



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Waldzustandsbericht 2013



Waldzustandsbericht 2013
für Baden-Württemberg

ForstBW 
Wir schaffen Zukunft

Herausgeber:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)

Autoren:

Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung)

Klaus v. Wilpert, Jürgen Schäffer, Peter Hartmann, Jörg Schumacher, Horst Delb, Reinhold John (alle FVA Baden-Württemberg)

Ralph Hug (freier Mitarbeiter)

Andrea Hölscher (Agentur für Nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften)

Nicole Augustin (University of Bath, England)

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

INHALTSVERZEICHNIS

1	VORWORT	3
2	DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING	5
	AUFBAU DES UMWELTMONITORINGS	6
	RASTERSTICHPROBEN	6
	VERSUCHSFLÄCHEN	10
	INTERNATIONALE EINBINDUNG	10
3	ERGEBNISSE DER KRONENZUSTANDSERHEBUNG	11
	DER WALD IN BADEN-WÜRTTEMBERG	11
	DIE BAUMARTEN	14
	SCHADSTUFEN	23
	FRUCHTAUSBILDUNG	23
	WUCHSGEBIETE BADEN-WÜRTTEMBERGS	25
	DAS RAUM-ZEIT-MODELL	28
4	DIE INTENSIVMESSFLÄCHEN	33
	BODENEIGENSCHAFTEN IN HEIDELBERG	36
	BODENEIGENSCHAFTEN IN ESSLINGEN	36
	BODENEIGENSCHAFTEN IN OCHSENHAUSEN	38
	DEPOSITION	38
	WALDERNÄHRUNG	44
5	WITTERUNG	49
6	WALDSCHUTZSITUATION	50
	ABIOTISCHE SCHADURSACHEN	50
	SCHADERREGER AN NÄDELBAUMARTEN	51
	SCHADERREGER AN LAUBBAUMART	52
7	STOFFEINTRÄGE	54
	BODENVERSAUERUNG	54
	OZONBELASTUNG DER WÄLDER	56
9	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION	57
10	LITERATURVERZEICHNIS	63

1 VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

der jährliche Waldzustandsbericht ist ein umfassender Umwelt- und Ökosystembericht, der den Zustand unserer Wälder – den auf großer Fläche naturnächsten Lebensräumen – umfassend beschreibt. Als wesentlicher Teil des forstlichen Umweltmonitorings zeigt der Waldzustandsbericht, wie Umweltfaktoren die Entwicklung unserer Wälder beeinflussen. Es handelt sich dabei um eine breite Synopse, die die zeitlichen Trends in den Bereichen der Säure- und Stickstoffbelastung, der Bodenentwicklung, der Nährstoffversorgung der Bäume sowie des Nadel- und Blattverlusts als Indikatoren für die Waldgesundheit darstellt.



Ergänzend zur jährlichen Erhebung des Kronenzustandes wurden durch das Land Intensivmessflächen eingerichtet, die umfangreiche Ergebnisse über einen langen Zeitraum liefern. Dort werden Daten zu Baumzustand und -wachstum, Nährstoffkreislauf, Stoffeintrag, Bodenzustand, Bodenvegetation sowie Meteorologie, also die Dynamik der Umweltveränderungen, erhoben. Dadurch erhalten wir wertvolle Informationen zu den komplexen Wirkungszusammenhängen im Ökosystem Wald. Das ist eine unverzichtbare Grundlage für eine sinnvolle und vorausschauende Umweltpolitik.

Erfreulicherweise zeigt der Waldzustandsbericht 2013, dass sich der Zustand der Wälder in Baden-Württemberg gegenüber dem Vorjahr leicht verbessert hat. Damit setzt sich der Trend zur Verbesserung des Waldzustandes nach dem extremen Trockenjahr 2003 weiter fort. Diese Verbesserungstendenz lässt sich auf die für den Wald günstige Frühjahrswitterung sowie auf ein allgemein geringes Vorkommen an Schadinsekten zurückführen.

Trotz dieser erfreulichen Tendenz ist der Waldzustand auf insgesamt unbefriedigendem Niveau. Zwar ist nunmehr ein Drittel der Waldfläche ungeschädigt, zwei Drittel sind jedoch immer noch leicht oder mittelstark geschädigt. Der Zustand der Wälder ist damit deutlich schlechter als noch Mitte der 1980er Jahre, als das Thema Waldsterben in der gesellschaftlichen Debatte breit verankert war. Im Hinblick auf zunehmende Extremwetterlagen ist es daher umso wichtiger, ein Bewusstsein für die anhaltend hohen Waldschädigungen zu schaffen.

Die Stabilisierung und Verbesserung des Waldzustandes ist weiterhin eine zentrale Aufgabe für Politik und Gesellschaft. Damit unsere Wälder auch in Zukunft wertvolle Lebensräume für viele Tier- und Pflanzenarten und ein Erholungsraum für den Menschen sind, ist es unabdingbar, die Luftreinhaltepolitik und ökologische Stabilisierungsstrategien konsequent weiterzuentwickeln und das Ökosystem Wald naturnah zu bewirtschaften.

Stuttgart, im November 2013



Alexander Bonde

Minister für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz

2 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Das Forstliche Umweltmonitoring untersucht den Zustand der Wälder und zeigt Reaktionen der Bäume auf sich verändernde Umweltbedingungen auf. Durch die gewonnenen Informationen des Umweltmonitorings können gezielte Maßnahmen eingeleitet werden, die die Wälder mit ihren zahlreichen Funktionen langfristig sichern. Wälder werden durch eine Vielzahl von Umwelteinflüssen beeinflusst. Dabei stellen anthropogene Schadstoffeinträge, klimatische Veränderungen und biotische Schaderreger die wesentlichsten

Belastungen für die Wälder dar (Abb. 1). Ziel des Forstlichen Umweltmonitorings ist es, Veränderungen des Waldökosystems frühzeitig zu erkennen und deren Ursache zu ergründen. Hierzu ist es notwendig, den Zustand der Wälder, die auftretenden Umwelteinflüsse sowie die Reaktion des Waldökosystems mit ausreichender Intensität und Kontinuität zu erfassen. Nur so können langfristige Entwicklungstrends aufgezeigt und gezielte Gegenmaßnahmen entwickelt werden.

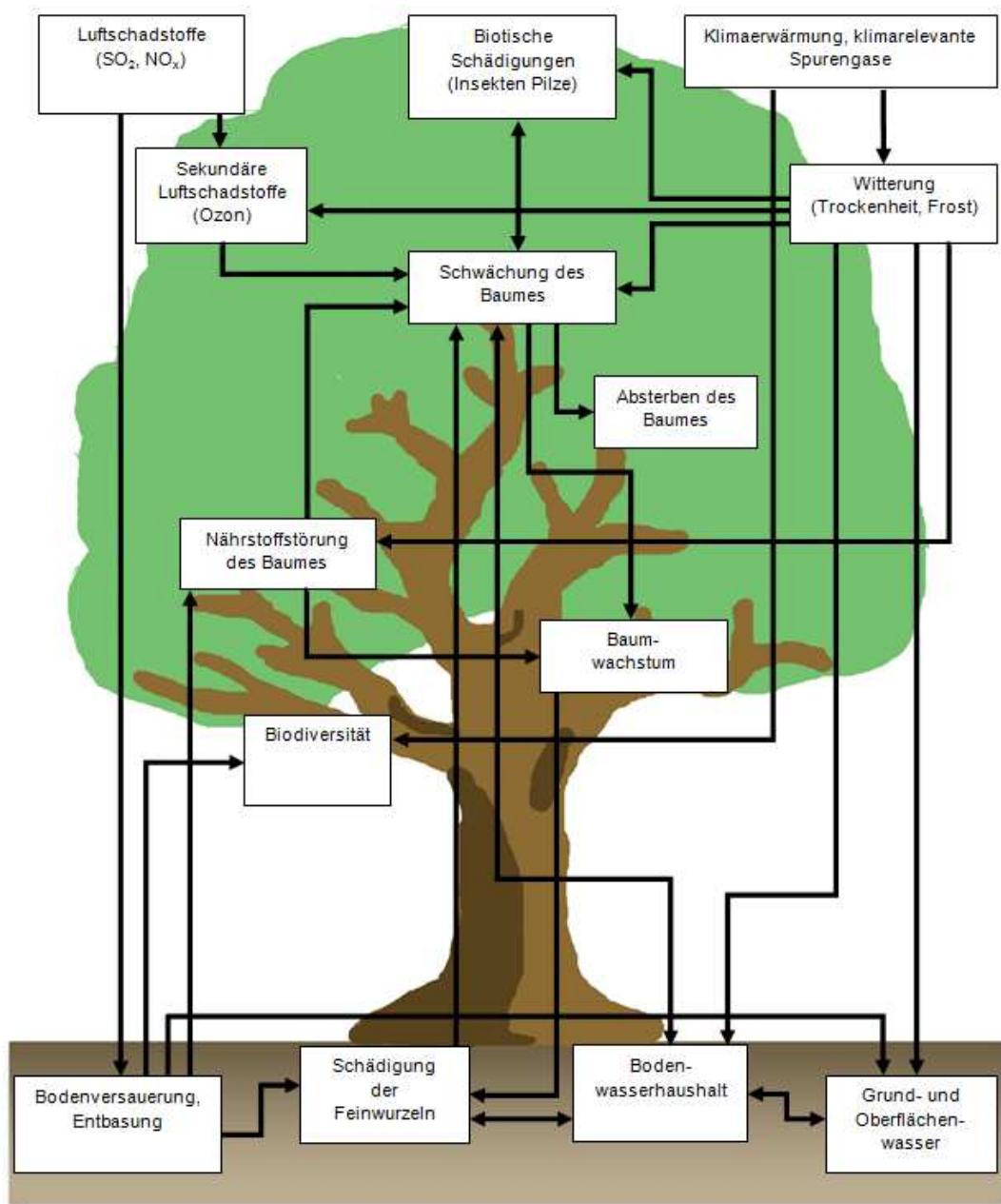


Abb. 1: Einflussfaktoren auf den Waldzustand und deren Wirkungswege

Aufbau des Umweltmonitorings

Das forstliche Umweltmonitoring in Baden-Württemberg umfasst eine Vielzahl von verschiedenen Aufnahmeparametern, deren Ergebnisse eine umfassende Analyse des derzeitigen Waldzustandes erlauben (Abb. 2). Dabei werden sowohl baumbezogene als auch standörtliche Parameter untersucht. Neben dem Kronenzustand, dem Wachstum, der Phänologie und der Ernährungssituation der Waldbäume werden der Bodenzustand und die Bodenvegetation untersucht, Temperatur- und Niederschlagsmessungen durchgeführt und Schadstoffeinträge sowie Wasser- und Nährstoffhaushalt der Böden analysiert. Somit wird die Voraussetzung für eine ursachenbezogene Auswertung der Umweltdaten geschaffen. Systematisch gliedert sich das Forstliche Umweltmonitoring in zwei Aufnahmebereiche: die systematisch angelegten Rasterstichproben und die gezielt ausgewählten Versuchsflächen (Abb. 3).

Rasterstichproben

Rasterstichproben sind Schnittpunkte eines systematisch über das ganze Land angelegten Stichprobennetzes. Dabei dient jeder Schnittpunkt, der in ein Waldgebiet fällt, als Stichprobenpunkt der jeweiligen Aufnahme, unabhängig von Baumalter, Bestandesstruktur oder sonstigen Kriterien. Die Ergebnisse der systematischen Rasteraufnahme liefern für Baden-Württemberg bzw. einzelne Regionen flächenrepräsentative Ergebnisse. Die Abstände zwischen den einzelnen Stichprobenpunkten können dabei je nach Stichprobenumfang variieren. In der bisherigen Aufnahmeperiode wurden in Baden-Württemberg die Aufnahme raster des 16x16, 8x8 und 4x4 km-Netzes verwendet. Neben der Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI) wird an den gleichen Aufnahmepunkten auch die Bodenzustandserhebung (BZE) inklusive Ernährungsinventur durchgeführt. Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen wachstumskundliche

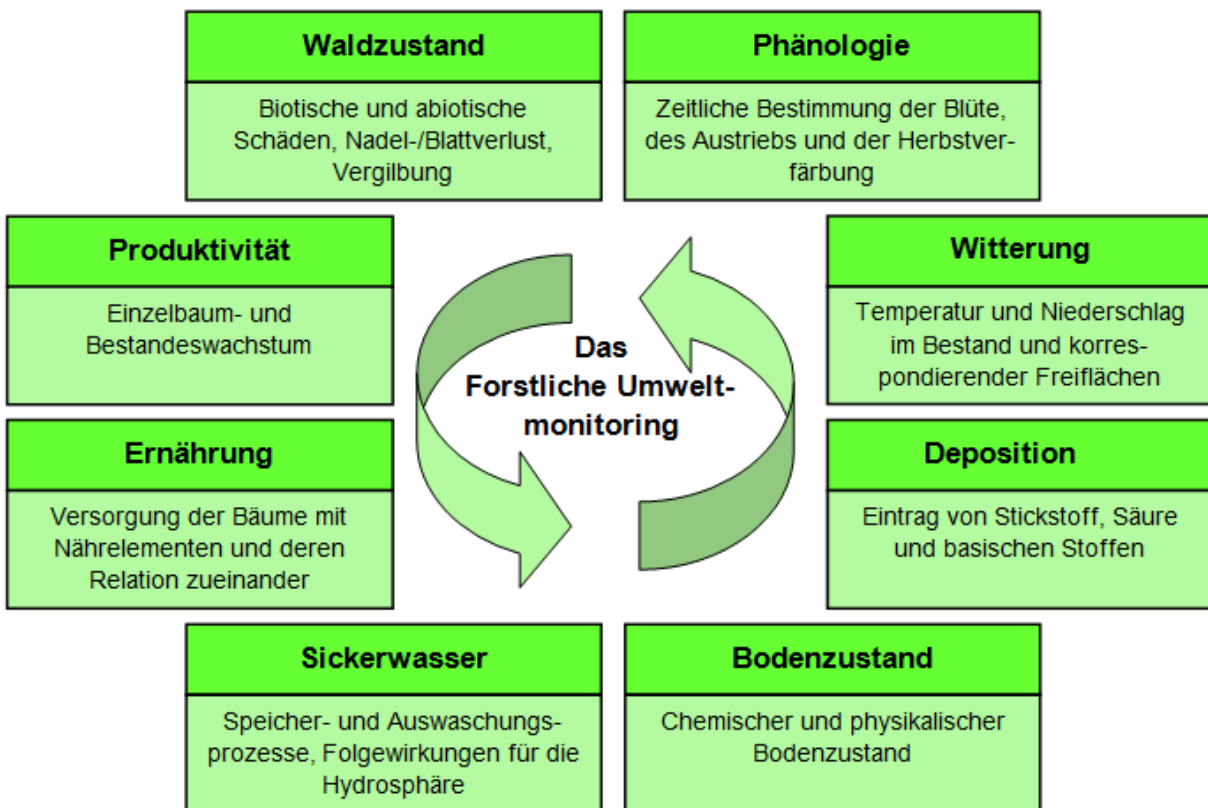


Abb. 2: Themen und Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings

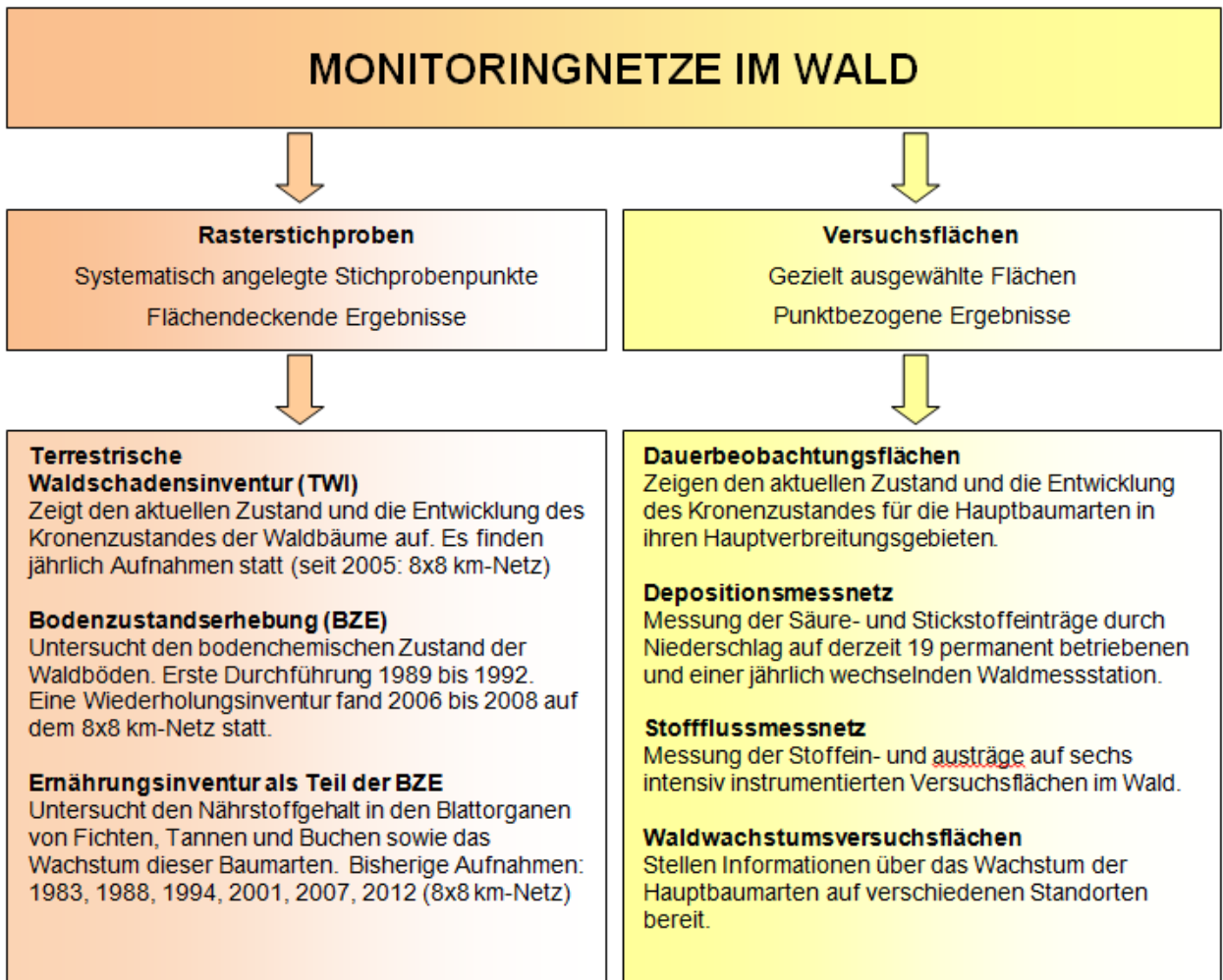


Abb. 3: Organisatorische Gliederung der Monitoringnetze im Wald

Untersuchungen nach der Methodik der Bundeswaldinventur (BWI) an den Rasterstichproben des 8x8 km-Netzes vorgenommen. Durch die Zusammenführung der verschiedenen Untersuchungen des Forstlichen Umweltmonitorings auf identische Rasterpunkte wird eine Verknüpfung der verschiedenen Aufnahmeparameter für integrierende Auswertungen ermöglicht und die Voraussetzung für eine flächenhafte Modellierung der Ergebnisse auf Landesebene geschaffen.

Terrestrische Waldschadensinventur

Die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) untersucht den Kronenzustand der Waldbäume in Baden-Württemberg. Dabei werden an jedem Aufnahmeort des Rasterstichprobennetzes systematisch 24 Bäume für die jährliche Aufnahme des Kronenzustandes ausgewählt (Abb. 4, links). Seit dem Jahr 2005 wird die Waldschadensinventur jährlich auf dem 8x8 km-Netz durchgeführt, da statistische

Untersuchungen eindeutige Vorteile in der jährlichen Erhebung auf diesem Rasterstichprobenetz aufgezeigt haben (AUGUSTIN et al. 2006).

Die Veränderung des Kronenzustandes dient als einfacher, nachvollziehbarer Weiser zur Beurteilung des Vitalitätszustandes der Waldbäume. Hauptaufnahmeparameter sind der Nadel-/Blattverlust und die Vergilbung der Nadeln bzw. Blätter. Die Einschätzung erfolgt an Bäumen der herrschenden Schicht (Kraft'sche Klasse 1 bis 3) in 5 Prozentstufen (Abb. 11). Eine vollbelaubte Baumkrone erhält demnach einen Nadel-/Blattverlust von 0 Prozent, ein toter Baum von 100 Prozent. Entsprechend wird bei der Vergilbung verfahren (ICP Forests 2010). Tote Bäume bleiben solange Bestandteil des Aufnahmekollektivs bis sie kein Feinreisig mehr aufweisen. Die Werte von Nadel-/Blattverlust und Vergilbung werden zu den sogenannten Kombinations-Schadstufen zusammengeführt (Tab. 1). Zudem sind alle weiteren

Baummerkmale, die den Kronenzustand möglicherweise beeinflussen, in das Aufnahmeverfahren integriert: Schäden durch Insekten, abiotische Faktoren (Frost, Trockenheit), mangelnde Nährstoffversorgung oder Mistelbefall etc. Eine ausführliche Methodenbeschreibung zur Terrestrischen Waldzustandsinventur befindet sich unter www.fva-bw.de.

Netzüberprüfung

Im Vorfeld der diesjährigen Waldschadensinventur wurde turnusgemäß das Aufnahmenetz des europäischen 16x16 km-Netzes auf Vollständigkeit überprüft. Nach Begutachtung aller potentiell möglichen Stichprobenpunkte im Wald konnten zwei Rasterpunkte, die bisher noch nicht Bestandteil der Waldschadensinventur waren, neu angelegt und in die Aufnahme integriert werden. Die Anzahl der möglichen Rasterstichprobenpunkte in Baden-Württemberg erhöht sich demnach von bisher 304 auf nunmehr 306 Stichprobenpunkte.

Zusätzlich wurde das Stichprobennetz weiter harmonisiert, so dass eine Aufnahme der verschiedenen Messgrößen des Forstlichen Umweltmonitorings exakt am gleichen Standort sichergestellt werden kann.

Tab. 1: Schadstufenberechnung

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

Kombinations-Schadstufen				
Nadel-/Blattverluststufe	Vergilbungsstufe			
	0	1	2	3
0	0	0	1	2
1	1	1	2	2
2	2	2	3	3
3	3	3	3	3
4	4			

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

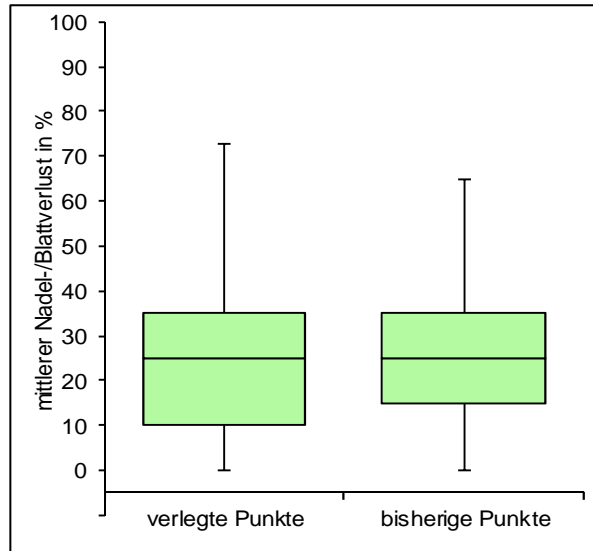


Abb.: 4: Mittlerer Nadel-/Blattverlust im Vergleich der verlegten Stichprobenpunkte der Waldschadensinventur

Hierzu wurden 12 Stichprobenpunkte der Waldzustandsinventur an die bestehende Bodengrube der Bodenzustandserhebung gelegt. Die Verlegungsdistancen betragen zum überwiegenden Teil nur wenige hundert Meter. Die Anteile der Baumarten Fichte und Douglasie erhöhen sich durch die Verlegung der Aufnahmepunkte leicht, während sich der Anteil der Baumarten Tanne und Buche im Stichprobenkollektiv entsprechend verringert. Auf den mittleren Nadel-/Blattverlust hat die Verlegung kaum einen Einfluss. Die Veränderung des Verlustprozents aufgrund der Punktverlegung liegt innerhalb des Fehlerrahmens und ist statistisch nicht signifikant (Abb. 4).

Durchführung der TWI 2013

Die Außenaufnahmen der Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI) erfolgten durch forstliche Sachverständige in der Zeit vom 18. Juli bis 16. August 2013. Von den insgesamt 306 Stichprobenpunkten des Rasternetzes Baden-Württembergs konnten 294 Punkte regulär aufgenommen werden (Tab. 2). An 12 Stichprobepunkten ruht die Waldschadensaufnahme, da aufgrund von Sturmereignissen bzw. durchgeführten Holzerntemaßnahmen vorübergehend nicht genügend Bäume in ausreichender Höhe zur Verfügung stehen. Die ruhenden Aufnahmepunkte werden sukzessive in den nächsten Jahren wieder in die Waldschadensinventur aufgenommen.

Tab. 2: Anzahl untersuchter Probebäume der Waldschadensinventur 2013

Anzahl untersuchter Probebäume TWI 2013		Fichte	Tanne	Kiefer	sonstige Nadelbäume	Eiche	Buche	sonstige Laubbäume	Summe	Stichprobenpunkte
Wuchsgebiete	Oberrhinesisches Tiefland	0	0	18	22	57	36	294	427	18
	Odenwald	54	10	12	47	32	98	35	288	12
	Schwarzwald	1.007	682	85	67	33	377	131	2.382	100
	Neckarland	260	177	147	58	373	712	344	2.071	87
	Baar-Wutach	52	7	2	0	0	7	3	71	3
	Schwäbische Alb	436	7	20	18	5	203	78	767	32
	Südwestdeutsches Alpenvorland	526	7	4	37	24	196	178	972	42
Gesamt Baden-Württemberg	bis 60 Jahre	677	112	55	126	150	502	720	2.342	/
	über 60 Jahre	1.658	778	233	123	374	1.127	343	4.636	/
	Summe	2.335	890	288	249	524	1.629	1.063	6.978	294

Die Waldschadensinventur 2013 umfasst einen Stichprobenumfang von insgesamt 6.978 Bäumen. Dabei nimmt die Baumart Fichte mit 2.335 Bäumen mit Abstand den größten Anteil ein, gefolgt von der Buche mit 1.629 Bäumen. Während die Fichte vor allem in den Wuchsgebieten Schwarzwald, Südwestdeutsches Alpenvorland, Schwäbische Alb und Baar-Wutach dominiert, ist der Anteil der Buchen im Neckarland und Odenwald am höchsten. Im Oberrheinischen Tiefland sind vor allem die sonstigen Laubhölzer, wie Esche, Ahorn und Erle prägend für die Waldgebiete. Insgesamt sind die großen und walddreichen Wuchsgebiete Schwarzwald und Neckarland mit jeweils über 2000 Bäumen am stärksten in der Stichprobe vertreten. Landesweit entfallen von allen aufgenommenen Stichprobenbäumen ein Drittel auf die Altersgruppe bis 60 Jahre und zwei Drittel auf die Altersgruppe über 60 Jahre.

Bodenzustandserhebung

Die Bodenzustandserhebung (BZE) untersucht den chemischen und physikalischen Zustand der Waldböden. Dabei wird an jedem Aufnahmepunkt des Rasterstichprobennetzes, der i.d.R. gleichzeitig Mittelpunkt der Waldschadensinventur ist, eine

Bodengrube gegraben und Bodenproben verschiedener Tiefenstufen für laboranalytische Untersuchungen gewonnen. Die erste Bodenzustandserhebung wurde in dem Zeitraum 1989 bis 1992 durchgeführt. In den Jahren 2006 bis 2008 fand die erste Wiederholungsinventur auf Stichprobenpunkten des 8x8 km-Netzes statt.

Die Ernährungsinventur ist integrativer Bestandteil der Bodenzustandserhebung, da sich Veränderungen im Nährstoffvorrat und der Nährstoffverfügbarkeit der Waldböden unmittelbar auf die Ernährungssituation der Bäume auswirken. Die Ernährungsinventur untersucht den Nährstoffgehalt von Nadeln und Blättern. Dazu werden Nadel- bzw. Blattproben in unmittelbarer Nähe der Aufnahmepunkte des Rasterstichprobennetzes gewonnen und diese im Labor auf ihre Inhaltsstoffe analysiert. Untersuchungen zum Ernährungszustand der Bäume finden in Baden-Württemberg i.d.R. alle fünf Jahre statt. Die letztmalige landesweite Ernährungsinventur wurde in den Jahren 2011/2012 auf dem 8x8 km-Netz durchgeführt, bei der neben den Hauptbaumarten Fichte, Tanne und Buche auch andere vor Ort häufig vorkommenden Laub- und Nadelbaumarten erfasst wurden (MEINING et al. 2012).

Versuchsflächen

Im Gegensatz zu den systematisch angelegten Rasterstichproben sind die forstlichen Versuchsflächen gezielt nach bestimmten Kriterien ausgewählt. Je nach Untersuchungsschwerpunkt war die Lage, der Standort oder die Baumartenzusammensetzung ausschlaggebendes Kriterium für die Auswahl der Flächen. Zu den Versuchsflächen zählen die Dauerbeobachtungsflächen, die Versuchsflächen des Depositions- und Stoffflussmessnetzes, die Klimamessstationen sowie die waldwachstumskundlichen Flächen. Die Messintensität ist auf den Versuchsflächen, im Gegensatz zu den Rasterstichproben, deutlich höher und durch eine sehr hohe zeitliche und räumliche Auflösung gekennzeichnet. Je nach Untersuchungsintensität wird eine Vielzahl von Umweltparametern aufgenommen, die zahlreiche kausalanalytische Auswertungs- und Interpretationsansätze ermöglichen. Im Rahmen der Klimafolgenforschung wurden in den Jahren 2008 und 2009 an fünf bereits bestehenden Fichten-Intensivmessflächen zusätzlich je eine Buchenversuchsfläche angelegt, die hinsichtlich Bodeneigenschaften, Geländemorphologie und Bestandesalter den Fichtenbeständen möglichst vergleichbar ist. Die Buchenflächen wurden mit den gleichen Messinstrumenten ausgestattet, so dass Aussagen über die Reaktionen der Baumarten Fichte und Buche

gegenüber vergleichbaren Umwelteinflüssen getroffen werden können (vgl. Kap. 4). Zusätzlich wurde an den fünf Versuchsflächen eine korrespondierende Freifläche mit Messinstrumenten angelegt (Abb. 5, rechts).

Internationale Einbindung

Das Forstliche Umweltmonitoring Baden-Württembergs ist sowohl in nationale wie auch in internationale Programme eingebunden. Von den Rasterstichproben liegen insgesamt 52 Aufnahmepunkte Baden-Württembergs auf dem europäischen 16x16 km-Netz. Diese sind Bestandteil des Europäischen Forstlichen Umweltmonitoring-Programms „Level I“ und werden zur Beurteilung des nationalen und des europäischen Waldzustandes herangezogen. Das „Level I Netz“ umfasst die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) und die Bodenzustandserhebung (BZE).

Von den Versuchsflächen Baden-Württembergs sind insgesamt fünf Intensivmessflächen mit jeweils einem Fichten- und einem Buchenplot in das Europäische Umweltmonitoring-Programm „FutMon, IM1“ eingebunden. Somit stehen die Ergebnisse der landesweiten Erhebung Baden-Württembergs auch für übergreifende Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

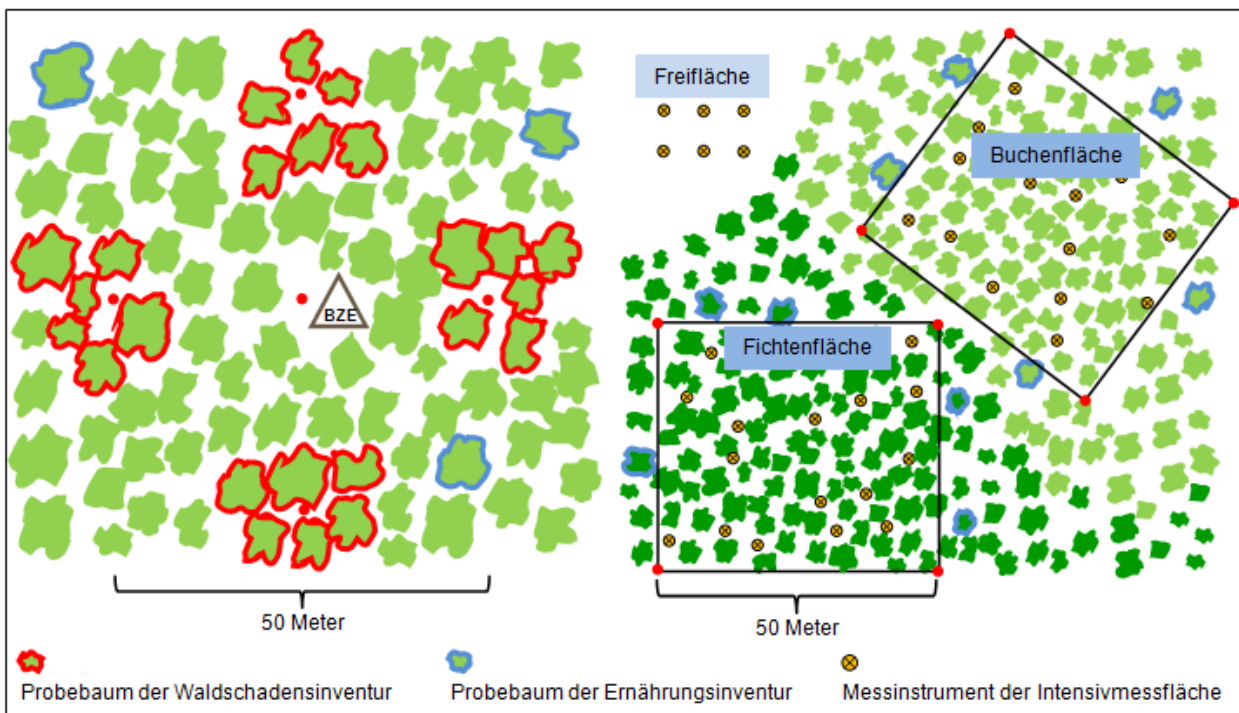


Abb.: 5: Schematische Darstellung der Rasterstichproben (links) und Intensivmessflächen (rechts)

3 ERGEBNISSE DER KRONENZUSTANDSERHEBUNG

Der Wald in Baden-Württemberg

Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich gegenüber dem Vorjahr leicht verbessert. Der mittlere Nadel-/Blattverlust der Bäume verringert sich um 1,5 Prozentpunkte auf 22,1 Prozent (Abb. 6). Damit setzt sich die tendenzielle Verbesserung des Waldzustandes in Baden-Württemberg der letzten Jahre weiter fort. Seit dem deutlichen Anstieg der Kronenschäden in den Jahren 2004 bis 2006, in Folge der extremen Trockenheit 2003, hat sich der mittlere Nadel-/Blattverlust der Waldbäume in Baden-Württemberg um 4,6 Prozent verringert.

Günstig für die Entwicklung der Baumkronen und das Wachstum der Bäume im Jahr 2013 wirkte sich die kühle und sehr feuchte Frühjahrswitterung aus. Durch die ausreichende Wasserverfügbarkeit in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode konnten sich die Baumkronen gut entwickeln und ausreichend Nährstoffe mit dem Bodenwasser aufnehmen. Die im Juli einsetzende Hitze- und Trockenperiode führte nur zu geringem Trockenstress der Bäume, da der Bodenwasserspeicher zu Beginn des Sommers ausreichend gefüllt war. Zudem wurden – wie bereits in den letzten Jahren – nur geringe Belastungen durch

Schadinsekten an den Bäumen in Baden-Württemberg festgestellt.

Durch einen Kälteeinbruch Anfang Mai 2013 kam es in einigen Waldbeständen Baden-Württembergs zu Spätfrostschäden, welche regional begrenzt zu einer sichtbaren Schädigung der frisch ausgetriebenen Blätter und Triebe führte. Zudem sorgten lokale Sommerunwetter mit Sturmböen und Hagel in einzelnen Regionen Baden-Württembergs für erhebliche Schäden. Baumphysiologisch belastend war zudem die verstärkte Fruchtbildung der Bäume im Jahr 2013, die sich vor allem bei der Baumart Buche in einer höheren Kronenverlichtung bemerkbar macht.

Altersgruppen

Die Waldschadensinventur 2013 zeigt sowohl für die Altersgruppe der Bäume „bis 60 Jahre“ als auch für die der Bäume „ab 61 Jahre“ eine Verbesserung im Kronenzustand, wenn auch mit unterschiedlichem Ausmaß. Während der mittlere Nadel-/Blattverlust der älteren Bäume mit 0,5 Prozentpunkten vergleichsweise gering abnimmt, verringert sich das Verlustprozent der jüngeren Bäume mit 2,6 Prozentpunkten deutlich stärker (Abb. 8). Die günstigen Witterungsverhältnisse in

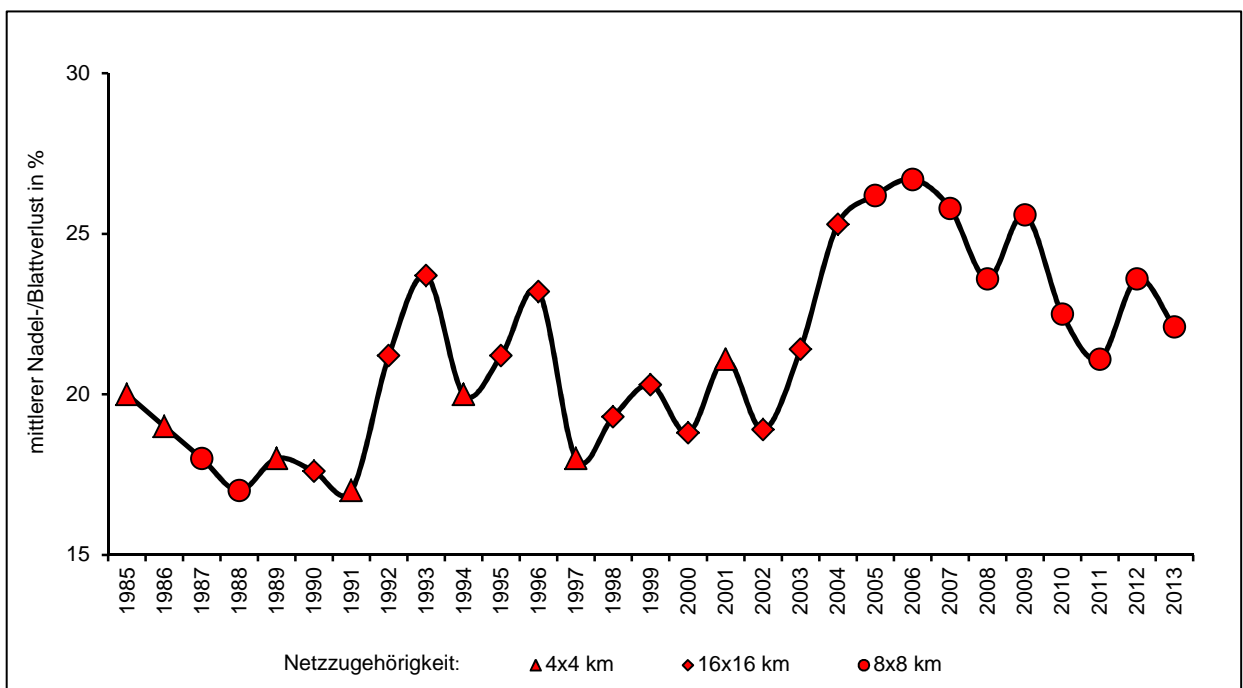


Abb.: 6: Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlusts aller Baumarten in Baden-Württemberg

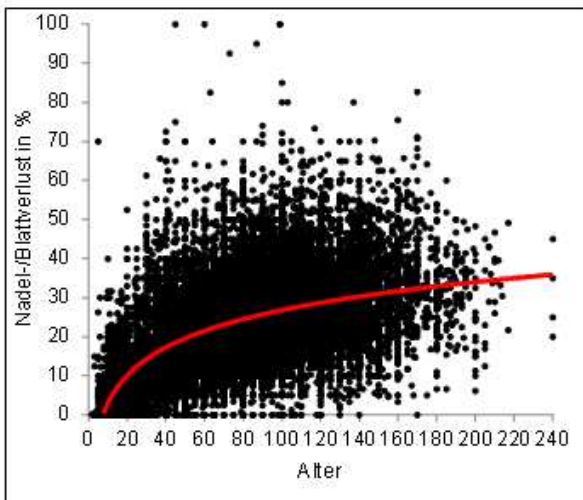


Abb.: 7: Einfluss des Baumalters auf den Nadel-/Blattverlust

Kombination mit einem geringen Vorkommen an Schadinsekten sowie geringen Trockenstresssymptomen in Jungbeständen führten im Jahr 2013 zu einer verstärkten Revitalisierung jüngerer Bestände.

Die Vitalität der Bäume steht im engen Zusammenhang zum Baumalter. Ältere Bäume weisen häufig einen deutlich schlechteren Kronenzustand auf als jüngere Bäume. Die Kronenverlichtung steigt mit zunehmendem Baumalter stark an und flacht ab einem Baumalter von etwa 60 Jahren ab (Abb. 7). Baumphysiologisch ist eine höhere Kronenverlichtung ab diesem für Bäume relativ geringem Alter nicht vollständig zu erklären. Vielmehr wird angenommen, dass die Bäume

mit zunehmendem Alter durch eine Akkumulation langfristig einwirkender Schädigungen anfälliger gegenüber Schädigungen werden und dadurch einen höheren Nadel-/Blattverlust aufweisen.

Häufigkeitsverteilung

Die Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluststufen aller Baumarten und Altersgruppen zeigt im Jahr 2013 eine deutliche Verschiebung in Richtung geringerer Nadel-/Blattverluste (Abb. 9). Während sich der Anteil der ungeschädigten bzw. nur sehr schwach geschädigten Waldfläche (0 – 5 Prozent) aufgrund der insgesamt günstigen Wuchsbedingungen der Bäume im Jahr 2013 deutlich erhöht, geht der Anteil der Waldfläche mit mittleren Verluststufen (10 – 35 Prozent) gegenüber dem Vorjahr zurück. Die vergleichsweise weniger häufig vorkommenden höheren Nadel-/Blattverluststufen (40 – 100 Prozent) steigen im Vergleich zum Vorjahr leicht bzw. bleiben in ihrem Wert auf unverändertem Niveau.

Vergilbung

Eine Vergilbung von Nadeln und Blättern zeigt eine akute Belastung der Bäume an, die oftmals durch eine Störung des Nährstoffhaushaltes hervorgerufen wird. Daher wird dieser Parameter neben dem Nadel-/Blattverlust seit Beginn der Waldschadensinventur zur Beurteilung des Vitalitätszustandes der Waldbäume herangezogen.

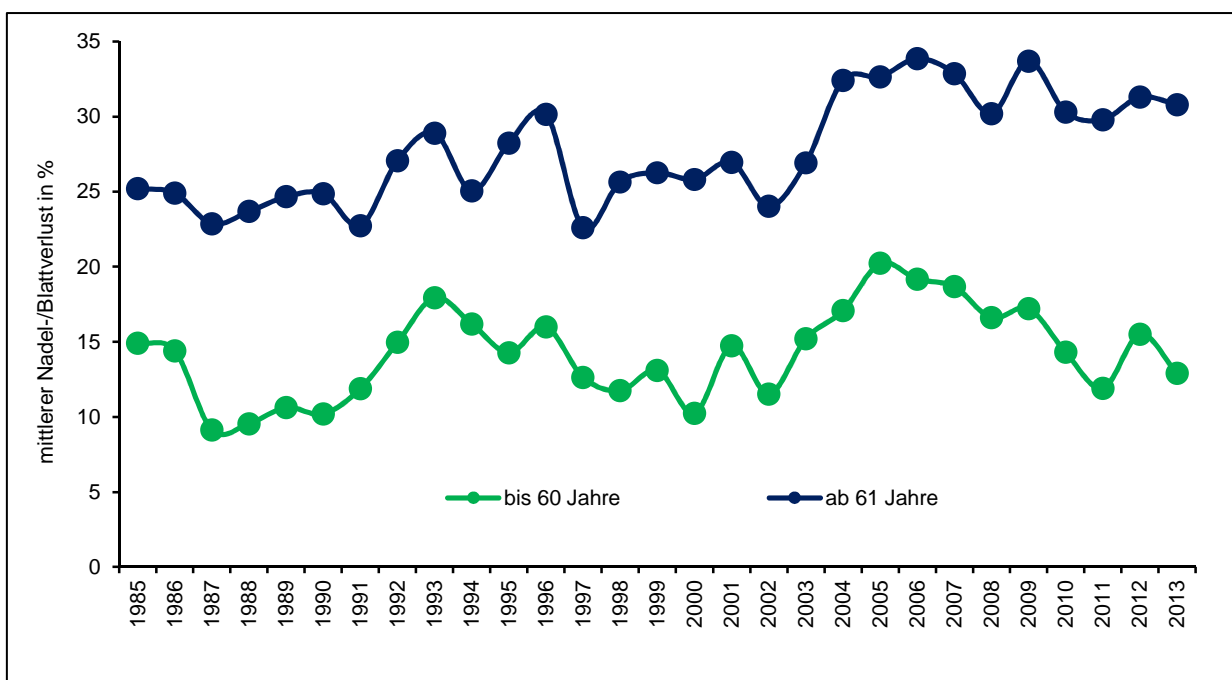


Abb.: 8: Mittlerer Nadel-/Blattverlust nach Altersgruppen

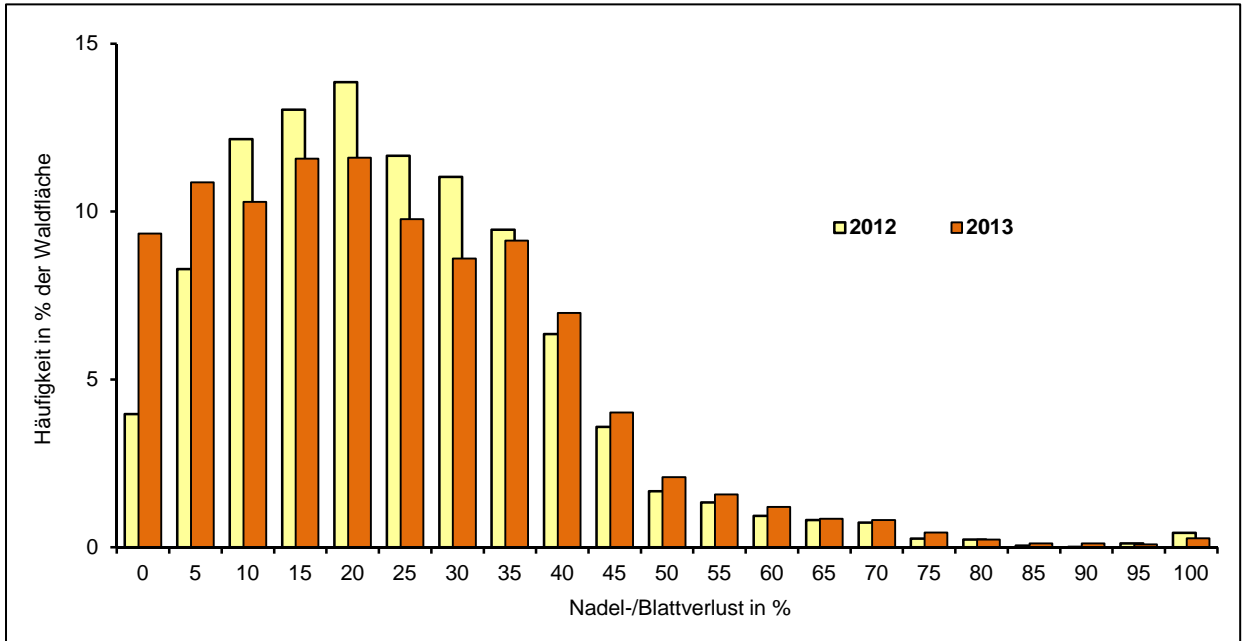


Abb.: 9: Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste aller Bäume im Vergleich der Jahre 2012 zu 2013

In Baden-Württemberg ist der Anteil der Waldfläche mit vergilbten Nadeln bzw. Blättern in den letzten Jahren stark zurückgegangen. Derzeit treten lediglich auf 0,9 Prozent der Waldfläche Baden-Württembergs Bäume mit Vergilbungssymptomen auf (Abb. 10). Der deutliche Rückgang von Nährstoffmangelsymptomen an Waldbäumen in den letzten Jahrzehnten ist ein Beleg dafür, dass die Maßnahmen zur Stabilisierung der Waldbestände, wie Waldkalkung und Förderung von Mischbeständen, neben den reduzierten Schadstoffeinträgen aus der Luft zu einer deutlichen Verbesserung des Waldzustandes führen.

Ausgefallene Bäume

An den 294 Stichprobenpunkten der Waldschadensinventur Baden-Württembergs sind insgesamt 226 Bäume ausgefallen, die somit nicht mehr für die Kronenzustandsansprache zur Verfügung standen. Dies entspricht einem Anteil von 3,2 Prozent aller Bäume der Stichprobe. Davon wurde der überwiegende Anteil, nämlich 74 Prozent der Bäume, durch eine ordnungsgemäße forstliche Nutzung der Waldbestände entnommen (Abb. 12). Sieben Prozent der ausgefallenen Bäume sind durch abiotische Ursachen, wie z.B. Sturm oder Schneebruch, ausgefallen. Bei drei Prozent

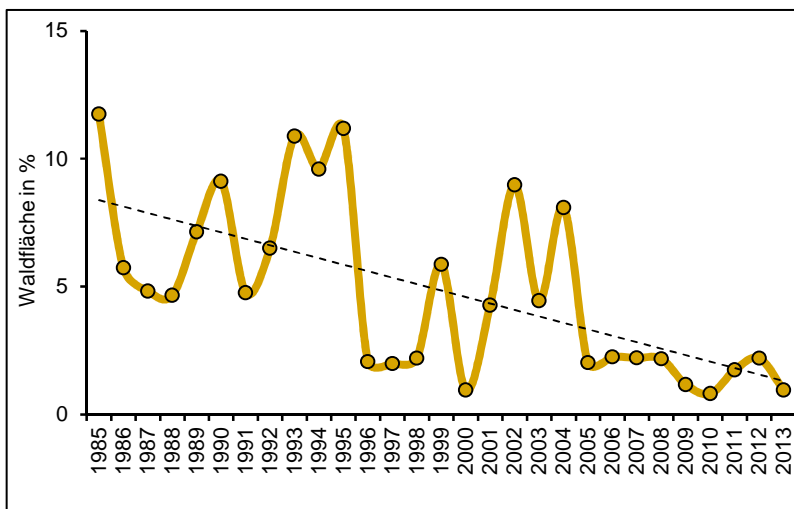


Abb.: 10: Anteil der vergilbten Waldfläche in Baden-Württemberg (gestrichelte Linie: linearer Trend)

der Bäume wurde ein biotischer Ausfallgrund (z.B. Käfer) festgestellt. Bei jeweils acht Prozent der ausgefallenen Bäume wurde eine geänderte Kronenkonkurrenz innerhalb des Bestandes als Ausfallgrund angegeben bzw. konnte keine spezifische Absterbeursache ermittelt werden. Die ausgefallenen Bäume an den Stichprobenpunkten werden bei der Waldschadensinventur durch Nachbarbäume ersetzt.



Abb.: 11: Oben: gesunde Buche mit 0 Prozent Blattverlust, Mitte: mittelstark geschädigte Buche mit 40 Prozent Blattverlust, Unten: stark geschädigte Buche mit 75 Prozent Blattverlust (aus: AG KRONE 2007)

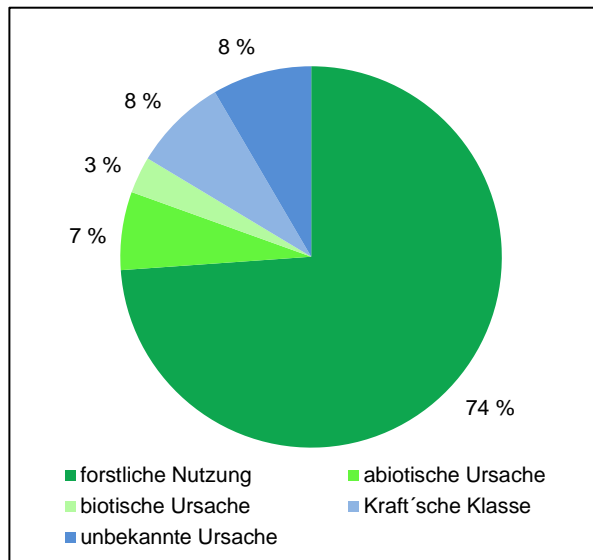


Abb.: 12: Prozentualer Anteil der Stichprobenbäume nach Ausfallgrund

Mortalität

Die Mortalitätsrate liegt im Jahr 2013 bei 0,06 Prozent und damit etwas unterhalb dem langjährigen Mittelwert der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg. Die Mortalitätsrate errechnet sich aus den im aktuellen Jahr abgestorbenen Bäumen, die zum Zeitpunkt der Waldschadensaufnahme noch stehend im Bestand vorhanden sind.

Die Baumarten

Die Durchführung der Waldschadensinventur auf dem 4x4 bzw. 8x8 km-Aufnahmenetz ermöglicht statistisch abgesicherte Aussagen zum Kronenzustand der Hauptbaumarten in Baden-Württemberg. So kann für die entsprechenden Aufnahmejahre die Entwicklung des Kronenzustandes der Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche dargestellt werden. Für die Jahre, in denen die Waldschadensinventur auf dem weitmaschigeren 16x16 km-Netz mit deutlich weniger Aufnahmepunkten durchgeführt wurde, können für die einzelnen Baumarten keine mittleren Nadel-/Blattverlustwerte mit ausreichender Genauigkeit dargestellt werden.

Die Fichte

Der Kronenzustand der Fichte in Baden-Württemberg hat sich im aktuellen Jahr deutlich erholt (Abb. 13). Nachdem der mittlere Nadelverlust im Vorjahr erstmals nach einer langen Erholungsphase wieder anstieg, verringert sich das Verlustprozent im aktuellen Jahr um 2,9 Prozentpunkte auf 18,5 Prozent. Damit ist die Fichte weiterhin die Hauptbaumart in Baden-Württemberg mit den geringsten Nadel-/Blattverlustwerten.

Die Fichte (*Picea abies*) ist mit 2.335 Bäumen die häufigste Baumart in der Stichprobe der Waldschadensinventur. Sie ist im Aufnahmenetz der Waldschadensinventur mit Ausnahme des Oberrheinischen Tieflandes in allen Naturräumen Baden-Württembergs vertreten. 29 Prozent aller untersuchten Fichten gehören der Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und 71 Prozent der Altersgruppe „ab 61 Jahre“ an.

Neben den günstigen Witterungsbedingungen mit ausreichend Niederschlag in der ersten Hälfte der Vegetationszeit, wirkt sich für die Fichte vor allem die geringe Schädlingsbelastung bis zum Zeitpunkt der Waldschadensinventur positiv auf die Entwicklung des Kronenzustandes aus. Dabei verringert sich der mittlere Nadelverlust bei jüngeren Fichten (bis 60 Jahre) stärker, als dies bei den älteren Fichten (ab 61 Jahre) zu beobachten ist.

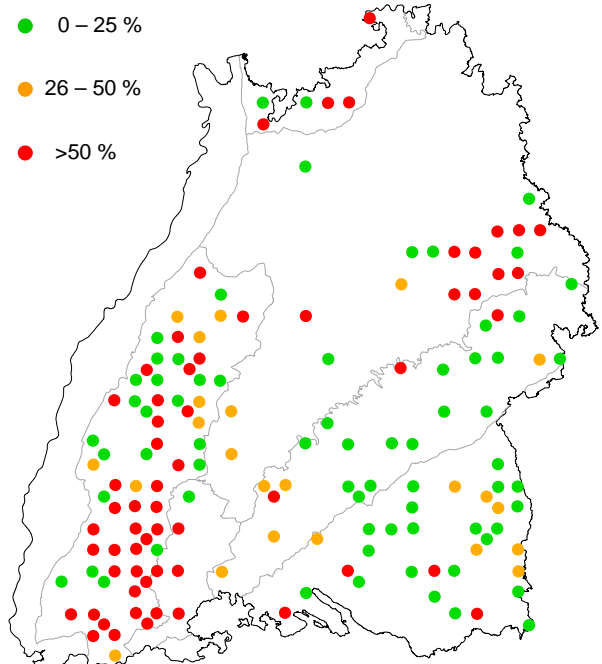


Abb.: 14: Prozentualer Anteil der Fichten je Stichprobenpunkt mit >25 Prozent Nadelverlust (mindestens vier Fichten je Punkt)

Regional betrachtet sind vor allem im südlichen Schwarzwald, der Baar und im Bereich des Schwäbisch-Fränkischen Waldes zusammenhängende Gebiete mit höheren Kronenschäden bei der Fichte zu finden (Abb. 14). Der Anteil an Fichten mit einem Nadelverlust über 25 Prozent überwiegt in diesen Regionen häufig. Dagegen zeigen sich auf der Schwäbischen Alb und im Südwestdeutschen Alpenvorland vergleichsweise geringe Kronenschäden.

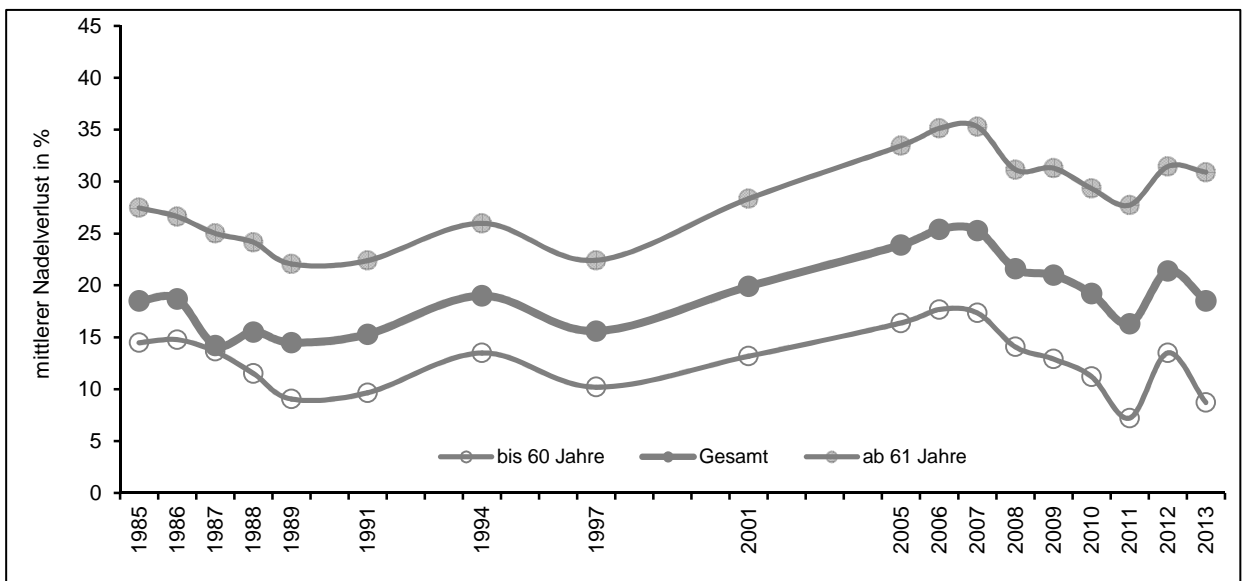


Abb.: 13: Mittlerer Nadelverlust der Fichte getrennt nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“



Die Tanne

Die Tanne erweist sich in den letzten Jahren als eine äußerst stabile Baumart. Der Kronenzustand der Tannen reagiert auf die derzeit einwirkenden Umwelteinflüsse lediglich mit geringfügigen Veränderungen. Im Jahr 2013 verringert sich der mittlere Nadelverlust der Tanne um 0,6 Prozentpunkte auf 23,1 Prozent (Abb. 15). Seit mehr als 15 Jahren bewegt sich der Kronenzustand der Tanne stabil auf diesem Niveau.

Anfang der 1980er Jahre war die Tanne noch die am stärksten geschädigte Baumart in Baden-Württemberg. Die starke Luftverschmutzung, vor allem die hohen Schwefeldioxideinträge, verursachten damals bei der

Tanne enorme Schäden, die von stark erhöhten Nadelverlusten, flächenhafter Vergilbung der Nadeln bis hin zu einer erhöhten Absterberate betroffener Tannen reichte. Seitdem hat sich der Kronenzustand der Tannen deutlich verbessert.

Die Tanne (*Abies alba*) ist mit 890 Bäumen in der Stichprobe der Waldschadensinventur vertreten. Sie zählt vor allem im Schwarzwald zu den landschaftsprägenden Baumarten. 13 Prozent aller untersuchten Tannen gehören der Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und 87 Prozent der Altersgruppe „ab 61 Jahre“ an.

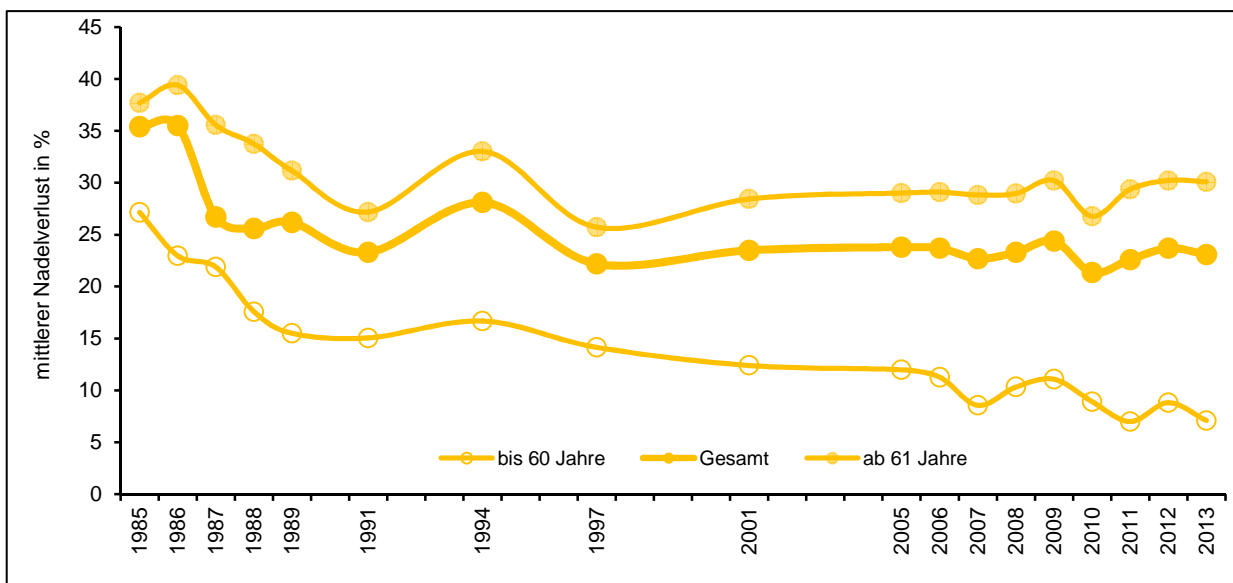


Abb.: 15: Mittlerer Nadelverlust der Tanne getrennt nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“

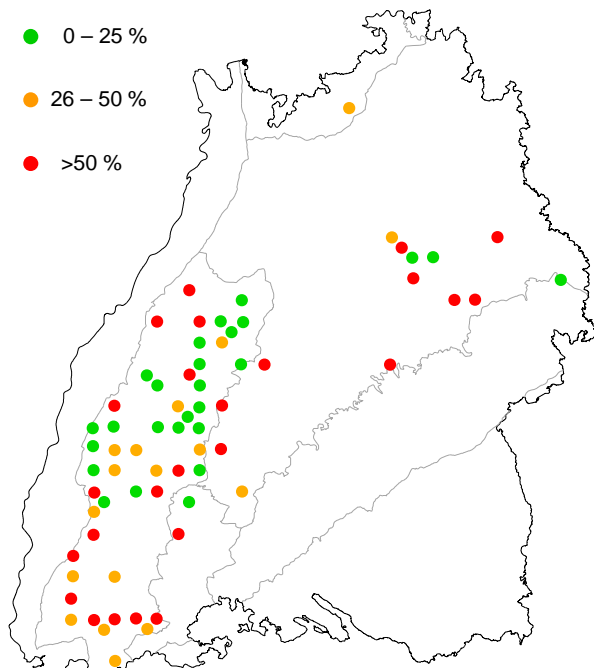


Abb.: 16: Prozentualer Anteil der Tannen je Stichprobenpunkt mit >25 Prozent Nadelverlust (mindestens vier Tannen je Punkt)

Erst durch die deutliche Reduktion der Luftschadstoffe in den letzten Jahrzehnten konnte sich der Kronenzustand der Tannen in Baden-Württemberg wieder verbessern.

Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2013 belegen eine zunehmende Ausbreitung der Tannenmistel in Baden-Württemberg. Dabei nimmt sowohl die Befallsstärke an bereits betroffenen Tannen, als auch die Ausbreitung der Misteln an bisher noch nicht

befallenen Tannen zu. Die Tannenmistel lebt halbparasitisch in den Baumkronen und entzieht den Bäumen Wasser und Nährstoffe. Die Verbreitung der wärmeliebenden Mistel erfolgt durch Vogelarten, die den Samen als Nahrung aufnehmen und später wieder ausscheiden.

Als zusätzliche Belastung für die Tanne wirkte sich dieses Jahr regional ein erhöhtes Vorkommen der Tannentriebblaus aus, die frisch ausgetriebene Zweige der Tanne schädigt. Dagegen ging die im Vorjahr beobachtete Nadelbräune der Tanne wieder deutlich zurück, was auf die bessere Nährstoffversorgung der Bäume aufgrund der ausreichenden Niederschläge in der Vegetationszeit 2013 zurückzuführen ist.

Schadensschwerpunkte der Tanne zeigen sich vor allem im Südschwarzwald und punktuell im Schwäbisch-Fränkischen Wald. Dagegen ist der Anteil an stärker geschädigten Tannen im Mittel- und Nordschwarzwald weniger hoch (Abb. 16).

Die Kiefer

Die aktuelle Waldschadensinventur zeigt für den Kronenzustand der Kiefer in Baden-Württemberg eine deutliche Erholung gegenüber dem Vorjahr (Abb. 17). Nach einem leichten Anstieg des mittleren Nadelverlustes im Jahr 2012 verringert sich das Verlustprozent aktuell um 2,3 Prozentpunkte auf 22,7 Prozent.

Im Gegensatz zu allen anderen Hauptbaumarten ist bei der Kiefer zwischen den beiden Altersgruppen nur ein geringer Unterschied im Kronenzustand zu

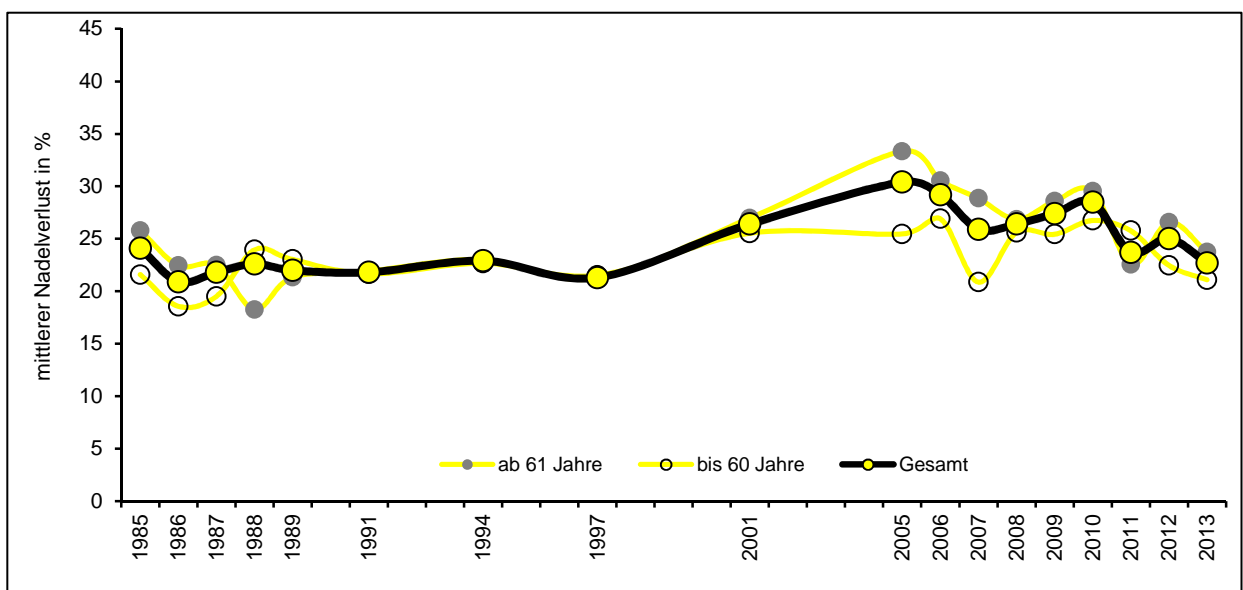


Abb.: 17: Mittlerer Nadelverlust der Kiefer getrennt nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“



erkennen. Dies liegt zum einen an dem geringen Stichprobenumfang insbesondere der jüngeren Bäume, als auch an der Fähigkeit der Kiefer, bereits in vergleichsweise jungem Alter Blüten und Zapfen

Die Kiefer (*Pinus sylvestris*) kommt mit 288 Bäumen im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten am geringsten in der Stichprobe der Waldschadensinventur vor. 19 Prozent aller untersuchten Kiefern gehören der Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und 81 Prozent der Altersgruppe „ab 61 Jahre“ an.

auszubilden.

Der zeitliche Verlauf des Kronenzustandes der Kiefer ist dem der Fichte sehr ähnlich. Nach einem leicht erhöhten Nadelverlust zu Beginn der Aufnahmeperiode verringert sich das Verlustprozent bis zu Beginn der 1990er Jahre geringfügig. Danach ist ein kontinuierlicher Anstieg des Schadniveaus bis zu einem Maximum im Jahr 2005 zu verzeichnen. Seither verbesserte sich der Kronenzustand leicht, verbleibt jedoch weiterhin auf einem erhöhten Schadniveau. Aktuell profitiert die Kiefer in ihrer Kronenausbildung vor allem von dem geringen Vorkommen an Kieferschädlingen und der vergleichsweise geringen Blüh- und Fruchtausbildung.

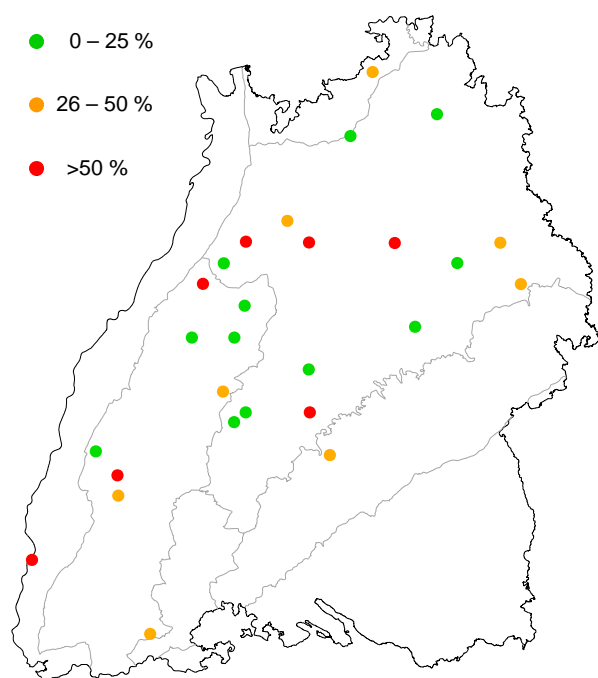


Abb.: 18: Prozentualer Anteil der Kiefern je Stichprobenpunkt mit >25 Prozent Nadelverlust (mindestens vier Kiefern je Punkt)

Regional lassen sich für die Kiefer anhand der Waldschadensinventur kaum Gebiete gleicher Schadensintensität abgrenzen (Abb. 18). Dafür enthält das Aufnahmenetz der Waldschadensinventur nicht genügend Stichprobenpunkte mit ausreichend Kiefern vorkommen.

Die Buche

Während sich der Kronenzustand aller anderen Hauptbaumarten in Baden-Württemberg gegenüber dem Vorjahr verbessert, ist bei der Buche dieses Jahr eine leichte Verschlechterung des Kronenzustandes zu erkennen. Der mittlere Blattverlust der Buchen erhöht sich um 0,9 Prozentpunkte auf 29,1 Prozent (Abb. 19).

Die Buche (*Fagus sylvatica*) ist mit 1.629 Bäumen die häufigste Laubbaumart in der Stichprobe der Waldschadensinventur. Sie ist wie die Fichte in allen Naturräumen Baden-Württembergs vertreten. 31 Prozent aller untersuchten Buchen gehören der Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und 69 Prozent der Altersgruppe „ab 61 Jahre“ an.



Abb.: 20: Fraßschäden an Buche, verursacht durch den Buchenspringrüssler (Loch- und Minierfraß)

Der für das Baumwachstum günstige Witterungsverlauf im Jahr 2013 schlägt sich somit zunächst nicht in einem verbesserten Belaubungszustand der Buchen nieder. Ursächlich hierfür ist zum einen ein erhöhter Befall durch den Buchenspringrüssler, der 2013 landesweit zu sichtbaren Schäden in Buchenbeständen führte. Vor allem der Minierfraß des Buchenspringrüsslers verursachte z.T. auffällige Schäden an den Buchenblättern (Abb. 20). An einem Drittel aller Buchen wurden Schäden durch den Buchenspringrüssler festgestellt. Zum anderen wurden regional vor allem in jüngeren Beständen Spätfrostschäden an Buchen beobachtet.

Der Kronenzustand der Buchen wird zudem stark von der Blüte und Fruchtausbildung der Bäume beeinflusst, da sie bei hoher Intensität eine hohe physiologische Belastung für die Bäume darstellen. Oftmals erhöht sich der Blattverlust der Buchen in Jahren starker Fruchtausbildung. So sind die hohen Blattverlustwerte der Buchen in den Jahren 2006, 2009 und 2011 maßgeblich auf eine starke Fruchtausbildung zurückzuführen. Im Jahr 2013 hat die Buche regional unterschiedlich stark fruktifiziert. Landesweit zeigt sich ein mittlerer Fruktifizierungsgrad, wobei im Neckarland die Buchen dieses Jahr vergleichsweise mehr Buheckern aufwiesen.

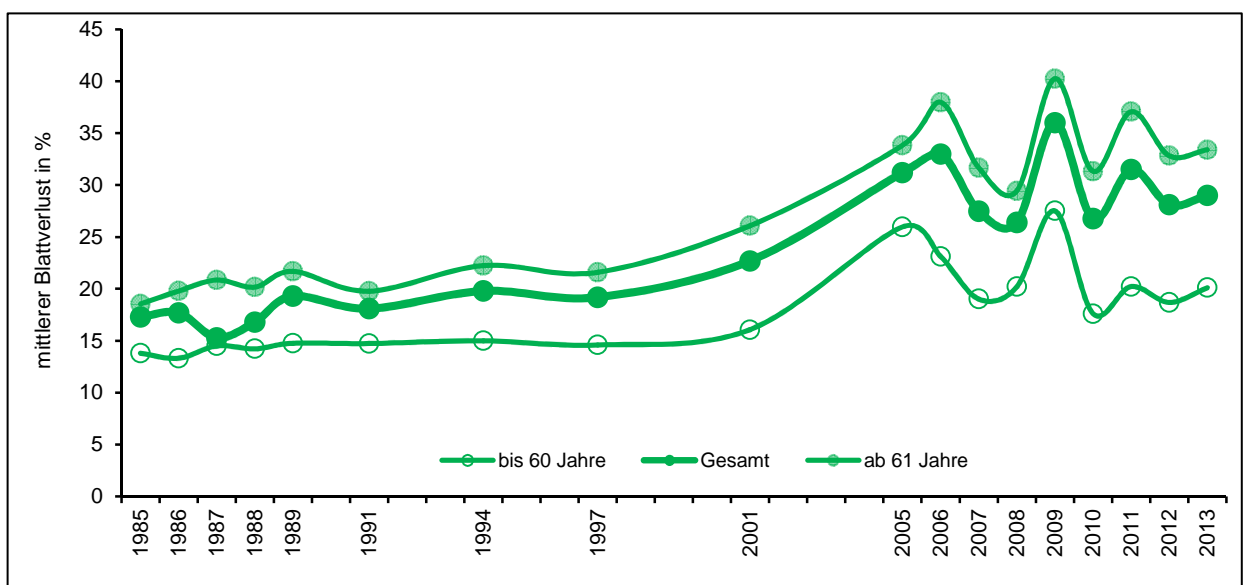


Abb.: 19: Mittlerer Blattverlust der Buche getrennt nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“

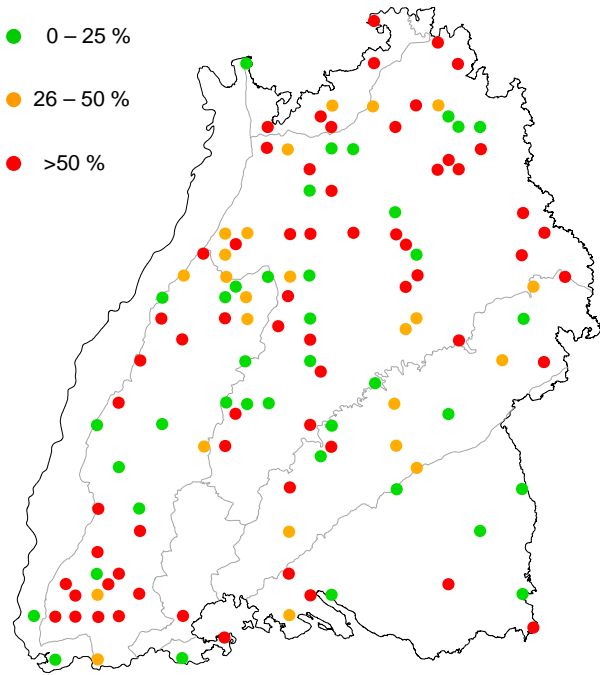


Abb.: 21: Prozentualer Anteil der Buchen je Stichprobenpunkt mit >25 Prozent Blattverlust (mindestens vier Buchen je Punkt)

Regional betrachtet zeigt sich für die Baumart Buche ein eher undifferenziertes Bild der Blattverluste. Einzelne Gebiete mit stärkeren Kronenschäden an Buchen lassen sich im Neckarland und im Südschwarzwald abgrenzen (Abb. 21), was auf die erhöhte Fruktifikation der Buchen im Neckarland und den verstärkten Springrüsslerbefall der Buchen im Südschwarzwald zurückzuführen ist.

Die Eiche

Die Stieleiche (*Quercus robur*) und die Traubeneiche (*Quercus petraea*) sind zusammen mit 524 Bäumen in der Stichprobe der Waldschadensinventur vertreten. Die Eiche hat vor allem im Neckarland ihr Hauptverbreitungsgebiet. 29 Prozent aller untersuchten Eichen gehören der Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und 71 Prozent der Altersgruppe „ab 61 Jahre“ an.

Der Kronenzustand der Eichen hat sich gegenüber dem Vorjahr verbessert. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 1,9 Prozentpunkte auf 29,7 Prozent (Abb. 22). Sowohl der Kronenzustand der jüngeren als auch der älteren Eichen weist 2013 eine Verbesserung auf.



Abb.: 23: Befall der Blätter durch Eichenmehltau

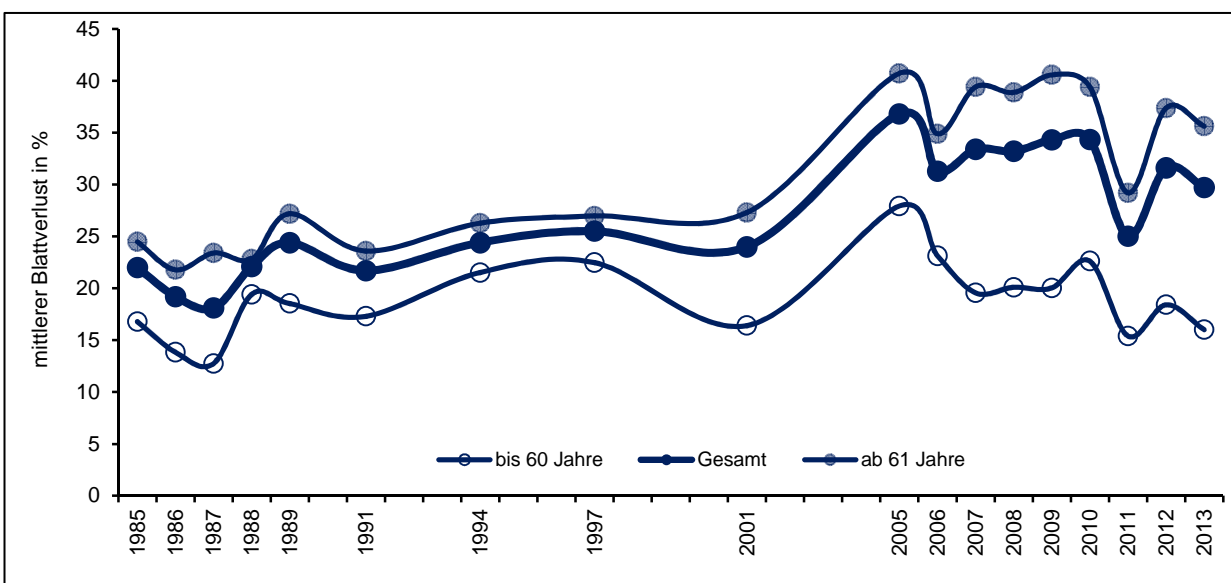


Abb.: 22: Mittlerer Blattverlust der Eiche getrennt nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“

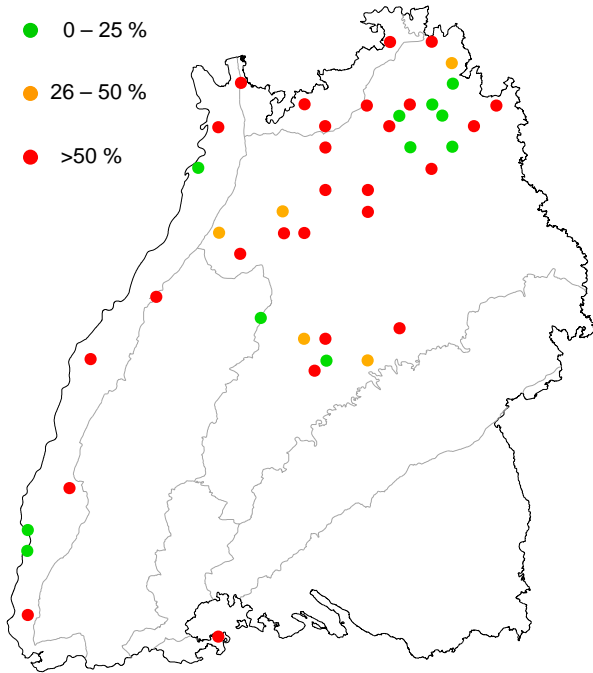


Abb.: 24: Prozentualer Anteil der Eichen je Stichprobenpunkt mit >25 Prozent Blattverlust (mindestens vier Eichen je Punkt)

Nachdem die Eichenkronen im letzten Jahr stark durch blattfressende Raupen geschädigt wurden, ist bei der diesjährigen Waldschadensinventur ein deutlich geringerer Schädlingsbefall festzustellen. Lediglich knapp 14 Prozent aller aufgenommenen Eichen weisen Blattschäden durch Raupenfraß auf. Die Eichen können im Verlauf des Sommers durch einen zweiten Austrieb, dem sogenannten Johannistrieb, auf Fraßschäden zu Beginn der Vegetationsperiode reagieren und diese mit neuer Blattmasse oftmals weitgehend ausgleichen. Zudem war der Befall durch Eichenmehltau im Vergleich zum Vorjahr weniger stark (Abb. 23). Regionale Schwerpunkte mit erhöhter Kronenverlichtung der Eiche lassen sich vor allem im Bereich Kraichgau sowie Odenwald abgrenzen (Abb. 24).

Sonstige Nadelbaumarten

Die Gruppe der sonstigen Nadelbäume ist mit 249 Bäumen in der Stichprobe der Waldschadensinventur vertreten. 51 Prozent aller untersuchten Bäume gehören der Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und 49 Prozent der Altersgruppe „ab 61 Jahre“ an. Die häufigsten Baumarten sind die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) und die Lärche (*Larix decidua*).

Entgegen dem Erholungstrend der Nadelbaumarten Fichte, Tanne und Kiefer hat sich der Kronenzustand der sonstigen Nadelbäume in diesem Jahr tendenziell verschlechtert. Der mittlere Nadelverlust der sonstigen Nadelbaumarten erhöht sich um 0,9 Prozentpunkte auf 23,0 Prozent (Abb. 25).

Bei der Baumart Lärche ist ein Anstieg des Verlustprozents um 1,4 Prozentpunkte auf 26,9 Prozent zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu liegt der Schädigungsgrad der im Durchschnitt jüngeren Douglasien mit 19,3 Prozent Nadelverlust deutlich darunter. Jedoch erhöht sich das Verlustprozent der Douglasien gegenüber dem Vorjahr relativ stark um 3,8 Prozentpunkte.

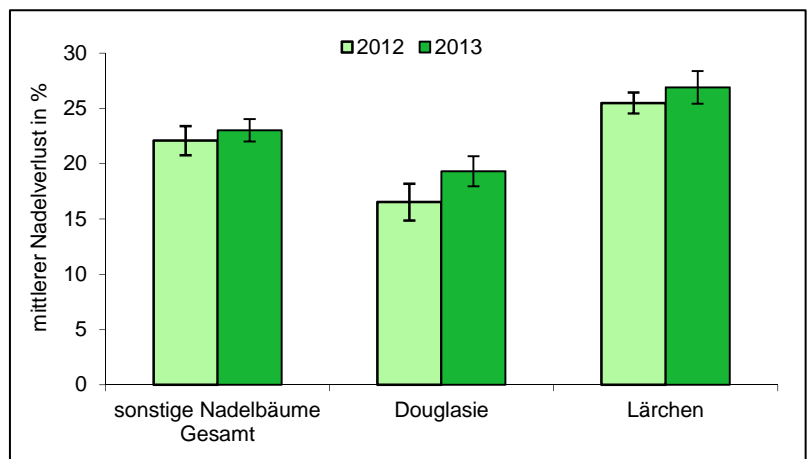


Abb.: 25: Mittlerer Nadelverlust der sonstigen Nadelbäume, Gesamt (links), Douglasie (Mitte) und Lärche (rechts)

Sonstige Laubbaumarten

Der Kronenzustand der sonstigen Laubbaumarten hat sich im Mittel aller in dieser Gruppe zusammengefassten Baumarten gegenüber dem Vorjahr nicht verändert (Abb. 26). Der mittlere Blattverlust bleibt unverändert bei 20,8 Prozent. Der geringere Schädigungsgrad, im Vergleich zu den Laubbaumarten Buche und Eiche, ist im Wesentlichen auf den hohen Anteil jüngerer Bäume in dieser Baumartengruppe zurückzuführen.

Der mittlere Blattverlust der Baumart Ahorn verringert sich gegenüber dem Vorjahr um zwei Prozentpunkte auf 13,2 Prozent. Die Baumart profitiert von den günstigen Witterungsbedingungen und einem geringeren Schädlingsbefall in diesem Jahr. Dagegen verschlechtert sich der Kronenzustand der Baumart Esche erheblich. Mit einem Anstieg von 4,6 Prozentpunkten erhöht sich der mittlere Blattverlust auf 26,1 Prozent. Die Eschen sind zunehmend vom sogenannten „Eschentriebsterben“ betroffen (Abb. 27). Verursacher ist hierbei eine Pilzinfektion, die zu

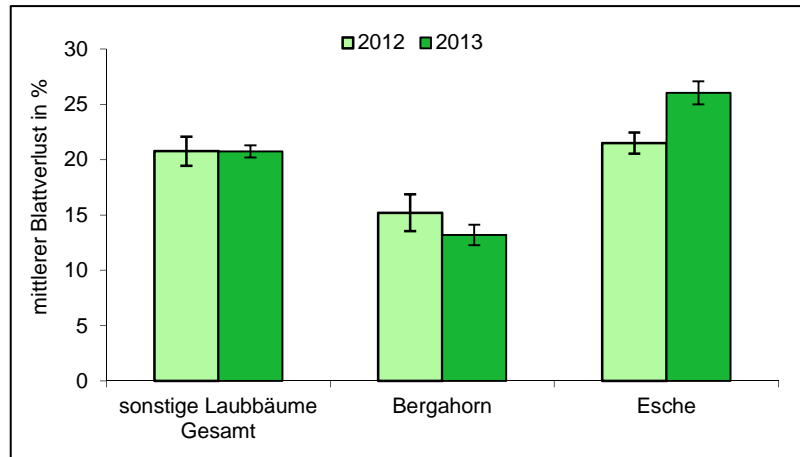


Abb.: 26: Mittlerer Blattverlust der sonstigen Laubbäume, Gesamt (links), Bergahorn (Mitte) und Esche (rechts)

erheblichen Kronenschäden bzw. bei fortgeschrittenem Befall auch zum Absterben der Eschen führen kann.

Die Gruppe der sonstigen Laubbäume ist mit 1.063 Bäumen in der Stichprobe der Waldschadensinventur vertreten. 68 Prozent aller untersuchten Bäume gehören der Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und 32 Prozent der Altersgruppe „ab 61 Jahre“ an. Die häufigsten Baumarten sind Esche (*Fraxinus excelsior*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*).



Abb.: 27: Eschentriebsterben. Baumkrone (links), befallener Trieb (rechts)

Schadstufen

Die Schadstufen geben einen schnellen und zusammenfassenden Überblick über die Entwicklung des aktuellen Waldzustandes in Baden-Württemberg. Die Berechnung erfolgt aus dem Nadel-/Blattverlust und der Vergilbung der Bäume.

Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2013 zeigen einen deutlichen Anstieg der ungeschädigten Waldfläche (Schadstufe 0) in Baden-Württemberg (Tab. 3). Ihr Anteil erhöht sich um sieben Prozentpunkte auf 33 Prozent. Dagegen verringert sich der Anteil der schwach geschädigten Waldfläche (Schadstufe 1) um sechs Prozentpunkte auf 32 Prozent. Ein leichter Abfall von einem Prozentpunkt ist auch beim Anteil der mittelstark geschädigten Waldfläche (Schadstufe 2) zu verzeichnen. Der Anteil der stark geschädigten bzw. abgestorbenen Waldfläche (Schadstufe 3 bzw. 4) bleibt im Vergleich zum Vorjahr mit drei Prozent

konstant. Die deutlich geschädigte Waldfläche Baden-Württembergs, als Zusammenfassung der Schadstufen 2 bis 4, verringert sich somit leicht auf 35 Prozent.

Fruchtausbildung

Eine starke Fruchtausbildung stellt für Bäume eine hohe physiologische Belastung dar, da wesentliche Teile des Energievorrats und ein Großteil der Nährelemente zur Ausbildung der Früchte benötigt werden und diese somit nicht mehr dem vegetativen Wachstum des Baumes zur Verfügung stehen. Besonders bei Baumarten mit großen Samen wie Buche und Eiche wird ein erheblicher Anteil an Energie und Nährelementen für die Ausbildung der Früchte verbraucht. Dies kann sich neben Einbußen im Dicken- und Höhenzuwachs auch negativ auf den Kronenzustand der Bäume auswirken (SCHMITT 1991). Für die Baumart Buche konnte in den letzten Jahren durch die

Tab.: 3: Schadstufenverteilung 1985 bis 2013

Jahr	Schadstufe 0	Schadstufe 1	Schadstufe 2	Schadstufen 3 und 4	Schadstufe 2 bis 4 (deutliche Schäden)	mittlerer NBV in %	Aufnahmedichte
1985	34	39	25	2	27	20,0	4x4
1986	35	42	21	2	23	19,0	4x4
1987	40	39	20	1	21	18,0	8x8
1988	41	42	16	1	17	17,0	8x8
1989	40	40	18	2	20	17,7	4x4
1990	37	44	17	2	19	17,6	16x16
1991	39	44	16	1	17	17,2	4x4
1992	26	50	21	3	24	21,2	16x16
1993	23	46	27	4	31	23,7	16x16
1994	35	40	23	2	25	20,1	4x4
1995	29	44	25	2	27	21,2	16x16
1996	25	40	34	1	35	23,2	16x16
1997	40	41	18	1	19	17,7	4x4
1998	32	44	23	1	24	19,3	16x16
1999	31	44	24	1	25	20,3	16x16
2000	38	38	23	1	24	18,8	16x16
2001	29	42	27	2	29	21,1	4x4
2002	37	39	22	2	24	18,9	16x16
2003	26	45	28	1	29	21,4	16x16
2004	23	37	36	4	40	25,3	16x16
2005	19	38	40	3	43	26,2	8x8
2006	23	32	40	5	45	26,7	8x8
2007	22	38	36	4	40	25,8	8x8
2008	25	40	32	3	35	23,6	8x8
2009	26	32	38	4	42	25,6	8x8
2010	32	33	32	3	35	22,5	8x8
2011	38	29	30	3	33	21,1	8x8
2012	26	38	33	3	36	23,6	8x8
2013	33	32	32	3	35	22,1	8x8

Ergebnisse der Waldschadensinventur gezeigt werden, welche Belastungen dem Baum durch eine Vollmast entstehen und welche Auswirkungen dies auf den Kronenzustand hat (MEINING et al. 2009, 2011).

Bei der Waldschadensinventur Baden-Württemberg wird die Fruktifikation der Waldbäume in den Stufen wenig, mittel und stark erfasst. Die Aufnahme wird seit 1991 für die Baumart Buche und seit 1999 für alle anderen Baumarten durchgeführt.

Im Jahr 2013 wurden an 52 Prozent aller im blühfähigen Alter befindlichen Bäume der Waldschadensinventur Früchte in der Baumkrone festgestellt, jedoch bei über der Hälfte davon nur mit geringer Intensität (Abb. 28). Somit ist der Fruchtbehang an Waldbäumen in diesem Jahr wieder deutlich stärker als im Vorjahr, erreicht aber nicht die Intensität der Jahre 2011, 2009 oder 2006. Die Häufung starker Fruktifikationsjahre innerhalb der letzten Jahre führt zu einer erheblichen Belastung der Waldbäume. Es ist anzunehmen,

dass es durch klimatische Veränderungen zu einer Häufung von starken Fruktifikationsereignissen kommt. Die aktuelle Erhebung zeigt für die Hauptbaumarten Baden-Württembergs unterschiedliche Fruktifikationsintensitäten (Abb. 29). Während die Baumart Kiefer absolut gesehen am häufigsten Zapfen aufweist, ist bei der Baumart Tanne die höchste Intensität der Fruchtausbildung zu beobachten. Immerhin 41 Prozent aller Tannen zeigen eine mittlere bis starke Fruktifikation. Dagegen ist der Fruchtbehang im Vergleich dazu bei den Baumarten Buche und Fichte etwas und bei der Baumart Eiche deutlich geringer.

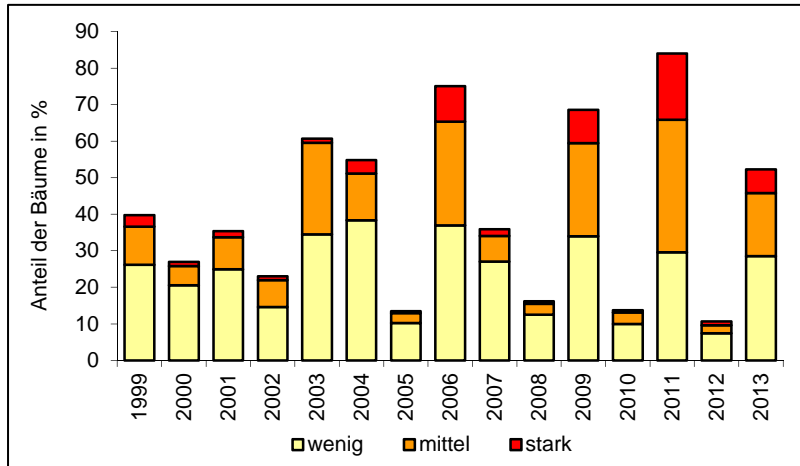


Abb.: 28: Fruktifikationsintensität aller Baumarten seit 1999

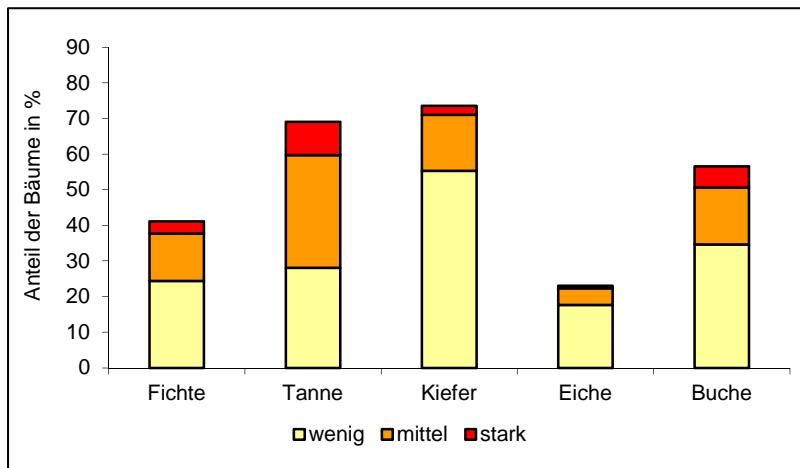


Abb.: 29: Fruktifikationsintensität der Hauptbaumarten im Jahr 2013

Wuchsgebiete Baden-Württembergs

Der Wald in Baden-Württemberg ist in sieben Naturräume, sogenannte Wuchsgebiete, eingeteilt. Die Wuchsgebiete unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Landschaftsausprägung, ihren klimatischen Verhältnissen, ihrem geologischen Aufbau und ihren Bodeneigenschaften voneinander. Im Einzelnen werden in Baden-Württemberg folgende Wuchsgebiete unterschieden: Oberrheinisches Tiefland, Odenwald, Schwarzwald, Neckarland, Baar-Wutach, Schwäbische Alb und Südwestdeutsches Alpenvorland (Abb. 30).

Die Stichprobendichte der Terrestrischen Waldschadensinventur erlaubt eine regionale Auswertung der Ergebnisse für die großen Wuchsgebiete Baden-Württembergs: den Schwarzwald, das Neckarland, die Schwäbische Alb und das Südwestdeutsche Alpenvorland. Für die Aufnahmejahre im 8x8 km-Netz und 4x4 km-Netz kann mit ausreichender statistischer Genauigkeit die Entwicklung des Kronenzustandes der Waldbäume in den großen Wuchsgebieten und der am häufigsten vorkommenden Baumarten dargestellt werden.



Abb. 30: Wuchsgebiete Baden-Württembergs

Die Ergebnisse der diesjährigen Waldschadensinventur zeigen für die nadelholzreichen Wuchsgebiete Schwarzwald, Schwäbische Alb und Südwestdeutsches Alpenvorland eine Verbesserung des Kronenzustandes (Abb. 31 bis Abb. 34, oben). Vor allem im fichten- und tannenreichen Schwarzwald verringert sich der mittlere Nadel-/Blattverlust der Bäume deutlich. Dagegen verändert sich der Kronenzustand im laubholzreichen Neckarland gegenüber dem Vorjahr kaum. Absolut ist der Schädigungsgrad im Neckarland mit 25,8 Prozent gegenüber den anderen Wuchsgebieten erhöht. Im Südwestdeutschen Alpenvorland ist dagegen mit 17,6 Prozent der geringste Schädigungsgrad der Wälder zu finden.

Seit Beginn der Waldschadensinventur verläuft die Entwicklung des Kronenzustandes in den einzelnen Wuchsgebieten Baden-Württembergs weitgehend gleichläufig. Nach dem Rückgang der Kronenschäden bis etwa Ende der 1980er Jahre bleibt der Kronen-

zustand in allen Wuchsgebieten bis zum Jahr 2001 weitgehend konstant auf einem gleichbleibend hohen Niveau. Zu Beginn des Jahrtausends erhöht sich der Schädigungsgrad der Wälder in allen Wuchsgebieten. Dies kann auf sich verändernde Witterungsbedingungen zurückgeführt werden. Während erhöhte Kronenschäden zu dieser Zeit verstärkt in den für Trockenstress anfälligeren Naturräumen wie Südwestdeutsches Alpenvorland und Neckarland vorkommen, ist im höher gelegenen Schwarzwald ein vergleichbar geringer Anstieg des mittleren Nadel-/Blattverlustes zu beobachten.

Seit dem Jahr 2007 ist im Wuchsgebiet Südwestdeutsches Alpenvorland eine deutliche Verbesserung des Kronenzustandes der Wälder zu erkennen. Dagegen zeichnen sich im gleichen Zeitraum in den Wuchsgebieten Schwarzwald, Schwäbische Alb und vor allem im Neckarland deutlich schwächere Erholungstrends im Kronenzustand ab.

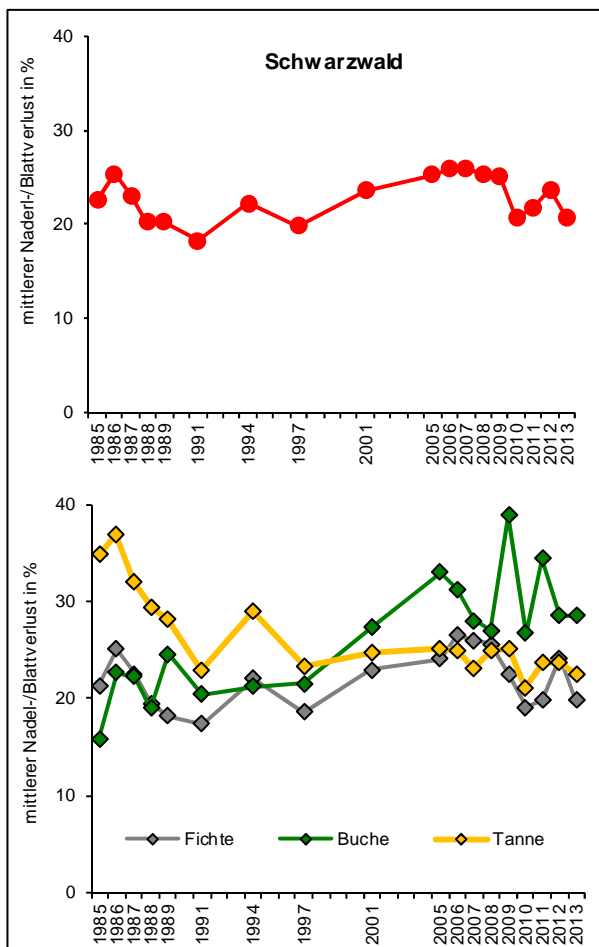


Abb.: 31: Mittlerer Nadel-/Blattverlust aller Baumarten (oben) und der Hauptbaumarten (unten) im Schwarzwald

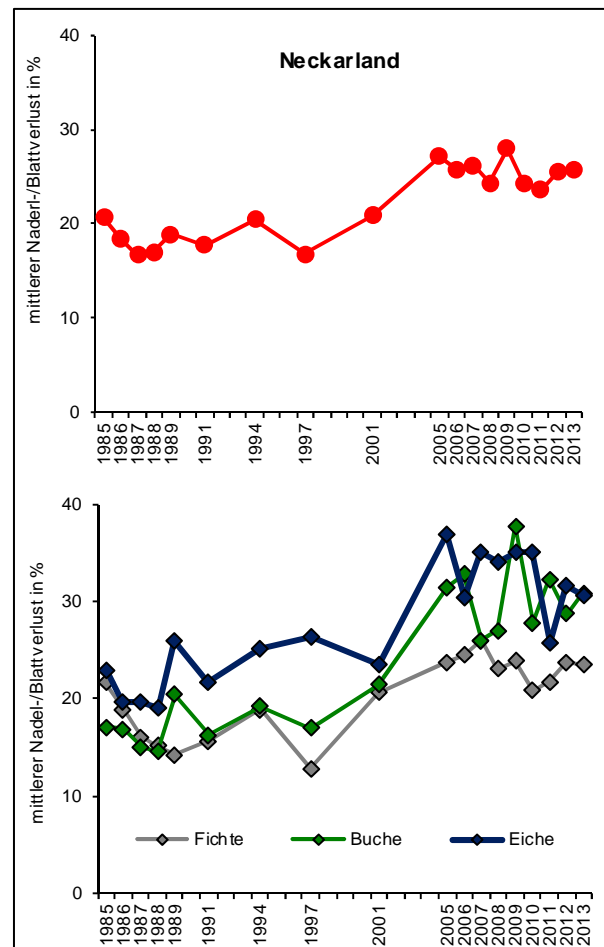


Abb.: 32: Mittlerer Nadel-/Blattverlust aller Baumarten (oben) und der Hauptbaumarten (unten) im Neckarland

Baumarten in den Wuchsgebieten

Die Baumarten Fichte und Buche kommen in Baden-Württemberg flächendeckend in ausreichender Anzahl vor, so dass der Kronenzustand dieser Baumarten für alle größeren Wuchsgebiete dargestellt werden kann. Während der mittlere Nadel-/Blattverlust von Fichte und Buche in der ersten Hälfte der bisherigen Aufnahmeperiode weitgehend auf demselben Schadniveau verlief, ist seit einigen Jahren bedingt durch klimatische Veränderungen ein höherer Schädigungsgrad für die Baumart Buche zu verzeichnen.

Der Kronenzustand der Fichte hat sich aktuell in den Wuchsgebieten Schwarzwald, Schwäbische Alb und Südwestdeutsches Alpenvorland verbessert, nachdem im letzten Jahr z.T. eine deutliche Erhöhung des mittleren Nadel-/Blattverlustes zu verzeichnen war (Abb. 31 bis 34, unten). Dabei ist im Schwarzwald die stärkste Verbesserung des Kronenzustandes

gegenüber dem Vorjahr zu beobachten. Im Neckarland ist bei der Fichte nahezu keine Änderung im Kronenzustand zum Vorjahr festzustellen.

Der mittlere Blattverlust der Buchen verbessert sich lediglich im Wuchsgebiet Schwäbische Alb. Im Schwarzwald ist keine Veränderung gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen. Dagegen erhöht sich der mittlere Blattverlust der Buchen in den Wuchsgebieten Neckarland und Südwestdeutsches Alpenvorland. Insbesondere im Neckarland ist dies auf die leicht erhöhte Fruktifikation der Buchen in dieser Region zurückzuführen.

Die Tanne kommt vor allem im Schwarzwald als prägende Baumart vor. Der mittlere Nadelverlust der Tanne verringert sich leicht gegenüber dem Vorjahr und liegt gering über dem Verlustprozent der Fichte. Insgesamt ist die Tanne im Schwarzwald in den letzten Jahren eine äußerst stabile Baumart mit wenigen Veränderungen im Kronenzustand.

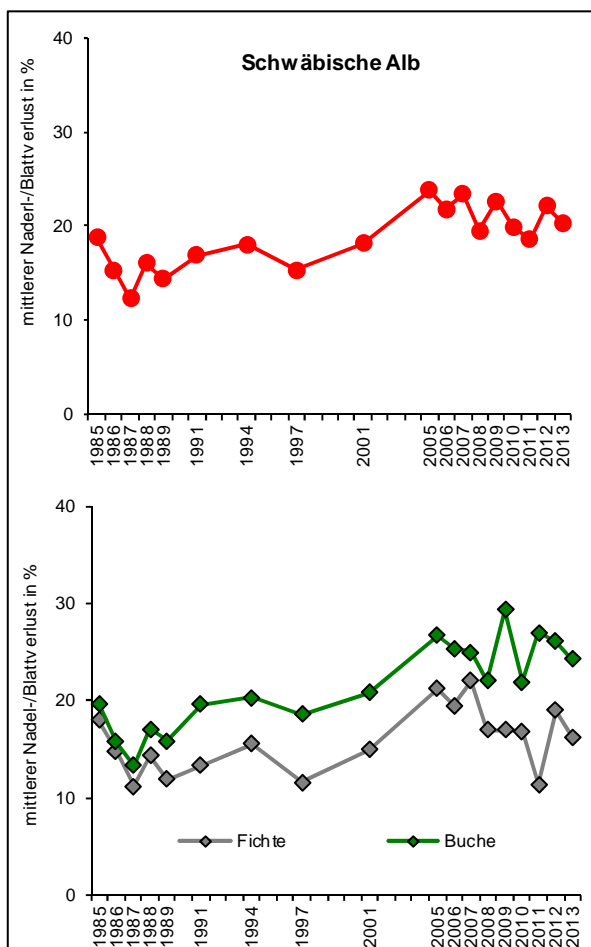


Abb.: 33: Mittlerer Nadel-/Blattverlust aller Baumarten (oben) und der Hauptbaumarten (unten) auf der Schwäbischen Alb

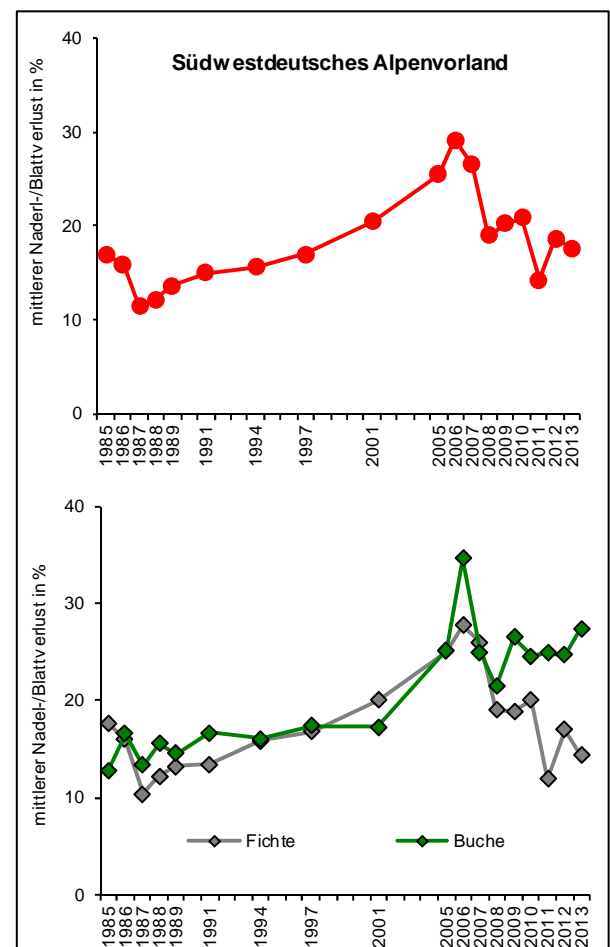


Abb.: 34: Mittlerer Nadel-/Blattverlust aller Baumarten (oben) und der Hauptbaumarten (unten) im Südwestdeutschen Alpenvorland

Gravierende Kronenschäden traten bei der Tanne im Schwarzwald aufgrund deutlich erhöhter Schadstoffeinträge aus der Luft zu Beginn der Waldschadensinventur auf.

Die Eiche kommt vor allem im Neckarland mit höheren Baumartenanteilen vor. Nach dem starkem Anstieg des Blattverlustes der Eichen im letzten Jahr erholt sich der Kronenzustand der Eichen aufgrund eines geringeren Schädlingsbefalls im Neckarland leicht.

Das Raum-Zeit-Modell

Für die Hauptbaumarten Fichte und Buche wurde in den letzten Jahren ein neuartiges statistisches Modell entwickelt, um die Ergebnisse der Waldschadensinventur Baden-Württembergs noch besser interpretieren zu können. Das multivariate Raum-Zeit-Modell stellt den Nadel-/Blattverlust als Funktion des Alters, der räumlichen Lage und der Zeit dar, wobei Korrelation in Zeit und Raum berücksichtigt werden (AUGUSTIN 2009). Dadurch ist es erstmals möglich durchgehende Zeitreihen der Kronenzustandsdaten unabhängig der aufgenommenen Stichprobendichte mit ausreichender Genauigkeit darzustellen. Der Verlauf des Kronenzustands der Baumarten Fichte und Buche kann somit auch für Aufnahmejahre des weitmaschigen 16x16 km-Netzes zuverlässig abgebildet werden. Zudem ist eine nahezu flächendeckende Darstellung der Kronenzustandsergebnisse für Baden-Württemberg möglich. Mit Hilfe des Raum-Zeit-Modells können damit sowohl zeitliche Trends als auch räumliche Muster der Kronenverlichtung in Baden-Württemberg statistisch abgesichert dargestellt werden.

Im Raum-Zeit-Modell wird der Nadel-/Blattverlust als Funktion des Alters, der Lage und der Zeit dargestellt. In dem sogenannten „Generalised Additive Mixed Model“ (GAMM) werden Korrelationen in Zeit und Raum berücksichtigt. Das Auswertungsverfahren wurde von der FVA Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit den Statistikerinnen Dr. Nicole Augustin (University Bath / England) und Dr. Monika Musio (Universität Cagliari / Italien) entwickelt.

Zeitlicher Trend

Seit Beginn der Waldschadensinventur in Baden-Württemberg ist ein ansteigender Trend der Nadel-/Blattverluste sowohl für die Baumart Fichte als auch für die Buche festzustellen (Abb. 35). In der zeitlichen Entwicklung der Kronenschäden zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den Baumarten. Die Baumart Fichte weist zu Beginn der Aufnahmeperiode höhere Kronenschäden gegenüber der Buche auf. Dies passt zu den damaligen Beobachtungen, dass stärkere Schäden zunächst hauptsächlich an Nadelbaumbeständen auf zur Versauerung neigenden Standorten auftraten. Der weitere Verlauf der Nadelverluste bei der Fichte ist etwa bis zur Jahrtausendwende durch periodische Schwankungen im Zehnjahresrhythmus gekennzeichnet. Dagegen schwanken die Blattverluste der Buche in kürzeren Abständen auf deutlich niedrigerem Schadniveau, mit Zu- und Abnahmen etwa im Fünfjahresrhythmus. Zudem ist bei der Buche Ende der 1990er Jahre eine leichte Niveauverschiebung hin zu höheren Blattverlusten zu beobachten.

Zu Beginn des neuen Jahrtausends ändert sich dieses relativ konstante Bild der periodischen Schwankungen von höheren und niedrigeren Nadel-/Blattverlustwerten. Sowohl bei der Fichte als auch bei der Buche nimmt in den Jahren 2001 bis 2006 der Schädigungsgrad der Baumkronen signifikant zu. Die bisher höchsten Verlustwerte der Zeitreihe werden für Fichte und Buche im Jahr 2005 bzw. 2006 erreicht. Danach erholt sich der Kronenzustand der Baumarten leicht und pendelt weiter auf erhöhtem Schadniveau.

Räumlicher Trend

Der räumliche Trend der Nadel-/Blattverluste aus dem Raum-Zeit-Modell für die Baumarten Fichte und Buche ist in Abbildung 36 und 37 dargestellt. Für die Fichte können nahezu flächendeckende Informationen über die räumliche Verteilung des Kronenzustands in Baden-Württemberg dargestellt werden, da die Baumart in allen Regionen in ausreichender Anzahl vorkommt.

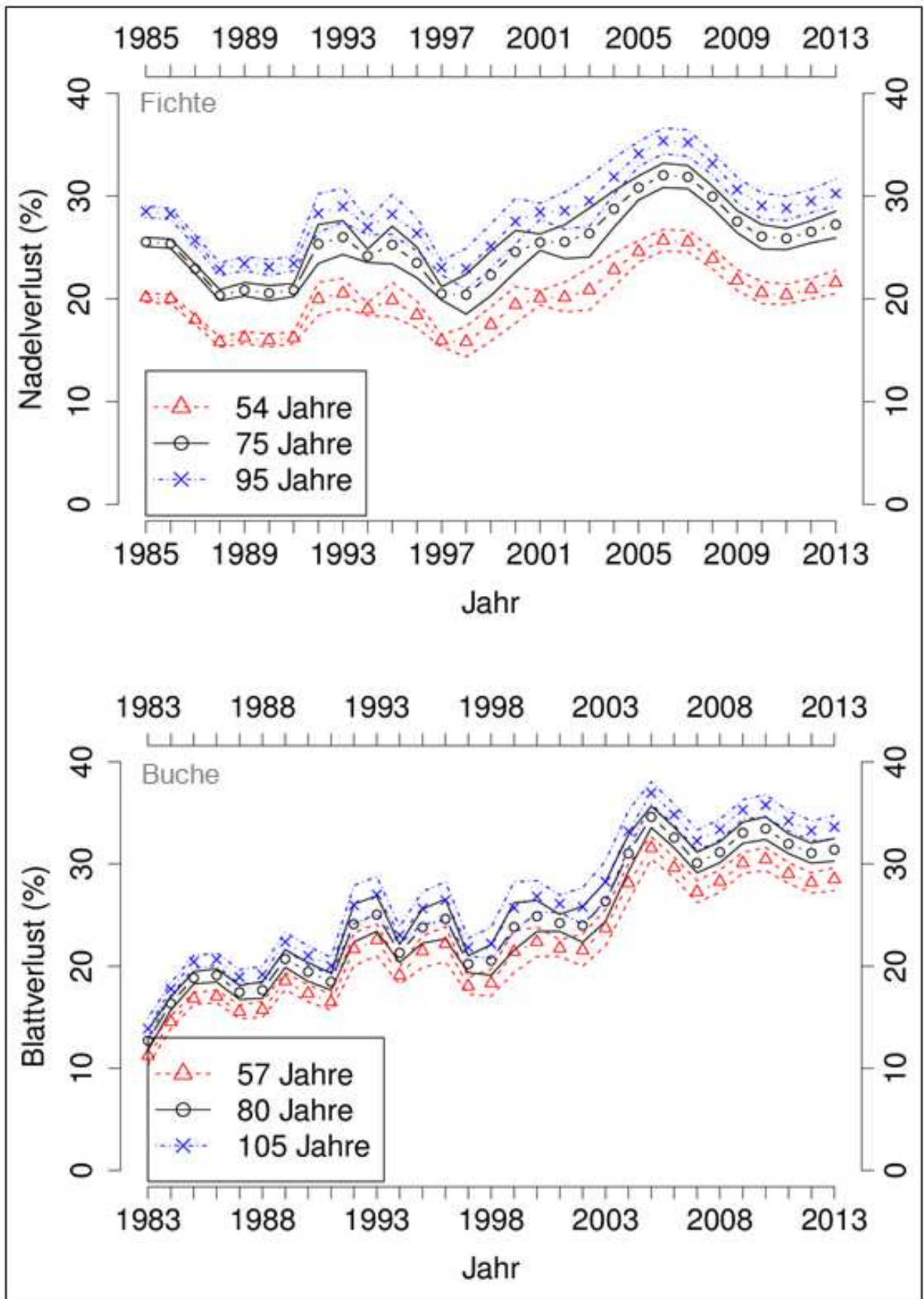


Abb. 35: Zeitlicher Entwicklungstrend der mittleren Nadel-/Blattverluste für Fichte (oben) und Buche (unten) nach dem Raum-Zeit-Modell nach Altersstufen aufgeteilt

Dagegen ergeben sich für die Baumart Buche in Regionen mit geringem Buchenvorkommen einzelne Lücken in der landesweiten Darstellung. Dies betrifft vor allem den östlichen Rand des Schwarzwaldes sowie den nordöstlichen Teil Oberschwabens.

Zu Beginn der Waldschadensinventur treten höhere Nadelverluste bei der Fichte vor allem in den Kristallingebieten des Schwarzwaldes und des Odenwalds auf. Die damals deutlich erhöhten Schadstoffeinträge und die dadurch resultierende Bodenversauerung führten vor allem an diesen von Natur aus basenarmen Standorten zu einer starken Belastung der Bäume, die sich in einem erhöhten Nadelverlust und verstärkter Vergilbung der Blattoberfläche zeigte.

Wie bereits im zeitlichen Trend der Nadelverluste bei der Fichte beschrieben, sind auch in der räumlichen Verteilung der Schadensschwerpunkte mehrjährige Phasen der Regeneration zu erkennen. Etwa ab der Jahrtausendwende ändert sich das räumliche Muster der Nadelverlustwerte für die Fichte in Baden-Württemberg grundlegend. Die Schadensschwerpunkte begrenzen sich jetzt nicht mehr ausschließlich auf die Kristallingebiete des Schwarzwaldes und des Odenwalds, sondern erstrecken sich jetzt auch auf gut nährstoffversorgte Standorte im Neckarland und Alpenvorland. Nach der extremen Sommertrockenheit des Jahres 2003 vergrößern sich die Schadareale und decken 2007 weite Teile des Schwarzwaldes, des Alpenvorlandes und des Neckarlandes ab. Seitdem ist wieder ein Rückgang der Schadensareale in Baden-Württemberg zu beobachten. Im Jahr 2013 zeichnen sich für die Fichte sowohl im südlichen Schwarzwald als auch im östlichen Bereich des Neckarlandes Bereiche erhöhter Kronenschäden ab.

Der Kronenzustand der Baumart Buche weist vom Beginn der Waldzustandsinventur bis zum Jahr 2003 in nahezu allen Regionen Baden-Württembergs ein sehr geringes Schadniveau auf. Ab dem Jahr 2004 sind erstmals zusammenhängende Areale mit erhöhtem Blattverlust für die Buche in Baden-Württemberg sichtbar. Vor allem in Teilen des Neckarlandes, des Hochrheins und des Kraichgaus steigt der Blattverlust der Buchen deutlich an. Nach einer kurzzeitigen Erholung im Jahr 2007 bildet sich in den Folgejahren erneut eine derartige Verteilung der Schadgebiete aus. Im Jahr 2013 sind neben den Regionen Hochrhein und Kraichgau auch erstmals Teile des südlichen Neckarlandes und des Allgäus von erhöhten Blattverlusten der Buche betroffen.

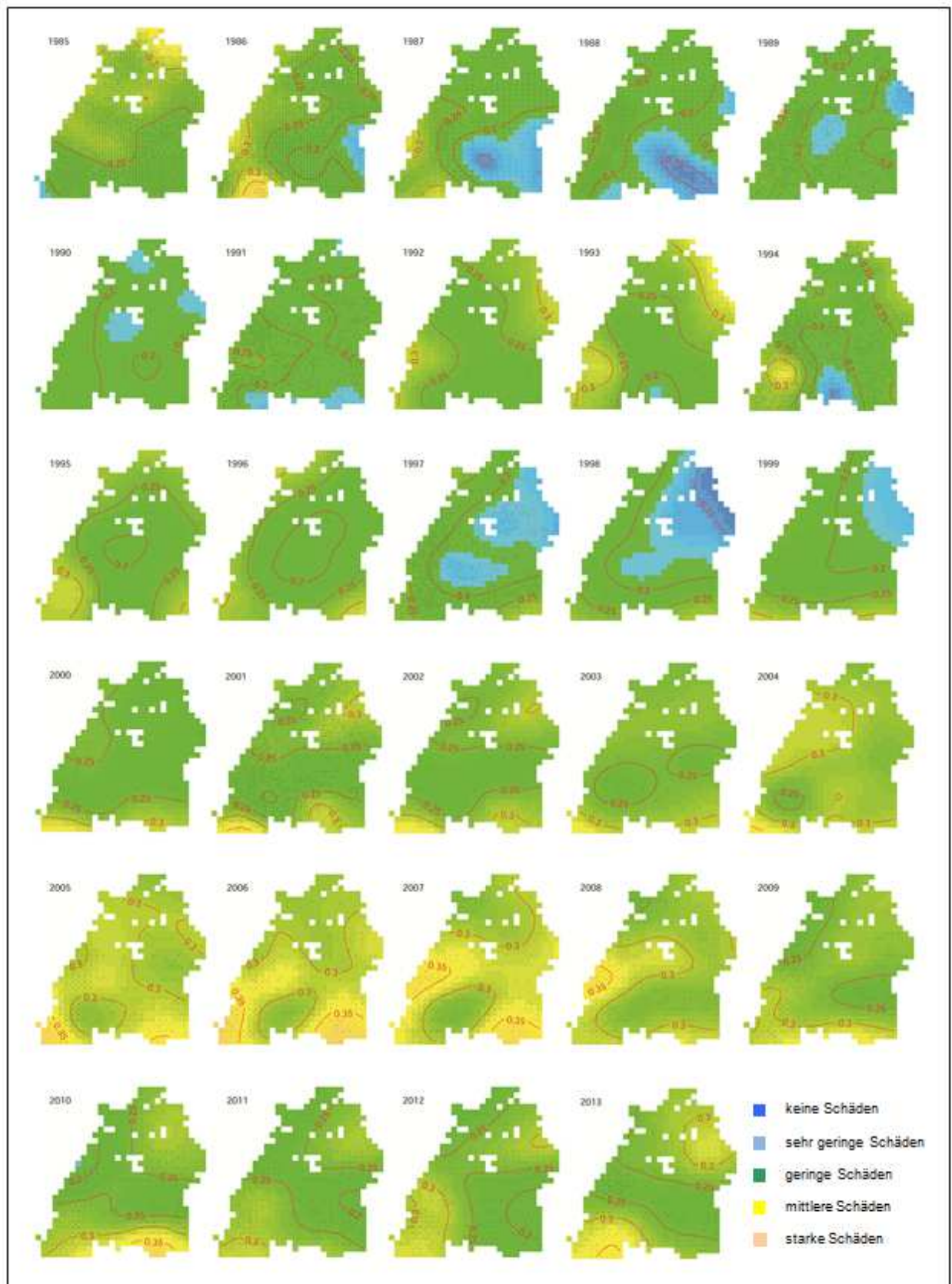


Abb. 36: Räumlicher Entwicklungstrend der Nadelverluste für die Baumart Fichte nach dem Raum-Zeit-Modell (rote Linien: Isolinien gleichen Nadelverlustes)

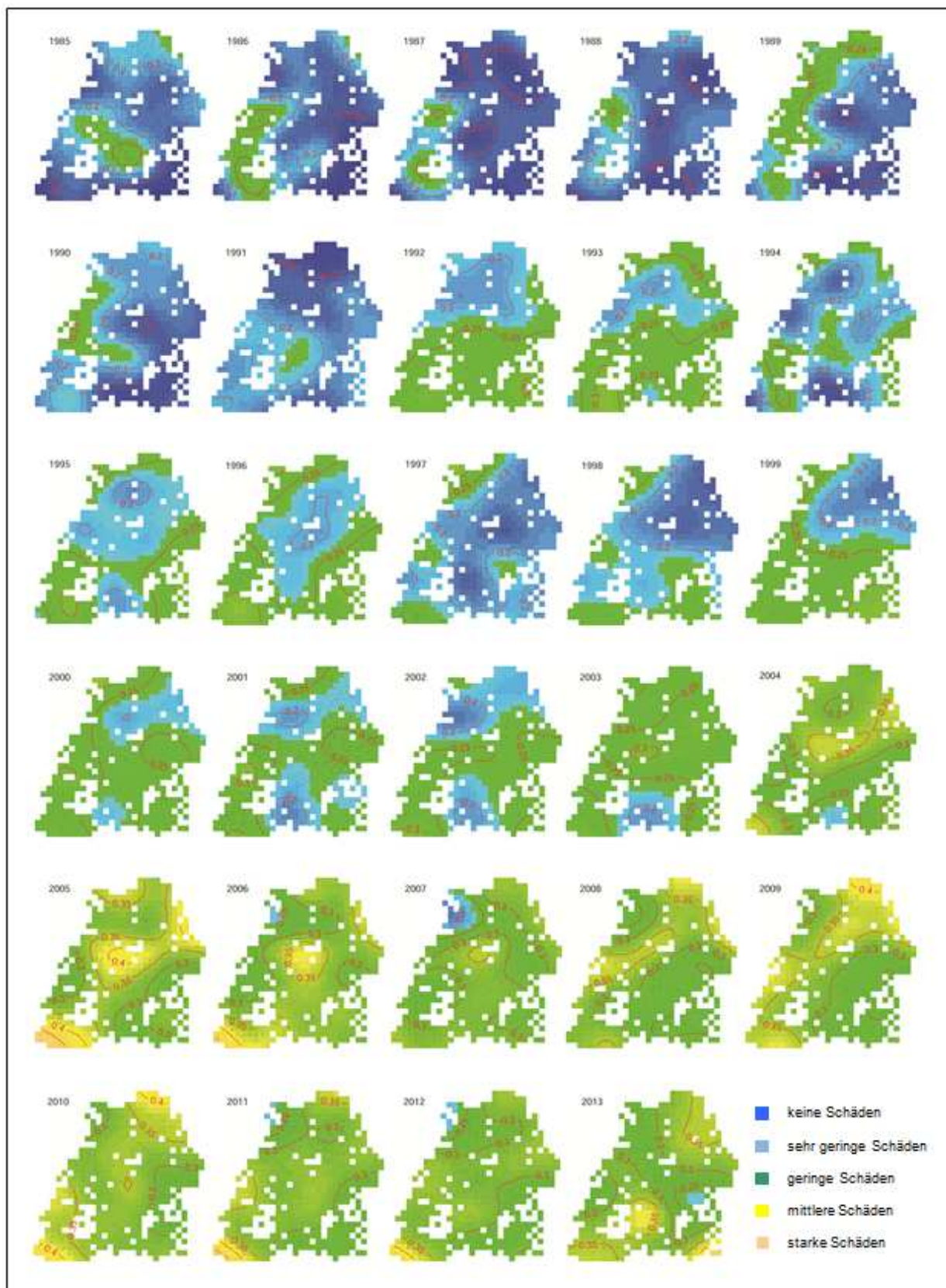


Abb. 37: Räumlicher Entwicklungstrend der Blattverluste für die Baumart Buche nach dem Raum-Zeit-Modell (rote Linien: Isolinien gleichen Blattverlustes)

4 DIE INTENSIVMESSFLÄCHEN

Die Intensivmessflächen in Baden-Württemberg wurden Mitte der 1990er Jahre aufgebaut, um die Reaktion der Wälder auf schädigende Umwelteinflüsse wissenschaftlich zu untersuchen. Um Ursache-Wirkungsbeziehungen in Wäldern erkennen zu können, wurden die Intensivmessflächen im Laufe der Zeit mit einer Vielzahl von Messeinrichtungen ausgestattet, die es ermöglichen, umfangreiche Datensätze zu ökosystemrelevanten Einflussgrößen auf den Waldzustand zu erheben (Abb. 38 und Abb. 39).

Aus Gründen der methodischen Vergleichbarkeit wurden die Intensivmessflächen zunächst ausschließlich in Fichtenreinbeständen angelegt. In den Jahren 2008 bzw. 2009 wurde das Messprogramm auch auf die Baumart Buche erweitert. An den bereits bestehenden Fichtenversuchsflächen Heidelberg, Altensteig, Conventwald, Esslingen und Ochsenhausen wurde in unmittelbarer räumlicher

Nähe jeweils eine Buchenintensivmessfläche mit vergleichbarer Aufnahmemethodik angelegt. Somit können nun baumartenspezifische Reaktionen auf einwirkende Umwelteinflüsse der beiden Hauptbaumarten Baden-Württembergs dargestellt werden.

Das Messprogramm der Intensivmessflächen Baden-Württembergs umfasst Parameter des Energie- und Stoffhaushaltes sowie die Aufnahme zahlreicher biologischer Systemreaktionen (Tab. 4). Je nach Messgröße variiert die zeitliche und räumliche Auflösung. Die zeitlichen Aufnahmeabstände reichen von einer kontinuierlichen Messung bis hin zu jährlichen bzw. mehrjährigen Aufnahmewiederholungen. Die Datenübermittlung der in einer prozessgesteuerten Speichereinheit (Datenlogger) abgelegten Daten erfolgt überwiegend per Datenfernübertragung.

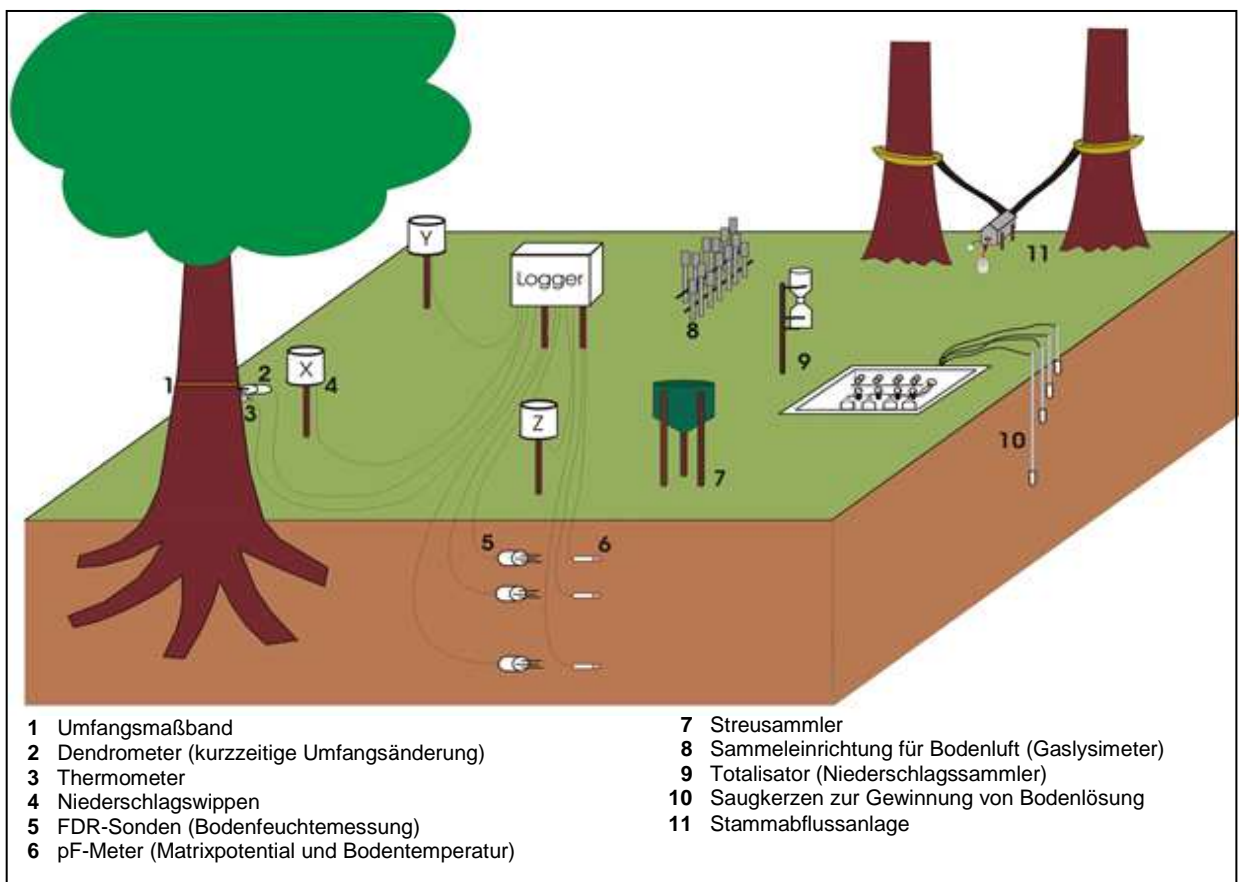


Abb.: 38: schematischer Aufbau einer Intensivmessfläche. Messeinrichtungen zur Erfassung von Wasser- und Stoffflüssen sind nach der Kronendichte differenziert in Kronenkernen (x), am Kronenrand (y) und in 2 bis 5 m² großen Kronenlücken (z) installiert

Tab.: 4: Messprogramm auf den Intensivmessflächen Baden-Württembergs

Zielgröße	Messgröße	Räumliche Auflösung	Zeitliche Auflösung
Meteorologische Messungen	Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Freilandniederschlag, Bestandesstammabfluss, Bestandesniederschlag, Bodentemperatur, Lufttemperatur im Bestand	3 Kronensituationen 3 Tiefenstufen 3 Wiederholungen	alle 15 Min.
Bodenwasserhaushaltsparameter	Matrixpotential und Bodenfeuchte	je 3 Tiefenstufen in 3 Kronensituationen	alle 15 Min.
Bodenluft	Bodenluftkonzentration z.B. Kohlendioxid (CO ₂)	mind. 3 Tiefenstufen mit je 4 Wiederholungen	kontinuierlich
Luftqualität	Atmosphärenkonzentration z.B. Ozon (O ₃)		kontinuierlich
Bodenwasser	Sickerwasseranalyse (Stoffkonzentration)	4 Tiefenstufen mit je 3 Wiederholungen	kontinuierlich
Deposition	Stammabfluss Bestandesniederschlag Freilandniederschlag	Mischprobe von 3 Behältern 12 Sammler (Bestand) 3 Sammler (Freiland)	kontinuierlich
Streufall	Menge und Elementgehalt	10 Sammler	kontinuierlich
Phänologie	Austrieb, Blüte, Verfärbung	10 Bäume	Frühjahr/Herbst
Kronenzustand	Nadel-/Blattverlust, Vergilbung, biotische u. abiotische Schäden	alle Bäume der Kraft'schen Klasse 1 bis 3 (vorherrschend, herrschend und mitherrschend)	Sommer/Winter
Leaf Area Index (Blattflächenindex)		10 Aufnahmepunkte	alle 2 Jahre
Zuwachs	Dendrometer Umfangmaßbänder	an mind. 3 Bäumen Kraft'sche Klasse 1 und 2	alle 15 Min. jährlich
Ernährungszustand	Elementgehalte in Nadeln und Blättern	5 Bäume	alle 3 Jahre
Bodenzustand	Chemischer und physikalischer Bodenzustand, Wasserhaushaltskennwerte	Leitprofil	alle 10 Jahre

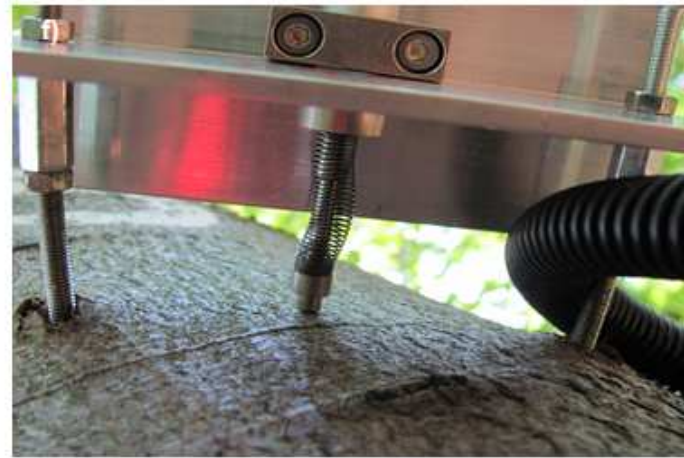
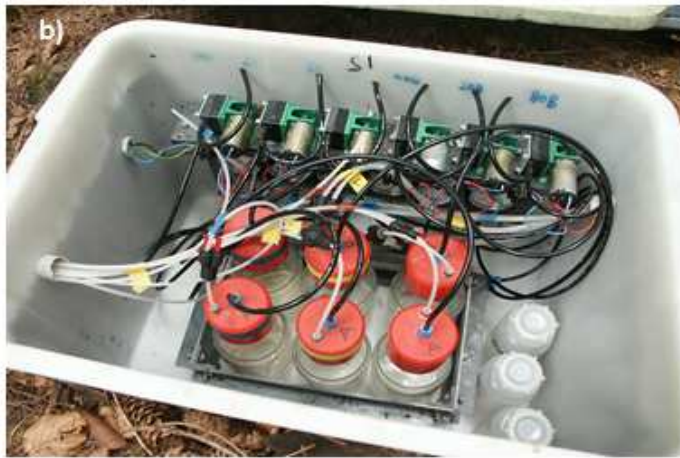


Abb. 39: Untersuchungsschwerpunkte auf den Intensivmessflächen:

- a) Gaslysimeter
- b) Bodenwassergewinnung
- c) Kronenzustand Sommer/Winter
- d) Klimamessturm
- e) Phänologie
- f) Dendrometer
- g) Depositions- und Streufallbehälter

Exemplarische Ergebnisse

Im Folgenden werden die Intensivmessflächen Heidelberg, Esslingen und Ochsenhausen (Abb. 40) näher beschrieben und Ergebnisse der Bodenuntersuchungen, der Depositionsmessungen sowie der Nährstoffversorgung der Wälder exemplarisch dargestellt.

Bodeneigenschaften in Heidelberg

Die Böden im südlichen Odenwald bildeten sich auf nährstoffarmen und i.d.R. gut wasserdurchlässigen Sandsteinen. So konnte in Kombination mit hohen Niederschlägen und einer z.T. sehr hohen Deposition an anthropogenen Säuren die Bodenentwicklung bereits soweit fortschreiten, dass die basischen Puffersubstanzen aus dem Boden größtenteils ausgewaschen sind. Diese fortgeschrittene Versauerung ist am Bodenprofil erkennbar: Die stark versauerten Partien im Oberboden haben durch die Auswaschung von organischer Substanz und von Aluminium, Eisen und Mangan, eine fahlgraue Färbung, gelegentlich mit einem Violettstich durch organische Säuren (Abb. 41). Die im Oberboden gelösten Substanzen fallen dann

teilweise im nahen Unterboden wieder aus, so dass sich rötlich-schwarze Bodenschichten ausbilden. Dieser Prozess der Podsolierung ist charakteristisch auf den ansonsten durch Verbraunungsprozesse (d.h. Tonminerafreisetzung aus der Verwitterung) gekennzeichneten Standorten der Region. Typischerweise weisen diese Böden sehr geringe pH-Werte auf, die in der Humusaufgabe z.T. Werte unterhalb von drei erreichen können. Das geht einher mit einer sehr geringen Basensättigung, die auch im Oberboden z.T. auf Werte unter 10 Prozent fallen kann. Im Unterboden (unterhalb 30 bis 50 cm) steigen diese Kennwerte bei natürlicher Podsolierung deutlich an und bilden dort eine Nährelementreserve für die Bestandesernährung. Durch die Wirkung hochmobiler, starker Säuren wurde die Versauerungsfront für Baumwurzeln unerreichbar tief in den Boden verlagert. Somit weisen diese Böden jetzt nur noch geringe Nährstoffpotentiale auf. Die Nährstoffausstattung der Böden insbesondere in der Humusaufgabe wird zudem durch die Art des Waldbestandes bestimmt. Für den Fichtenstandort in Heidelberg ist eine deutlich schlechtere Humusform kennzeichnend (Moder), da hier durch die Nadelstreu nur geringe Anteile an basischen Kationen eingetragen werden, welche den Humusabbau auf den biologisch wenig aktiven Böden positiv anregen könnten. Dahingegen weist die Humusaufgabe auf der Buchenfläche deutlich bessere Abbaubedingungen auf (Mull), was darauf zurückzuführen ist, dass die Buchenstreu höhere Anteile an basischen Nährstoffen aufweist. Buchen vermögen höhere Anteile an basischen Nährstoffen über die Wurzeln in die Blätter zu transportieren, die über den Blattfall wieder in den Nährstoffkreislauf zurückgeführt werden (Basenpumpe).

Bodeneigenschaften in Esslingen

Geologisch ist der Standort Esslingen im Mittleren Keuper gelegen, welcher große Teile des Schwäbisch-Fränkischen Waldes prägt. Dabei ist ein kleinräumiger Wechsel von tonigen und sandigen Substraten für eine hohe Heterogenität der Bodeneigenschaften auf kleinem Raum verantwortlich. Um diese Heterogenität abbilden zu können, befinden sich auf der Versuchsfläche Esslingen zwei Intensivmessstellen (Sand und Ton).

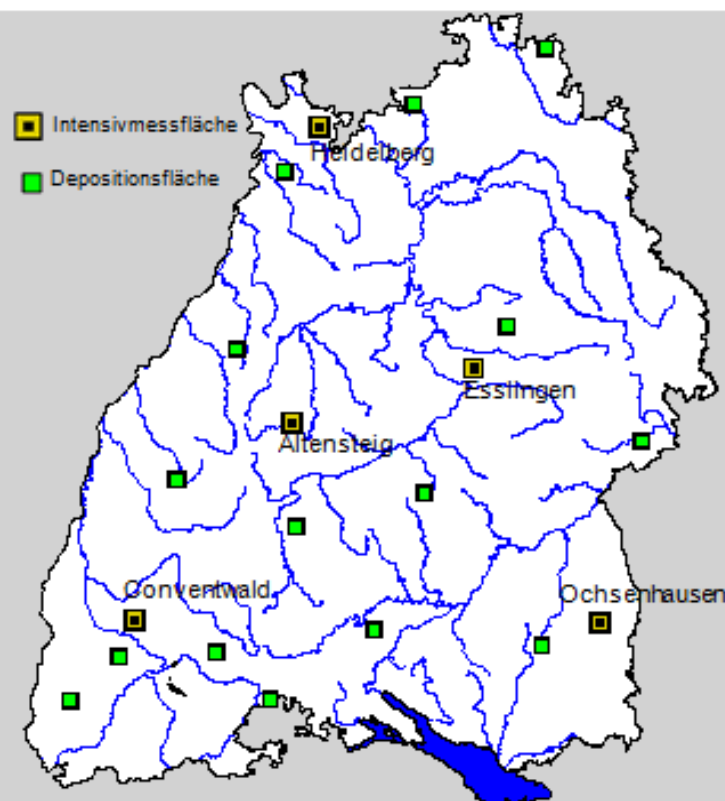


Abb.: 40: Räumliche Lage der Intensiv- und Depositionsmessflächen in Baden-Württemberg

Der sandige Standort weist ähnlich wie der Standort Heidelberg eine hohe Durchlässigkeit und somit eine Tendenz zur Podsolierung auf. Jedoch ist der Unterboden noch stärker von nährstoffreichen Substraten geprägt, so dass hier höhere pH-Werte und Basensättigungen eine bessere Nährstoffversorgung garantieren (Abb. 42).

Der tonige Standort ist durch eine sehr geringe Wasserleitfähigkeit vor allem im Unterboden charakterisiert, was dazu führt, dass Regenwasser nur schlecht versickert und sich im Boden staut. Dies führt zu Luftmangel und zu einer eingeschränkten Durchwurzelbarkeit. Das Quell- und Schrumpfverhalten dieser stark tonigen Böden fördert zwar im Zuge von

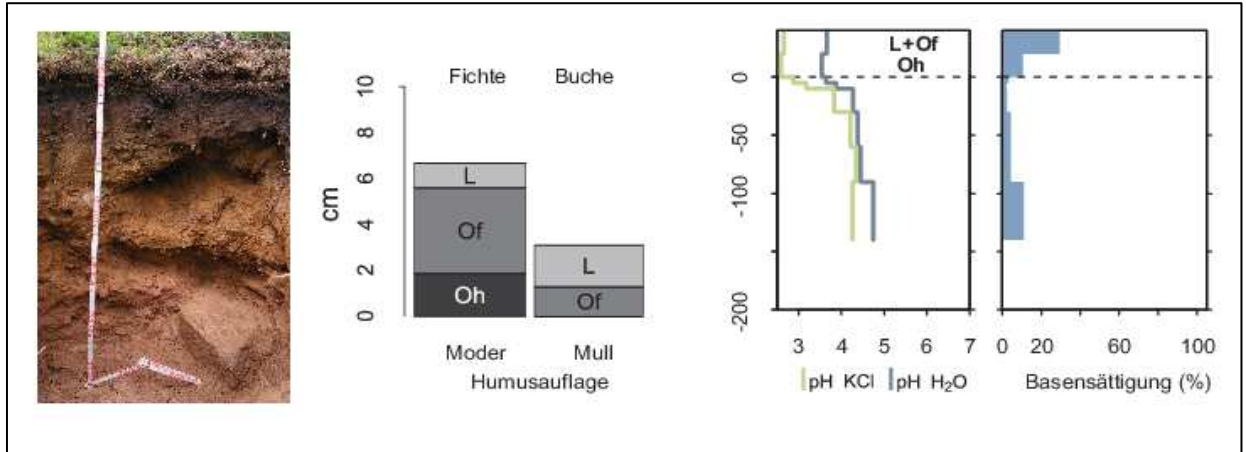


Abb. 41: Standort Heidelberg. Bodenform: mäßig podsolige Braunerde aus Mittlerem Buntsandstein

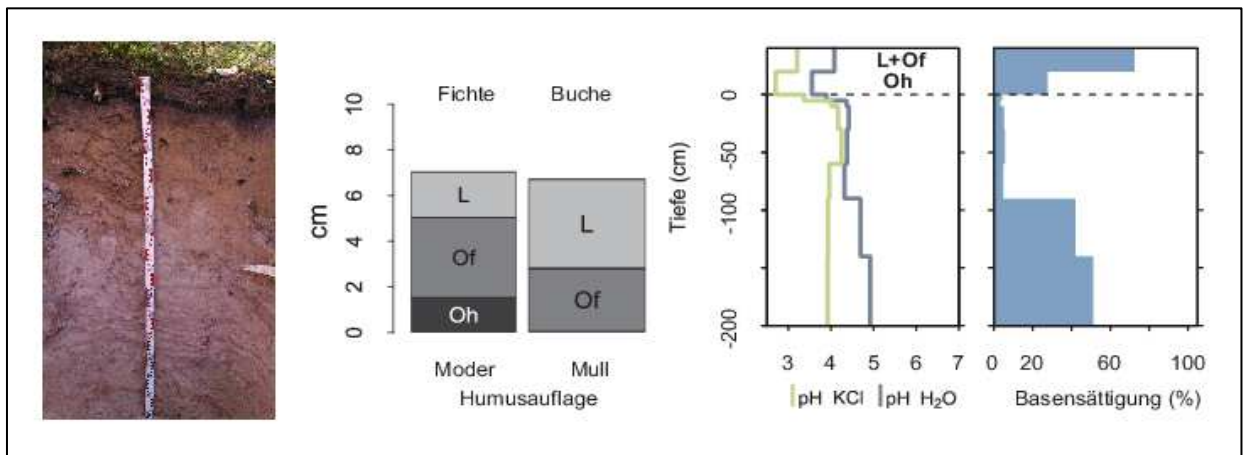


Abb. 42: Standort Esslingen (Sand). Bodenform: stark podsolige Normbraunerde aus Stubensandstein

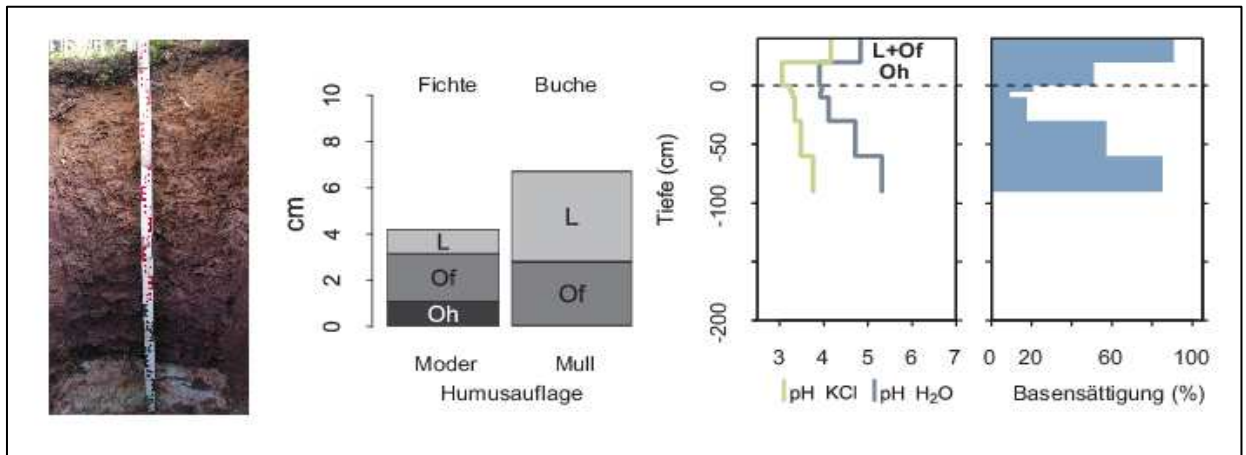


Abb. 43: Standort Esslingen (Ton). Bodenform: schwach podsoliger Pelosol-Pseudogley aus Bunten Mergel

Durchfeuchtung und Austrocknung zum einen die Ausbildung von Grobporen, was sich positiv auf den Luft- und Wasserhaushalt ausprägt, jedoch birgt diese Dynamik auch ein hohes Stresspotential für die Feinwurzeln, so dass sich eher flachgründige Wurzelaustragungen bilden. Dieser tonige Standort verfügt jedoch über deutlich höhere Nährstoffpotentiale als die Standorte auf Sandstein, was sich in höheren pH-Werten und Basensättigungen widerspiegelt (Abb. 43).

Bodeneigenschaften in Ochsenhausen

Die Böden im Südwestdeutschen Alpenvorland bildeten sich überwiegend auf Gletscher- und Schmelzwasserablagerungen. Die Intensivmessfläche Ochsenhausen befindet sich auf Geschiebemergel einer Rissmoräne, d.h. auf Ablagerungen der vorletzten Kaltzeit. Das ursprünglich durchgehend karbonathaltige Ausgangsmaterial ist im Laufe der Bodenentwicklung insbesondere durch Nährstoffaufnahme im Hauptwurzelraum (bis ca. 60 cm) und Auswaschung an Basen verarmt (Abb. 44). Der Unterboden weist jedoch noch sehr hohe Nährstoffpotentiale auf. Die deutlich geringeren pH-Werte der Kalium-Chlorid-Lösung (pH-KCl) gegenüber den in Wasser gemessenen pH-Werten (pH-H₂O) zeigen an, dass auch auf diesen Standorten in den vergangenen Jahrzehnten bereits eine Versauerung aufgrund von Schadstoffeinträgen stattgefunden hat, die den Boden weit über die natürliche Versauerungsintensität hinaus entbast und verarmt hat. Im Zuge der natürlichen Bodenbildung wurde der

Oberboden entkalkt. Dabei wurden die zuvor über Kalkbrücken verknüpften Tonpartikel voneinander getrennt und mit dem Bodenwasser verlagert (Prozess der Lessivierung in der Parabraunerde). So reicherte sich der Unterboden sukzessive mit Tonmineralen an, welche die Poren verengten bzw. verstopften. Dadurch reduzierte sich die Wasserleitfähigkeit und es kommt zu temporärem Luftmangel und ungünstigen Durchwurzelungsbedingungen, was für den Bodentyp Pseudogley kennzeichnend ist.

Deposition

Schadstoffeinträge in die Wälder Baden-Württembergs werden seit Mitte der 1980er Jahre von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) gemessen. Die Depositionsmessflächen wurden zunächst in weitgehend homogenen Fichtenbeständen angelegt, um einen räumlichen Einblick über die Stoffeinträge in die Wälder Baden-Württembergs zu erhalten, der möglichst nicht durch Baumarten- und Bestandeseffekte variiert wird. Dabei lag der Fokus zunächst auf der quantitativen Abschätzung der anthropogen bedingten Versauerungs- und Stickstofflast der Fichtenversuchsflächen. Parallel dazu werden die Stoffeinträge auf einer nahe gelagerten Freilandfläche gemessen (Abb. 45). Seit dem Jahr 2010 sind auch die neu angelegten Buchenversuchsflächen mit Depositionsmessinstrumenten ausgestattet, so dass die Stoffeinträge auf den Versuchsflächen baumartenspezifisch interpretiert werden können.

In den Abbildungen 46 und 47 sind die gemessenen

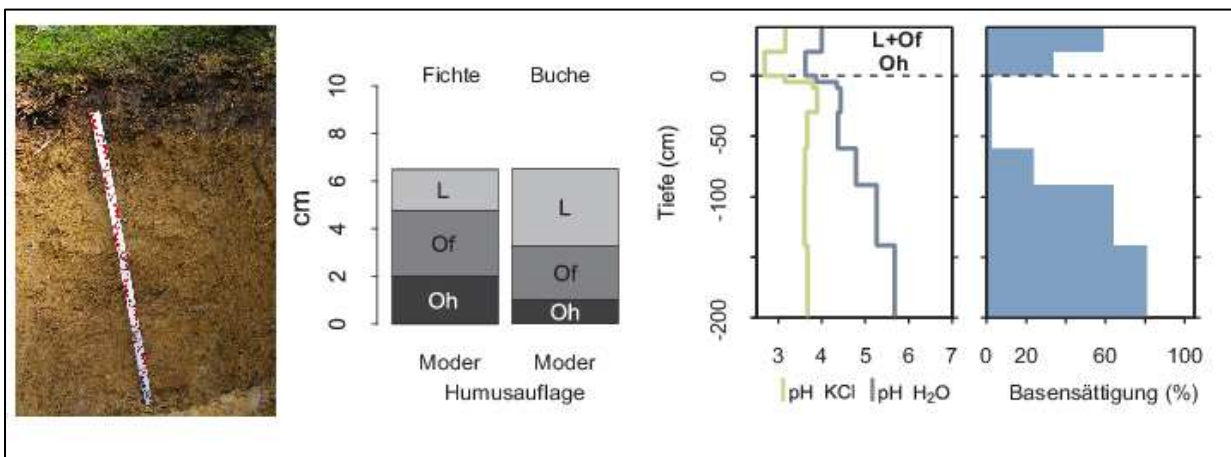


Abb. 44: Standort Ochsenhausen, Bodenform: schwach podsolige Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebemergel (Rissmoräne)

Stoffeinträge der Intensivmessflächen Heidelberg, Esslingen und Ochsenhausen für das hydrologische Sommer- bzw. Winterhalbjahr dargestellt (Mai-Oktober und November-April). Da sich die Phosphor-, Kalium- und Magnesiumeinträge in ihrer Tendenz nur geringfügig zwischen den Versuchsflächen unterscheiden, werden für diese Depositionen lediglich beispielhaft die Ergebnisse der Versuchsfläche Ochsenhausen abgebildet.

Stoffeinträge in Heidelberg

Die **Stickstoffeinträge** setzen sich aus anorganischem Ammonium und Nitrat sowie aus organisch gebundenen Stickstoffverbindungen zusammen. Der Gesamtstickstoff im Niederschlag wird seit 1996 bestimmt. Die gemessenen Stickstoffeinträge an der Versuchsfläche Heidelberg bewegen sich unter Fichte über den gesamten Zeitraum relativ unverändert im Bereich von 15 kg/ha/Halbjahr (Abb. 46, links). Etwa

51 Prozent des Stickstoffeintrags stammen aus Ammonium- und 41 Prozent aus Nitrateintrag. Ca. 8 Prozent des Stickstoffeintrags gehen auf organische Stickstoffverbindungen zurück. Dabei liegen die Stickstoffeinträge im Sommerhalbjahr meist höher als im Winterhalbjahr, was einerseits durch die erhöhte Düngetätigkeit der Landwirtschaft im Sommer aber auch durch höhere Ferntransportraten von gas- und partikulären Stickstoffverbindungen im niederschlagsärmeren Sommer begründet ist. Auf dem Freiland der Versuchsfläche Heidelberg lagen die Stickstoffeinträge über eine lange Periode relativ konstant bei ungefähr 7 kg/ha/Halbjahr. In den letzten beiden Jahren ist ein tendenzieller Rückgang auf ca. 5 kg/ha/Halbjahr zu verzeichnen. Unter Buche wird seit dem Winterhalbjahr 2010 beprobt. Hier liegen die Stickstoff-Eintragswerte mit durchschnittlich etwa 8 kg/ha/Halbjahr und ebenfalls starkem Unterschied zwischen Sommer- und Winterhalbjahr nur wenig über



Abb.: 45: Freilandfläche der Versuchsfläche Ochsenhausen

den Freilandeinträgen. Dies ist hauptsächlich durch die niedrige Akkumulation von Luftschadstoffen im entlaubten Winterzustand der Buchenflächen bedingt. Bei den gemessenen **Sulfateinträgen** ist auf der Versuchsfläche Heidelberg seit Beginn der Messperiode eine deutliche Abnahme zu erkennen. Während zu Beginn der 1990er Jahre die bisher höchsten Eintragswerte unter Fichte noch bei fast 40 kg/ha/Halbjahr lagen, sind die Sulfateinträge in den letzten Jahren deutlich auf rund 10-12 kg/ha/Halbjahr zurückgegangen. Da Sulfat vorwiegend aus

Verbrennungsprozessen fossiler Brennstoffe freigesetzt wird, sind die Einträge im Winterhalbjahr meist höher als im Sommerhalbjahr. Im Freiland gingen die Einträge von rund 15 kg/ha und Halbjahr auf 5 kg/ha/Halbjahr zurück. Unter Buche bewegen sich die Einträge leicht über denen des Freilandes. Die Versuchsfläche Heidelberg weist auf Grund ihrer exponierten Lage am Westtrauf des Odenwalds und der Nähe zum Ballungsraum Rhein-Neckar die höchsten Sulfateinträge der drei vorgestellten Stationen auf.

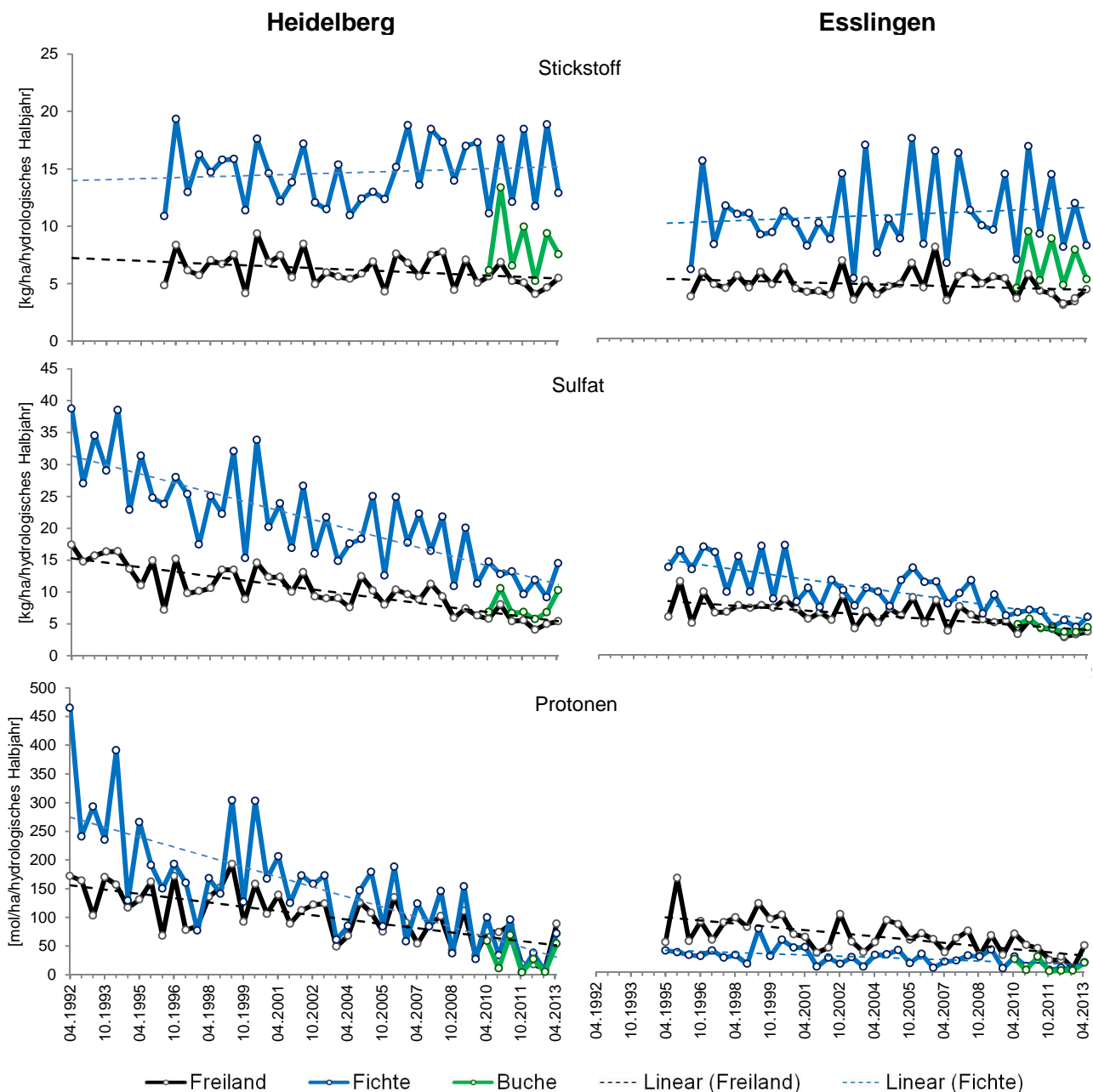


Abb. 46: Depositionsraten von Stickstoff, Sulfat und Protonen auf der Versuchsfläche Heidelberg (links) und Esslingen (rechts). Jeweils Mittelwerte für hydrologische Sommer- und Winterhalbjahre.

Das seit Beginn der 1990er Jahre zu beobachtende Absinken der direkt gemessenen **Protoneneinträge** (d.h. der Eintrag dissoziierter Säuren) unter Fichte von rund 300 mol/ha/Halbjahr auf ca. 50 mol/ha/Halbjahr ist im Wesentlichen auf die rückläufigen Sulfateinträge zurückzuführen. Entsprechend der Sulfateinträge sind auch die Protoneneinträge im Winterhalbjahr tendenziell höher als im Sommerhalbjahr. Auffällig ist, dass in Heidelberg im Vergleich zu den Stationen Esslingen und Ochsenhausen bis etwa zum Jahr 2005 die gemessenen Protoneneinträge im Freiland unter denen des Fichtenbestandes lagen. Dieses Phänomen lässt sich auch an anderen Versuchsflächen des Forstlichen Umweltmonitorings, wie z.B. Rotenfels, Gengenbach, Schauinsland und Blauen, beobachten, die ebenfalls am Westtrauf des Schwarzwaldes bzw. im Falle von Heidelberg des Odenwaldes liegen. Im Bestandesniederschlag dieser Messstationen ist eine messbare Akkumulation von Protonen nachweisbar. Dies bedeutet, dass die deponierte Protonenfracht die Pufferleistung im Kronenraum überstieg. Die Protoneneinträge unter Buche liegen in Heidelberg in einer vergleichbaren Größenordnung wie unter Fichte. Von den drei betrachteten Intensivmessflächen weist Heidelberg sowohl im Freiland- wie auch im Bestandesniederschlag die höchsten gemessenen Sulfat- und Protoneneinträge auf.

Die gemessenen Protoneneinträge machen allerdings nur einen geringen Teil der in die Waldbestände eingetragenen Säuremenge aus. Bei der Bestimmung der Gesamtsäureeinträge muss die versauernde Wirkung der Einträge an Ammoniumstickstoff sowie die Kronenpufferung der Waldbestände (Abb. 59) hinzugerechnet werden.

Stoffeinträge in Esslingen

Die gemessenen **Gesamtstickstoffeinträge** unter Fichte auf der Versuchsfläche Esslingen liegen seit Mitte der 1990er Jahre durchschnittlich bei rund 10-12 kg/ha/Halbjahr (Abb. 46, rechts). Etwa 45 Prozent des Stickstoffeintrags gehen dabei auf Nitratreintrag und etwa 43 Prozent auf Ammoniumeintrag zurück. Ca. 12 Prozent des Stickstoffeintrags stammen von organisch gebundenen Stickstoffverbindungen.

Die Freilandeinträge pendeln um 5 kg/ha/Halbjahr mit leicht fallender Tendenz in den letzten zwei Jahren.

Unter Buche werden im Mittel um die 7 kg/ha/Halbjahr gemessen.

Die gemessenen **Sulfateinträge** unter Fichte liegen in Esslingen bereits seit Mitte der 1990er Jahre niedriger als in Heidelberg. Ausgehend von einer Sulfateintragshöhe von 15 kg/ha/Halbjahr zu Beginn der Messungen werden derzeit noch rund 5 kg/ha/Halbjahr gemessen. Im Freiland sanken die Einträge von anfangs rund 8 kg/ha/Halbjahr auf derzeit ca. 3 kg/ha/Halbjahr. Die Einträge unter Buche ähneln den Freilandeinträgen.

Im Vergleich zur Versuchsfläche Heidelberg liegen die gemessenen **Protoneneinträge** unter Fichte schon Mitte der 1990er Jahre mit zwei Ausnahmen unter 50 mol/ha/Halbjahr auf einem wesentlich niedrigeren Niveau. Dies korrespondiert mit den in Esslingen geringeren Sulfateinträgen. Derzeit werden Protoneneinträge in einer Größenordnung von rund 10 mol/ha/Halbjahr gemessen. Im Freiland lagen die Protoneneinträge anfangs bei rund 80 mol/ha/Halbjahr, in den letzten Jahren sind die Einträge auf ca. 25 mol/ha/Halbjahr gesunken. Die im Vergleich zum Freiland niedrigeren messbaren Protoneneinträge weisen auf eine Pufferung im Kronenraum hin. Die Einträge unter Buche liegen auf der Höhe der Freilandeinträge. Die Schwankungen der gemessenen Sulfat- und Protoneneinträge zwischen Sommer- und Winterhalbjahr sind auf der Versuchsfläche Esslingen weniger stark ausgeprägt wie in Heidelberg.

Stoffeinträge in Ochsenhausen

Die Versuchsfläche Ochsenhausen weist unter Fichte leicht abnehmende **Gesamtstickstoffeinträge** auf. Lagen die Werte bis zum Jahr 2005 bei durchschnittlich rund 17 kg/ha/Halbjahr, werden derzeit noch ungefähr 15 kg/ha/Halbjahr gemessen (Abb. 47). Im Gegensatz zu Heidelberg und Esslingen liegt der Eintrag von Ammoniumstickstoff mit ca. 51 Prozent deutlich über dem Eintrag von Nitratstickstoff (32 Prozent) was auf erhöhte Einträge aus landwirtschaftlichen Emissionsquellen, insbesondere aus der Tierhaltung, zurückzuführen ist. Der Eintrag von organischen Stickstoffverbindungen ist hier mit 17 Prozent gegenüber den anderen Flächen ebenfalls erhöht. Im Freiland sind die Stickstoffeinträge seit Mitte der 1990er Jahre von ca. 7 kg/ha/Halbjahr auf derzeit

ca. 5 kg/ha/Halbjahr gesunken. Unter Buche liegen die Eintragswerte mit 10 kg/ha/Halbjahr um rund ein Drittel niedriger als unter Fichte.

Die gemessenen **Sulfateinträge** unter Fichte lagen Mitte der 1990er Jahre mit durchschnittlich rund 25 kg/ha/Halbjahr nur leicht unter dem Eintragsniveau der Fläche Heidelberg. Ende der 1990er Jahre begannen die Einträge von Sulfat auf der Versuchsfläche Ochsenhausen deutlich zu sinken und

liegen derzeit bei rund 5 kg/ha/Halbjahr und damit deutlich niedriger als in Heidelberg. Im Freiland sanken die Einträge von anfangs 10 kg/ha/Halbjahr auf ca. 3 kg/ha/Halbjahr. Die Einträge unter Buche liegen ähnlich hoch wie unter Fichte. Während bei Fichte die Höchstwerte im Winterhalbjahr auftreten, sind die Einträge unter Buche im Sommerhalbjahr im belaubten Zustand höher. Der unerwartet hohe Sulfateintrag ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf lokale Emittenten im Raum Oberschwaben zurückzuführen.

Trotz vergleichbarer Sulfateinträge zu Beginn der Messungen sind die **Protoneneinträge** auf der Versuchsfläche Ochsenhausen im Vergleich zu Heidelberg deutlich niedriger. Mitte der 1990er Jahre liegen die gemessenen Protoneneinträge unter Fichte bei ca. 30 mol/ha/Halbjahr und sind in den letzten Jahren etwa auf 10 mol/ha/Halbjahr gesunken. Diese niedrigen Werte sind unter anderem eine Folge der hohen Ammoniaketräge am Standort Ochsenhausen, durch welche eingetragene Protonen gepuffert werden. Im Freiland sanken die Werte von ursprünglich rund 70 mol/ha/Halbjahr auf ca. 20 mol/ha/Halbjahr. Unter Buche liegen die Protoneneinträge ähnlich niedrig wie unter Fichte. Ochsenhausen weist von den drei vorgestellten Stationen die niedrigsten gemessenen Protoneneinträge im Bestandesniederschlag auf.

Die gemessene **Phosphordeposition** unter Fichte auf der Versuchsfläche Ochsenhausen zeigt in Abhängigkeit von den Jahreszeiten eine starke Schwankung (Abb. 48). Im Sommerhalbjahr liegen die Einträge im Vergleich zum Winterhalbjahr deutlich höher. Weniger starke Schwankungen sind von Mitte der 1990er Jahre bis Anfang der 2000er Jahre zu beobachten. Während im Sommerhalbjahr meist über 100 bis 400 g/ha/Halbjahr Phosphor eingetragen wird, liegen die Werte im Winterhalbjahr meist deutlich unter 50 g/ha/Halbjahr. Hierbei spielen im Sommer sowohl diffuse Einträge über Vogelkot als auch verstärkter Pollen- und Staubeintrag eine Rolle. Im Freiland bewegt sich die Phosphordeposition mit wenigen Ausnahmen über das gesamte Jahr unter 50 g/ha/Halbjahr. In den drei Jahren, die unter Buche gemessen wird, weisen zwei Sommerhalbjahre mehr als doppelt so hohe Phosphoreinträge wie unter Fichte auf, was vermutlich auf höhere Vogelkoteinträge in den Buchenbeständen zurückzuführen ist.

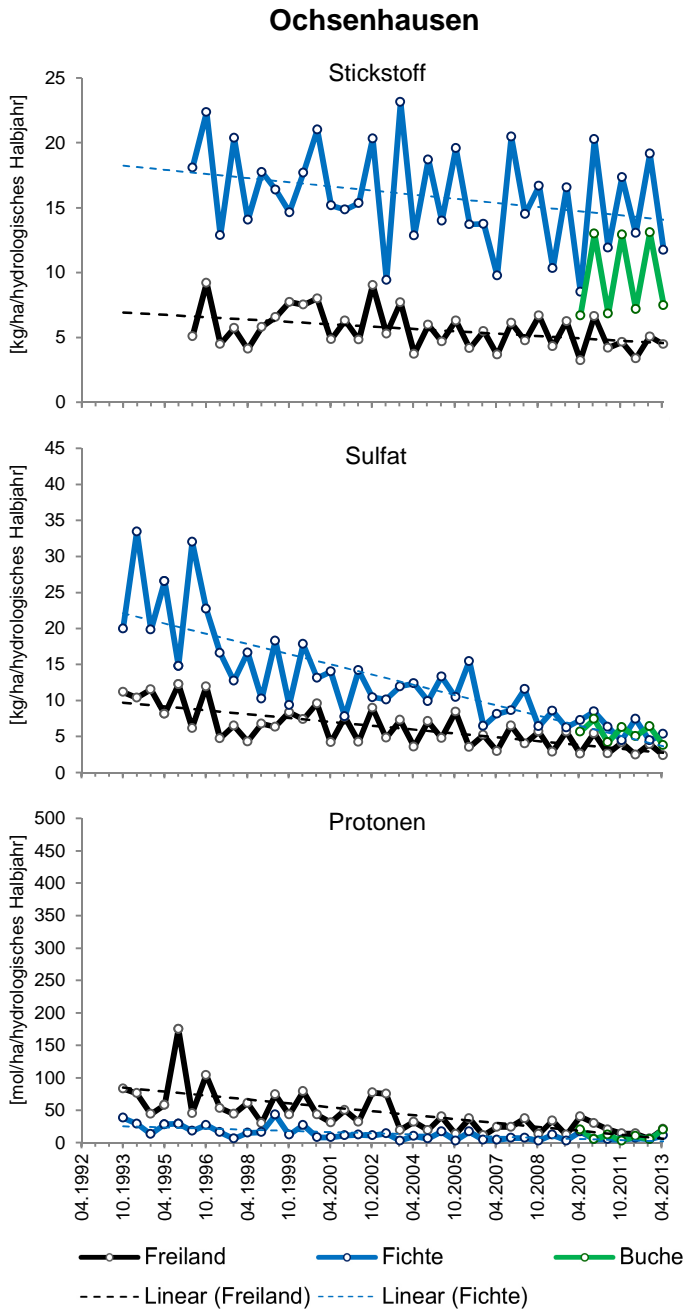


Abb. 47: Depositionsraten von Stickstoff, Sulfat und Protonen auf der Versuchsfläche Ochsenhausen. Jeweils Mittelwerte für hydrologische Sommer- und Winterhalbjahre.

Beim gemessenen **Kaliumeintrag** unter Fichte ist ebenfalls eine starke jahreszeitliche Schwankung zu erkennen. Während im Winterhalbjahr die Eintragswerte auf der Versuchsfläche Ochsenhausen zwischen 4 und 8 kg/ha/Halbjahr liegen, werden im Sommerhalbjahr Einträge in einer Größenordnung von 8 bis 17 kg/ha/Halbjahr gemessen. Im Freiland liegt der Eintrag bei vergleichsweise geringen Unterschieden zwischen Winter- und Sommerhalbjahr meist unter 2 kg/ha/Halbjahr, in den letzten Jahren sogar unter 1 kg/ha/Halbjahr. Unter Buche bewegen sich die Kaliumeinträge in ähnlicher Höhe wie unter Fichte. Bei Kalium ist zu beachten, dass ein wesentlicher Teil des im Bestand gemessenen Eintrages aus den Kronen durch das sogenannte „Leaching“ ausgewaschen wird, also nicht aus Depositionen stammt. Dieser Effekt ist besonders während der Vegetationszeit prägnant. Des Weiteren spielen im Sommerhalbjahr wie bei Phosphor Pollenflug sowie diffuse Vogelkot- und Staubeinträge eine Rolle. Seit Anfang der 1990er Jahre ist sowohl im Bestand wie auch im Freiland eine leicht abfallende Tendenz der Kaliumeinträge zu beobachten.

Die Höhe der gemessenen **Magnesiumeinträge** sind sowohl im Fichtenbestand als auch auf der Freifläche stark jahreszeitenabhängig. Die Höchstwerte liegen wiederum im Sommerhalbjahr. Hier spielen ebenfalls Leaching, Pollenflug und Staubeinträge eine Rolle. Seit Mitte der 1990er Jahre sind die Magnesiumeinträge auf der Versuchsfläche Ochsenhausen unter Fichte von rund 1 kg/ha/Halbjahr auf etwa 0,8 kg/ha/Halbjahr gesunken. Im Freiland halbierten sich die Einträge von rund 0,3 kg/ha/Halbjahr auf etwa 0,15 kg/ha/Halbjahr. Die Magnesiumeinträge unter Buche liegen meist zwischen Freiland und Fichte.

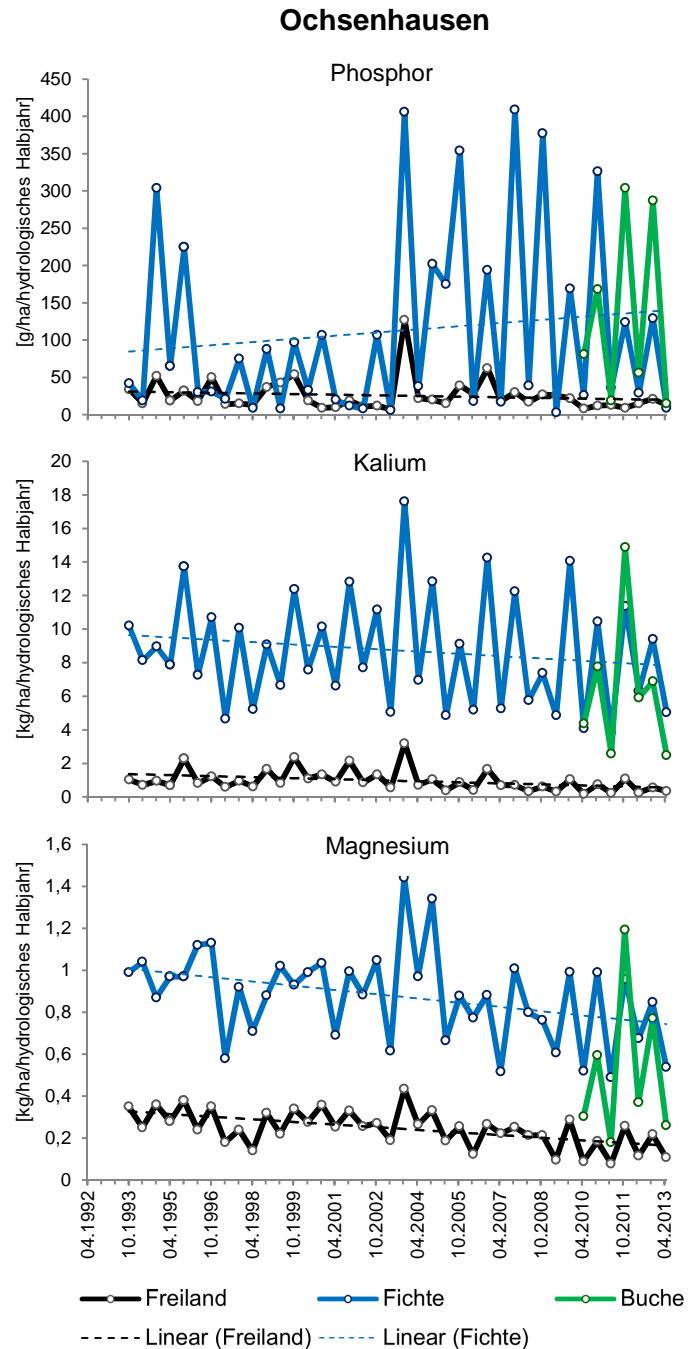


Abb. 48: Depositionsraten von Phosphor, Kalium und Magnesium auf der Versuchsfläche Ochsenhausen. Jeweils Mittelwerte für hydrologische Sommer- und Winterhalbjahre.

Waldernährung

Auf den Intensivmessflächen Baden-Württembergs wird die Ernährungssituation der Bäume seit Mitte der 1990er Jahre überwacht. Alle zwei bis drei Jahre werden Nadelproben der Baumart Fichte entnommen (Abb. 49) und im Labor auf ihre Inhaltsstoffe hin analysiert. Ein vergleichbares Messprogramm wird auf den korrespondierenden Buchenflächen seit 2010 umgesetzt. Damit kann die Ernährungssituation der Baumarten Fichte und Buche in ihrer zeitlichen Entwicklung dargestellt werden. Die Verknüpfung der Nadel- und Blattgehalte mit den zeitlich hoch aufgelöst vorliegenden Daten der Intensivmessflächen, wie z.B. die Zusammensetzung der Bodenlösung, der Verlauf der Witterung sowie die Kenngrößen des Wasserhaushalts, ermöglichen ursachenbezogene Analysen der Ernährungssituation auf den Versuchsflächen.

Im Gegensatz dazu liefern die Ergebnisse der landesweiten Ernährungsinventur auf den Raster-

punkten der Bodenzustandserhebung alle fünf Jahre einen Überblick über das regionale Verteilungsmuster von Nährelementgehalten der Bäume in Baden-Württemberg, so dass eventuell auftretende Mangelareale abgeleitet werden können. Zudem können die Ergebnisse als Vergleichswerte für die Nährstoffversorgung auf den Intensivmessflächen herangezogen werden.

Im Folgenden wird der Ernährungszustand der Baumarten Fichte und Buche für den Zeitraum von 1999 bis 2011 bzw. 2010 bis 2013 für die Intensivmessfläche Ochsenhausen präsentiert. Dabei wird für die Baumart Fichte die Nährstoffversorgung für den ersten sowie für den fünften Nadeljahrgang dargestellt. Da der Nährstoffbedarf in den physiologisch aktiveren jüngeren Nadeln in der Regel höher ist und die für die Baumernährung wichtigen Nährelemente zwischen den Nadeljahrgängen verlagert werden können (Ausnahme ist hierbei das Element Calcium), beinhaltet sowohl das Niveau als auch die Differenz der Nadelgehaltswerte zwischen den Nadeljahrgängen Informationen zur Versorgungslage der Bäume.

Die Gehaltswerte sind jeweils in g/kg Trockensubstanz (TS) angegeben. Für die Interpretation der Nährelementversorgung sind als horizontale Referenzlinien die Grenzwerte für eine Mangelversorgung sowie den Bereich angespannter bzw. normaler Versorgung nach Evers (1985) in die Abbildungen aufgenommen.

Calcium

Die ernährungsphysiologische Bedeutung für das Nährelement Calcium und die Schwelle einer ausreichenden bzw. unzureichenden Versorgung dieses Nährelements werden kontrovers diskutiert. Generell ist jedoch ein straffer Zusammenhang zwischen der Basenausstattung eines Standortes und den Calciumgehalten in den Nadeln bzw. Blättern gegeben. Die Calciumgehalte der Fichtennadeln an der Versuchsfläche Ochsenhausen liegen sowohl im ersten als auch im fünften Nadeljahrgang über dem Grenzwert, der nach Evers (1985) einen Mangel des Nährelements in den Nadeln anzeigt (Abb. 50, links). Während im ersten Nadeljahrgang im Beobachtungszeitraum ein tendenzieller Anstieg der Calciumwerte aus dem Bereich angespannter in Richtung normaler



Abb.: 49: Nadelprobenahme an einer Fichte durch einen Baumsteiger (Foto: O. Burde)

Versorgung erkennbar ist, bewegen sich die Calciumgehalte im fünften Nadeljahrgang auf einem einheitlichen, geringen Niveau. Im Vergleich zu den Daten für das Wuchsgebiet Alpenvorland aus der landesweiten Erhebung auf dem Rasternetz der Bodenzustandserhebung liegt das Niveau der Calciumwerte auf der Versuchsfläche Ochsenhausen tiefer als die Vergleichswerte für das Wuchsgebiet Alpenvorland im betreffenden Beobachtungszeitraum. Ein Trend für die Baumart Buche lässt sich anhand der beiden Beobachtungswerte aus den Jahren 2010 und 2013 noch nicht ableiten. Die Calciumgehalte bei der Buche sind aber analog zur Versorgungslage im 5. Nadeljahrgang bei der Fichte als angespannt bis ausreichend zu bezeichnen, wobei die Streuung wie auch der Mittelwert im Jahr 2013 deutlich höher als im Jahr 2010 ausfällt. Zieht man als Vergleich die Versorgungslage im Wuchsgebiet Alpenvorland aus der landesweiten Erhebung des Jahres 2012 heran, so ergibt sich für die Baumart Buche in Ochsenhausen eine eher unterdurchschnittliche Calciumversorgung.

Kalium

Waldbestände auf glazialen Lehmböden sind oftmals durch Kaliummangel geprägt. Zwar haben Lehmböden von Natur aus überwiegend einen hohen Kaliumvorrat, jedoch ist das Nährelement häufig im Boden nicht für die Bäume verfügbar. Ausgelöst wird dieses

Mangelphänomen durch die „chemische Alterung“ an den Aggregatoberflächen der Böden. Durch hohe Protonen- und Aluminiumkonzentrationen in der Bodenlösung wird Kalium dort von den Austauscheroberflächen verdrängt. Insbesondere in Trockenjahren, in denen Kalium nur unzureichend aus dem Aggregatinneren nachgeliefert werden kann, ist mit akutem Kaliummangel der Bäume zu rechnen, der sich auch in den Folgejahren fortsetzt. Da die Intensivmessfläche in Ochsenhausen durch hohe Stickstoffeinträge in Form von Ammonium geprägt ist, wird diese Mangelversorgung des Nährelements Kalium im Boden durch einen Aufnahmeantagonismus zwischen Ammonium und Kalium zusätzlich verschärft. Bei Ammoniumüberschuss können die Bäume über die Wurzeln entsprechend weniger Kalium aufnehmen. Tatsächlich weisen die beprobten Fichten in Ochsenhausen insgesamt niedrige Kaliumgehalte in den Nadeln auf (Abb. 50, rechts). Bei den ersten beiden Erhebungen 1999 und 2001 lagen die Gehalte im ersten Nadeljahrgang deutlich unter dem Grenzwert für Kaliummangel (4 g/kg). Gleiches trifft auch für die Jahre 2007, 2009 und 2011 zu. Eine temporäre Verbesserung der Versorgungslage ist im ersten Nadeljahrgang des Jahres 2003 und 2005 nachzuweisen. Im fünften Nadeljahrgang signalisieren die Kaliumgehalte durchgängig eine angespannte Versorgung. Diese zeitliche Entwicklung der

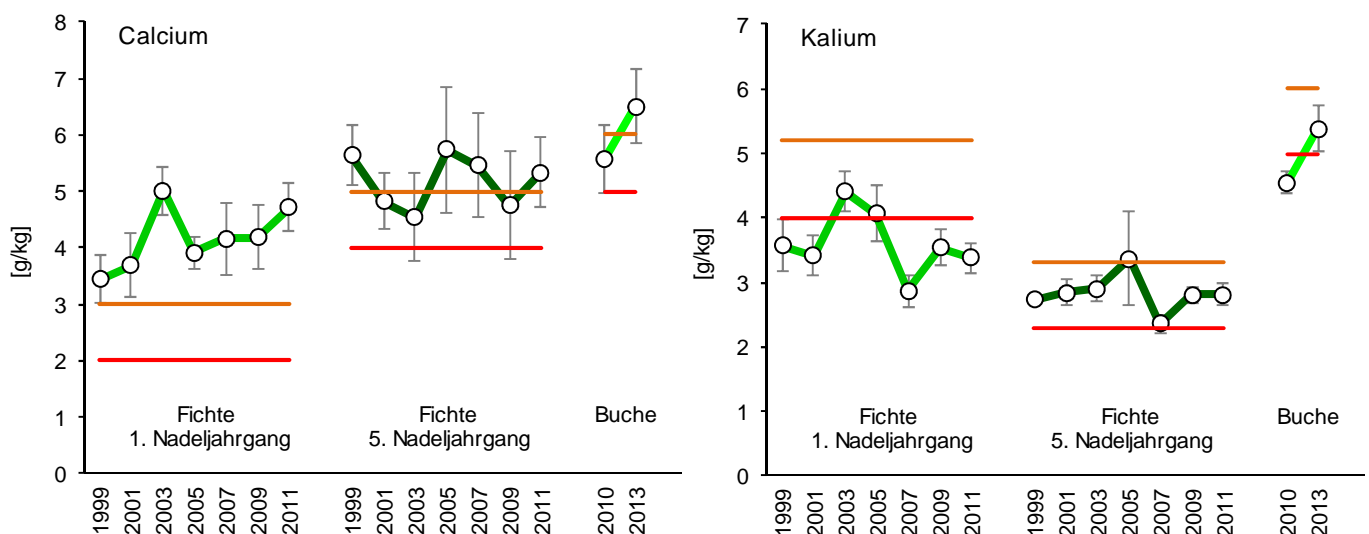


Abb. 50: Entwicklung der Calciumgehalte (links) und der Kaliumgehalte (rechts) in ein- und fünfjährigen Fichtennadeln sowie Buchenblättern auf der Versuchsfläche Ochsenhausen. Farbige Referenzlinien: Versorgungsgrenzwerte nach Evers (1985): rot=Mangelgrenze, orange=Grenze einer geringen Nährstoffversorgung



Abb.: 51: Typische Verfärbung an Buchenblättern durch Kalium-Mangel

Kaliumversorgung konnte auch im Datensatz der landesweiten Erhebung an den Messnetzpunkten der Bodenzustandserhebung festgestellt werden. Interpretiert wurde dieser Befund mit erhöhten Mineralisierungsraten organischer Substanz ausgelöst durch das Trockenjahr 2003. Dieser Mechanismus wirkt sich offensichtlich sehr schnell aus, da bereits im Jahr 2003 ein deutlicher Anstieg der Kaliumgehalte im ersten Nadeljahrgang eingetreten ist, der auf die günstigen Mineralisierungsbedingungen im feucht-warmen Frühjahr 2003 zurückgeführt werden kann. In den Kaliumkonzentrationen der Bodenlösung spiegelt sich dieser Mineralisierungseffekt unter Fichte dagegen nicht wider: Die Kalium-Konzentrationen liegen im Zeitraum von 1999 bis 2011 mit wenigen Ausnahmen sowohl unter der Humusaufgabe wie auch im Mineralboden unter 1 mg/l. Das bedeutet, dass die Baumwurzeln aus der Bodenlösung Kalium nahezu vollständig aufnehmen.

Wie für die Baumart Fichte ist auch für die Buche eine angespannte Kaliumversorgung an der Versuchsfläche Ochsenhausen zu belegen. Während im Jahr 2010 für die Buche die Mangelgrenze von 5 mg/kg TS unterschritten wird, liegt der Blattgehalt im Jahr 2013 nur knapp darüber. Dieser Befund scheint den Ergebnissen der landesweiten Inventuren der Jahre 2001, 2007 und 2012, bei denen eine weitgehend entspannte Versorgungssituation für das Nährelement Kalium für die Buche abgeleitet werden konnte, zu widersprechen, zumal die Jahre 2010 und 2013 durch eine ausreichende Wasserverfügbarkeit geprägt waren. Bei diesem Vergleich muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Wuchsgebiet Alpenvorland im Messnetz der Bodenzustandserfassung nur mit wenigen Buchen-Aufnahmepunkten repräsentiert ist.

Magnesium

Die Magnesiumversorgung der Fichte ist in Ochsenhausen durch keinen einheitlichen Trend charakterisiert. Auch das Niveau der Magnesiumgehalte zwischen den Aufnahmezeitpunkten ist uneinheitlich: Die Magnesiumgehalte des ersten Nadeljahrgangs schwanken in der Zeitreihe zwischen einer angespannten bis luxurierenden Versorgung (Abb. 52, links). Die höchsten Magnesiumgehalte wurden im Jahr 2005 sowohl im ersten wie auch im fünften Nadeljahrgang bestimmt. Insgesamt liegt die Magnesiumversorgung im fünften Nadeljahrgang über der Mangelgrenze aber immer noch im Bereich einer angespannten Versorgung.

Für die Buche ist das Jahr 2013 im Hinblick auf die Versorgung mit basischen Kationen als günstig einzustufen. Wie für Calcium und Kalium sind in den Buchenblättern in Ochsenhausen im Jahr 2013 auch höhere Magnesiumgehalte nachzuweisen. Im Gegensatz dazu ist in der landesweiten Ernährungsinventur bei der Magnesiumversorgung der Buche in den drei Inventuren seit 2001 ein deutlich abnehmender Trend festzustellen.

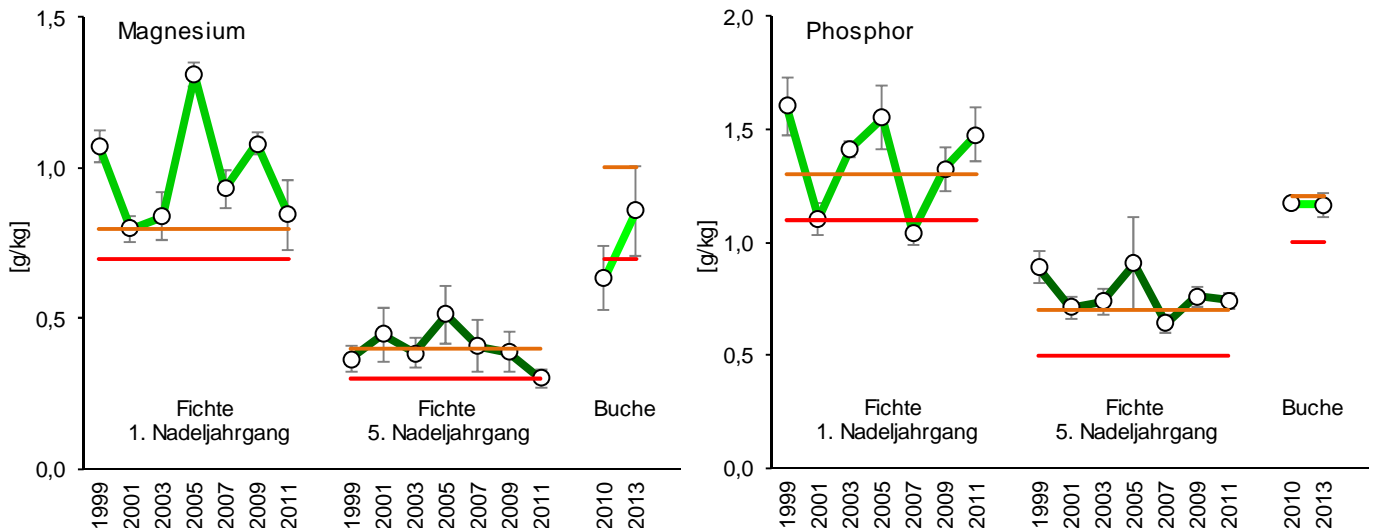


Abb. 52: Entwicklung der Magnesiumgehalte (links) und der Phosphorgehalte (rechts) in ein- und fünfjährigen Fichtennadeln sowie Buchenblättern auf der Versuchsfläche Ochsenhausen. Farbige Referenzlinien: Versorgungsgrenzwerte nach Evers (1985): rot= Mangelgrenze, orange=Grenze einer geringen Nährstoffversorgung

Phosphor

Für die Fichte wurde bei den landesweiten Erhebungen an den Rasterpunkten der Bodenzustandserhebung seit Beginn der 1990er Jahre bis 2011 ein ansteigender Trend der Phosphorgehalte in den Bereich einer normalen bis guten Phosphorernährung festgestellt. Dieses Versorgungsniveau wird auch auf der Intensivmessfläche Ochsenhausen beim überwiegenden Teil der Aufnahmen erreicht (Abb. 52, rechts). Ausnahme hiervon sind die Jahre 2001 und 2007 in denen die Phosphorgehalte der Fichtennadeln die Mangelgrenze unterschreiten. Wie für Magnesium deuten die Gehaltswerte des fünften Nadeljahrgangs auf eine angespannte Versorgungslage von Phosphor hin.

In den Buchenblättern werden die Phosphor-Schwellenwerte für eine Mangelversorgung in beiden Inventurjahren 2010 und 2013 zwar nicht unterschritten, mit Blattgehalten zwischen 1,1 und 1,2 g/kg TS ist aber auch bei der Buche eine eher angespannte Versorgungslage gegeben.

Stickstoff

Die Stickstoffgehalte im ersten Nadeljahrgang liegen wie die Phosphorgehalte überwiegend im Bereich der normalen Versorgungsstufe (Abb. 53, links).

Abweichend hiervon sind die sehr hohen Gehaltswerte der Aufnahmejahre 2003 und 2011. Auf eine latent angespannte Stickstoffversorgung weisen dagegen die Gehaltswerte im fünften Nadeljahrgang hin. Mit Ausnahme der Aufnahmejahre 1999 und 2009 liegen die Stickstoffgehalte in diesem Nadeljahrgang unter 10 g/kg TS.

In den erhöhten Stickstoffgehaltswerten des Jahres 2003 und auch noch des Jahres 2005 spiegelt sich die verstärkte Mineralisierung von organischer Substanz wider, die durch die extreme Sommertrockenheit im Jahr 2003 ausgelöst wurde. Bereits zum Ende des Jahres 2003 konnten erhöhte Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung unter der Humusaufgabe nachgewiesen werden, die auf einen verstärkten Abbau organischer Substanz zurückzuführen sind. Sie stiegen von einem Ausgangsniveau von deutlich unter 10 mg/l auf Werte über 20 mg/l an. In abgeschwächter Form war dieser Anstieg auch in 80 cm Bodentiefe zu erkennen. Im Jahr 2005 pendelten sich die Konzentrationswerte wieder auf dem standortstypischen Niveau ein.

Für die Buche liegen die Stickstoffgehalte in den Blättern in beiden Aufnahmejahren im Bereich von 25 g/kg. Die Stickstoffversorgung Buche ist damit als gut zu bezeichnen.

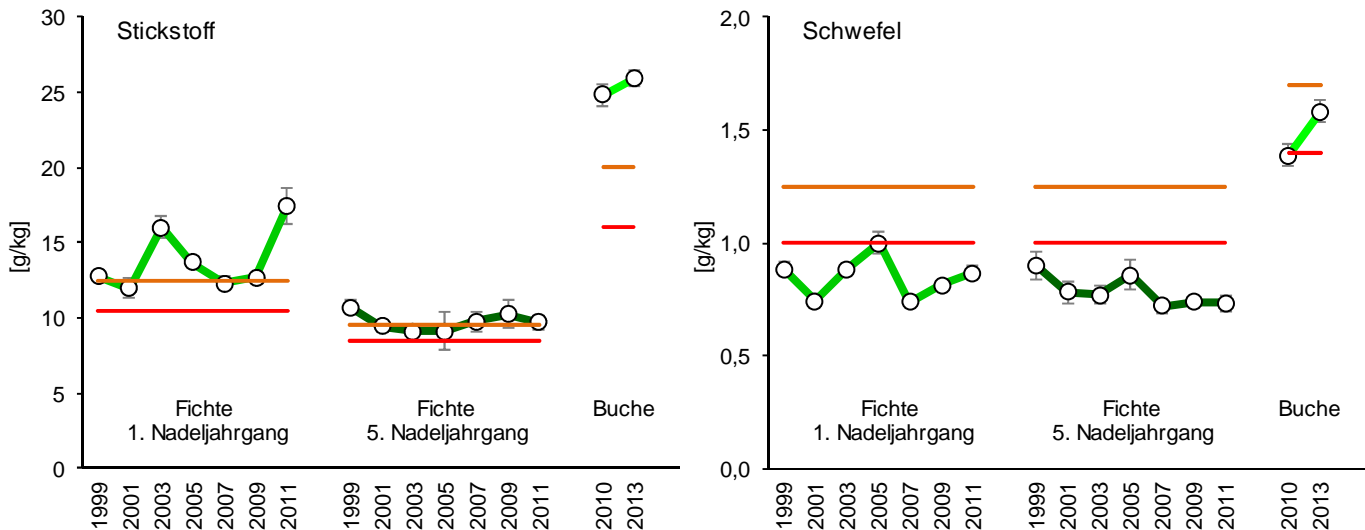


Abb. 53: Entwicklung der Stickstoffgehalte (links) und der Schwefelgehalte (rechts) in ein- und fünfjährigen Fichtennadeln sowie Buchenblättern auf der Versuchsfläche Ochsenhausen. Farbige Referenzlinien: Versorgungsgrenzwerte nach Evers (1985): rot= Mangelgrenze, orange=Grenze einer geringen Nährstoffversorgung

Schwefel

Die zeitliche Dynamik der Schwefelgehalte im ersten Nadeljahrgang der Fichte ist nahezu identisch mit dem Verlauf der Phosphorgehalte. Sie ist durch eine hohe Variabilität im Bereich sehr geringer Gehalte geprägt (Abb. 53, rechts). In den Schwefelgehalten des fünften Nadeljahrgangs zeichnet sich ein abfallender Trend ab, der lediglich im Jahr 2005 unterbrochen wird.

Eine unzureichende Schwefelversorgung lässt sich auch für die Buchenblattproben des Jahres 2010 ableiten. Die Blattgehalte liegen unter der Mangelgrenze von 1,4 g/kg. Auch im Jahr 2013 sind die Schwefelgehalte in den Buchenblättern im Bereich einer angespannten Versorgung.

Vordergründig kann der Befund einer schwachen Schwefelversorgung mit den stark zurückgegangenen anthropogenen Schwefeleinträgen in Verbindung gebracht werden. Andererseits ist es nicht plausibel, dass Waldbäume in ihrer Schwefelversorgung von industriellen Schwefeleinträgen abhängig sein sollen. Wahrscheinlicher ist die Erklärung, dass das Biomassewachstum der Bäume durch das Zusammenwirken von den Faktoren Stickstoffeintrag,

klimabedingte Verlängerung der Vegetationszeit und eine Mobilisierung basischer Nährelemente durch Bodenversauerung über das natürliche Leistungspotential der Böden hinaus intensiviert wird. Hierfür spricht die wachstumskundliche Beobachtung erhöhter Zuwachseleistung der Waldbestände in den vergangenen ein bis zwei Jahrzehnten. In einer solchen „Nichtgleichgewichtsphase“ können Spurenelemente wie Schwefel ins Minimum geraten.

5 WITTERUNG

Der Witterungsverlauf in Baden-Württemberg war im ersten Halbjahr 2013 geprägt von einem kühlen und außergewöhnlich nassem Frühjahr und einem heißen Sommer (Abb. 54). Nach der eher zu trockenen und zu milden Witterung im Verlauf des Jahres 2012 fielen schon im Herbst deutlich erhöhte Niederschläge, die sich bis Ende des Jahres gepaart mit überwiegend milden Temperaturen fortsetzten. Im Dezember führte eine ungewöhnliche Warmluftzufuhr in der zweiten Monatshälfte zu frühlingshaften Temperaturen. So wurde in Freiburg am 24. Dezember 2012 eine Lufttemperatur von 18,9°C gemessen (DWD 2012). Einen deutlichen Temperatursturz mit viel Regen und Schneefall gab es erst im Februar 2013, in dem die mittlere Temperatur 2,1°C unter dem Mittelwert der langjährigen Referenzperiode lag. Bis etwa Mitte April hielten sich diese winterlichen Verhältnisse in Baden-Württemberg mit noch häufig vorhandener Schneedecke und immer wieder einströmender Kaltluft. Dadurch verzögerte sich der Beginn der Vegetationszeit um zwei bis drei Wochen. Erst gegen Ende April kam es zu höheren Lufttemperaturen und damit auch zum Blühen und zum Austrieb der Waldbäume. Der Mai 2013 war landesweit geprägt von sehr viel Niederschlag und vergleichsweise zu kühlen Temperaturen.

Die klimatologische Referenzperiode dient als Vergleich zwischen den aktuell gemessenen Temperatur- und Niederschlagsmessungen mit den Durchschnittswerten einer langen Messreihe. Sie umfasst in der Regel 30 Jahre. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) hat als zurzeit gültige internationale klimatologische Referenzperiode den Zeitraum 1961-1990 festgelegt

Die großen Niederschlagsmengen führten lokal zu Überschwemmungen. Mitte Juni kam es zu einer ersten kurzen Hitzeperiode mit Maximaltemperaturen über 30°C. Insgesamt war der Monat Juni aber sehr wechselhaft. Eine konstante Wetterlage mit sommerlichen Temperaturen und weniger Niederschlag setzte Anfang Juli ein. Im Vergleich zum langjährigen Mittel war der Juli deutlich zu warm und etwas zu trocken. Lokale Unwetter mit Starkregen, Sturmböen und Hagel unterbrachen die Hitzeperiode. Massive Schäden gab es vor allem im Großraum Stuttgart durch einen massiven Hagelsturm am 28. Juli 2013. Der Monat August war verglichen mit der klimatologischen Referenzperiode zu warm und etwas zu trocken.

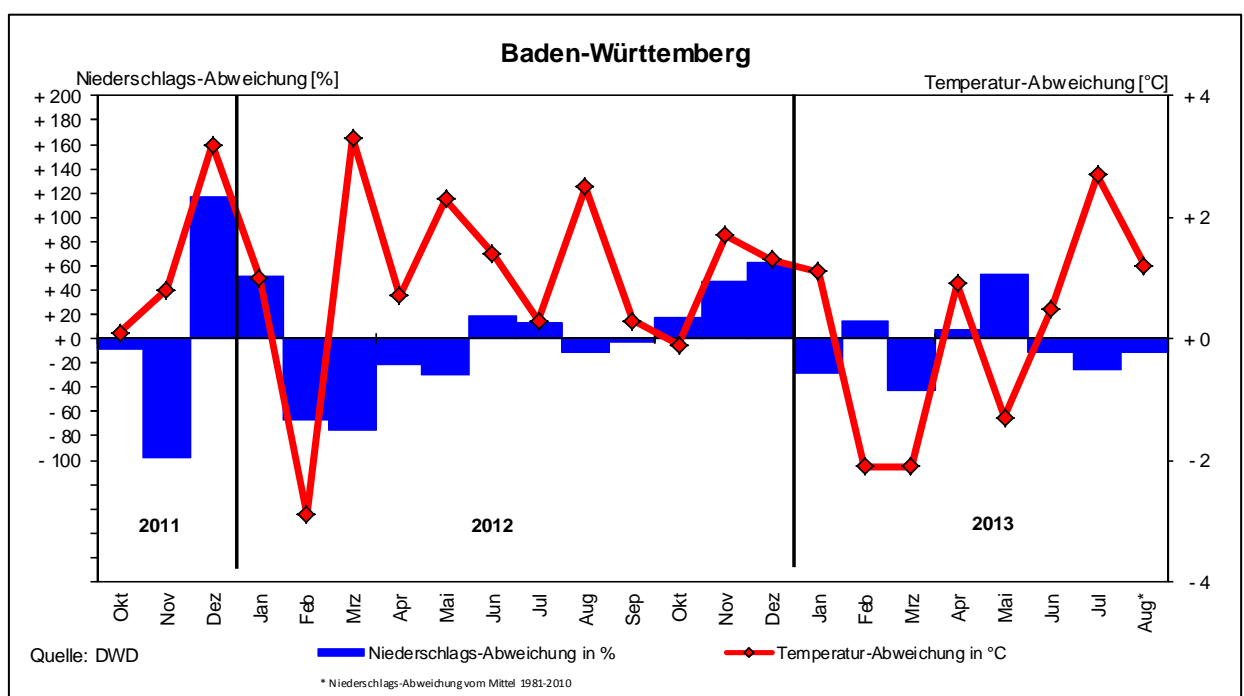


Abb. 54: Niederschlags- und Temperaturabweichung vom langjährigen Mittel, Baden-Württemberg

6 WALDSCHUTZSITUATION

Nachdem sich die Waldschutzsituation in Baden-Württemberg bereits in den vorangegangenen Jahren relativ entspannt darstellte (DELB et al. 2013), trat auch in den Jahren 2012 und 2013 keine grundsätzliche Änderung ein. Im Jahr 2012 betrug der Anteil der zufälligen Nutzungen (ZN) am Jahreseinschlag im Gesamtwald von Baden-Württemberg (Abb. 55) 12 Prozent (957.000 Fm). Dieser Wert stellt zwar eine Verdoppelung des Schadholzanteils im Vergleich mit dem Jahr 2011 dar, ist aber beinahe ausschließlich auf ein größeres Sturmereignis (30. Juni/01. Juli) im Landkreis Freudenstadt (250.000 Fm) und zunehmende Zwangsnutzungen bei der Esche (Eschentriebsterben) zurückzuführen.

Abiotische Schadursachen

Von geringen lokalen Abweichungen abgesehen, stellte sich das Jahr 2012 meteorologisch insgesamt durchschnittlich dar. Der Monat Februar war deutlich zu kalt und mit Extremfrösten verbunden. Obwohl das Jahr 2012 verbreitet als „verregnet“ empfunden wurde, übertraf die Niederschlagssumme in Freiburg nur geringfügig den Langzeitwert. Grundsätzlich zeigte sich die erste Jahreshälfte eher zu trocken und

die zweite Jahreshälfte ausreichend oder sogar überdurchschnittlich niederschlagsversorgt. Während in den zurückliegenden beiden Jahren überregionale Winterstürme ausblieben, führten im Jahr 2012 sommerliche Gewitterfronten örtlich zu erheblichen Sturmschäden. Im Nordschwarzwald bei Baiersbronn sind durch ein Unwetter in der Nacht vom 30. Juni auf den 1. Juli etwa 250.000 Fm Sturmholz angefallen. Insgesamt wurde eine Sturmholzmenge von 765.000 Fm verbucht. Das entspricht etwa der sechsfachen Menge des Vorjahres. Der Dürreholzfall war mit 56.800 Fm etwas höher als im Vorjahr (51.000 Fm). Größere Mengen wurden wieder bei den Baumarten Fichte, Buche, Kiefer und Tanne verbucht. Wie bereits im Vorjahr traten auch im Mai 2012 gravierende Nachfröste auf, die lokal v.a. an Laubbäumen teils zu erheblichen Spätfrostschäden führten. Davon waren überwiegend Bäume in Jungwüchsen, Dickungen und Stangenhölzern betroffen. Zum Beispiel froren in den Höhenlagen des Schwarzwaldes die Blätter der frisch ausgetriebenen Buchen in der Nacht auf Christi Himmelfahrt am 17. Mai 2012 auf großer Fläche zurück.

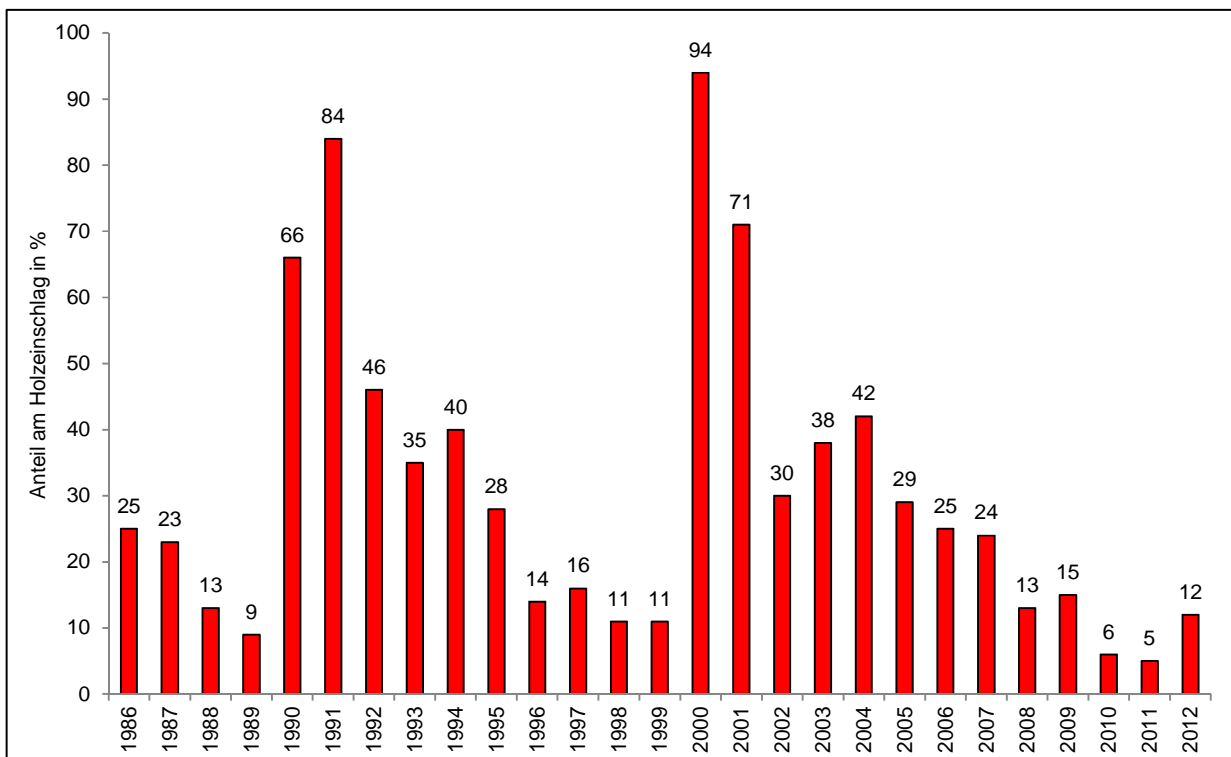


Abb.: 55: Anteil zufälliger Nutzung am Holzeinschlag (Gesamtwald Baden-Württemberg)

Schaderreger an Nadelbaumarten

Fichte: Die durch Borkenkäfer an Fichte verursachte Käferholzmenge belief sich 2012 auf 41.000 Fm und war damit noch einmal erheblich geringer als im Vorjahr. Korrespondierend hierzu ist auch der Umfang der gemeldeten Befallsflächen sowohl des Buchdruckers mit 215 ha als auch des Kupferstechers mit 14 ha weiter zurückgegangen. Insbesondere der Witterungsverlauf, aber auch die sorgfältige Überwachung der Waldbestände durch die Waldbesitzer sowie die zügige Abfuhr des eingeschlagenen Holzes haben zu einer Entspannung der durch Borkenkäfer verursachten Probleme geführt. Die zunehmende Nutzung von Resthölzern (Energieholz) ist zudem ein wichtiger Beitrag zur „sauberen Waldwirtschaft“ und trägt ebenfalls zur Absenkung des Befallsdruckes bei. Das relativ nasse und kalte Frühjahr hat zunächst die Borkenkäferentwicklung ausgebremst, der Ausflug der Überwinterer und der ersten Generation erfolgte jeweils sehr spät. Der trocken-warme Sommer hat dagegen die Entwicklung wieder beschleunigt, zum September/Oktober wurde wieder vielerorts Stehendbefall registriert. Die gemeldeten Flächen mit Stockfäulen auf insgesamt 5.699 ha sind deutlich gestiegen (Abb. 56). Der Befall tritt landesweit auf, wobei die Schwäbische Alb besonders stark betroffen ist.

Tanne: In den südwestdeutschen Tannengebieten ist seit einigen Jahren die Tannen- Rindennekrose weit verbreitet. Sie tritt vorwiegend in gepflanzten Baumhölzern in einem Alter von etwa 40 bis 80 Jahren auf und setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen. Wesentlich beteiligt sind die Weißtannenstammlaus und der Rindenpilz *Neonectria* sp., gefolgt vom Weißtannenrüssler und verschiedenen Tannenborkenkäferarten. Betroffen sind v.a. glattrindige Individuen in wüchsigen und gut gepflegten Beständen, dabei leider häufig auch als Zukunftsbäume freigestellte und oft besonnte Tannen. In ausgeprägt stufigen Beständen tritt dagegen kaum Stammlausbefall auf. Ein Befall durch die Stammlaus wurde von 29 Unteren Forstbehörden auf einer Fläche von insgesamt 438 ha, davon 46 ha als „bestandesbedrohend“ gemeldet. Die Meldungen zum Weißtannenrüssler sind mit 63 ha deutlich. In Bezug auf rindenbrütende Borkenkäfer an Tanne wurde eine Befallsfläche von 75 ha, davon



Abb.: 56: Stockfäule an Fichtenstämmen
(Foto: B. Metzler)

55 ha als „bestandesbedrohend“ gemeldet. Der durch Insekten provozierte Holzeinschlag betrug im Jahr 2012 insgesamt 6.100 Fm und lag damit noch einmal unter dem Wert des Vorjahres. Im Jahr 2013 sind die durch Stammläuse verursachten Schäden deutlich zurückgegangen. Deutlich zugenommen haben dagegen Probleme mit Tannentriebläusen in Jungwüchsen. Die größte Wahrscheinlichkeit eines Befalls besteht dort, wo der Altholzschirm über einer Verjüngung z.B. durch Sturm plötzlich ausfällt oder im Rahmen von Verjüngungshieben zu schnell geräumt wird. Die Befallsfläche dieses Schaderregers hat sich mit 394 ha noch einmal deutlich vergrößert, davon wird der Befall auf 61 ha als „bestandesbedrohend“ eingeschätzt. Ein markantes Problem ist der Tannenkrebs auf 693 ha (auf 334 ha als „bestandesbedrohend“). Der Tannenkrebs tritt in allen Tannengebieten des Landes auf. Er ist für die befallenen Tannen nicht unmittelbar tödlich. Ein Stammbefall führt jedoch zu krebsartigen Wucherungen („Rädertannen“), die in den betroffenen Beständen aufgrund nachfolgender Infektionen durch Fäuleerreger meist gravierende Volumen- und Qualitätseinbußen bewirken. Häufig sind Tannen auch intensiv von Misteln befallen und geschwächt. Dies wurde von 19 Ämtern auf 1.025 ha gemeldet.

Kiefer: Der durch Rindenbrüter bei Kiefer verursachte Holzeinschlag entsprach 2012 mit insgesamt 2.900 Fm fast exakt dem Vorjahreswert. Der Befallsschwerpunkt der Rindenbrüter liegt nach wie vor in den Hardtwäldern der nordbadischen Oberrheinebene. Die Stockfäule an Kiefer trat auf 593 ha auf. Ein großes waldbauliches Risiko für die Kiefernwirtschaft in der nördlichen Oberrheinebene stellt nach wie vor der Befall durch die Mistel dar. Dieser führt v.a. im Zusammenhang mit Trockenstress zu einer erhöhten Absterberate. Aus der nordbadischen Oberrheinebene wurde eine weiter gestiegene Befallsfläche von insgesamt 4.399 ha gemeldet. Die einer Kiefern-Komplexkrankheit zuzuordnende Fläche, meist auch mit Mistelbefall verbunden, wurde auf 1.138 ha eingeschätzt und ist damit deutlich angestiegen. Zusammen mit den anfangs dargestellten Dürholz-mengen und den gemeldeten Trockenschäden ist unverkennbar, dass die Baumart Kiefer in der nördlichen Oberrheinebene einem starken Stress ausgesetzt ist. In Anbetracht der Problematik einer

Gradation des Waldmaikäfers (s.u.) auf nahezu gleicher Fläche, ist auf den betroffenen trockenen Sandstandorten die Walderhaltung in diesem Raum erheblich in Frage gestellt.

Douglasie: Mit einem sprunghaften Anstieg gewinnt die Rußige Douglassenschütte über das gesamte Land immer mehr an Bedeutung. So wurde eine Fläche von 1.039 ha als wirtschaftlich fühlbar befallen gemeldet, wobei der Befall auf 52 ha als „bestandesbedrohend“ eingeschätzt wurde. Die Schwerpunkte des Befalls liegen in der Oberrheinebene, ausgehend vom Ortenaukreis in nördlicher Richtung bis in den Rhein-Neckar-Kreis, Odenwald und das nördliche Neckarland. Durch den Pilzbefall büßen die Nadeln oft ihre Frosthärte ein und fallen nach Frostereignissen, wie im Februar 2012 und 2013, in großem Umfang ab. Häufig weist die Douglasie in der folgenden Vegetationsperiode dann nur noch einen Nadeljahrgang auf.

Schaderreger an Laubbaumarten

Eiche: Die 2012 gemeldete Waldfläche mit oft gemeinschaftlichem Fraß durch die Schmetterlingsraupen des Frostspanners, Eichenwicklers und verschiedener Eulenarten, die so genannte Eichenschadgesellschaft, hat sich in den Eichenbeständen gegenüber dem Vorjahr auf 908 ha mehr als verdoppelt. Hinzu kommt, dass die Raupen des Frostspanners auf weiteren 401 ha auch an sonstigen Laubbäumen deutliche Fraßschäden hinterlassen haben (Abb. 57). Das Fraßgeschehen im Frühjahr 2013 wurde durch den Frostspanner dominiert und war vor allem auf die Oberrheinebene konzentriert. Entsprechend wurden neben Eiche auch weitere Laubbaumarten stark befallen. Dies korrespondiert mit der Feststellung, dass die Populationen insbesondere der Frostspanner in den letzten 40 Jahren in einem Abstand von im Mittel acht Jahren über das gesamte Land zyklisch eine Gradation durchschritten haben. Demnach ist jetzt landesweit bis 2015 wieder mit einem umfangreicheren Auftreten dieser Schmetterlinge zu rechnen. Die Meldungen zum Auftreten des Eichenmehltaus sind sprunghaft angestiegen und betragen insgesamt 621 ha. Mehltau tritt im Wesentlichen dort auf, wo auch Schäden durch die „Eichenfraßgesellschaft“ festgestellt wurden. Die Zwangsnutzungen infolge des Eichenprachtkäfers sind mit 4.400 Fm gegenüber dem Vorjahr etwas gesunken.



Abb.: 57: Kahlfraß an einer Esche durch die Eichenfraßgesellschaft, hier v.a. Frostspanner (Foto: H. Delb)

Der Eichenprachtkäfer ist ein Folgeschädling, der insbesondere nach Kahlfraß durch Schmetterlingsraupen und dem Mehlaufbefall der Ersatztriebe bei günstigen Witterungsverhältnissen von der Schwächung der Eichen profitiert. Die Eichen-Komplexkrankheit, die im Zusammenhang mit den oben genannten Schadorganismen zu sehen ist, wurde auf einer Fläche von 703 ha, insbesondere in der Oberrheinebene und im Neckarland registriert.

Buche: Mit 3.600 Fm fiel deutlich weniger Käferholz als im Jahr zuvor an. Damit hat sich auch bei der Buche die Befallsituation bezüglich der rindenbrütenden Käfer weiter entspannt. Die vom Springrüssler befallene Buchenfläche hat sich mit 201 ha dagegen deutlich erhöht. Davon waren der Alb-Donau-Kreis, der Zollernalbkreis und der Landkreis Sigmaringen betroffen. Die Meldungen einer Buchen-Komplexkrankheit nehmen in den letzten Jahren mit einer Fläche von nunmehr 672 ha deutlich zu. Auch die gemeldeten Trockenschäden haben ein Ausmaß von 821 ha erreicht.

Esche: Nach wie vor äußerst bedrohlich sind die Schäden durch das Eschentriebsterben. Diese Pilzkrankheit tritt in allen Regionen des Landes und in allen Altersklassen, besonders akut an jüngeren Eschen auf. In Kulturen hat die Krankheit zu beträchtlichen Ausfällen geführt. Inzwischen kommt es auch aus Gründen der Verkehrssicherungspflicht zu vermehrten Zwangsnutzungen von Eschen im Baumholzalter. Im Rahmen der Schädlingsmeldungen wurde noch einmal eine deutliche Ausdehnung der Schadfläche auf insgesamt 11.451 ha gemeldet. Davon wurden die Schäden auf insgesamt 4.900 ha als „bestandesbedrohend“ eingestuft. Der Schwerpunkt der Erkrankung liegt in der Oberrheinebene, wo auch der Eschenanteil in der Baumartenzusammensetzung mit über 10 Prozent landesweit am höchsten ist. Nach den aus ganz Europa vorliegenden Erfahrungen muss von einer weiteren Zunahme dieser Krankheit auch in Stangen-, Baum- und Althölzern ausgegangen werden. Einschlägige Untersuchungen haben gezeigt, dass Eschen auf Nass-Standorten und im Dichtstand besonders gefährdet sind, da hier die Vitalität oft zu gering ist, abgestorbene Triebe zu regenerieren. Weiterhin zeigen sich auf allen Flächen noch symptomfreie Eschen. Ob es sich hier um resistente

Individuen handelt, wird gegenwärtig auf europäischer Ebene unter wesentlicher Beteiligung der FVA Baden-Württemberg untersucht. Es wird empfohlen, weiterhin keine Eschen-Anpflanzungen vorzunehmen. Bei anstehenden Eingriffen sind bevorzugt befallene Eschen zu entnehmen. Mischbaumarten sollten unbedingt belassen und bisher befallsfreie Eschen erhalten werden. Sie können möglicherweise zum Aufbau einer weniger anfälligen Eschengeneration beitragen. Direkt wirksame Gegenmaßnahmen sind allerdings nicht möglich. Weitere Informationen zum Eschentriebsterben sind aus METZLER et al. (2013), sowie den Waldschutz-INFOs 3/2012 und 2/2011 zu entnehmen.

Erl: Das Erlensterben wurde auf insgesamt 272 ha v.a. in der Oberrheinebene festgestellt, wovon 250 ha als „bestandesbedrohend“ eingeschätzt wurden. Die Schäden äußern sich überwiegend durch Schleimfluss am Stammfuß, was auf einen Befall durch den pilzähnlichen Schaderreger *Phytophthora alni* hindeutet.

Kulturen und Jungwüchse

In der nördlichen Oberrheinebene sind die Verjüngungen und Laubholzunterstände durch den Wurzelfraß der Engerlinge des Waldmaikäfers stark gefährdet. Messbare Schäden wurden insgesamt auf 621 ha festgestellt. Insgesamt umfasst das Befallsgebiet des Waldmaikäfers zwischen Baden-Baden und Mannheim ca. 25.000 ha Waldfläche. Im Frühjahr 2012 sind die Käfer des Nordstammes zwischen Karlsruhe und Schwetzingen auf einer Waldfläche von 14.000 ha zum Teil wieder intensiv geflogen und haben an den betroffenen Laubbäumen vielerorts deutliche Fraßspuren hinterlassen. Gemessen an der Flugintensität war der Erfolg der 2008 durchgeführten Regulierungsmaßnahmen im Vergleich zu unbehandelten Flächen mit wenigen Ausnahmen deutlich zu erkennen. Es fanden jetzt jedoch keine Maßnahmen statt, so dass es zu einer ungehinderten Eiablage gekommen ist. Dementsprechend zeigen Befunde aus den Probegrabungen eine Erhöhung der Engerlingsdichten im Boden an, welche entsprechende Wurzelschäden an den Waldbäumen erwarten lassen. Erst im Jahr 2014 ist in Mittelbaden und bei Mannheim (südhessischer Stamm) voraussichtlich wieder ein bedeutender Flug des Waldmaikäfers zu erwarten.

7 STOFFEINTRÄGE

Die Schadstoffbelastung der Wälder in Baden-Württemberg konnte in den vergangenen Jahrzehnten deutlich gesenkt werden. Durch eine konsequente Luftreinhaltepolitik wurde der Schadstoffeintrag mittlerweile auf ein ökosystemverträgliches Maß reduziert. Insbesondere der Einbau von Filterungsanlagen in der Industrie und die Verwendung von schwefelarmen Brennstoffen führen dazu, dass weniger säurebildende Luftschadstoffe in den Waldböden eingetragen werden. Derzeit liegt der Gesamtsäureeintrag in die Wälder Baden-Württembergs bei 0,8 kmolc/ha/Jahr Waldfläche und damit weit unterhalb der Spitzenwerte Ende der 1980er Jahre (Abb. 58).

Der Eintrag von Luftschadstoffen in Waldgebieten ist dabei deutlich höher als der Schadstoffeintrag im benachbarten Freiland. Dies liegt an der sehr hohen Gesamtoberfläche von Wäldern. Wälder filtern durch ihre großen Nadel- und Blattoberflächen ca. zwei bis dreimal so viel Schadstoffe und Feinstäube aus der Luft als dies unbewaldete Flächen vermögen. Wälder leisten somit einen wichtigen Beitrag zur Luftreinigung.

Die Schadstoffe werden durch den Regen über die Baumkronen in den Waldboden transportiert und dort entweder langfristig abgelagert, chemisch transformiert und von den Bäumen und anderen Lebewesen aufgenommen (insbesondere Stickstoff) oder in hochmobiler Form über das Sickerwasser ins Grundwasser ausgetragen.

Bodenversauerung

Der Eintrag von Luftschadstoffen in die Wälder verursacht eine Versauerung der Waldböden. Durch die Anreicherung von hohen Säureeinträgen in den letzten Jahrzehnten sind die Waldböden in weiten

Stoffeinträge in den Wald werden in Baden-Württemberg an 20 Messstellen, dem sogenannten Depositionsmessnetz, gemessen. Eine Station ist dabei als jährlich wechselnde Messstelle angelegt. Gemessen werden sowohl die Gesamtsäure- als auch die Stickstoffeinträge jeweils vergleichend unter einem Fichten- bzw. Buchenbestand und einer benachbarten Freifläche.

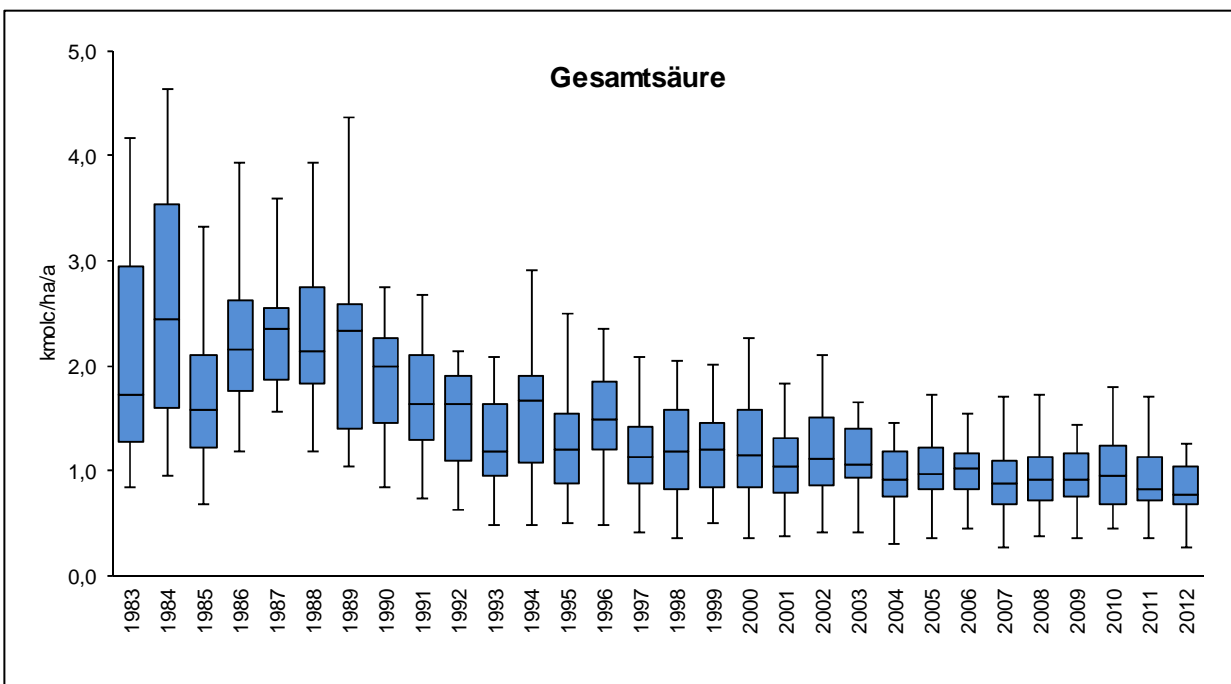


Abb. 58: Entwicklung der Gesamtsäureeinträge auf den Depositionsmessstationen Baden-Württembergs (Mittelwerte aller Fichtenstationen, innerhalb Waldbestände)

Teilen Baden-Württembergs, trotz derzeit vergleichsweise geringem Schadstoffeintrag, weiterhin stark belastet. Waldböden wirken als Speicher, in denen die Altlasten über Jahrzehnte angesammelt werden. Eine starke Versauerung der Waldböden beeinträchtigt sowohl die Durchwurzelung als auch die Nährstoffverfügbarkeit und die Filter- und Pufferfunktionen des Bodens. In den Waldböden eingetragene Säuren bewirken eine Verlagerung bzw. Auswaschung wichtiger Nährelemente, die somit für das Pflanzenwachstum nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Zudem werden toxische Aluminiumionen freigesetzt, die eine schädigende Wirkung auf Feinwurzeln ausüben. Dadurch können nur die oberen Bodenschichten ausreichend durchwurzelt werden, was Auswirkungen auf die Standfestigkeit und die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegenüber langanhaltenden Trockenperioden haben kann. Zusätzlich vermindert sich die Filter- und Pufferfunktion der Waldböden durch die Auswaschung basischer Ionen, so dass Schadstoffe ungefiltert ins Grundwasser gelangen können.

Regionale Verteilung der Stoffeinträge

Die Gesamtsäureeinträge sind in den letzten Jahren an allen Messstationen Baden-Württembergs deutlich zurückgegangen. Derzeit liegen die gemessenen Jahreswerte in Fichtenbeständen zwischen 1,3 kmolc/ha auf der Versuchsfläche „Blauen“ und 0,3 kmolc/ha auf der Fläche „Löffingen“ (Abb. 59, links). Das klassische Verteilungsmuster der Säureeinträge in Baden-Württemberg, mit erhöhten Werten entlang des Schwarzwaldwestkammes und geringen Eintragungswerten auf der windabgewandten Seite des Schwarzwaldes, ist derzeit nur noch in abgeschwächter Form zu erkennen. An den Versuchsflächen in Heidelberg, Altensteig, Conventwald, Esslingen und Ochsenhausen ist zu erkennen, dass die Säureeinträge auf den Fichtenflächen um ca. 30 Prozent über den Einträgen der benachbarten Buchenflächen liegen. Fichtenbestände filtern durch ihre ganzjährige Benadelung und ihrer größeren Nadeloberfläche mehr Schadstoffe aus der Luft als dies sommergrüne Buchenwälder vermögen. In der räumlichen Verteilung der Stickstoffeinträge in

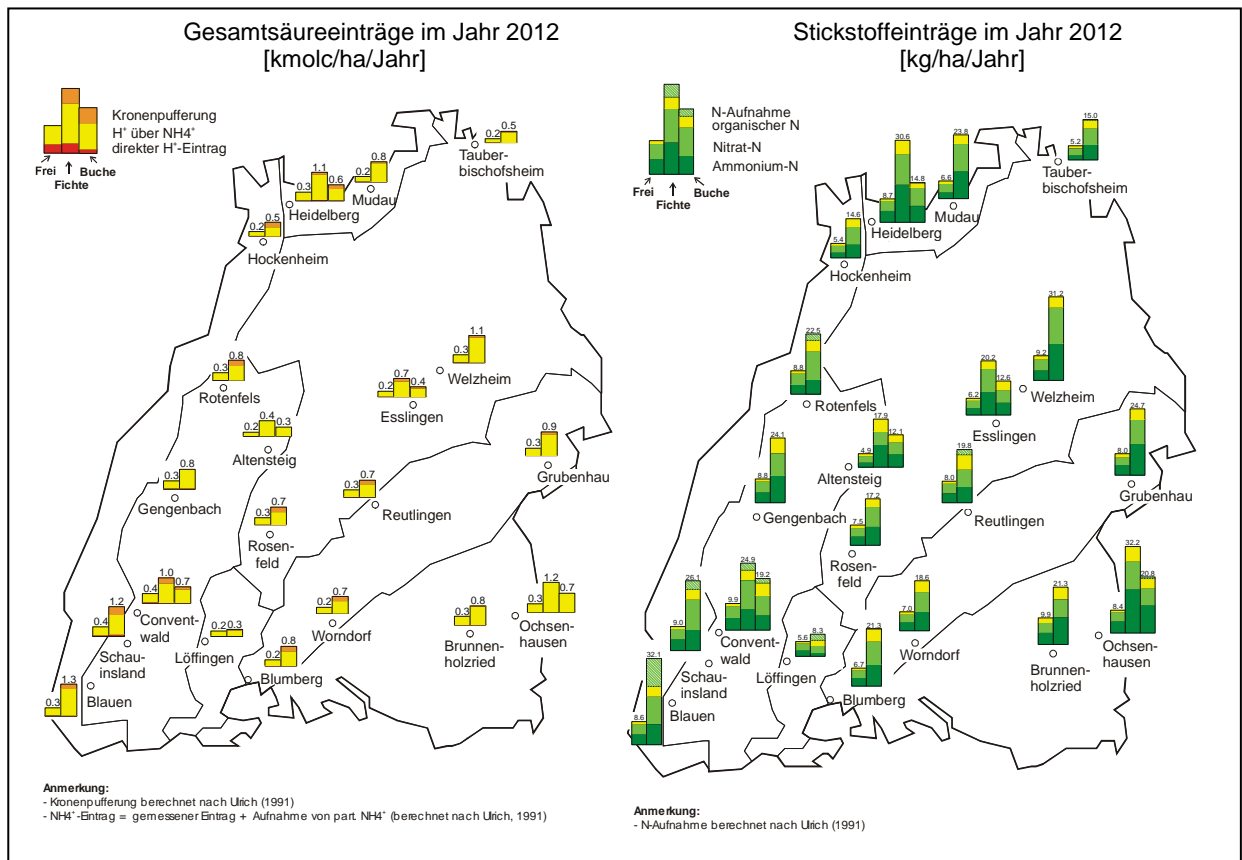


Abb. 59: Räumliche Verteilung der Depositionen 2012 in Baden-Württemberg: Gesamtsäureeintrag (links), Stickstoffeintrag (rechts) für Freiland, Fichte und Buche

Baden-Württemberg sind mit Ausnahme der Fläche Hockenheim lediglich im Windschatten des Schwarzwalds niedrige Stickstoffeinträge zu finden (Abb. 59, rechts). Die höchsten Eintragswerte mit 32,2 bzw. 32,1 kg/ha/Jahr werden an Fichtenbeständen an den Stationen „Ochsenhausen“ bzw. „Blauen“ erreicht. Unterschiede ergeben sich in der Zusammensetzung der einzelnen Stickstoffformen. Während im stark landwirtschaftlich geprägten Ostteil des Landes der Ammoniumanteil meist überwiegt, ist vor allem im Schwarzwald ein höherer Nitratanteil, der hauptsächlich dem Individualverkehr zurechenbar ist, festzustellen.

Ozonbelastung der Wälder

Die in den Sommermonaten häufig auftretenden hohen Ozonkonzentrationen wirken belastend für Pflanzen, Tiere und Menschen. Bei Pflanzen gelangt das stark oxidierende Gas über die Spaltöffnungen in das Innere



Abb. 60: Schädigung durch Ozon an einem Buchenblatt

Ozonschädigungen sind i.d.R. als dunkelfarbige, kleine Punkte zwischen den Blattnerven auf der Blattoberseite auf („stippling“) zu erkennen. Die Blattunterseite bleibt frei von derartigen Symptomen. Früher ausgetriebene Blätter eines Triebes sind auf Grund längerer Einwirkung stärker betroffen als jüngere Blätter. Zusätzliche Bestimmungsmerkmale sind Schatteneffekt und frühzeitige Blattalterung sowie frühzeitiger Blattabwurf (INNES et al. 2001).

von Nadeln bzw. Blättern und schädigt dort für die Photosynthese wichtige Zellen (WSL 2008).

Ozontypische Schadmerkmale an Nadeln und Blättern sind punktförmige, chlorotische Flecken auf der Blattoberseite, die bei stärkerer Schädigung zu flächigen Nekrosen zusammenwachsen können (Abb. 60). Ozon entsteht als sekundär gebildeter Luftschadstoff aus der Reaktion von Stickoxiden und flüchtigen Kohlenwasserstoffen, die vornehmlich von Auto- und Industrieabgasen stammen. Die Reaktion findet allerdings nur unter der Einwirkung von starker Sonneneinstrahlung statt, so dass sich hohe Ozonkonzentrationen in der bodennahen Luft nur im Sommer bei anhaltenden Schönwetterperioden anreichern können. Auf den Flächen Heidelberg, Altensteig, Conventwald, Esslingen und Ochsenhausen fanden im Sommer 2013 Untersuchungen zur Bestimmung von sichtbaren Ozonschäden statt. Dabei wurden an lichtexponierten Standorten Nadeln und Blätter von jungen Bäumen und Sträucher untersucht (ICP FORESTS 2010) und anschließend im Labor überprüft. Im Gegensatz zu den vorherigen Jahren konnten dabei lediglich auf den Versuchsflächen Altensteig und Ochsenhausen geringe Ozonschäden nachgewiesen werden. Diese geringe Ozonbelastung der Bäume kann möglicherweise auf die kühl-feuchte Witterung des Frühsommers 2013 zurückgeführt werden, da sich somit erst relativ spät im Jahr erhöhte Ozonkonzentrationen in der Luft anreichern konnten, die aufgrund der stomatären Aktivität der Bäume im Hochsommer nur noch eine geringe Schädigung bewirkten.

9 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Waldzustand 2013

Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich im aktuellen Jahr leicht verbessert. Günstig für die Entwicklung der Waldbäume wirkte sich die kühle und feuchte Frühjahrswitterung aus. Im Gegensatz zu den letzten Jahren, in denen häufig bereits im Frühjahr warm-trockene Hochdruckwetterlagen zu beobachten waren, konnten die Waldbäume in der ersten Hälfte der Vegetationszeit 2013 aufgrund der starken Niederschläge ausreichend Wasser und Nährstoffe aufnehmen, was sich positiv auf das Baumwachstum auswirkte. Auch die anschließende Hitzeperiode im Juli führte nur zu geringem Trockenstress der Bäume, da der Waldboden vielerorts noch ausreichend mit Wasser gefüllt war. Zudem waren die Waldbäume Baden-Württembergs im aktuellen Jahr einer eher geringen Belastung durch Schadinsekten ausgesetzt. Damit setzt sich, nach einer leichten Erhöhung der Nadel- / Blattverluste im vorherigen Jahr, der Trend der letzten zehn Jahre zur Verbesserung des Waldzustandes weiter fort. Bezogen auf die gesamte Aufnahmeperiode der Waldschadensinventur ist das Schadniveau der Waldbäume aber weiterhin auf einem erhöhten Niveau. Im Jahr 2013 liegt der mittlere Nadel-/Blattverlust bei 22,1 Prozent und damit 1,5 Prozentpunkte unterhalb des Vorjahres.

Mit Ausnahme der Buche weisen alle Hauptbaumarten Baden-Württembergs gegenüber dem Vorjahr einen verbesserten Kronenzustand auf. Fichte und Kiefer reagierten dabei am stärksten auf die günstigen Wuchsbedingungen mit der Ausbildung vitaler Baumkronen. Die Fichte bleibt somit die Hauptbaumart mit den geringsten Nadel-/Blattverlusten im Land. Verringert hat sich auch der mittlere Blattverlust der Eichen, wenn auch das Schadniveau im Landesdurchschnitt weiterhin erhöht hoch ist. Regional traten in Eichenbeständen dieses Frühjahr wieder Fraßschäden durch blattfressende Raupen auf (v.a. Frostspanner), die die Eichen im Verlauf des Sommers aber durch den sogenannten Johannisaustrrieb wieder weitgehend ausgleichen konnten. Als sehr stabile Baumart der letzten Jahre erweist sich die Tanne. Nach den

deutlichen Schäden dieser Baumart in Folge der erhöhten Schadstoffeinträge Anfang der 1980er Jahre, hat sich ihr Kronenzustand deutlich verbessert und bewegt sich nun seit mehr als 15 Jahren auf einem stabilen Niveau. Die einzige Hauptbaumart deren Kronenzustand sich gegenüber dem Vorjahr leicht verschlechtert hat, ist die Buche. Ursächlich hierfür ist die Kombination einer baumphysiologischen Belastung durch erhöhten Fruchtbehang, einem verstärkten Befall durch den Buchenspringrüssler und regional auftretende Spätfrostereignissen in Buchenbeständen. Bei den weniger häufig vorkommenden Nebenbaumarten weist der Ahorn eine Verbesserung des Kronenzustandes auf. Dagegen ist für die Nadelbaumarten Lärche und Douglasie eine Erhöhung des Nadelverlustes gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen. Und auch der Vitalitätszustand der Baumart Esche verschlechtert sich erneut. Die Eschen sind zunehmend vom Eschentriebsterben betroffen, was mittlerweile landesweit in Eschenbeständen vorkommt und diese stark schädigt.

Regional betrachtet hat sich der Waldzustand in den von Nadelholz geprägten Wuchsgebieten Schwarzwald, Schwäbische Alb und Südwestdeutsches Alpenvorland im Vergleich zum Vorjahr verbessert. Vor allem im fichten- und tannenreichen Schwarzwald verringert sich der mittlere Nadel-/Blattverlust der Bäume. Dagegen verändert sich der Schädigungsgrad im laubholzreichen Neckarland kaum.

Trend der Nadel-/Blattverluste

Mit Hilfe eines multivariaten, statistischen Modells ist es möglich für die Baumarten Fichte und Buche zeitliche Trends und räumliche Verteilungsmuster der Kronenverlichtung kontinuierlich verzerrungsfrei über die gesamte Zeitreihe der Waldschadensinventur Baden-Württembergs darzustellen. Für beide Baumarten zeichnet sich dabei ein grundlegender Wandel des Schadgeschehens seit etwa der Jahrtausendwende ab. Während zu Beginn der Waldschadensinventur erhöhte Waldschäden vor allem an Nadelbaumarten wie der Fichte auf versauerungs-

empfindlichen Standorten vorkamen, zeigen ab der Jahrtausendwende danach Fichte und Buche auch auf gut nährstoffversorgten Standorten deutliche Kronenschäden. Die Schwerpunkte der Schadensareale haben sich von Schwarzwald und Odenwald ins Südwestdeutsche Alpenvorland (insbesondere Bodenseeumrandung und Schussenbecken) und zu den Gäuflächen des Neckarlands hin verschoben. Etwa ab dem Jahre 2001 nimmt sowohl der Schädigungsgrad der Fichten als auch der der Buchen signifikant zu. Die bisher höchsten Verlustwerte der Zeitreihe werden im Jahr 2005 bzw. 2006 erreicht. Danach erholte sich der Kronenzustand der Baumarten wieder leicht und pendelt bis heute auf erhöhtem Schadniveau weiter. Es ist davon auszugehen, dass die Verschiebung der Schadensareale sowie die Anhebung des Schadniveaus innerhalb der letzten Jahre auf veränderte klimatische Bedingungen zurückgeführt werden kann. In den Daten der Waldschadensinventur werden somit schon heute Auswirkungen eines beginnenden Klimawandels sichtbar.

Stoffeinträge auf Intensivmessflächen

Die Schadstoffbelastung in den Wäldern Baden-Württembergs hat sich in den letzten Jahrzehnten dank einer konsequenten Luftreinhaltepolitik deutlich entspannt. Die ist vor allem auf den deutlichen Rückgang der sauer wirkenden Schwefeleinträge in die Wälder zurückzuführen, der durch die Einführung der TA Luft und der Verordnung über Großfeuerungsanlagen erreicht werden konnte. Die Messungen auf den Intensivmessflächen Heidelberg, Esslingen und Ochsenhausen belegen beispielhaft die verringerten Sulfateinträge in die Wälder etwa seit Mitte der 1990er Jahre. Aufgrund ihrer exponierten Lage am Westtrauf des Odenwalds und der Nähe zum Ballungsraum Rhein-Neckar weist die Versuchsfläche Heidelberg hierbei weiterhin die höchsten Sulfateinträge auf. Der deutliche Rückgang der Sulfateinträge geht einher mit einer drastisch stark verringerten Vergilbungsrate der Bäume und einer deutlichen Vitalitätssteigerung der Baumart Tanne, die in den 1980er Jahren mit erheblichen Schäden auf die hohe Schadstoffbelastung und spezifisch auf die Schwefelbelastung (ELLING et al. 2007) reagiert hat.

Im Gegensatz zu den Sulfateinträgen ist der Eintrag von Stickstoffverbindungen in die Wälder Baden-Württembergs in den letzten Jahrzehnten nur leicht zurückgegangen. Auf den betrachteten Versuchsflächen Heidelberg, Esslingen und Ochsenhausen ist kein einheitlicher Trend erkennbar. Die Stickstoffeinträge auf diesen Flächen stagnieren mehr oder weniger bei 15 kg/ha und Halbjahr und liegen somit weiterhin oberhalb des ökosystemverträglichen Eintrags. Dabei unterscheiden sich die Flächen hinsichtlich der eingetragenen Stickstoffverbindungen. Während in Heidelberg und Esslingen das durch den Individualverkehr verursachte Nitrat einen größeren Anteil einnimmt, ist auf der ländlich gelegenen Versuchsfläche Ochsenhausen der Ammoniumanteil größer. Die nach wie vor zu hohen Stickstoffeinträge führen zu einer langfristigen Belastung des Waldökosystems, die unter anderem eine zunehmende Bodenversauerung, eine Störung der Nährstoffaufnahme und ein geringeres Wurzelwachstum sowie eine Verminderung der Artenvielfalt in Waldbeständen verursacht.

Der Befund, dass in Ochsenhausen und Esslingen die gemessenen Protoneneinträge im Freiland deutlich über denjenigen in den Waldbeständen liegen, ist als Messbeleg für die Wirkung der Kronenpufferung zu werten. Dabei werden bereits im Kronenraum von den Nadel- bzw. Blattoberflächen freie Protonen dissoziierter Säuren aufgenommen und im Austausch basische Kationen im Wurzelraum freigesetzt. Im Lauf der Beobachtungsperiode hat sich jedoch der im Freiland gemessene Protoneneintrag demjenigen im Bestandesniederschlag angenähert. Das hat zwei Gründe: einerseits ist die Protonenfracht im Freilandniederschlag durch Luftreinhaltemaßnahmen deutlich verringert worden, andererseits ist die Pufferkapazität im Kronenraum der Wälder begrenzt und wird durch die Kronenpufferung verbraucht. Es ist logisch und bemerkenswert, dass an den beiden Intensivmessflächen mit nennenswerten Basenvorräten im Unterboden (Esslingen und Ochsenhausen) Kronenpufferung auf diese Weise beobachtet wird, während an dem Buntsandsteinstandort Heidelberg die für Bäume erreichbaren Basenvorräte im Boden so niedrig sind, dass der Kronenpuffer nicht mehr quantitativ „nachgeladen“ werden kann und damit eine unterge-

ordnete und messtechnisch nicht belegbare Rolle spielt.

Waldernährung in Ochsenhausen

Die Ergebnisse der Nadel- bzw. Blattanalysen auf der Intensivmessfläche Ochsenhausen zeigen für die Baumarten Fichte und Buche eine größtenteils angespannte Ernährungssituation. Vor allem für die Nährelemente Kalium und Schwefel werden sowohl in Fichtennadeln als auch in Buchenblättern dieses Standorts schlechte Versorgungsdaten nachgewiesen. Dies passt zu den Beobachtungen der letztjährigen Waldschadensinventur, bei der an den Baumarten Fichte und Tanne typische Kaliummangelsymptome wie Kurztriebbigkeit und Nadelverbraunung verstärkt festgestellt wurden. Angespannt ist zudem für beide Baumarten die Versorgung mit dem Nährelement Magnesium. Die Magnesiumgehaltswerte des 5. Fichtennadeljahrgangs fallen bei der Erhebung 2011 erstmals in den Mangelbereich ab. Inwieweit sich dies in den nächsten Jahren in einer erhöhten Vergilbungsrate der Fichten äußert bleibt abzuwarten. Ebenfalls angespannt ist die Ernährungssituation im älteren Fichtennadeljahrgang in Bezug auf Stickstoff. Dagegen weist der 1. Nadeljahrgang und die Buchenblätter eine normale Versorgungsstufe mit Stickstoff auf. Die Nährstoffversorgung mit Phosphor der untersuchten Fichtennadeln liegt im normalen Bereich, wobei die Gehaltswerte im älteren Nadeljahrgang der Fichte nur geringfügig über der Grenze einer geringen Nährstoffversorgung liegen. In den Buchenblättern liegen die Phosphorgehaltswerte in beiden bisherigen Aufnahmejahren knapp unterhalb dieser Grenze. Die Versorgung mit dem Nährelement Calcium liegt auf der Versuchsfläche Ochsenhausen sowohl für die Fichte als auch für die Buche im mittleren Bereich, so dass aktuell keine Unterversorgung für dieses Nährelement zu erwarten ist.

Unerwartet ist angesichts der seit Jahrzehnten überhöhten Stickstoffeinträge die angespannte Stickstoffernährung der Bäume. Dieser Befund wurde nicht nur auf den Intensivmessflächen, sondern auch bei der landesweiten Ernährungsinventur der Rasterstichproben beschrieben (MEINING et al. 2012). Die Diskrepanz zwischen hoher Verfügbarkeit mineralischer Stickstoffformen in der Bodenlösung und

einer schwachen Stickstoffversorgung der Bäume deutet stark darauf hin, dass nicht vordergründig die Menge mineralischen Gesamtstickstoffs in der Bodenlösung die Stickstoffversorgung der Bäume alleine oder dominant steuert. Es spricht vieles dafür, dass strukturelle und biologische Merkmale die Stickstoffversorgung derzeit stärker steuern als die Gesamtstickstoffmenge in der Bodenlösung. Die Hauptbaumarten können die mineralischen Stickstoffformen Ammonium und Nitrat unterschiedlich nutzen: Die Fichte nimmt Stickstoff ganz überwiegend in der reduzierten Form als Ammoniumstickstoff auf, da sie über kein effektives Nitrat-Reduktase-Enzymsystem verfügt. Die Buche verfügt über dieses und kann die überwiegende Stickstoffform Nitrat in gut belüfteten Waldböden quantitativ nutzen. Darauf deutet der Befund der Ernährungszeitreihen von der Intensivmessfläche Ochsenhausen insofern hin, als die Stickstoffversorgung der Buche deutlich im gut versorgten Bereich liegt, während die Stickstoffversorgung bei der Fichte um die Mangelgrenze variiert. Die Tendenz zur Unterversorgung mit Stickstoff bei gleichzeitig hoher Verfügbarkeit mineralischer Stickstoffformen im Boden kann zusätzlich durch die versauerungsbedingte Tendenz zum Rückzug physiologisch aktiver Feinwurzeln aus dem tieferen Mineralboden in Oberbodennähe mit bedingt sein. Auch darauf deutet die schlechtere Stickstoffversorgungslage bei der flacher wurzelnden Fichte hin.

Fazit

Auf den sechs Intensivmessflächen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg werden seit 1996 Umweltbeobachtungen durchgeführt. Diese Flächen sind Teil eines Netzwerkes welches in ganz Europa etwa 302 ähnlich ausgestattete Intensivmessflächen umfasst. Hier werden Daten zu Baumzustand und -wachstum, Nährstoffkreislauf, Stoffeintrag, Bodenzustand, Bodenvegetation sowie Meteorologie, also die Dynamik von Umweltveränderungen erhoben. Die Methodik dieser Erhebungen ist europaweit harmonisiert. Damit wird eine Informationsquelle geschaffen welche den momentanen Umweltzustand sowie Umweltveränderungen frühzeitig erkennt. Dies ist eine unverzichtbare Grundlage für eine sinnvolle und vorausschauende Umweltpolitik. So soll

zum Beispiel die ökologische Bedeutung von Luftverschmutzung und Klimawandel und insbesondere deren Zusammenwirken erfasst und bewertet werden, um schädlichen Entwicklungen frühzeitig und gezielt entgegenzuwirken. Die Skalenebene auf der die Ergebnisse der Intensivmessflächen zutreffen, liegt räumlich zwischen Einzelbäumen und Kleinbeständen (typische Flächengröße 0,25 ha) und zeitlich im Bereich kurzzeitiger dynamischer Systemreaktionen (Stunden- bis Jahresauflösung). Die Intensivmessflächen stehen exemplarisch für wichtige Wuchsregionen und sind darauf optimiert, neuartige Transport- und Veränderungsprozesse im Stoffhaushalt von Wäldern in ihrer Dynamik und Abhängigkeit von sich schnell verändernden Umweltbedingungen zu erkennen. Das ist nur bei sehr gut kontrollierten Randbedingungen, d.h. auf räumlich sehr begrenzten und sehr intensiv instrumentierten Versuchsflächen möglich. Durch den hohen Messaufwand und die räumliche Begrenzung der Versuchsflächen ist eine Erkennung der Flächenbedeutung und regionalen Ausprägung der identifizierten Prozesse alleine auf der Basis der Intensivmessflächen nicht möglich. Das bedeutet, dass eine Abschätzung der Flächenbedeutung und Relevanz dieser Prozesse für die Praxis nur auf der Basis von Flächeninformationen aus Rastermessnetzen wie der Waldschadensinventur, der Bodenzustandserfassung sowie der Ernährungsinventur (alle auf dem 8x8 km-Raster) möglich ist. So ergänzen sich die Messnetze der Intensivmessflächen und der Rasterinventuren in ihren Aussagen und erlauben nur gemeinsam die Ableitung praxisorientierter Handlungsempfehlungen mit differenzierendem Flächenbezug. Ohne Rastermessnetze könnte die Flächenbedeutung und die räumliche Varianz der auf den Intensivmessflächen exemplarisch beschriebenen Ökosystemveränderungen nicht beurteilt werden. Andererseits könnten ohne die Intensivmessflächen neuartige Veränderungsprozesse in Wäldern weder in ihrer Dynamik beschrieben werden, dass darauf einigermaßen sichere Prognosen des künftigen Systemverhaltens begründet werden könnten, noch deren Auslöser und Triebkräfte (z.B. Stoffeinträge, Bodenaltlasten, Klimastressoren und Wechselwirkungen zwischen diesen Einflussfaktoren) zutreffend beschrieben werden.

Die Ergebnisse der landesweiten Waldschadensinventur und die Messreihen der Stoffeinträge und des Ernährungszustandes der Waldbäume auf den Intensivmessflächen zeigen in diesem Bericht beispielhaft wie Veränderungen des Waldökosystems als Reaktion auf neuartige Umwelteinflüsse interpretiert werden können. Es wird deutlich, dass die Belastung der Wälder, insbesondere durch sich ändernde Klimabedingungen und die nach wie vor in einigen Regionen Baden-Württembergs zu hohen Stickstoffeinträge, weiterhin sehr hoch ist. Außerdem wird z.B. an der unterschiedlichen Intensität der Bodenversauerung auf den Intensivmessflächen Heidelberg einerseits und Ochsenhausen bzw. Esslingen andererseits erkennbar, wie insbesondere in Heidelberg sich durch die Akkumulation von Säure aus mehreren Jahrzehnten Saurem Regen im Boden eine „Altlast“ gebildet hat, welche die Waldernährung und die Fähigkeit der Bäume Säureeinträge schon im Kronenraum abzapfen beeinträchtigt. An den Standorten Esslingen und Ochsenhausen ist die künstliche Bodenversauerung auf den Oberboden begrenzt, so dass die Bäume im Unterboden basische Puffersubstanzen, wie Calcium- und Magnesiumionen aufnehmen und in den Kronenraum der Wälder transportieren können. Deshalb ist auf diesen Flächen die Pufferung von Säuren bereits im Kronenraum (Kronenpufferung), als effektiver Schutzmechanismus der Bäume zur Neutralisation von im Regen enthaltenen Säuren, noch intakt. In Heidelberg ist dieser Mechanismus durch tiefgreifende Unterbodenversauerung außer Kraft gesetzt.

Ähnlich differenziert lassen sich Entwicklungstendenzen und kurzzeitige Reaktionen der Waldernährung an den Intensivmessflächen vor dem Hintergrund der dort gemessenen Stoffeinträge und Witterungsabläufe interpretieren. So konnte der kausale Zusammenhang zwischen Trockenphasen und der danach folgenden Wiederbefeuchtung auf die Kaliumversorgung der Bäume herausgearbeitet werden: in Trockenphasen bricht die Kaliumversorgung auf Lehmlandstandorten mit latentem Kaliummangel zusammen, während sie sich in warm-feuchten Phasen mit hoher Kaliumfreisetzung aus der Mineralisierung organischer Substanz wieder erholt. Der vordergründige Widerspruch einer angespannten Stickstoffversorgung der Bäume bei

gleichzeitig hoher Verfügbarkeit mineralischer Stickstoffformen im Boden konnte an den Intensivmessflächen durch den Vergleich zwischen Buche und Fichte teilweise aufgeklärt werden. Während Buchen die Fähigkeit aufweisen das in belüfteten Waldböden vorherrschende Nitrat aufzunehmen und damit ihre Stickstoffversorgung zu decken, ist die flachwurzeln Fichte kaum in der Lage verfügbares Nitrat aufzunehmen und bleibt somit mit Stickstoff unterversorgt.

Hier ist also offensichtlich nicht die Menge des im Boden im Überfluss verfügbaren Stickstoffs entscheidend, sondern der Zustand des Wurzelwerks, d.h. die Fähigkeit der Wurzeln Stickstoff aufzunehmen. Die dargestellten ernährungskundlichen Auswertungen sind nur möglich, wenn Ernährungsaufnahmen mit hinreichend hoher zeitlicher Auflösung durchgeführt werden. Auf den Intensivmessflächen wurden bislang im zweijährigen Abstand Nährelementanalysen durchgeführt. Angesichts der zunehmenden und komplexen Probleme in der Waldernährung wäre ein einjähriger Turnus sinnvoller. Beide Beispiele zeigen, dass es zwingend notwendig ist, den Zustand der Wälder, die auftretenden Umwelteinflüsse sowie die Reaktion des Waldökosystems mit ausreichender Genauigkeit und Regelmäßigkeit zu messen. Nur so können frühzeitig schädigende Wirkungen aufgezeigt und geeignete Gegenmaßnahmen entwickelt und eingeleitet werden.

In der Vergangenheit wurden durch das Forstliche Umweltmonitoring, insbesondere durch die ersten Ergebnisse der Kronenzustandserhebung, wesentliche Impulse für eine konsequente Luftreinhaltepolitik gegeben. Die Säureeinträge konnten in den letzten 30 Jahren landesweit drastisch verringert werden, so dass die Bodenversauerung in weiten Teilen des Landes deutlich abgeschwächt bzw. gestoppt werden konnte. Die Waldböden bleiben indes weiterhin durch die vormals eingetragenen Säuren belastet. Zur Wiederherstellung der Bodenfunktionen wurde daher in Baden-Württemberg ein langfristiges Kalkungskonzept erarbeitet, das sowohl die aktuell eingetragenen Säuren als auch die im Boden gespeicherten Säuremengen abbaut und somit zu einer vollständigen Regeneration der Waldböden und ihrer Funktionen beiträgt. Ergänzend dazu können vorhandene Mangelsymptome in der Nährelementversorgung

der Bäume durch die Verwendung von qualitätsüberprüfter Holzaschen ausgeglichen werden. Dies ist insbesondere in Bezug auf die mangelnde Nährelementversorgung der Bäume mit Kalium wichtig, da dieses Element nicht in dem üblich verwendeten Bodenschutzkalk aber in der Holzasche enthalten ist. Mit der Durchführung dieses mittelfristigen, räumlich und zeitlich klar differenzierten Kalkungsprogramms kann das Risikopotential gegenüber neuen Stressbelastungen, wie z.B. dem Klimawandel abgemildert werden. Bei einem naturnahen bodenchemischen Zustand reicht der Hauptwurzelraum in signifikant tiefere Bodenschichten, was Bäumen mehr Stabilität verleiht. Auch wird so das Risiko für Trockenstress und seine Folgewirkungen vermindert.

Neben der Bodenschutzkalkung wird in Baden-Württemberg seit langem das Konzept der naturnahen Waldwirtschaft angewandt, durch das ebenfalls eine zunehmende Stabilität der Wälder gegenüber Umwelteinflüssen erreicht werden soll. Dabei stehen die Förderung naturnaher Mischwälder, eine standortgerechte Baumartenwahl, eine frühzeitige Bestandespflege zur Stärkung der Baumvitalität sowie integrierte Waldschutzmaßnahmen im Vordergrund.

Die unabdingbare Datengrundlage für alle dargestellten Strategieansätze, sei es ein standörtlich differenziertes Kalkungskonzept, die Identifikation von zeitlich variierenden Mangellarealen der Waldernährung oder die langfristige Baumartenplanung unter Berücksichtigung des Klimawandels sind räumlich und zeitlich detaillierte Monitoringdaten aus den flächenbezogenen Rastermessnetzen und den punktuellen Intensivmessflächen. Ohne diese Daten hätte man weder bei der Ableitung des Handlungsbedarfs (z.B. des Kalkungsbedarfs) noch bei der kleinräumig variierenden Steuerung der Maßnahmen Planungssicherheit. In den letzten Jahren konnten multivariate statistische Auswertungsmodelle entwickelt werden, welche die Monitoringdaten von den Rasterpunkten und Messflächen auf die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs übertragen und damit dort zur Verfügung gestellt werden, wo sie für die Steuerung der Gegenmaßnahmen von schädlichen Umwelteinflüssen benötigt werden. Dabei ist es gelungen nicht nur die Daten selbst verfügbar zu machen, sondern auch Schätzgrößen für deren Sicherheit oder

Unsicherheit. Leider ist derzeit durch Wegfall der Kofinanzierung der Monitoringnetze durch die Europäische Union die Zukunft dieser Datenquelle und damit aller daraus abgeleiteten praktischen Steuerungs- und Entscheidungs–Unterstützungsinstrumente unsicher geworden. Es muss im ureigenen Interesse des Landes und des Bundes liegen, diese drohende Finanzierungslücke zu schließen und damit auch in Zukunft ein verlässliches Ökosystemmanagement und eine Sicherung der vielfältigen Waldfunktionen gegen die sich im Klimawandel verschärfenden Belastungen der Wälder zu ermöglichen.

10 LITERATURVERZEICHNIS

- AG Krone (2007): Waldbäume – Bilderserien zur Einschätzung von Kronenverlichtungen bei Waldbäumen. BMVEL (Hrsg.), 130 S.
- Augustin, N. (2006): Terrestrial Inventory Survey (TWI): Simulation study to investigate different sampling schemes. Interner Projektbericht 13 S.
- Augustin, N., Musio, M., v. Wilpert, K., Kublin, E., Wood, S.N., Schumacher, M. (2009): Modelling spatio-temporal forest health monitoring data. Accepted for publication in the Journal of the American Statistical Association, 104/487, p. 899-911, DOI:10.11987jasa.2009ap07058
- Delb, H.; Bublitz, T.; John, R.; Metzler, B.; Schumacher, J. 2013: Waldschutzsituation 2012/2013 in Baden-Württemberg. AFZ/Der Wald 68 (7): 8-11.
- DWD (2012): Witterungsreport Express 12/2012. Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), 35 S.
- Elling, W., Heber, U., Polle, A., Beese, F. (2007): Schädigung von Waldökosystemen. 422 S.
- Evers, F.H. (1985): Nomogramme zur Schätzung und Klassifizierung der Nährelementgehalte in Nadeln und Blättern. Unveröffentlicht.
- Innes, J.L., Skelly, J.M., Schaub, M. (2001): Ozon, Laubholz- und Krautpflanzen. 136 S.
- ICP Forests (2010): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests, Hamburg.
- Lüscher, D.; Sieber, M. (1990): Die Blütenbildung und ihre Auswirkungen auf die Struktur der Krone. Schweiz.Z.Forstwes., 141/2: S. 147-154.
- Meining, S., v. Wilpert, K., Schröter, H., Schäffer, J., Morgenstern, Y., Zirlewagen, D. (2009): Waldzustandsbericht 2009. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 65 S.
- Meining, S., v. Wilpert, K., Schröter, H., Augustin, N., Kramer, P. (2011): Waldzustandsbericht 2011. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 59 S.
- Meining, S., v. Wilpert, K., Schäffer, J., Hartmann, P., Schumacher, J., Delb, H., Augustin, N. (2012): Waldzustandsbericht 2012. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 64 S.
- Metzler, B., Baumann M., Baier U., Heydeck P., Bressemer U., Lenz H. (2013): Bundesweite Zusammenstellung: Handlungsempfehlungen beim Eschentriebsterben. AFZ-Der Wald 68 (5): 17-20.
- Schmitt, M. (1991): Zusammenhang zwischen Blattverlust und Fruktifikation bei Buche. AFZ-DerWald, 10/1991, S. 501-503.
- Waldschutzinfo: 3/2012 und 2/2011. <http://www.fva-bw.de/publikationen/veroeffentlichungen.php?pfad=wsinfo> (Stand: 31.10.2013)
- WSL (2008): Validierung von visuellen Ozonsymptomen auf Buchenblättern. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Validierungsbericht erfolgt durch Günthardt-Goerg, S., Menard, T. 10 S.