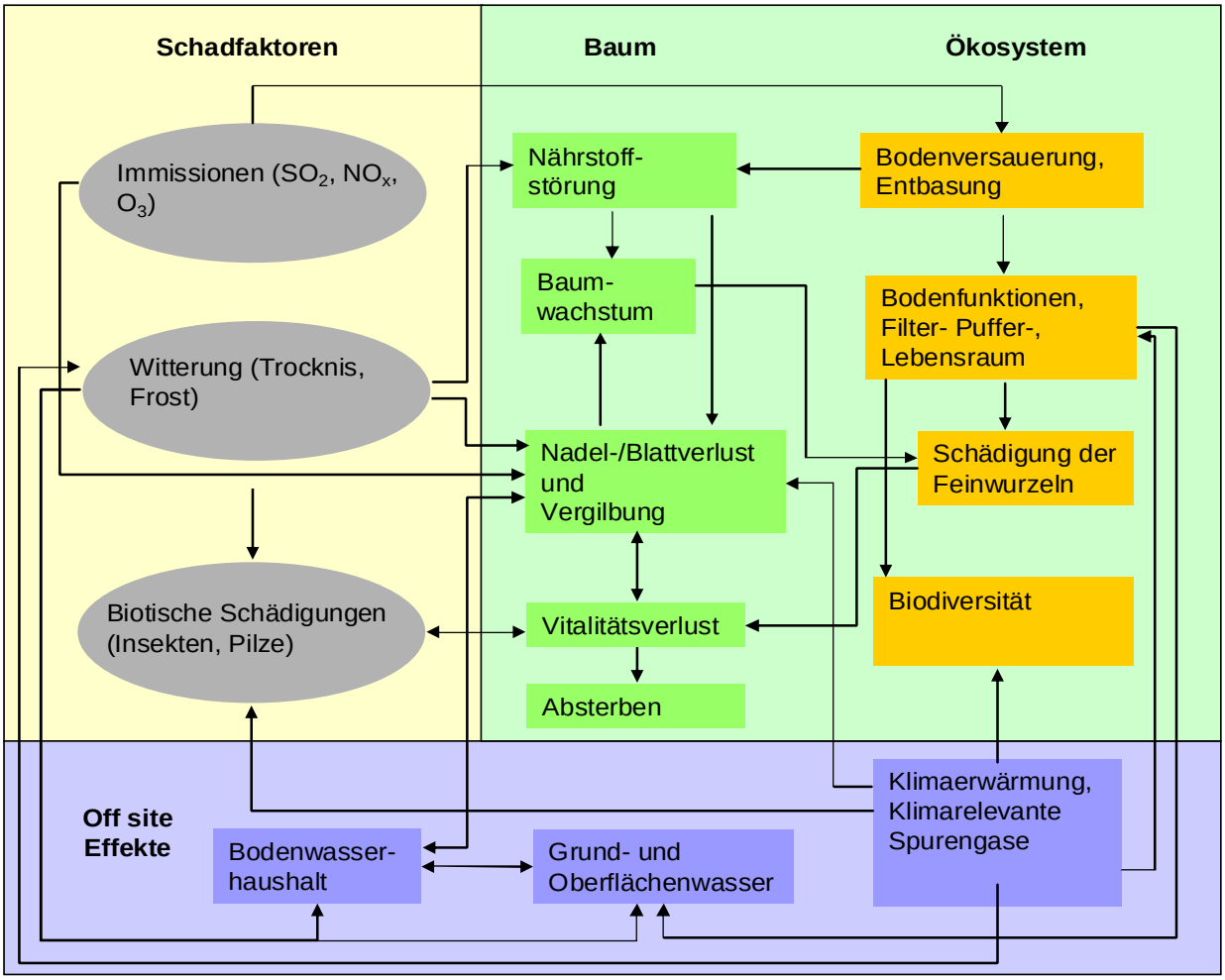


Abb. 42: Einflussfaktoren und deren Wirkungswege

7.1 Witterung und Klima

Witterung

Der Sommer 2008 war gemessen am langjährigen Mittel relativ feucht und überwiegend zu warm. Gerade der Beginn der Vegetationsperiode 2008 war durch überdurchschnittliche Temperaturen und geringe Niederschläge gekennzeichnet (Abb. 43). Dies hat sicherlich zu einer intensiven Blühinduktion der Waldbäume geführt, d. h. zum Ausbilden zahlreicher Blütenknospen für das kommende Jahr 2009. Erst im Spätsommer 2008 fiel die Lufttemperatur im Durchschnitt deutlich unter das langjährige Mittel. Der Winter 2008/2009 war insgesamt zu trocken und zu kalt. Im Januar kam es in weiten Teilen des Landes zu anhaltendem Bodenfrost. Die Frühlingsmonate April und Mai waren dagegen durch deutlich erhöhte Lufttemperaturen gekennzeichnet. Der April 2009 war bundesweit der wärmste innerhalb der letzten 120 Jahre (DWD 2009). Die hohen Temperaturen und die sehr lange Sonnenscheindauer führten zu einem deutlich verfrühtem Austrieb und sehr zeitigem Einsetzen der Blüte im Frühjahr 2009. Das sich zu diesem Zeitpunkt aufbauende Trockenstressrisiko durch erhöhte Transpiration der Pflanzen einerseits und unterdurchschnittlichen Niederschlag andererseits, wurde erst ab dem Monat Mai durch überdurchschnittliche Regenfälle aufgehoben. Bis in den Monat Juli hinein hielt diese für die Waldvegetation günstige warm-feuchte Witterung an. Regional kam es zu starken Sommergewittern. Etwa ab Mitte Juli gingen die Niederschlagssummen bei weiterhin überdurchschnittlichen Temperaturen drastisch zurück, was im weiteren Verlauf in prädisponierten Waldbeständen zu Trockenstress führte. Die bereits ab Mitte August beginnende Laubverfärbung stark fruktifizierender Buchen in Teilen Baden-Württembergs geben Hinweise auf einwirkenden Trockenstress nach äußerst günstigen Witterungsbedingungen im Verlauf der Vegetationsperiode.

Klimawandel

Als eine entscheidende Einflussgröße auf den Waldzustand zeichnen sich in den letzten Jahren immer mehr Klimafaktoren und extreme Witterungsphasen ab. Klimaforscher haben im Auftrag der Vereinten Nationen (UNO) festgestellt, dass die globale Durchschnittstemperatur in den letzten hundert Jahren um 0,74°C angestiegen ist. Dabei ist die lineare Temperaturerhöhung in den letzten 50 Jahren fast doppelt so hoch wie in den letzten hundert Jahren. Zudem fallen seit Beginn der Messungen im Jahr 1850 insgesamt elf der wärmsten Jahre in den Zeitraum von 1995-2006. Es wird davon ausgegangen, dass sich dieser Trend weiter fortsetzt und es zu einer weiteren globalen Erhöhung der Lufttemperatur kommt (IPCC 2007).

Ursache des Klimawandels ist im Wesentlichen

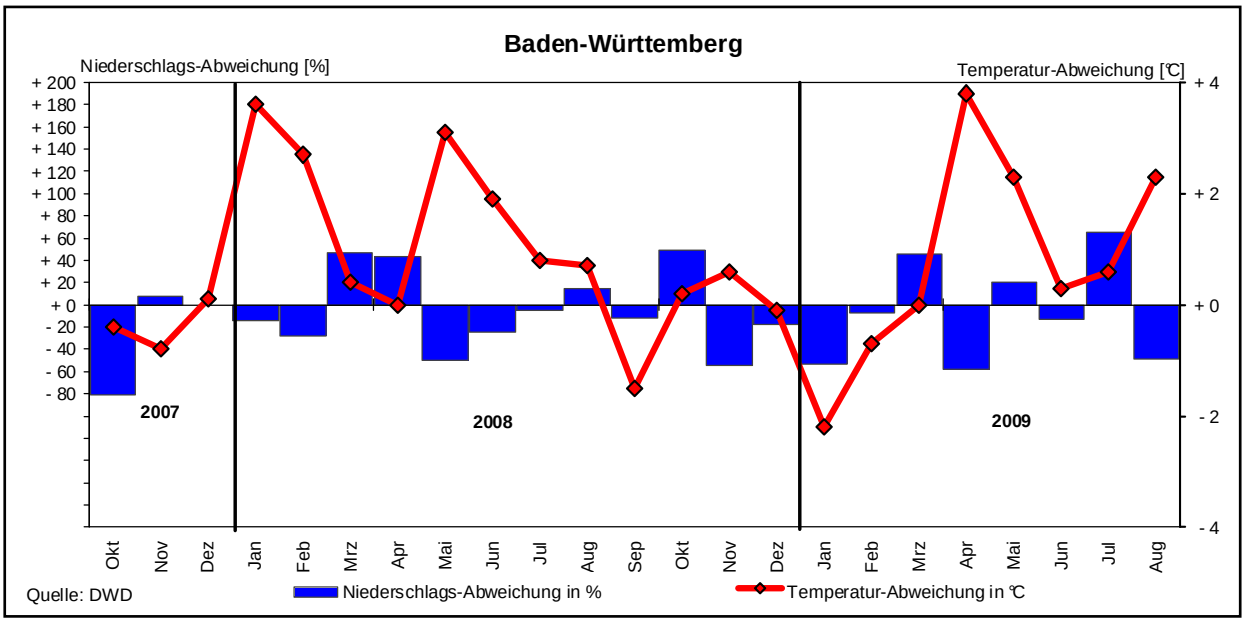


Abb. 43: Niederschlags- und Temperaturabweichung vom langjährigen Mittel, Baden-Württemberg

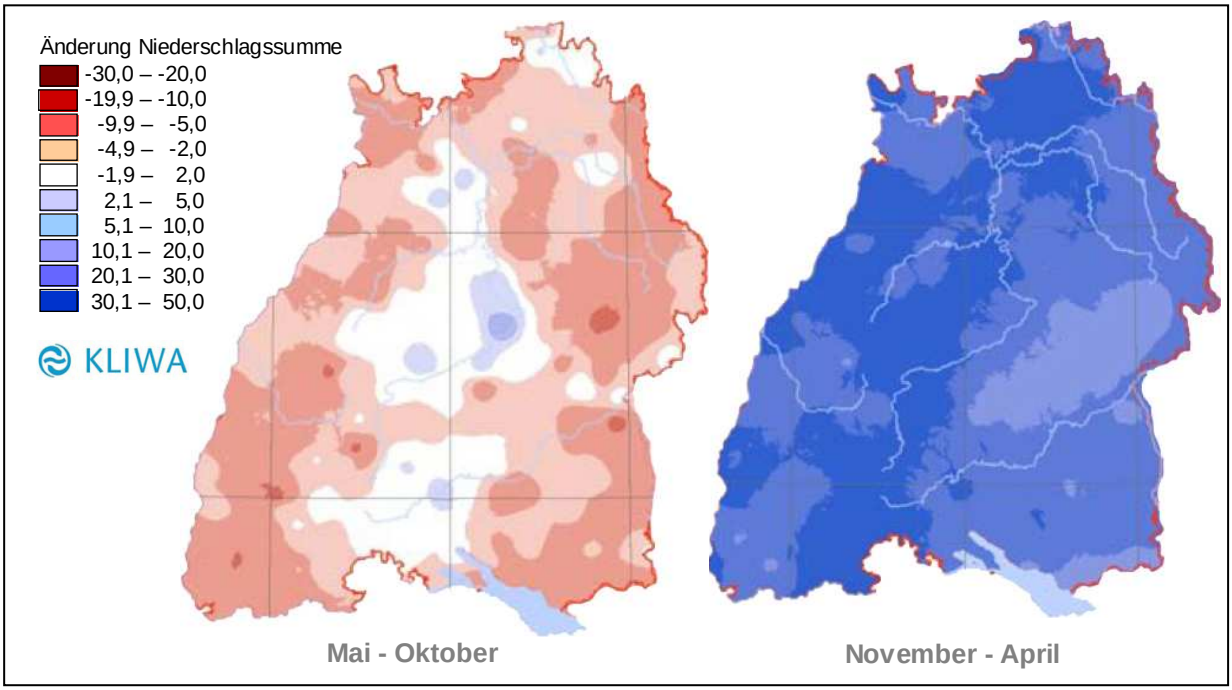


Abb. 44: Relative Änderung der Niederschlagssummen zwischen Zukunftsszenario (2050) und Ist-Zustand (links: Sommer, rechts: Winter); aus KLIWA 2008, geändert

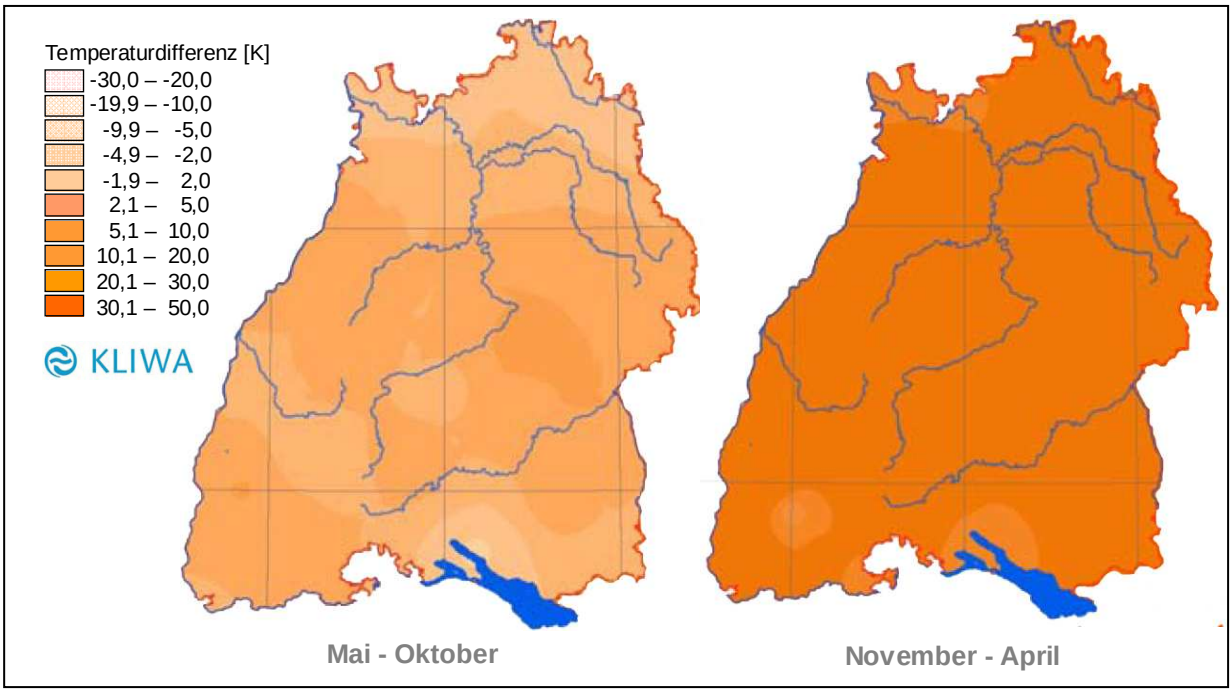


Abb. 45: Differenz Mittelwert der Lufttemperatur zwischen Zukunftsszenario (2050) und Ist-Zustand (links: Sommer, rechts: Winter); aus KLIWA 2008, geändert

der durch den Menschen verursachte Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre. Seit Beginn der Industrialisierung erhöhte sich der Ausstoß von Treibhausgasen stetig. Allein im Zeitraum von 1970 bis 2004 stiegen die Treibhausgasimmissionen weltweit um 70 Prozent an (IPCC 2007). Diese klimarelevanten Spurengase führen dazu, dass Wärmestrahlung innerhalb der Erdatmosphäre vermehrt absorbiert und weniger in den Weltraum abgestrahlt wird („Treibhauseffekt"). Treibhaus-

gase, wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O), entstehen v. a. bei der Nutzung fossiler Energieträger, bei industriellen Prozessen und der landwirtschaftlichen Produktion.

Wie sich die Klimaveränderung regional auf Baden-Württemberg auswirkt, untersucht das von der Landesregierung initiierte Forschungsprojekt KLIWA (Klimaveränderung und Wasserwirtschaft). Demnach ist auch in Baden-Württemberg in den letzten Jahren eine Erhöhung der durchschnittlichen Lufttemperatur zu beobachten. Nach den Berechnungen wird sich die Jahresmitteltemperatur in weiten Landesteilen Baden-Württembergs bis ins Jahr 2050 um weitere 1,7°Celsius erhöhen. Dabei fallen die Temperaturerhöhungen im Sommerhalbjahr etwas geringer aus, als die im Winterhalbjahr (Abb. 45). Höhere Temperaturen im Winter könnten zu einer verringerten Schneespeicherung führen und damit für einen schnelleren Abfluss des Wassers sorgen (KLIWA 2006).

Während die Niederschlagssummen im Sommerhalbjahr in nahezu allen Landesteilen Baden-Württembergs abnehmen, ist für das Winterhalbjahr mit einer Zunahme der Niederschlagshöhen zu rechnen. Dabei sind in der Veränderung der Niederschlagsverteilung kleinräumliche Unterschiede zu erkennen (Abb. 44).

Deutliche Temperaturerhöhungen, längere Sonnenscheindauer und Verschiebungen der Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf beeinflussen den Zustand der Wälder in hohem Maße. Zudem stellen häufiger auftretende Witterungsextreme, wie lang anhaltende Trockenperioden oder erhöhte Sonneneinstrahlung, eine erhebliche Belastung dar. Aber auch indirekt beeinflussen die Folgen des Klimawandels die Waldökosysteme. So werden die Lebensbedingungen verschiedener Insektenarten durch die allgemeine Erwärmung deutlich verbessert (z. B. Buchdrucker), bzw. die Verbreitung wärmeliebender Arten gefördert (z. B. Schwammspinner). Zudem erhöht sich, durch das bereits zu beobachtende, frühere Austreiben der Bäume, das Risiko von Spätfrostschäden. Trotz hohem Anpassungsvermögen der Flora und Fauna wird es auf Grund des rasanten Tempos der Klimaveränderung zwangsläufig zu einer Verschiebung der Vegetationszonen und zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung der derzeitigen Waldökosysteme kommen. Insbesondere in den älteren, an weniger belastende Klimabedingungen angepassten Waldbeständen, ist mit Schäden zu rechnen.

7.2 Waldschutzsituation 2008/2009

Die Waldschutzsituation in Baden-Württemberg hat sich 2008 gegenüber dem Vorjahr weiter entspannt. Die zufällige Nutzung, d. h. die Holznutzung, die nicht auf einem geplanten Holzeinschlag beruht, sondern durch Naturereignisse wie Borkenkäferbefall, Sturm, Dürre oder Schneebruch verursacht wird, betrug 2008 knapp 1 Mio. Festmeter (2007: 1,9 Mio. Festmeter). Diese Menge entsprach einem Anteil von 13% am Gesamteinschlag in Baden-Württemberg. Insgesamt 28% der zufälligen Nutzung (ZN) waren im Jahr 2008 durch biotische und 72% durch abiotische Ursachen bedingt. Bis Ende August 2009 war mit 0,9 Mio. Festmeter (Fm) etwa die gleiche ZN-Menge angefallen wie im gleichen Zeitraum im Vorjahr (Abb. 46).

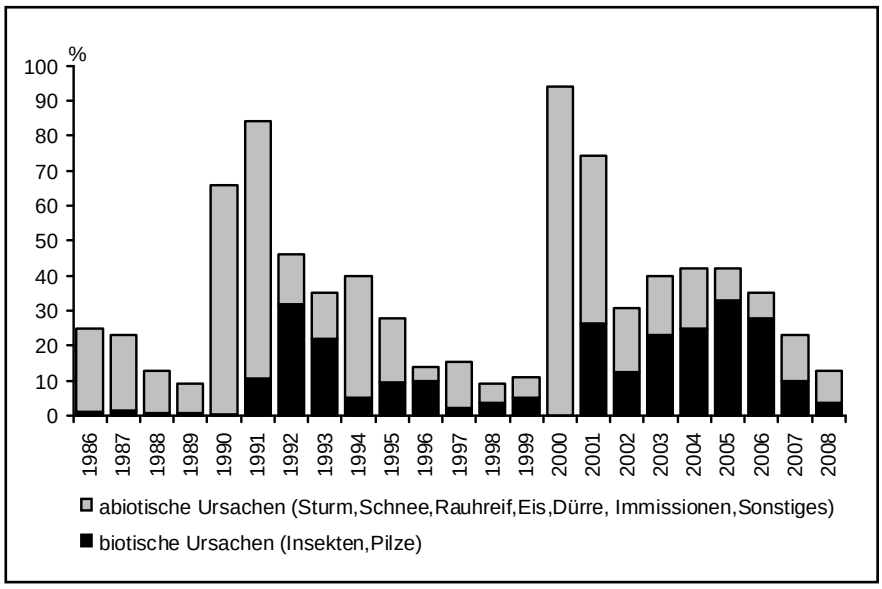


Abb. 46: Anteil zufälliger Nutzung am Holzeinschlag (Gesamtwald Baden-Württemberg)

Abb. 47: Nadelröte bei der Fichte im Oktober 2008 (aus: METZLER 2008)

Abiotische Schadursachen

Im Herbst/Winter 2008 trat an einigen Orten die so genannte **Nadelröte** an Fichten auf (Abb. 47). Die älteren Nadeljahrgänge mittelalter bis alter Fichten färbten sich im Oktober innerhalb weniger Wochen rot bis braun und fielen während des Spätherbstes ab, was zu Kronenverlichtungen führte. Untersuchungen der FVA zeigten, dass biotische Schaderreger (Läuse oder Pilze) nicht die Ursache hierfür sein konnten. Vielmehr war das, um diese Zeit jährlich auftretende physiologische Schütten der Nadeln (im Durchschnitt wird jährlich ein Nadeljahrgang abgeworfen und ein Jahrgang neu gebildet), vermutlich durch Witterungseinflüsse verstärkt.

Der Winter 2009 war verhältnismäßig schneereich, so dass es auch zu Schneebruchschäden kam (ca. 100.000 Fm). Das Sturmtief "Quinten" (10./11. Februar) und der Sommersturm "Felix" (26. Mai), der im Bodenseegebiet tobte, verursachten zusammen mit kleineren Sturmereignissen rund 680.000 Fm Sturmholz.

Im Sommer 2009 kam es zu einer großen Zahl von lokalen **Unwettern** in verschiedenen Regionen des Landes, die von Sturmböen, Starkregen und von Hagelschauern begleitet waren, die örtlich zu Sturm- und bei Kiefern auch zu Hagelschäden führten. Anfang August 2009 setzte eine lang anhaltende Trockenperiode ein, die vielerorts bei Buche in exponierten Lagen zu einer **frühen Laubverfärbung und Laubfall** bereits ab Mitte August führte (siehe Kap. 4). Auch andere Laubbäume, wie Vogelkirsche, Weiden und Pappeln, waren zum Teil früh kahl, wobei bei diesen Baumarten auch Insekten (Blattkäfer) und Pilzbefall eine Rolle spielten.

Biotische Ursachen

Im Jahr 2008 fiel mit insgesamt ca. 240.000 Mio. Fm deutlich weniger **Käferholz** an, als im Vorjahr (800.000 Fm). Dieser Rückgang ist zum einen auf die vergleichsweise feuchte Sommerwitterung 2008, zum anderen auf die effiziente Borkenkäferbekämpfung durch die Waldbesitzer und das Forstpersonal zurückzuführen. 2009 ging die Käferholzmenge weiter deutlich zurück. Bis Ende August wurden nur noch 88.000 Fm Käferholz verbucht. Zum gleichen Zeitpunkt betrug die Menge im Jahr 2008 noch 165.000 Fm. Der überwiegende Teil des Käferholzes war durch den **Buchdrucker** (*Ips typographus*) an Fichten verursacht (FVA 2009).

Auch die Ausfälle bei Buche und Eiche durch **Prachtkäfer** (*Agrilus sp.)*, deren Larven in der Rinde der Bäume leben und diese zum Absterben bringen können, gingen 2008 und 2009 weiter zurück.

An Fichte wurde im Sommer 2009 im Raum Ochsenhausen erstmals seit etwa 15 Jahren wieder stärkerer Fraß durch die Larven der **Fichtengespinstblattwespe** (*Cephalcia abietis*) beobachtet. Dieser Fraß kann zu deutlich sichtbaren Nadelverlusten führen, ist aber für die Bäume meist nicht bedrohlich.

In jüngeren Tannenbeständen nahm 2009 der Befall durch **Tannentrieb-** und **-stammläuse** (*Dreyfusia sp.)* weiterhin deutlich zu. Es kam örtlich auch zu Ausfällen, besonders wenn sich der Tannenrüssler (*Pissodes abietis*) als Folgeschädling nach Stammlausbefall eingestellt hatte.

Wie in den beiden Vorjahren wurde 2009 landesweit nur ein geringer Fraß durch blattfressende Schmet-

terlingsraupen an Eiche festgestellt. Nur in den Regionen Hohenlohe und Tauber trat stärkerer Fraß der **Eichenwickler-Raupen** (*Tortrix viridana*) auf. Die Raupen des **Eichenprozessionsspinners** (*Thaumetopoea processionea*) traten in Baden-Württemberg weit verbreitet auf, die Fraßschäden sind meist gering. An einigen Orten im Raum mittlerer Neckar mussten die Raupen vor allem auch aus hygienischen Gründen mit einem vom Helikopter ausgebrachten Pflanzenschutzmittel bekämpft werden.

Im Bereich der Schwäbischen Alb wurde im Frühsommer z. T. großflächiger Fraß des **Buchenspringrüsslers** (*Rhynchaenus fagi*) an den Buchenblättern registriert. Dieser ist jedoch nicht bedrohlich.

Von den **pilzlichen Schaderregern** trat 2008 und 2009 wieder vermehrt der **Tannenkrebs** (*Melampsorella caryopllacearum*) in Erscheinung. An Douglasien wurde 2009 verstärkter Befall durch die **Rußige Douglasienschütte** (*Phaeocryptopus gäumannii*) festgestellt.

Sehr gravierend sind die Schäden durch das 2009 erstmals in Baden-Württemberg nachgewiesene **Eschentriebsterben**. Diese durch den Pilz *Chalara fraxinea* hervorgerufene Krankheit (Abb. 48) tritt in allen Regionen von Baden-Württemberg besonders an jüngeren Eschen auf. In Jungwüchsen hat die Krankheit bereits zu beträchtlichen Schäden geführt. Die Ursachen für das plötzliche Auftreten sind noch nicht bekannt. Der Pilz galt bisher als harmloser Blattpilz. Es können noch keine Aussagen über die Weiterentwicklung der Krankheit getroffen werden. Europaweit ist die Krankheit erst seit wenigen Jahren bekannt. Dieser Erkrankung muss in der nächsten Zeit höchste Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Eine Auswirkung auf den Kronenzustand kann nach wie vor der **Mistelbefall** *(Viscum album)* haben. Betroffen vom Befall dieses Halbparasiten sind vor allem Kiefernwälder in der Oberrheinebene und Tannenbestände in den unteren und mittleren Höhenlagen der Mittelgebirge.

Abb. 48: Symptome des Eschentriebsterbens (aus: METZLER 2009)

7.3 Stoffeinträge

Luftschadstoffe belasten weiterhin die Wälder, auch wenn der Schadstoffeintrag als unmittelbare Folge der öffentlichen Umweltdiskussion in den letzten 20 Jahren deutlich gesenkt werden konnte. Schadstoffeinträge mit dem Regen (Depositon) führen zu einer Versauerung der Böden und damit indirekt zu einer Schädigung der Wälder. Andererseits können Luftschadstoffe bei entsprechend hoher Konzentration auch direkte Schädigungen an Nadeln und Blättern auslösen. Dies wurde beispielsweise Ende der 1970er Jahre an der Tanne beobachtet, die sehr sensitiv auf damals deutlich erhöhte Luftkonzentrationen von **Schwefeldioxid** reagierte. Die Folge waren deutliche Vergilbungen der Nadeln und erhöhte Nadelverluste sowie erhebliche Zuwachseinbußen der Tannen (ELLING et al. 2007). In Folge der Waldschadensdiskussion konnten die Einträge von Schwefeldioxid durch die Einführung von Rauchgasentschwefelungsanlagen und die Verwendung von schwefelärmeren Brennstoffen, wie z. B. Gas oder leichten Heizöls, deutlich reduziert werden (Abb. 49). Im Gegensatz zu Schwefeldioxid ist bei **Stickstoffdioxid** zwischen den beiden Messstationen Edelmannshof (Welzheimer Wald) und Kälbelescheuer (Südschwarzwald) ein deutlicher Konzentrationsunterschied feststellbar. Im zeitlichen Verlauf zeigen sich starke Schwankungen, aber nur eine leichte, trendhafte Reduzierung der Konzentrationen (Abb. 50). Derzeit werden direkte Schädigungen an Nadeln und Blättern in bisher geringem Ausmaß durch den Luftschadstoff **Ozon** festgestellt.

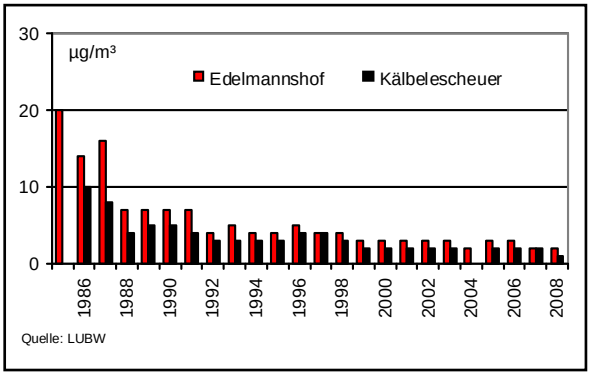


Abb. 49: Jahresmittelkonzentration Schwefeldioxid

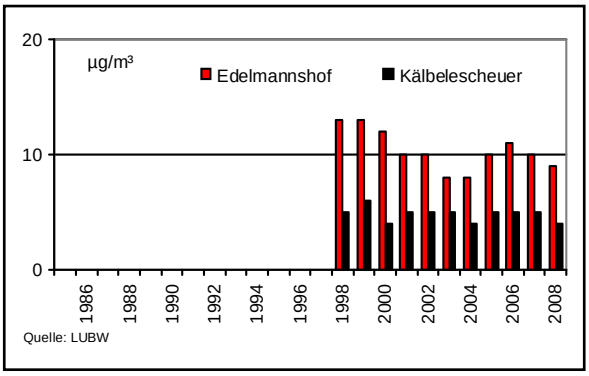


Abb. 50: Jahresmittelkonzentration Stickstoffdioxid

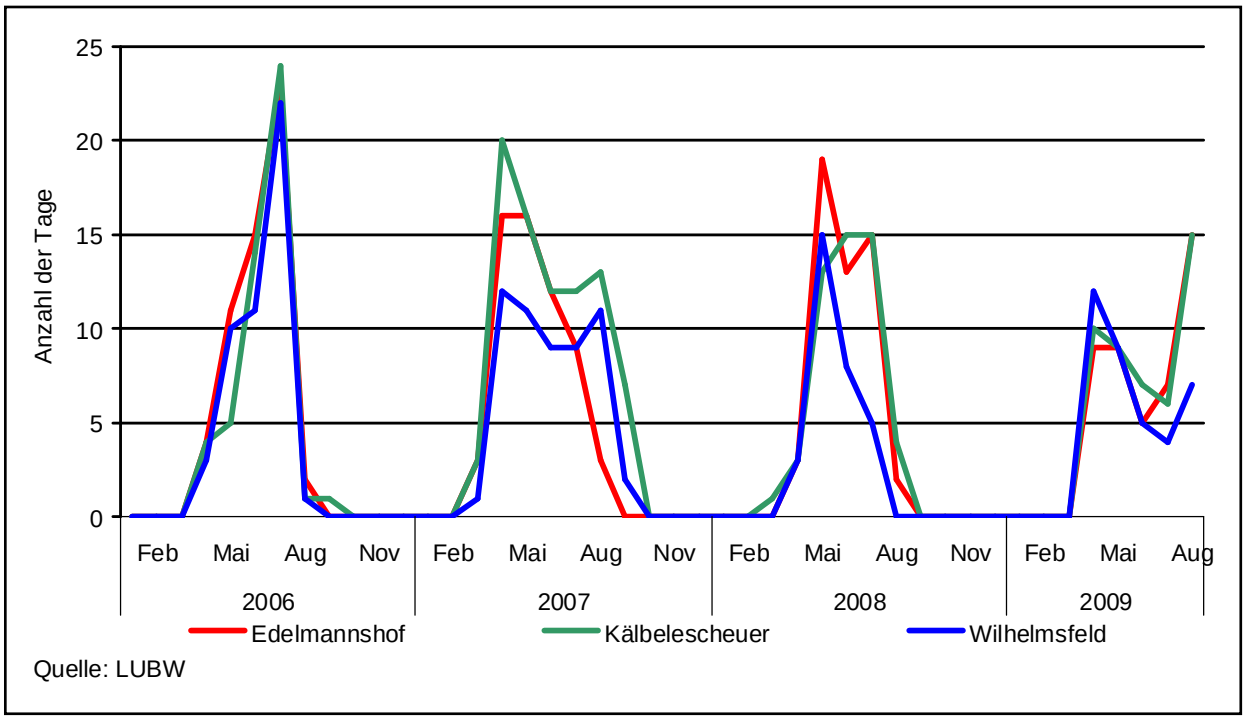


Abb. 51: Überschreitung der Ozonkonzentration, 8-Std. Mittelwert (Schwellenwert 120µg/m³)

Ozon

Ozon ist ein farbloses Gas mit stark oxidierender Wirkung, das in den letzten Jahren durch erhöhte Konzentrationen in der bodennahen Luft ein wichtiger Schadfaktor für Pflanzen geworden ist. In das Blattinnere von Bäumen dringt Ozon durch die Spaltöffnungen der Blätter und Nadeln. Dort verursacht es oxidativen Stress. Es schädigt nachhaltig die für die Photosynthese wichtigen Zellen des Pallisadenparenchyms und verhindert einen Abtransport der bereits aufgebauten Stärke (WSL 2008).

Ozon entsteht als sekundärer Luftschadstoff unter der Einwirkung von Sonnenlicht aus der Reaktion von Stickoxiden und flüchtigen Kohlenwasserstoffen. Diese Vorläufersubstanzen stammen vornehmlich von Autoabgasen und Industrieemissionen. Die Bildung von Ozon hängt stark von der Sonnenstrahlung ab. Nur bei ausreichender Energiezufuhr durch Sonnenlicht, kann Ozon entstehen. Während in den Wintermonaten trotz hoher Konzentration der Vorläufersubstanzen nur wenig Ozon gebildet wird, kommt es in der Regel während den Sommermonaten zu verstärkten Ozonbelastungen für Mensch und Umwelt. Im Jahr 2009 wurde der Schwellenwert von 120µg pro Kubikmeter Luft in den sonnenreichen Monaten April und August an zahlreichen Tagen überschritten. An den Messstationen Kälbelescheuer (Südschwarzwald) und Edelmannshof (Welzheimer Wald) wurde im August an nahezu der Hälfte der Tage der für Pflanzen kritische Schwellenwert erreicht. Dagegen fiel die Konzentration merklich in den Monaten Juni und Juli, in denen die Wetterlage insgesamt unbeständiger war (Abb. 51).

Bei höherer Ozonbelastung zeigen sich charakteristische Schadsymptome an Nadeln- und Blättern. Auf der Blattoberseite lassen sich zwischen den Blattnerven punktförmige, chlorotische Flecken („Stippling“) erkennen, die bei stärkerer Schädigung zu platzartigen Nekrosen zusammenwachsen. Typisch für einen Ozonschaden ist zudem der so genannte Schatteneffekt, d. h. es fehlen derartige Schadsymptome an Blattteilen, die durch Abdeckung mit anderen Blättern nicht direkt von der Sonne angestrahlt werden (INNES et al. 2001). Durch das fehlende Licht schließen sich die Spaltöffnungen, so dass kein Ozon eindringen kann (Abb. 52).

In Baden-Württemberg wurden im Jahr 2009 im Rahmen des europäischen FutMon-Programms Untersuchungen zur Bestimmung von sichtbaren Ozonschäden durchgeführt. Hierbei sind Blätter junger Buchen an lichtexponierten Standorten folgender FutMon-Flächen untersucht worden: Heidelberg, Altensteig, Ochsenhausen, Esslingen, Conventwald (Kirchzarten). Zusätzlich wurden Blattproben an der LUBW-Messstation Kälbelescheuer (Südschwarzwald) gewonnen. Die Blattproben werden derzeit durch das europäische „Ozone Validation Centre“ an der WSL / Schweiz untersucht. Erste Bewertungen anhand der Blattproben vor Ort lassen auf ein wiederholtes Auftreten von Ozonschäden in Baden-Württemberg schießen.

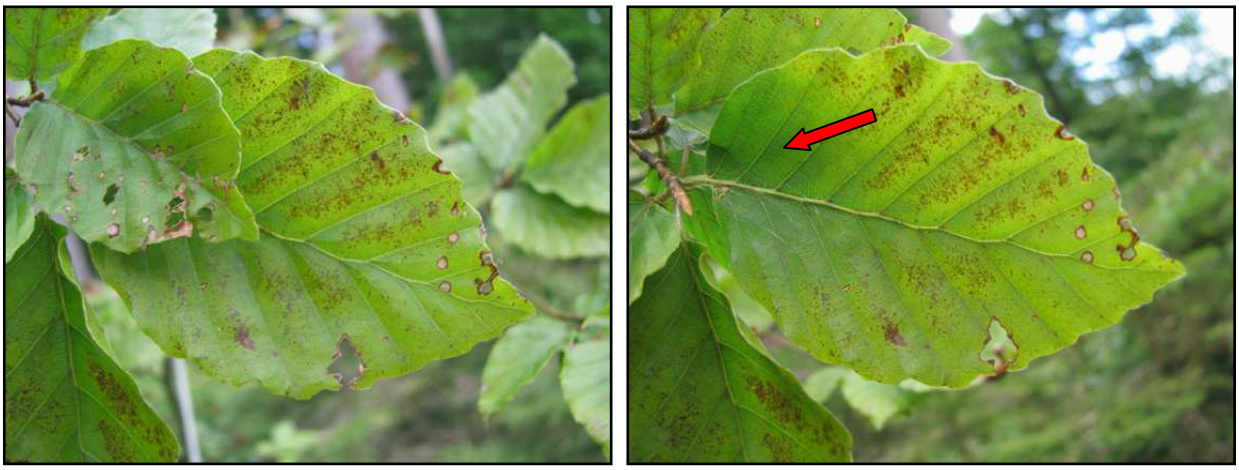


Abb. 52: Ozonsymptome mit Schatteneffekt (siehe roter Pfeil rechts)

Deposition

Die Säure- und Stickstoffeinträge mit dem Regen sind weiter zurückgegangen. In Tabelle 4 sind für alle 24 Messnetzstationen die Gesamtsäure- und Stickstoffeintäge für das Jahr 2008 an den jeweiligen Freiland- und Bestandesmessstationen zusammengestellt.

Die Gesamtsäureeinträge im Feiland variieren nur geringfügig um den Mittelwert von 0,4 $kmol_c$/ha/a. Im Luv des Schwarzwaldes sind sie höher (max. 0,6 $kmol_c$/ha/a), im Lee niedriger. Im Bestandesniederschlag ist die Variation um den Mittelwert von 1,0 $kmol_c$/ha/a höher. Die höchsten Werte mit 1,9 und 2,3 $kmol_c$/ha/a werden am Schwarzwald-Hauptkamm an den Stationen Blauen und Schauinsland erreicht. Die Mittelwerte der Stickstoffeinträge betragen im Freiland 9,5 kg/ha/a und in den Fichtenbeständen der Messstellen 21,5 kg/ha/a. Variationen um diese Mittelwerte und räumliche Verteilungsmuster sind ähnlich wie bei den Säureeinträgen. Allerdings sind neben den Eintragsspitzen entlang des Schwarzwald–Hauptkamms (Heidelberg, Gengenbach und Schauinsland), bei denen Nitrateinträge dominieren, in den östlichen Landesteilen die Stickstoffeinträge ähnlich erhöht. Die überwiegend aus Ammoniumeinträgen bestehenden Werte im Bestandesniederschlag liegen dort bei ca. 31 kg/ha/a (Welzheim und Ochsenhausen).

Seit Mitte der 1990er Jahre beträgt die Zahl der Depositionsmessstellen mit geringen Abweichungen 24 Stationen. Aufgrund der Beobachtung, dass über diesen Zeitraum die räumlichen Verteilungsmuster

Tabelle 4: Gesamtsäure- und Gesamtstickstoffeinträge im Jahr 2008 auf den Freiland- und Bestandesflächen der 24 Depositionsmessstationen (Nummerierung verweist auf die Kartendarstellung in Abb. 55 u. 56; Anordnung der Standorte nach West-Ost-Transekten)

Standort	Nr.	Gesamt - Säureeintrag [kmolc/ha/a]		Gesamt - Stickstoffeintrag [kg/ha/a]	
		Freiland	Bestand	Freiland	Bestand
Hockenheim	**1**	0,3	0,7	7,6	16,5
Heidelberg	**2**	0,5	1,3	12,2	31,3
Mudau	**3**	0,5	1,1	11,3	23,5
Tauberbischofsheim	**4**	0,2	0,4	6,3	12,0
Rotenfels	**5**	0,6	1,2	13,3	23,9
Neckarwestheim	**6**	0,2	0,6	5,6	17,4
Gengenbach	**7**	0,6	1,1	13,1	27,0
Freudenstadt	**8**	0,6	0,9	12,0	14,2
Altensteig	**9**	0,3	0,6	7,6	12,4
Rosenfeld	**10**	0,3	0,8	8,4	19,7
Schönbuch	**11**	0,3	0,9	7,7	17,4
Esslingen	**12**	0,4	0,9	10,7	21,4
Welzheim	**13**	0,4	1,2	9,7	31,5
Schwäbisch Hall	**14**	0,4	0,9	10,1	23,6
Hartheim	**15**	0,3	1,1	7,3	22,0
Schauinsland	**16**	0,6	2,3	14,1	29,6
Blauen	**17**	0,5	1,9	11,7	24,2
Conventwald	**18**	0,3	1,1	7,8	23,7
Löffingen	**19**	0,3	0,4	6,6	5,2
Blumberg	**20**	0,3	1,0	7,9	23,1
Worndorf	**21**	0,3	0,6	7,3	16,3
Brunnenholzried	**22**	0,3	0,8	8,3	23,7
Ochsenhausen	**23**	0,5	1,1	11,4	31,2
Grubenhau	**24**	0,3	0.8	8,9	24,0
Mittelwert		0,4	1,0	9,5	21,5
std		0,1	0,4	2,4	6,6
cv		33,4	43,5	25,9	30,8

von Säure- und Stickstoffeinträgen in ihren Relationen sehr stabil geblieben sind, wurde trotz der vergleichsweise geringen Messstellenzahl versucht aus den punktbezogenen Messergebnissen quasi kontinuierliche Karten mittels multipler linearer Regressionsmodelle herzuleiten. Die Regressionsmodelle konnten einen unerwartet hohen Anteil (80% - >90%) der räumlichen Messwertvariation der Depositionsdaten erklären. In einem zweiten Auswertungsschritt wurden mittel- und langfristige Zeittrends der Depositionsbelastung ermittelt und in die Modelle einbezogen. Diese Zeittrends mussten aus verschiedenen Quellen erschlossen werden: SCHOEPP et al. stellten 2003 aus einer Abschätzung natürlicher Säure- und Stickstoffbelastungen in der gemäßigten Klimazone Mitteleuropas und aus der Schätzung der Entwicklung von Schwefel- und Stickstoffemissionen aus der Industrie auf der Basis von statistischen Verbrauchsdaten in Industrie und Verkehr sowie über die Viehdichte in der Landwirtschaft eine relative Verlaufkurve für SOx-, NOx- und NHy - Belastungen für den Zeitraum von 1880-2030 mittels des RAINS - Modells auf. Für den Zeitraum von 1980-2008 liegt in Form der nach den EMEP–Regularien (Co-operative Program for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe) erhobene Schätzungen der durchschnittlichen Schadstoffdepositionen für ein 50 km x 50 km Raster auf der Basis von gemessenen Schadgaskonzentrationen in der Luft vor. Aus den in Baden-Württemberg liegenden „Kacheln“ des EMEP Rasters wurde ein gewichteter Mittelwert für Gesamtsäure- und Stickstoffeinträge berechnet. Am Beispiel der Gesamtsäurebelastung wird die Rekonstruktion des langfristigen Zeittrends dargestellt (Abb. 53). Die Gesamtsäurebelastung wurde aus den EMEP–Daten folgendermaßen berechnet:

$$\frac{((SOx_EMEP * 2) + (NHy_EMEP * 2) + (NOx_EMEP))}{5}$$

Das heißt, dass SOx und NHy mit doppeltem Gewicht einbezogen wurden, da diese Verbindungen in der nassen Deposition von je 2 Protonen begleitet werden.

Die Gesamt- Stickstoffdeposition wurde als Molsumme von NOx und NHy berechnet. Mittels eines multiplen linearen Regressionsmodells wurden sowohl die räumliche Verteilung der Depositionskomponenten modelliert als auch deren zeitlicher Verlauf. In das Modell gingen insgesamt acht Regressoren ein: die räumliche Verteilung des mittleren langjährigen Jahresniederschlags (30 J.), die für Baden-Württemberg gewichtet gemittelte Gesamtsäurebelastung aus dem EMEP Datensatz, die mittlere Wintertemperatur (30 J.) sowie einige topografische Geländeindizes, welche Hangneigung, Exposition etc. beschreiben und geographische Informationen, die regionale Landschaftscharakteristik betreffend. Die Modelle wurden für den gut mit Daten belegten Zeitraum 1995-2008 angepasst (Abb. 53) und anhand der

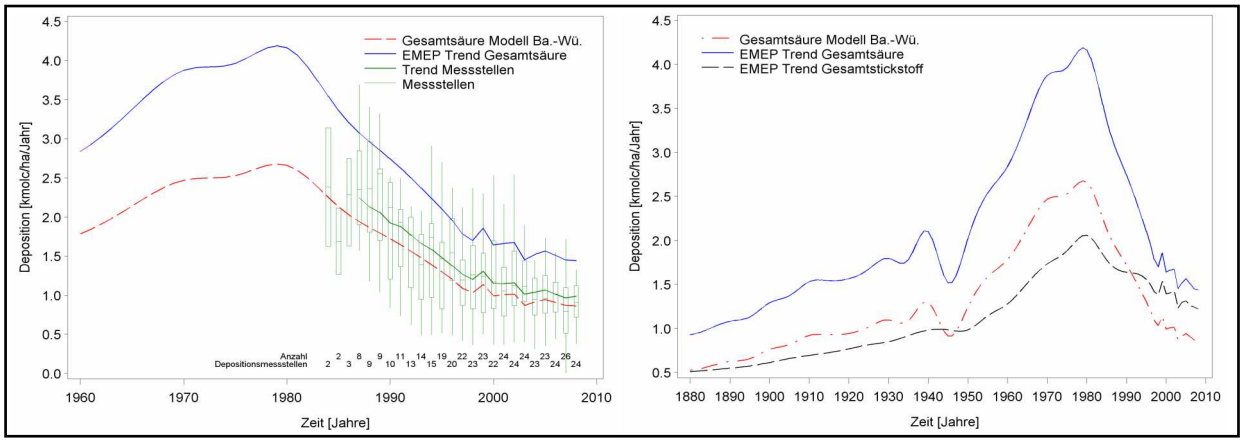


Abb. 53: Links (a): Vergleich der EMEP-Gesamsäuredeposition für Baden-Württemberg, dem Trendverlauf aus dem multiplen Regressionsmodell und den Messwerten der Depositionsmessstationen. Rechts (b): EMEP-Gesamtsäuredeposition, EMEP-Nitratdeposition und Modellwerte der rekonstruierten Gesamtsäurebelastung bis 1880

langfristig rekonstruierten, auf dem EMEP-Datenmaterial basierenden Zeitreihe bis 1880 extrapoliert.

Die Erstellung eines solchen, sowohl die räumliche Verteilung, als auch den Zeitverlauf abbildenden Regressionsmodells auf der Basis einer für die Anwendung multivariater statistischer Verfahren grenzwertig schmalen Messdatenbasis, setzt voraus, dass sich die räumlichen Depositionsmuster im Zeitverlauf nicht oder wenig verändern. Das war in der Modell–Kalibrierungsperiode 1995–2008 der Fall. Für die langfristige zeitliche Extrapolation wurde unterstellt, dass diese während der Messperiode beobachtete Stabilität der räumlichen Depositionsmuster auch im Wesentlichen auf die gesamte Zeit der industriellen Entwicklung übertragen werden kann. Valide Modelle, die einen unerwartet hohen Anteil der Messdatenvarianz von um die 70% erklären, konnten für Gesamtsäuredepositionen in Freiland und Fichtenbeständen und für Gesamtstickstoffdepositionen im Freiland aufgestellt werden. Für die Gesamtstickstoffdeposition in Fichtenbeständen war dies nicht möglich, da die Gesamtstickstoffeinträge im Verlauf der Modellkalibrierungsperiode 1995-2008 einen zu geringen zeitlichen Trend aufwiesen und so eine Trendextrapolation in die Vergangenheit nicht vertretbar war. Für diesen Parameter konnte lediglich für den Zeitraum 1995-2008 die räumliche Verteilung ohne zeitlichen Trend modelliert werden. In der folgenden Abbildung 54 werden die zeitlichen, bis in den vorindustriellen Zeitraum von 1880 extrapolierten Trendverläufe für Geamtsäure- und Gesamtstickstoffeinträge dargestellt.

Diese Trendverläufe sind für die Gesamtsäuredeposition von einem überproportional starken Belastungspeak in den 1970er und 1980er Jahren gekennzeichnet, der aufgrund der Schadstoffakkumulation auf der Kronenoberfläche der Bestände im Bestandesniederschlag besonders deutlich ausgeprägt ist. Demgegenüber ist der Trendverlauf der Gesamtstickstoffdeposition im Freiland deutlich flacher. Die dargestellten Trends wurden mit den in der Beobachtungsperiode 1995-2008 identifizierten räumlichen Verteilungsmustern kombiniert, um für die gesamte Depositionsgeschichte die Entwicklung räumlicher Belastungsmuster abzuschätzen. In den Abbildungen 55 und 56 wird die Entwicklung der räumlichen Verteilung von Gesamtsäureeinträgen unter Fichtenbeständen seit 1880 in 25-Jahres–Abschnitten dargestellt. In den Darstellungen zur räumlichen Verteilung der Gesamtsäureeinträge ist eine ausgeprägte Abhängigkeit von der räumlichen Niederschlagsverteilung erkennbar. Mit steigenden Jahresniederschlägen steigen auch die Säureeinträge, es werden mehr Schadstoffe aus der Luft ausgewaschen. Die von der Geländemorphologie abhängigen Feinstrukturen ergeben sich hauptsächlich aus der Expositionsabhängigkeit zur Hauptwindrichtung.

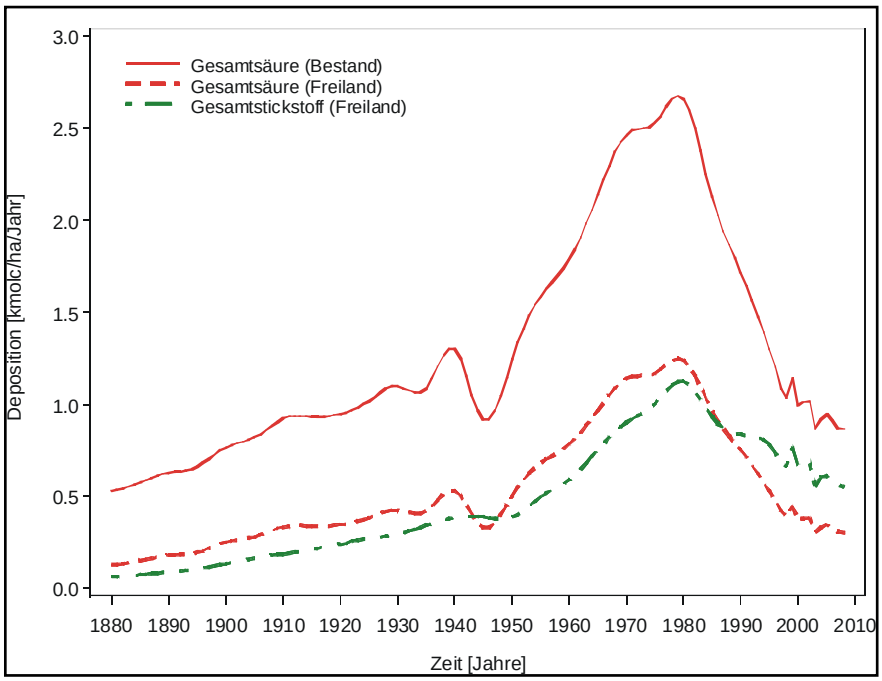


Abb. 54: Trendverlauf der mittleren Gesamtsäureeinträge in Baden-Württemberg in Fichtenbeständen und im Freiland, sowie der mittleren Gesamtstickstoffeinträge

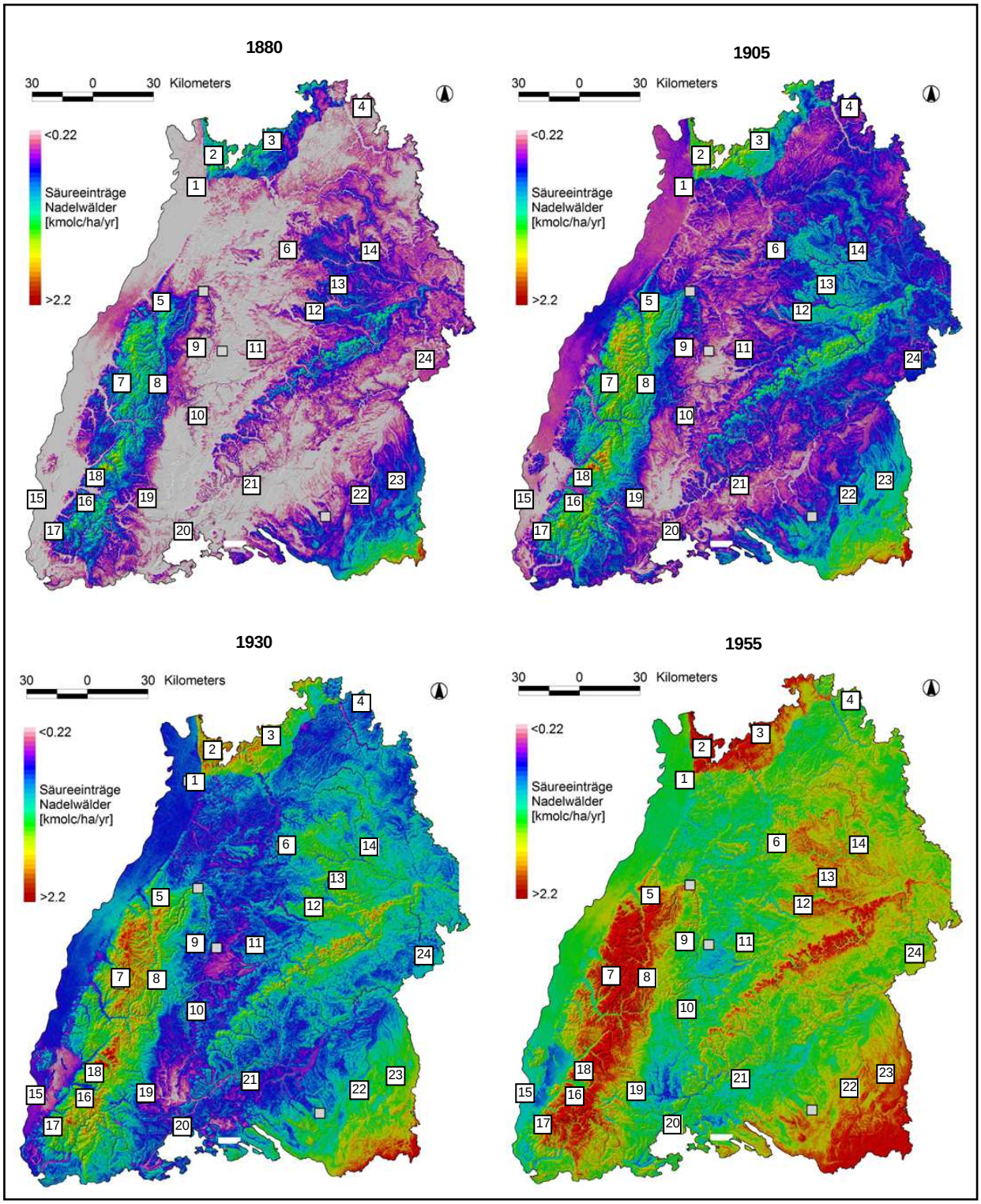


Abb. 55: Entwicklung der Verteilungsmuster von Gesamtsäureeinträgen im Zeitraum von 1880–1955 (Punkte = Messnetzstationen, Nummerierung siehe Tab. 4)

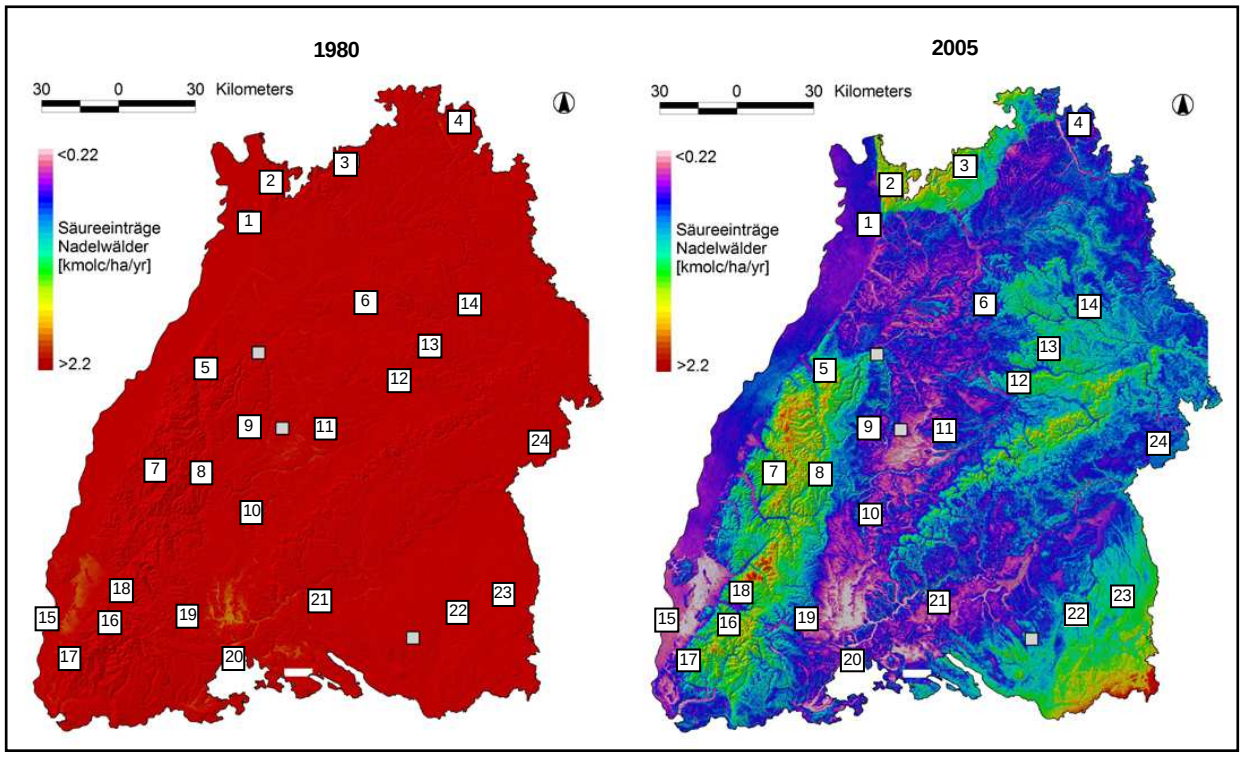


Abb. 56: Entwicklung der Verteilungsmuster von Gesamtsäureeinträgen im Zeitraum von 1980 – 2005 (Punkte = Messnetzstationen, Nummerierung siehe Tab. 4)

In der räumlichen Verteilung der Gesamtsäuredeposition lassen sich auch lokale Belastungsspitzen in der Abwindfahne von urbanen Ballungszentren erkennen, wie im Oberrheingraben die Zone erhöhter Einträge im Ballungsraum Kehl Straßburg, die hohe Säurebelastung im Odenwald aus dem westlich vorgelagerten Ballungsraum Heidelberg Mannheim und die Belastungszone entlang des NW-exponierten Albtraufs und im Schwäbisch Fränkischen Wald, die in der Abwindfahne von Stuttgart liegt.

Wenn man die Entwicklung der Belastungsmuster in den Abbildungen 55 und 56 sowie den Zeitverlauf der mittleren Gesamtsäuredeposition für Baden-Württemberg (Abb. 54) betrachtet, sieht man, dass 2005 ähnliche Verteilungsmuster und ein wieder vergleichbares mittleres Niveau der Gesamtsäureeinträge erreicht wurden wie sie etwa 100 Jahre früher im Jahr 1905 bestanden. Nur noch die exponiertesten Bereiche in den Hochlagen mit überproportional hohen Niederschlägen weisen kleinflächig Gesamtsäureeinträge > 2 $kmol_c/ha/a$ auf. Die höheren Lagen von Schwarzwald, Odenwald und Schwäbischer Alb, sowie Flächen im Alpenstau in Oberschwaben, weisen Säureeinträge um 1 $kmol_c/ha/a$ auf, während in den geschützten Windschattenlagen auf ca. $^2/_3$ der Landesfläche Belastungshöhen von um die 0,5 $kmol_c/ha/a$ und deutlich darunter identifiziert werden. Die Belastungsspitze mit Gesamtsäureeinträgen > 2 $kmol_c/ha/a$, während der alle Landesteile ohne wesentliche Unterschiede betroffen waren, dauerte nicht länger als 25 Jahre (Abb. 56).

Im Freiland ist auch bei den Stickstoffeinträgen ein Rückgang in den vergangenen 25 Jahren festzustellen, wenn dieser auch flacher verläuft als bei den Säureeinträgen. Im Bestandesniederschlag ist dieser Rückgang so schwach ausgeprägt, dass er nicht auf statistischem Weg modelliert werden konnte. Dies ist plausibel, da die in den Waldökosystemen akkumulierten Stickstoffmengen aus der Zeit hoher Depositionsintensitäten im internen Stoffkreislauf der Waldökosysteme länger zirkulieren, als dies im Freiland der Fall ist.

Dass nach der Zeit sehr hoher Depositionsintensitäten in den 1970er und 1980er Jahren in der sehr kurzen Zeit von weiteren 25 Jahren die Reduktion der Belastung auf fast schon vorindustrielle Werte gelungen ist, kann eindeutig als politischer Erfolg der konsequenten Luftreinhaltepolitik gewertet werden,

die seit Beginn der 1980er Jahre durch die damalige Waldschadensdiskussion ausgelöst worden war und dann sukzessive in konkrete Emissionsminderungsmaßnahmen umgesetzt wurde. Die vergleichsweise kurze Zeitdauer und die im Bundesvergleich besonders niedrigen Belastungsintensitäten in Südwestdeutschland (GAUGER et al. 2008) lösten im Boden von der Bodenoberfläche ansetzende Versauerungs- und Eutrophierungsprozesse aus (siehe Kap. 5), die aber, differenziert nach den Standortseigenschaften, nicht den gesamten Boden veränderten und seine natürliche Ausstattung zerstörten. In vielen Böden sind Reste der natürlichen stofflichen Ausstattung in Unterbodenschichten noch erhalten. Dies erlaubt, anders als z. B. in den hochbelasteten Gebieten Nordwestdeutschlands, eine Regeneration der natürlichen bodenchemischen Situation durch Kreislauf- und Bodenschutzkalkungskonzepte. Die Motivation und Begründung der Bodenschutzkalkung muss sich vor dem Hintergrund deutlich reduzierter Gesamtsäureeinträge wandeln. Während ursprünglich nur die Kompensation aktueller Säureeinträge das Ziel war, kann nun die Regeneration von belasteten Standorten angestrebt werden (siehe Kap. 5).

8 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Die konsequente Harmonisierung und Zusammenführung von unterschiedlichen disziplinären Untersuchungsthemen auf den gleichen Messnetzflächen des 8x8 km-Rasters und vor allem die mittlerweile hinreichende Länge der mit vergleichbaren Methoden erhobenen Datenreihen erlauben integrierende Auswertungen und die Ableitung praxisorientierter Entscheidungshilfen aus den Monitoringdaten. So werden durch die Zusammenschau von bodenchemischen Zustandsdaten und Waldernährungsdaten aus der Bodenzustandserhebung (BZE), sowie Kronenzustandsdaten aus der Waldschadensinventur (TWI) regionale, standörtlich differenzierte Konzepte zur Bodenschutzkalkung abgeleitet. Die Ableitung von physiologischen Schwellenwerten der Wasserverfügbarkeit und ihre Wirkung auf das Baumwachstum sind von entscheidender Bedeutung für die Beurteilung von Risiken für die Produktivität der Wälder bei durch Klimawandel veränderter bzw. verminderter Wasserverfügbarkeit. Die Ergebnisse der zeitlich hochauflösenden Zuwachsmessungen an Buche und Fichte, sowie die parallel auf den Intensivmessflächen vorgenommenen Messungen der Wasserverfügbarkeit im Boden ermöglichen grundsätzlich die Ableitung von stressphysiologischen Schwellenwerten der Wasserverfügbarkeit und unterstützen im aktuellen Jahr die Interpretation der frühzeitigen Blattsenezenz bei der Baumart Buche im Spätsommer 2009. Aus diesem Grund wurden in diesem Bericht Ergebnisse der Bodenzustandserhebung, der FutMon–Intensivmessflächen, sowie die langfristige, räumlich detaillierte Entwicklung der Depositionsbelastung gleichrangig mit den Ergebnissen der Kronenzustandserfassung dargestellt. Damit wird eine synoptische Beurteilung auch teilweise gegenläufig wirkender Entwicklungen von Umweltfaktoren, wie z.B. der Reduktion von Depositionen bei gleich bleibendem bzw. durch Kalkung tendenziell verbessertem Versauerungszustand der Böden und sich in den letzten Jahren schnell verschärfenden Klimabedingungen, in ihrer Gesamtwirkung auf den aktuellen Kronenzustand und die Waldfunktionen ermöglicht.

Der mittlere Nadel-/Blattverlust der Bäume in Baden-Württemberg im Jahr 2009 hat sich gegenüber dem Vorjahr um zwei Prozentpunkte erhöht. Dies ist in weiten Teilen durch die massive Blüte und Fruktifikation der Waldbäume begründet. Vor allem die Baumart Buche, mit einem Anteil von über 60% an stärker fruktifizierenden Bäumen, trägt zu diesem Ergebnis maßgeblich bei. Anstelle von vegetativen Blattorganen bilden die Bäume Blüten aus, so dass entsprechend weniger Triebe mit Blättern gebildet werden (SCHÜTT et al. 1992). Dies kann sich bei hoher Intensität in der Verzweigungsstruktur und der Blätterdichte der Baumkrone auswirken. Zudem wird bei der Fruchtreife ein hoher Anteil an Reservestoffen aufgebraucht, so dass lediglich kleinere und/oder weniger Blätter gebildet werden. Der Zusammenhang zwischen einer starken Fruktifikation und erhöhten Nadel-/Blattverlustwerten konnte anhand der Daten der diesjährigen Waldschadensinventur insbesondere bei der Buche nachgewiesen werden. Der erhöhte Blattverlust der Buchen stellt zunächst keinen Vitalitätsverlust der Bäume dar, da eine hohe Reproduktionsrate auch als Vitalitätsweiser angesehen werden kann. Es muss jedoch weiter beobachtet werden, in wie weit das Blühverhalten der Bäume von der Klimaveränderung beeinflusst wird. Die Waldschadensdaten zeigen für die letzten Jahre einen steigenden Trend der Fruktifikation bei der Buche. Eine zunehmende Häufigkeit der Mastjahre kann zu einer chronisch erhöhten Belastung der Bäume führen.

Betrachtet man das Gesamtergebnis der Waldschadensinventur ohne die stärker fruktifizierenden Bäume, so ist der mittlere Nadel-/Blattverlust und die daraus resultierende Schadstufenverteilung mit der des Vorjahres in etwa vergleichbar. Während sich der mittlere Nadel-/Blattverlust der Baumarten Tanne, Kiefer und Eiche jeweils um rund einen Prozentpunkt erhöht, bleibt das Schadniveau der Baumart Fichte im Vergleich zum Vorjahr nahezu gleich. Im Schwarzwald verringert sich der mittlere Nadelverlust der Fichten um drei Prozentpunkte, was auf die günstigen Wuchsverhältnisse während der Vegetationsphase mit warm-feuchter Witterung und dem

ausgesprochen geringem Schädlingsdruck der Fichtenborkenkäfer im Jahr 2009 zurückzuführen ist. In allen anderen Wuchsgebieten sind, abgesehen von den durch die starke Fruktifikation erhöhten Blattverlusten der Buchen, kaum Änderungen gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen.

Auch das Jahr 2009 hat wieder gezeigt, welch großen Einfluss die Witterung auf den Zustand der Wälder ausübt. Neben dem deutlich zu warmen Frühjahr, mit dem bundesweit wärmsten April seit 120 Jahren, der zu einem deutlich verfrühtem Austrieb und sehr zeitigem Einsetzen der Blüte führte, kam es im Spätsommer zu einer anhaltenden Trockenphase und in Folge zu Trockenstresssymptomen bei den Waldbäumen. Neben der beobachteten vorzeitigen Laubverfärbung bzw. dem Laubabwurf an Buchen konnte durch die Ergebnisse der Intensivmessflächen aufgezeigt werden, dass das Jahrringwachstum bereits Anfang August auf Grund spätsommerlicher Austrocknung des Oberbodens eingestellt wurde.

Die erstellten Klimaprognosen sagen für den Südwesten eine Zunahme von milderen und regenreicheren Wintermonaten sowie deutlich wärmeren und tendenziell trockeneren Sommermonaten voraus (KLIWA 2006). Dies wird eine verstärkte Verschiebung der Vegetationszeiten zur Folge haben, wie sie heute schon beobachtet wird (FABIAN et al.1996), und könnte zu einem erhöhten Spätfrostrisiko der Bäume führen. Durch die zunehmend warm-trockene Sommerwitterung verstärkt sich auch der Schädlingsdruck auf Waldbäume. Zum einen werden die Lebens- und Verbreitungsbedingungen einheimischer Arten wie z. B. der Fichtenborkenkäfer oder dem Schwammspinner verbessert, anderseits können sich gebietsfremde Arten bei veränderten Klimabedingungen ansiedeln und ausbreiten.

Durch die prognostizierte Erhöhung der Sonnenscheindauer könnte bei fortschreitendem Klimawandel zudem die Belastung durch den Luftschadstoff Ozon zunehmen, da eine wesentliche Reduzierung der hauptsächlich vom Individualverkehr stammenden Vorläufersubstanzen in näherer Zukunft nicht realistisch erscheint. Ozon verursacht Zellschäden und reduziert somit die Photosyntheseleistung der Bäume (WSL 2006). Aktuelle Schäden durch Ozon konnten dieses Jahr auf Versuchsflächen in Baden-Württemberg nachgewiesen werden. In höherer Konzentration kann Ozon auch Einfluss auf das Wuchsverhalten von Bäumen ausüben (WIPFLER et al. 2009).

Um eine weitere Destabilisierung der Wälder zu verhindern, muss dringend die Widerstandsfähigkeit der Wälder durch geeignete Maßnahmen gestärkt werden. Das Konzept der naturnahen Waldwirtschaft der Landesforstverwaltung Baden-Württembergs verfolgt dieses Ziel seit langem. Hierbei wird durch eine Förderung naturnaher Mischwälder und einer standortgerechten Baumartenwahl sowie durch Maßnahmen eines integrierten Waldschutzes die Widerstandsfähigkeit der Wälder zunehmend gestärkt. Dies muss auch in Zukunft konsequent fortgeführt werden. Aufgrund der enormen Geschwindigkeit in der sich die klimatischen Veränderungen derzeit vollziehen, ist verstärkt die Frage nach der Anpassungsfähigkeit unserer heutigen Wälder zu stellen. Insbesondere ältere Bestände stellen hier, durch ihr von Natur aus geringeres Anpassungspotential, einen Problembereich dar. Bei der Neugründung von Waldbeständen ist die Widerstandsfähigkeit gegenüber schädigenden Umweltfaktoren sicherlich durch Mischungsformen unterschiedlicher Baumarten zu stärken. Zudem ist der Anbau z. B. von Douglasie und Roteiche sowie die Einbringung von Provenienzen mit hohem Anpassungspotential gegenüber den sich veränderten Witterungssituationen zu prüfen (v. LÜPKE 2009).

Zudem muss weiterhin der Eintrag von anthropogenen Stoffeinträgen (v. a. Stickstoff) verringert werden. Den Erfolg einer konsequenten Luftreinhaltepolitik kann man an den mittlerweile auf ein „quasi-vorindustrielles“ Niveau zurückgeführten Säureeinträgen festmachen. Bei den Stickstoffeinträgen verläuft die Reduktion langsamer, insbesondere bei Ammonium. Die durch Deposition von Säurebildnern verursachte Versauerung der Waldböden führt zu einer chronischen Destabilisierung der Wälder und erhöht die Anfälligkeit gegenüber anderen Umwelteinflüssen wie Witterungsextremen oder biotischen Schädigungen. Bei der Bewertung der Versauerungsproblematik ist zu beachten, dass diese weniger durch die akute Wirkung von aktuellen Säureeinträgen, sondern vielmehr durch die über Jahrzehnte

akkumulierte Säurewirkung durch Auswaschung von Basen und Nährstoffen aus dem Boden entsteht und Ökosystemfunktionen, wie die Versorgung von Bäumen mit Nährstoffen und Wasser, aber auch mittelbare Ökosystemfunktionen wie Filterung und chemische Konditionierung von Wasser (z. B. Rohwasser für Trinkwasserversorgung) beeinträchtigt.

Die Tatsache, dass wir es aktuell nicht mehr mit Säureeinträgen zu tun haben, welche, abgesehen von den Stickstoffeinträgen, die Toleranz von Ökosystemen langfristig überschreiten, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass durch Bodenversauerung eine „depositionsbedingte Altlast“ verbleibt, welche die Waldökosysteme und ihre Funktionen nach wie vor belastet. Es besteht also trotz der Reduktion von Säuredepositionen ein mittelfristiger „Sanierungsbedarf“ zur Wiederherstellung der natürlichen Funktionalität der Waldböden. Zur Kompensation unnatürlich versauerter Waldböden sind die Bodenschutzkalkung und auch die Rückführung von basischen Mineralstoffen mit Holzaschen aus mit Waldholz befeuerten Heizwerken im Sinne eines Kreislaufkonzepts geeignete und bewährte Werkzeuge zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Wälder und der Regeneration von Waldfunktionen. Dies belegen eindrücklich die Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung (BZE) in Baden-Württemberg und die daraus abgeleiteten Veränderungstendenzen zur 15 Jahre zurückliegenden Erstaufnahme. Die Versauerung der Waldböden ist im Vergleich zur ersten Aufnahme im Jahr 1992 zurückgegangen. Wesentliche Einflussfaktoren sind hierbei neben den rückläufigen Säureeinträgen die umfangreich durchgeführten Bodenschutzkalkungen sowie der Waldumbau in Richtung laubholzreicher Bestände. Diese Faktoren spiegeln sich auch in der Verbesserung der Humusformen wieder. Während bei der Erstaufnahme noch deutlich mehr biologisch inaktivere Auflagehumusformen festgestellt wurden, überwiegen nun eindeutig bodenbiologisch aktive Mullhumusformen mit hohen Stoffumsatzraten. Durch das Ausbringen von magnesiumhaltigem Kalk werden die anthropogen verursachten Säureeinträge kompensiert und gleichzeitig dem Boden zuvor ausgewaschenes Magnesium wieder zugeführt. Dadurch können sich die Böden langsam wieder regenerieren und die Waldbestände von der verbesserten Ernährungssituation profitieren.

Zur effizienten Steuerung der Regeneration essenzieller Bodenfunktionen bedarf es eines mittelfristigen Kalkungskonzeptes. Für die Ableitung einer langfristig wirksamen Strategie zur Bodenschutzkalkung stellen die BZE-Daten eine unverzichtbare Grundlage dar. Für den Schwarzwald konnte auf der Basis von über 80 Jahre zurückliegenden Messungen zum Versauerungszustand der Böden ein historischer Basensättigungszustand abgeleitet und im Landschaftsmaßstab verfügbar gemacht werden. Dabei zeigt sich, dass der Kalkungsbedarf im Zeitraum zwischen den beiden BZE-Erhebungen um rund 10% abgenommen hat, was auf die zwischenzeitlich durchgeführten Kalkungen in Baden-Württemberg zurückzuführen ist. Ein auf dem Vergleich mit naturnahen bodenchemischen Verhältnissen aus dem Jahr 1927 basierendes Kalkungskonzept für die am stärksten von depositionsbedingter Bodenversauerung betroffene Region Schwarzwald weist einen Kalkungsbedarf von 0 bis max. 4 praxisüblich mit 3 t/ha Dolomit dosierten Kalkungskampagnen im 10-Jahresabstand aus, mit dem eine Regeration der natürlichen Bodenfunktionen erreicht werden kann. Durchschnittlich werden ca. 2,5 Kalkungskampagnen nötig sein. Das bedeutet, dass ein solches Regenerationskonzept auf einen Zeitraum von durchschnittlich 25 Jahren in die Zukunft geplant werden muss, um die ökosystemaren Folgen der Phase hoher Depositionsbelastung zu kompensieren und die Wälder und ihre vielfältigen Funktionen langfristig zu stabilisieren.

9 LITERATURVERZEICHNIS

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

Augustin, N. Wood, S. Musio, M. Kublin, E. v. Wilpert, K. Schumacher, M. (2009): Modelling spatial and temporal trends of forest environmental healthmonitoring data. The Journal of the American Statistical Society, 104(487): 899-911

Bartels, H. (1993): Gehölzkunde: Einführung in die Dendrologie. 336 S.

DWD (2009): http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_menu2_presse&T98029gsbDocumentPath=Content%2FPresse%2FPressemitteilungen%2F2009%2F20090429__Aprilwetter__news.html

DWD (2008): Witterungsreport Express 02/2007. Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), 32 S.

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

Fabian, P., Menzel, A. (1998): Wie sehen die Wälder von morgen aus – aus der Sicht eines Klimatologen. Forstw. Cbl. 117 (1998), 339-354

FVA (Hrsg.) (2009): Waldschutzbericht 2008/2009 Baden-Württemberg. 76 S.

Gauger, Th., Haenel, H.D., Rösemann, C. Dämmgen, U., Bleeker, A., Erismann, J.W., Vermeulen, A.T., Schaap, M., Timmermanns, R.M.A., Builtjes, P.J.H., Duyzer, J.H. (2008): National Implementation of the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Effects) - Part 1: Deposition Loads: Methods, modelling and mapping results, trends. Umweltbundesamt, Texte, Nr. 38/2008.

ICP (2007), International Co-operative Programm on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests: The Condition of Forests in Europe. 2007 Executive Report. 33 S.

IPCC (2007), Intergovermental Panel on Climate Change: IPCC Fourth Assessment Report – Klimaänderung (Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger), 95 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.

Metzler, B (2008): Auffällige Nadelverfärbung und –schütte bei Fichten im Oktober 2008. FVA Baden-Württemberg (Hrsg.) Waldschutz-Info 3/2008, S. 4

Metzler, B (2009): Eschentriebsterben – Chalara fraxinea in Südwestdeutschland. FVA Baden-Württemberg (Hrsg.) Waldschutz-Info 4/2009, S. 4

NWD-FVA (2009): Vorzeitige Laubverfärbung und Blattfall bei Rotbuchen 2009. 8. Waldschutz-Info 2009

Petercord, R., Immler, T. (2009): Rotbuche zeichnet Rot. LWF Blickpunkt Waldschutz 12/2009

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

Schöpp, W., Posch, M., Mylona, S., Johannsson, M. (2003): Long-term development of acid deposition (1880-2030) in sensitive freshwater regions in Europe. Hydrol. Earth Syst. Sci., 6, 315-325

Schütt, P., Schuck, H., Stimm, B. (Hrsg.) (1992): Lexikon der Forstbotanik. 581 S.

v. Lüpke, B. (2009): Überlegungen zu Baumartenwahl und Verjüngungsverfahren bei fortschreitender Klimaänderung in Deutschland. Forstarchiv 80, 67-75

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

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

Wipfler, P., Seifert, T., Biber, P. (2009): Intra-annual growth response of aldult Norway spruce (Picea abies [L.] KARST.) and Euopean beech (Fagus sylvatica L.) to an experimentally enhanced, free-air ozone regime.

10 GLOSSAR

Abiotische Schäden:
Schäden, die durch unbelebte Faktoren eines Ökosystems hervorgerufen werden (z.B. Sturm).

Anthropogen:
Durch den Menschen beeinflusst.

Biotische Schäden:
Schäden, die durch den Einfluss lebender Organismen bedingt sind.

Biotop:
Der von einer Lebensgemeinschaft besiedelte Raum. Die spezifischen Faktoren in einem Biotop machen es für spezielle Lebewesen zum Lebensraum.

Boniturbereich:
Kronenbereich eines Baumes, der nicht durch Kronenkonkurrenz der Nachbarbäume oder Lichtmangel beeinflusst ist.

„Critical Load“:
Schwellenwert für Schadstoffeinträge, unterhalb dem noch keine nachweisbaren schädlichen Veränderungen der Ökosysteme zu erwarten sind.

Deposition:
Ablagerung von Schadstoffen (z.B. am Boden, im Wasser, an Pflanzen), die durch Staub (trockene D.) oder Niederschlag (nasse D.) eingetragen werden.

Denitrifikation:
Bei Sauerstoffmangel im Boden durch anaerobe Bakterien verursachte gasförmige Stickstoffverluste.

Emission:
Ausstoß z.B. von Schadstoffen in die Luft

Eutrophierung:
Nährstoffüberangebot, das negative Auswirkungen auf das Ökosystem haben kann.

Immission:
Einwirkung von Faktoren (z.B. Luftverunreinigungen, Geräusche, Licht, Wärme, Strahlen etc.) auf die Umwelt.

Kombinationsschadstufen:
Zusammenfassung der Nadel-/Blattverluststufe mit der Vergilbungsstufe.

Kronenverlichtung:
In 5%-Stufen eingeschätzter Nadel-/Blattverlust bzw. Minderaustrieb bei Waldbäumen im Vergleich zu regionalen Referenzbäumen.

Makroelemente:
Chemische Elemente, die am Aufbau der Körpersubstanz von Pflanzen beteiligt sind und dabei den größten Massenanteil ausmachen: Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel, Kalium, Magnesium, Calcium. Pflanzen nehmen diese Elemente aus dem Boden auf, sie können also durch Düngung ergänzt werden.

Ökosystem:
Wirkungsgefüge zwischen Lebewesen und ihrem Lebensraum.

Referenzbaum:
Für das Erhebungsgebiet typische, voll benadelte/-belaubte Baumkrone.

Saugspannung (pf-Wert):
Kapillarkräfte der Wasserbindung im Boden, die von den Bäumen bei der Wasseraufnahme überwunden werden müssen. Die Saugspannung steigt bei zunehmender Trockenheit.

Standardfehler:
Gibt die Genauigkeit des Stichprobenergebnisses an. Durch den Standardfehler wird ein Vertrauensbereich um den errechneten Stichprobenmittelwert bestimmt, innerhalb dessen mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% der „wahre Wert“ zu erwarten ist.

Statistische Signifikanz:
Test der paarweisen Differenzen gegen Null. Irrtumswahrscheinlichkeit 5%.

Treibhauseffekt:
Die von der Erdoberfläche abgegebene Wärmestrahlung kann nicht vollständig ins Weltall abgestrahlt werden, da ein Anteil in der Atmosphäre durch Wasserdampf und Kohlendioxid absorbiert wird. Der durch Verbrennung fossiler Brennstoffe ansteigende Kohlendioxidgehalt wird daher mit als Grund für den globalen Temperaturanstieg angesehen.

Trockenstress:
Baumreaktion auf eingeschränkte Wasserverfügbarkeit, die in Abhängigkeit von Intensität und Dauer der Stressphase eine reversible „elastische“ oder irreversible „plastische“ Anpassung darstellt.