

Waldzustandsbericht 2003
der Forstlichen Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg



Herausgeber:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Autoren:

Stefan Meining
Dr. Hansjochen Schröter
Dr. Klaus v. Wilpert

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>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Das Forstliche Umweltmonitoring	3
3	Methodik und Durchführung der Terrestrischen Waldschadensinventur	5
3.1	Methodik der Terrestrischen Waldschadensinventur.....	5
3.2	Durchführung der TWI 2003.....	8
4	Ergebnisse	9
4.1	Ergebnisse der TWI 2003.....	9
4.1.1	Die Kombinationsschadstufen.....	9
4.1.2	Der Nadel-/Blattverlust.....	11
4.1.3	Die Vergilbung.....	12
4.1.5	Ausgefallene Bäume.....	14
4.2	Vergleich der Ergebnisse auf Ebene des Bundes und Europa.....	16
4.3	Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen.....	17
4.3.1	Die Entwicklung des Kronenzustandes.....	18
4.3.2	Schäden durch Ozon.....	20
4.4	Zusammenhang zwischen Waldzustand und Waldwachstum.....	21
5	Einflüsse auf den Waldzustand	24
5.1	Klimatische Einflüsse.....	25
5.1.1	Witterungsverhältnisse 2002/2003.....	25
5.1.2	Langfristige Klimaänderung.....	26
5.2	Allgemeine Waldschutzsituation.....	28
5.3	Stoffeinträge.....	29
5.3.1	Gasförmige Immissionen.....	30
5.3.2	Depositionen im Niederschlag.....	31
6	Intensive Umweltüberwachung im Wald	34
6.1	Stoffflüsse mit dem Sickerwasser.....	35
6.2	Gaskonzentrationen in der Umgebungsluft.....	36
6.3	Witterungsdaten an den Level II-Flächen.....	38
6.3.1	Windgeschwindigkeit.....	38
6.3.2	Temperaturentwicklung.....	39
7	Schlussfolgerung	41
7.1	Aktuelle Stressfaktoren.....	41
7.2	Erforderliche Maßnahmen.....	42
	GLOSSAR	44

1 EINLEITUNG

„Wie geht es dem Wald ?“ - Diese Frage beschäftigt die Öffentlichkeit verstärkt seit Anfang der 80er Jahre als der Begriff des „Waldsterbens“ geprägt wurde. Und auch heute noch ist die Frage aktueller denn je: Erreichen uns in diesem Sommer nahezu täglich Nachrichten über rekordverdächtige Hitze- und Trockenperioden, hohe Ozonwerte und Massenvermehrungen von Borkenkäfern. Wie verkraftet der Wald all diese Stressfaktoren ?

Als Mitte der 70er Jahre erstmals Absterbeerscheinungen und gravierende Kronenverlichtungen an der Baumart Tanne im Schwarzwald beobachtet wurden, richtete die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) erste Versuchsflächen ein, um das Ausmaß und die Entwicklung der Schädigung sowie deren Ursachen zu untersuchen. Auf diesen Flächen wurden Methoden der Waldschadensaufnahme entwickelt. Heute existieren für alle Hauptbaumarten Baden-Württembergs „Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden“.

Nachdem sich die Schadsymptome auch auf andere Baumarten und in anderen Regionen außerhalb des Schwarzwaldes ausgebreitet hatten, wurde Anfang der 80er Jahre ein systematisches Stichprobenetz der Waldschadensinventur angelegt. Hierdurch waren erstmals flächenbezogene Aussagen über den Waldzustand in Baden-Württemberg möglich. Mittlerweile ist das Verfahren und die Methodik der Waldschadenserhebung auf Bundes- und EU-Ebene abgestimmt und vergleichbar, so dass die Ergebnisse jährlich in einem gemeinsamen Bericht für die gesamte Bundesrepublik Deutschland und die EU von den verschiedenen Koordinierungsstellen zusammengestellt werden können.

Als mögliche Erklärung für den aktuellen Waldzustand kann nach heutigem Wissensstand nicht von einem isolierten Faktor als Ursache ausgegangen werden, sondern es muss die Summe aller auf das Waldökosystem einwirkenden Umweltfaktoren betrachtet werden. Dabei sind zeitliche und räumliche Unterschiede der Belastungssituation zu berücksichtigen. Unterteilt in drei grobe Gruppen lassen sich im Wesentlichen Witterungseinflüsse, anthropogene Stoffeinträge und Einflüsse biotischer Schaderreger als Ursachenbündel für den aktuellen Waldzustand definieren.

Im Jahr 2003 fand die 21. Terrestrische Waldschadensinventur in Baden-Württemberg statt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Waldschäden nichts von ihrer Brisanz verloren haben. Der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche ist in Baden-Württemberg im Vergleich zu den vorhergehenden Inventuren erheblich gestiegen. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Jahr die Auswirkungen der extremen Hitze und Trockenheit während der Sommermonate. Neben den direkten Schädigungen, die sich in der aktuellen Inventur bereits abzeichnen, bleibt abzuwarten, in welchem Ausmaß sich mögliche Folgeschäden in den nächsten Jahren auf den Waldzustand auswirken werden.

2 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Auf das Ökosystem Wald wirken eine Vielzahl von unterschiedlichen, teils anthropogen, teils natürlich bedingten Faktoren in unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Mustern ein, die zu einer Beeinflussung des Waldzustandes führen. Um Informationen über die Intensität und Ursachen von Veränderungen der Vegetation und der Waldböden zu erhalten, wurden in den Wäldern Baden-Württembergs verschiedene Mess- und Beobachtungsnetze eingerichtet. Durch das Forstliche Umweltmonitoring soll insbesondere das Ausmaß von Veränderungen sowie die dabei ablaufenden Prozesse erkannt werden. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen auf den Monitoringnetzen können dann gezielte Maßnahmen abgeleitet werden, um die Waldökosysteme nachhaltig zu stabilisieren.

Das Monitoringnetz in Baden-Württemberg lässt sich grundsätzlich in zwei Ebenen aufteilen:

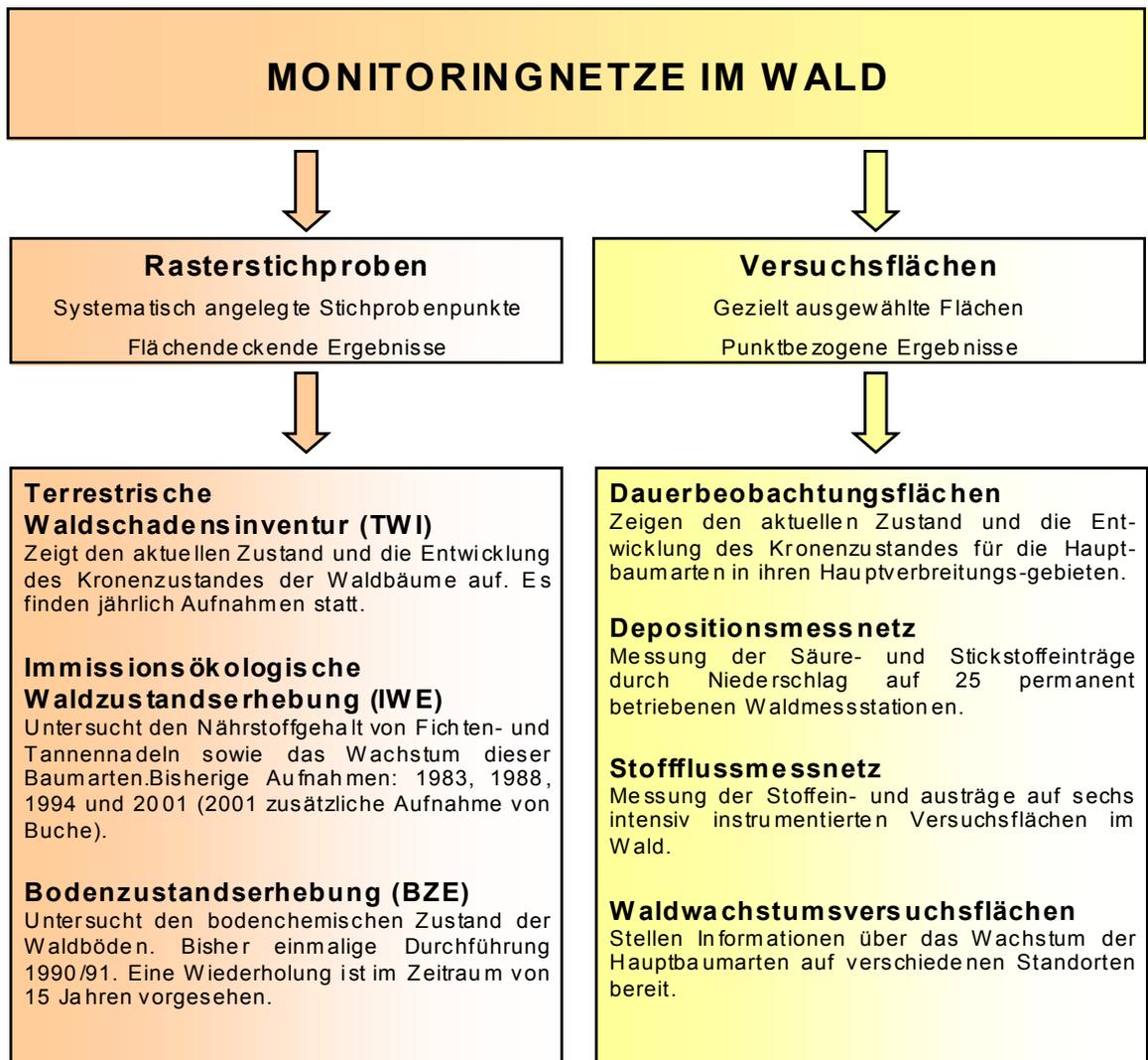
Zum einen werden auf einem systematisch angelegten Stichprobenetz Aufnahmen durchgeführt. Auf diesem Netz dient jeder Schnittpunkt im Wald als Stichprobenpunkt für die Aufnahme (Rasterstichprobe). Hierzu zählen die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI), die Immissionsökologische Waldzustandserhebung (IWE) (vgl. Kap. 4.4) sowie die Bodenzustandserhebung (BZE). Das Rasterstichprobenetz basiert auf Gauß-Krüger-Koordinaten und ist nach einem einheitlichen System aufgebaut. Die Bündelung von unterschiedlichen Untersuchungen an den gleichen Stichprobenpunkten ermöglicht so eine Verknüpfung der verschiedenen Aufnahmeparameter.

Zum anderen werden auf speziell ausgesuchten Versuchsflächen Aufnahmen durchgeführt, bei denen je nach Untersuchungsschwerpunkt die Lage und der Standort als Kriterium für die Auswahl der Fläche ausschlaggebend waren. Hierzu zählen die Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden (vgl. Kap. 4.3), die Versuchsflächen des Depositions- und Stoffflussmessnetzes sowie waldwachstumskundliche Flächen (Übersicht 1). Gezielte Informationen der Forstämter (beispielsweise über die Gefährdung des Waldes durch biotische Schaderreger) ergänzen das Monitoringnetz im Wald sinnvoll.

Auch externe Institutionen liefern Datenbestände, die zur Beurteilung der Umwelteinflüsse auf das Waldökosystem herangezogen werden:

- **Klimastationen** (Deutscher Wetterdienst [DWD])
Sie liefern Informationen über die Witterung.
- **Immissionsmessstationen** (Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg [UMEG] und Umweltbundesamt [UBA]).
Sie liefern Messdaten über die Schadstoffkonzentration in der Luft. Drei der UMEG-Messstationen in Baden-Württemberg liegen im Wald.

Übersicht 1: Monitoringnetze im Wald



Die Messnetze in Baden-Württemberg sind sowohl auf der Ebene der Rasterstichproben als auch auf der Ebene der Versuchsflächen in nationale und internationale Programme eingebunden. Von den Rasterstichproben sind insgesamt 50 Punkte Bestandteil des Europäischen Forstlichen Umweltmonitoring-Programms „Level I“. Sie umfassen die jährliche Waldschadensinventur sowie die bisher erst einmal durchgeführte Bodenzustandserhebung im Wald. Von den Versuchsflächen Baden-Württembergs sind insgesamt 10 Fichtenflächen in das Europäische „Level II“ - Programm eingebunden. Somit stehen die Ergebnisse der Landeserhebungen auch für weitere Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

3 METHODIK UND DURCHFÜHRUNG DER TERRESTRISCHEN WALDSCHADENSINVENTUR

3.1 Methodik der Terrestrischen Waldschadensinventur

Der aktuelle Waldzustand Baden-Württembergs wird seit 1983 durch die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) erhoben. Das Verfahren beruht auf der Beurteilung des Kronenzustandes als Kriterium für die Vitalität der Bäume. Der Nadel-/Blattverlust und die Vergilbung der Blattoorgane sind sichtbare Reaktionen eines Baumes auf Umwelteinflüsse, die zeitnah und mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können. Die Erhebung dieser Kriterien gibt einen Überblick über den aktuellen Gesundheitszustand des Waldes. Ein direkter Rückschluss auf die Ursachen ist jedoch auf Grund der zahlreichen Einflussfaktoren auf den Wald erschwert. Die Ursachen erhöhter Nadel-/Blattverluste oder stärkere Vergilbungen können nur im Rahmen einer Ursachenanalyse, die eine intensive Differenzialdiagnose einschließt, ermittelt werden.

Der **Nadel-/Blattverlust (NBV)** wird in Bezug auf eine für das Erhebungsgebiet vollbenadelte bzw. vollbelaubte Baumkrone der jeweiligen Baumart (Referenzbaum) in 5%-Stufen erfasst, die zu fünf NBV-Stufen gruppiert werden. Die **Vergilbung** der Nadeln bzw. der Blätter wird analog in vier Vergilbungsstufen erfasst. Die ermittelten Stufen von Nadel-/Blattverlust und Vergilbung werden schließlich zu fünf **Kombinationsschadstufen** (ungeschädigt bis abgestorben) zusammengeführt (Übersicht 2).

Für die Einteilung der Schadstufen (SST) sind unterschiedliche Stufenbreiten gewählt worden, da geringe (<26%, SST 0 und 1) bzw. sehr hohe (>60%, SST 3 und 4) Nadel-/Blattverlust-Werte bzw. Vergilbung genauer eingeschätzt werden können als mittlere. Somit kann der Schätzfehler minimiert werden. Die Schadstufe 1 wird als Warnstufe bezeichnet, da nach Angaben des Forschungsbeirats Waldschäden/Luftverunreinigung (3. Bericht 1989) standortsbedingt natürliche Schwankungen der Benadelungs- bzw. Belaubungsdichte in diese Stufe hineinreichen. Die Schadstufen 2-4 werden als „deutlich geschädigt“ zusammengefasst.

Zusätzlich werden im Rahmen einer Differenzialdiagnose alle visuell erkennbaren biotischen und abiotischen Schadmerkmale, wie z.B. Insektenfraß oder eindeutige Merkmale von Trockenstress, in vier Schädigungsgraden (Befallsstärken) aufgenommen.

Übersicht 2: Schadstufen

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

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

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



Abb. 1: Fichte Schadstufe 0



Abb. 2: Fichte Schadstufe 3



Abb. 3: Buche Schadstufe 0



Abb. 4: Buche Schadstufe 3

Zur Qualitätssicherung findet jährlich ein Abstimmungskurs aller Inventurleiter auf Bundesebene statt. Die Aufnahmetrupps des Landes werden vor der Inventur intensiv geschult und die ermittelten Ergebnisse durch stichprobenartige Kontrollen nachgeprüft.

Die Aufnahmepunkte liegen auf einem nach dem Gauß-Krüger-Koordinatensystem ausgerichteten Stichprobennetz. Auf jedem Aufnahmepunkt werden 24 Bäume des herrschenden Bestandes (KRAFT'sche Klasse 1 – 3) ausgewählt und dauerhaft markiert, so dass eine Aufnahme der selben Baumindividuen gewährleistet ist.

Ausschlaggebend für die Aussagefähigkeit der ermittelten Waldschadensergebnisse ist die Stichprobendichte der Inventur. Seit 1983 wurden in Baden-Württemberg Aufnahmen mit drei verschiedenen Stichprobendichten auf dem gleichen Grundraster durchgeführt:

- Aufnahme im **4x4 km-Netz** („Vollaufnahme“) mit ca. 840 Probeflächen.
- Aufnahme im **16x16 km-Netz (EU-Netz; Level I)** mit 50 Probeflächen. Dieses Netz ist laut Verordnung der Europäischen Union festgeschrieben und umfasst in ganz Europa etwa 5.000 Stichprobenpunkte mit insgesamt über 100.000 Bäumen (Abb. 5).
- Aufnahme im **8x8 km-Netz**. Dieses Netz wurde nur in den Jahren 1987 und 1988 in Baden-Württemberg aufgenommen. Im damaligen Hauptschadgebiet „Schwarzwald“ erfolgte in jenen Jahren eine Verdichtung auf das 4x4 km-Netz.

Die Waldschadensaufnahme auf dem europäischen 16x16 km-Netz wird jährlich durchgeführt. Die Ergebnisse lassen für Baden-Württemberg nur grobe Aussagen über den Waldzustand zu, da auf Grund der geringen Aufnahmedichte des 16x16 km-Netzes in den Auswertungen alle Baumarten und alle Regionen des Landes zusammengefasst werden müssen. Weiterhin zeigen die Ergebnisse die Veränderung im Vergleich zu vergangenen Inventuren im EU-Netz auf. Die Ergebnisse dieses Netzes fließen in nationale wie auch internationale Auswertungen mit ein. Wesentlich differenziertere Aussagen liefert die sogenannte Vollaufnahme im 4x4 km-Netz, die i. d. R. alle drei Jahre in Baden-Württemberg durchgeführt wird. Durch den weitaus höheren Stichprobenumfang ist eine Aufgliederung der Waldzustandsergebnisse nach einzelnen Baumarten und Regionen möglich. Die letzte Vollaufnahme fand in Baden-Württemberg im Jahr 2001 statt.

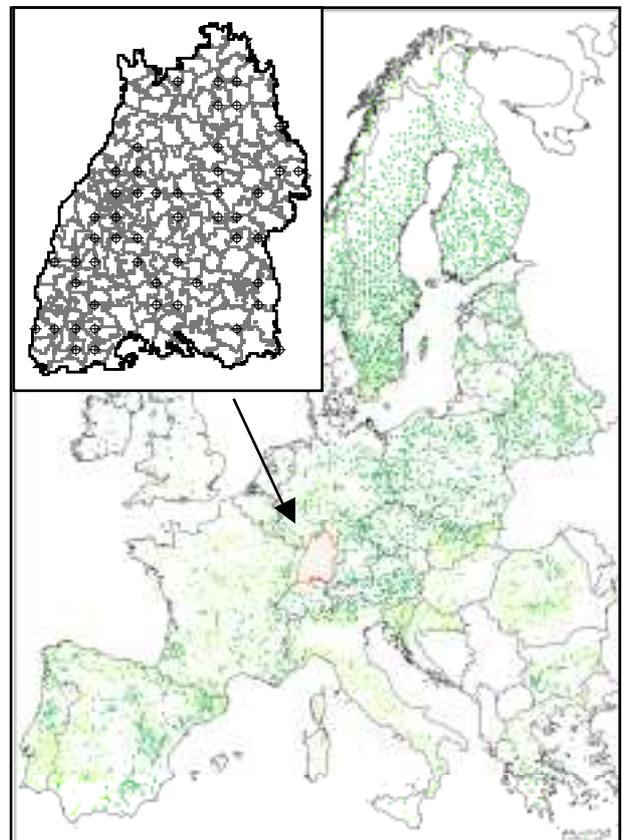


Abb. 5: EU-Karte mit Netz

3.2 Durchführung der TWI 2003

Die 21. TWI in Baden-Württemberg erfolgte im Sommer 2003 auf dem 16x16 km-Netz (EU-Netz). Die Außenaufnahmen wurden im Zeitraum vom 31. Juli bis 14. August von privaten forstlichen Sachverständigen durchgeführt. Die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) war für die fachliche Leitung, Schulung und Kontrolle zuständig.

Von den insgesamt 50 Stichprobenflächen des EU-Netzes konnte eine Fläche auf Grund der Sturmwurfschäden durch „Lothar“ (Wintersturm 1999) noch nicht wieder in die Stichprobe aufgenommen werden. Bei einer weiteren Fläche musste wiederholt auf die reduzierte Anzahl von 18 Bäumen zurückgegriffen werden, da durch den Sturmeinfluss keine in der Nähe stehenden Ersatzbäume zur Verfügung standen.

Für die Waldschadensinventur 2003 konnten somit 49 Stichprobenflächen mit insgesamt 1.170 Bäumen herangezogen werden. Damit wurde exakt der gleiche Stichprobenumfang wie bei der Aufnahme im Vorjahr erreicht. Von den aufgenommenen Probebäumen gehörten 485 der Altersgruppe bis 60 Jahre und 685 der Altersgruppe ab 61 Jahre an (Tab.1).

Da die Probeflächen der TWI keiner Nutzungsbeschränkung unterliegen, werden einzelne Probebäume im Rahmen einer ordnungsgemäßen Waldbewirtschaftung regelmäßig entnommen. Zudem kommt es immer wieder zu Ausfällen auf Grund biotischer oder abiotischer Schadwirkungen. Die ausgefallenen Bäume werden nach einem systematischen Verfahren durch benachbarte Bäume ersetzt. Im Jahr 2003 wurden insgesamt 56 Bäume der Stichprobe ersetzt. Dies entspricht knapp 5% aller Probebäume (vgl. Kap. 4.1.5).

Tab. 1: Anzahl untersuchter Probebäume

Anzahl untersuchter Probebäume			
(Werte in Klammer = 2002)			
	Altersgruppe		Summe
	Bis 60 Jahre	Ab 61 Jahre	
Fichte	205 (199)	305 (304)	510 (503)
Tanne	19 (21)	116 (113)	135 (134)
Douglasie	38 (38)	0 (0)	38 (38)
Kiefer	7 (7)	25 (25)	32 (32)
Sonstige Nadelbäume	13 (12)	15 (15)	28 (27)
Buche	72 (77)	159 (164)	231 (241)
Eiche	26 (25)	27 (26)	53 (51)
Sonstige Laubbäume	106 (106)	37 (38)	143 (144)
Summe	486 (485)	684 (665)	1170 (1170)

4 ERGEBNISSE

4.1 Ergebnisse der TWI 2003

4.1.1 Die Kombinationsschadstufen

In Baden-Württemberg lag der Anteil der **deutlich geschädigten Waldfläche (Schadstufe 2 – 4) im Jahr 2003 bei 29%**. Dies ist im Vergleich zur Aufnahme des Vorjahres eine Zunahme von 5 Prozentpunkten. Die Veränderung ist zum Jahr 2002 statistisch signifikant. Der Stichprobenfehler liegt auf Grund der geringen Stichprobendichte des EU-Netzes bei $\pm 4\%$ (Abb. 6).

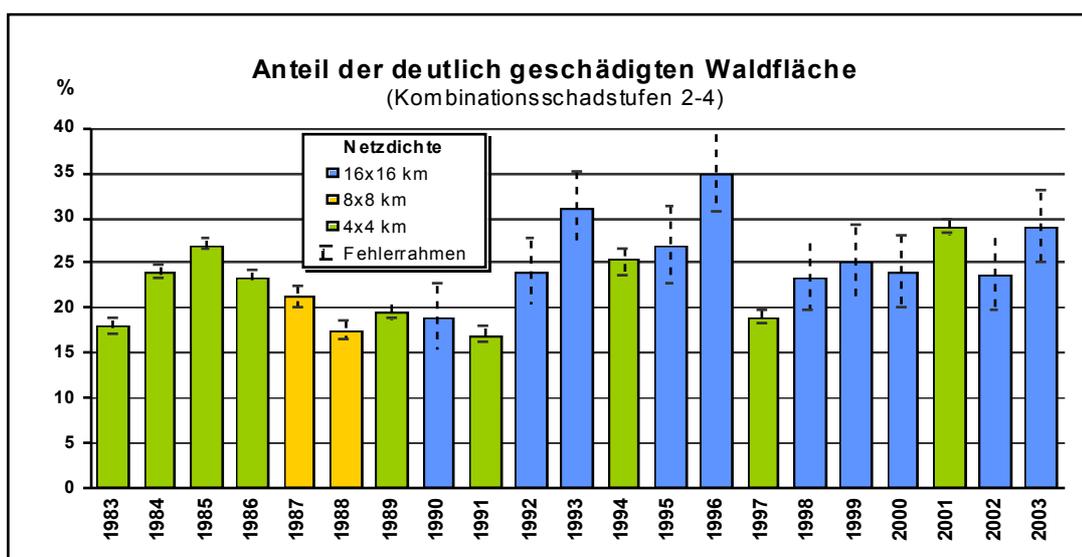


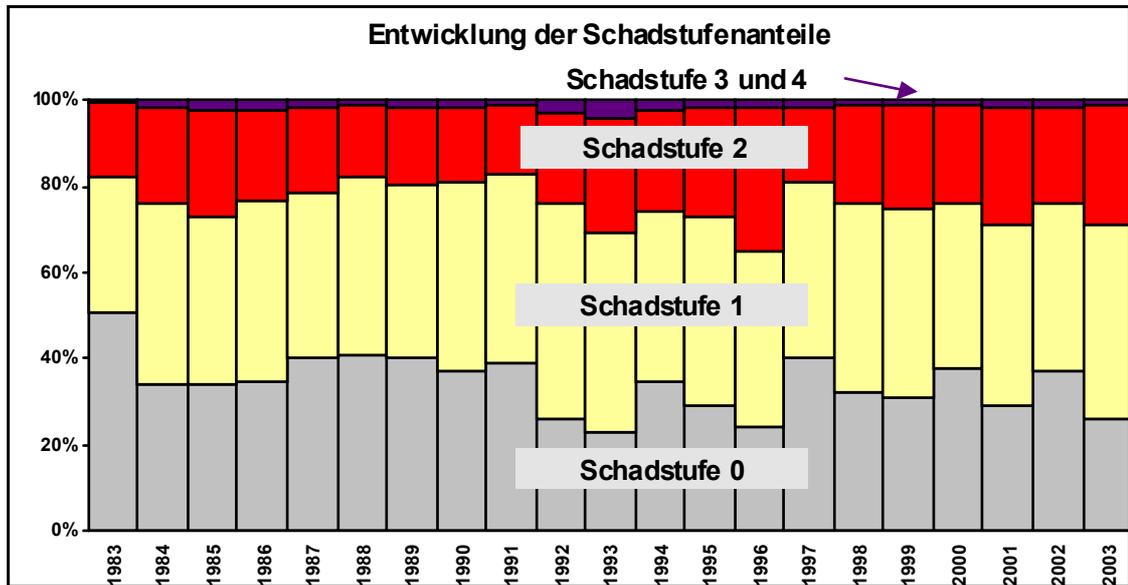
Abb. 6: Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche

Gegenüber den letzten vier Aufnahmen auf dem EU-Netz ist im Jahr 2003 somit eine deutliche Verschlechterung des Waldzustandes zu verzeichnen. Die Waldfläche der Schadstufe 2 – 4 lag bei den Aufnahmen des europäischen 16x16 km-Netzes seit 1998 in Baden-Württemberg nahezu konstant auf einem Niveau zwischen 24 und 25%. Ein Vergleich mit den Vollaufnahmen des 4x4 km-Netzes lässt auf Grund der unterschiedlichen Stichprobendichte keine verlässlichen Aussagen zu. Jedoch liegen auch die herausgerechneten Ergebnisse der auf das 16x16 km-Netz fallenden Stichprobenpunkte aus den Jahren 1997 und 2001 deutlich unter den Ergebnissen von 2003.

Damit wurde in Baden-Württemberg auf dem EU-Netz im Jahr 2003 der höchste Anteil an deutlich geschädigter Waldfläche seit 1996 ermittelt.

In der Verteilung der einzelnen Schadstufen zeigt sich ebenfalls die deutliche Verschlechterung im Vitalitätszustand der Wälder. Nur knapp über ein Viertel der Waldfläche Baden-Württembergs (26%) wurde als ungeschädigt (Schadstufe 0) eingestuft. Dies sind 11 Prozentpunkte weniger als noch im Vorjahr. Seit 1996 ist dies der geringste Anteil an ungeschädigter Waldfläche in Baden-Württemberg. Der Anteil schwach geschädigter Waldfläche (Schadstufe 1) lag bei der Aufnahme 2003 bei 45%, der mittelstark geschädigten (Schadstufe 2) bei 28%. Beide Anteile haben sich gegenüber dem Vorjahr um jeweils 6% erhöht. Seit Beginn der Waldschadenserhebungen in Baden-Württemberg wurde erst einmal – und zwar im Jahr 1996 – ein größerer Anteil der Waldfläche mit Schadstufe 2 erhoben. Stark geschädigte bzw.

abgestorbene Bäume (Schadstufe 3 und 4) sind mit Flächenanteilen von 1% über die Jahre relativ konstant vertreten (Abb. 7).



	1983	1984	1985	1986	1987 ¹⁾	1988 ¹⁾	1989	1990 ²⁾	1991	1992 ²⁾	1993 ²⁾	1994	1995 ²⁾	1996 ²⁾	1997	1998 ²⁾	1999 ²⁾	2000 ²⁾	2001	2002 ²⁾	2003 ²⁾
Anteile an der Waldfläche in Prozent																					
Schadstufe 0	51	34	34	35	40	41	40	37	39	26	23	35	29	25	40	32	31	38	29	37	26
Schadstufe 1	31	42	39	42	39	42	40	44	44	50	46	40	44	40	41	44	44	38	42	39	45
Schadstufe 2	17	22	25	21	20	16	18	17	16	21	27	23	25	34	18	23	24	23	27	22	28
Schadstufen 3/4	1	2	2	2	1	1	2	2	1	3	4	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1
Summe																					
Schadstufen 2-4 (deutliche Schäden)	18	24	27	23	21	17	20	19	17	24	31	25	27	35	19	24	25	24	29	24	29
mittlerer Nadel-/ Blattverlust in %			20,0	19,0	18,0	17,0	17,7	17,6	17,2	21,2	23,7	20,1	21,2	23,2	17,7	19,3	20,3	18,8	21,1	18,9	21,4

¹⁾ 8 x 8 km Netz ²⁾ 16 x 16 km Netz

Abb. 7: Schadstufenverteilung

Der Vitalitätszustand von Bäumen steht im eindeutigen Zusammenhang zu ihrem Lebensalter. Während junge Bäume i.d.R. vitaler erscheinen, weisen ältere Bäume auf Grund langfristig einwirkenden Stressfaktoren auf das Waldökosystem deutlich stärkere Schadsymptome auf. In Abbildung 8 ist die Schadstufenverteilung nach Altersgruppen über alle Baumarten aufgezeigt. Während auf der bis 60 Jahre alten Waldfläche die Anteile der Schadstufen 0 und 1 deutlich überwiegen, konzentriert sich auf der ab 61 Jahre alten Waldfläche der überwiegende Anteil auf die Schadstufen 1 und 2.

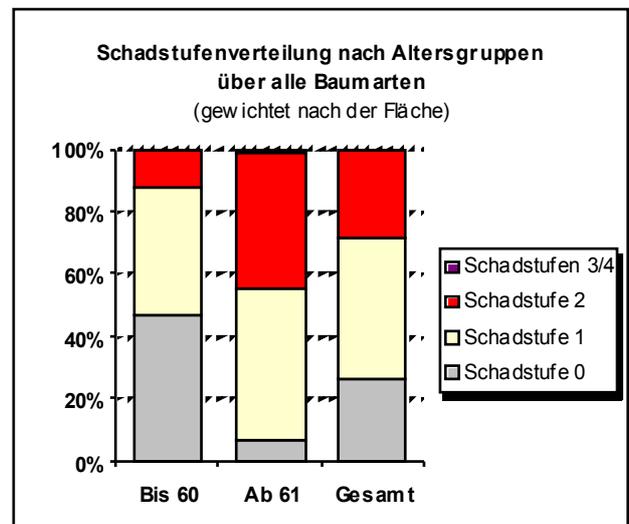


Abb. 8: Schadstufenverteilung nach Altersgruppen

Seit 1985 stieg das mittlere Alter aller Probestämme um etwa 10 Jahre, auf nunmehr durchschnittlich 76 Jahre an. In der Altersgruppe bis 60 Jahre ist das mittlere Alter in diesem Zeitraum im Schnitt nur um zwei Jahre angestiegen. Dies ist durch den Ersatz von Stichprobenbäumen (z.B. auf Grund von planmäßiger Nutzung oder Sturm) durch neue, junge Probestämme zu erklären. Das mittlere Alter der Gruppe ab 61 Jahre stieg seit 1985 um 13 Jahre, auf 108 Jahre an.

4.1.2 Der Nadel-/Blattverlust

Bei den Aufnahmen im Jahr 2003 lag der mittlere Nadel-/Blattverlust über alle Baumarten bei 21,4% ($\pm 1,3$). Im Vergleich zum Vorjahr ist dies eine Zunahme der mittleren Kronenverlichtung von insgesamt 2,5%. Im Vergleich zum Jahr 2002 ist dieser Unterschied ebenfalls statistisch signifikant.

Aussagen über die Entwicklung des Waldzustandes lassen sich nur innerhalb der gleichen Stichprobenetze machen. Abbildung 9 zeigt die Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes über alle Baumarten

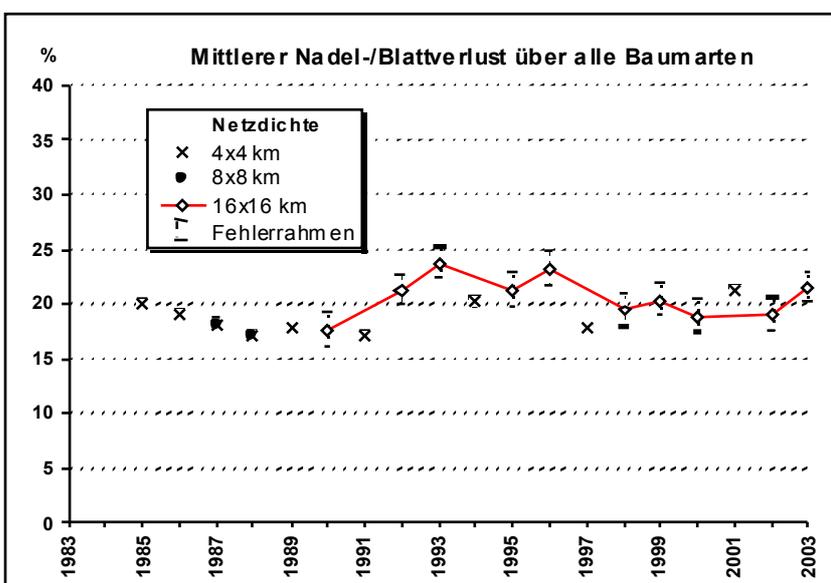


Abb. 9: Mittlerer Nadel-/Blattverlust

ten seit 1983 in Baden-Württemberg.

Die unterschiedlichen Stichprobenetze sowie die damit einhergehenden unterschiedlichen Fehlerrahmen sind gekennzeichnet. Der Standardfehler des EU-Netzes ist auf Grund der geringeren Stichprobendichte im 16x16 km-Netz (50 Probeflächen) mit $\pm 1,3$ Prozentpunkten wesentlich größer als der des 4x4 km-Netzes (ca. 840 Probeflächen) mit nur $\pm 0,3$ Prozentpunkten.

Abbildung 10 zeigt die Häufigkeitsverteilung des Nadel-/Blattverlustes in 5%-Stufen. Am häufigsten sind die Nadel-/Blattverlust-Stufen zwischen 10 und 25% vertreten. Knapp 60% der Waldfläche fällt in diesen Bereich. Im Vergleich zum Jahr 2002 ist eine deutliche Verschiebung der Häufigkeit an der Schadstufengrenze von 0 zu 1 zu beobachten. Während bei allen Prozentstufen der Schadstufe 0 (0-10%) eine deutliche Abnahme zu verzeichnen ist, nehmen nahezu alle anderen Prozentstufen an Häufigkeit zu. Einzig die Prozentstufen 45, 55 und 65 zeigen einen leicht niedrigeren Wert als im Vorjahr.

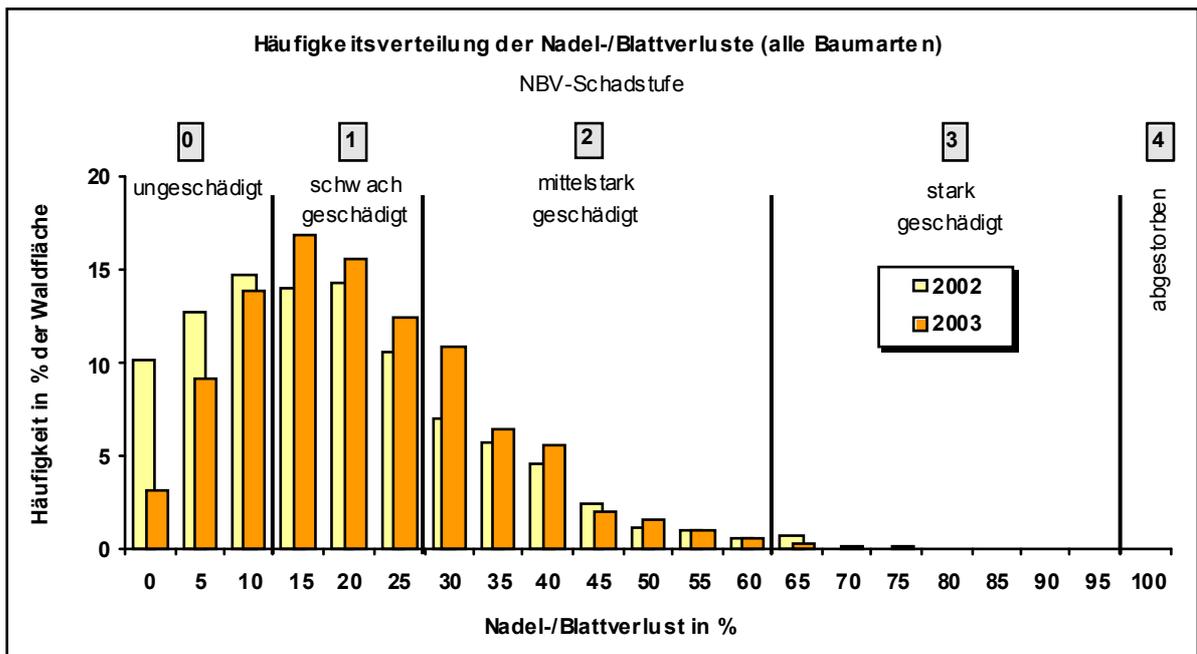


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung des NBV

4.1.3 Die Vergilbung

Der Anteil an Bäumen mit vergilbten Nadeln oder Blättern ist im Vergleich zum Jahr 2002 wieder deutlich zurückgegangen. Nur noch auf etwa 4% der Waldfläche wurden Bäume mit vergilbten Blattorganen registriert. Hiervon ist der überwiegende Teil der Vergilbungsstufe 1 und ein weit geringerer Teil der Stufe 2 zuzuordnen (Abb. 11).

Die Vergilbung von Nadeln und Blättern ist häufig auf einen Mangel von im Boden verfügbarem Magnesium zurückzuführen. Das Magnesium wird durch Schwefel- und Stickstoffeinträge durch die Niederschläge („Saurer Regen“) zusammen mit weiteren Pflanzennährstoffen wie Kalium und Calcium aus dem Boden ausgewaschen.

Man spricht hierbei auch von Versauerungsprozessen (vgl. Kap. 5.3.2). Durch die gezielten Bodenschutzkalkungen mit magnesiumhaltigem Kalk seit Anfang der 80er Jahre sowie den zwischenzeitlich notwendigen Wiederholungskalkungen bestimmter Standorte konnten die Vergilbungserscheinungen an Nadeln und Blättern offensichtlich deutlich reduziert werden.

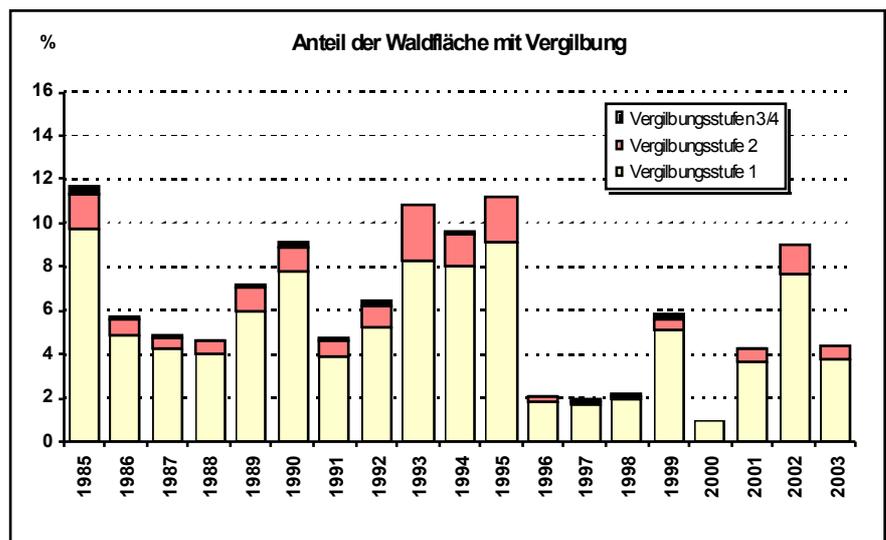


Abb. 11: Vergilbung

4.1.4 Sonstige Kronenparameter

Das Jahr 2003 ist geprägt durch ein hohes Niederschlagsdefizit. In weiten Landesteilen sind die Niederschläge seit den ersten Frühjahrsmonaten weit unter dem langjährigen Durchschnitt. Zudem sind die Temperaturen überdurchschnittlich hoch, so dass die Vegetation unter **Trocken- und Hitzestress** leidet (vgl. Kap. 5.1.1).

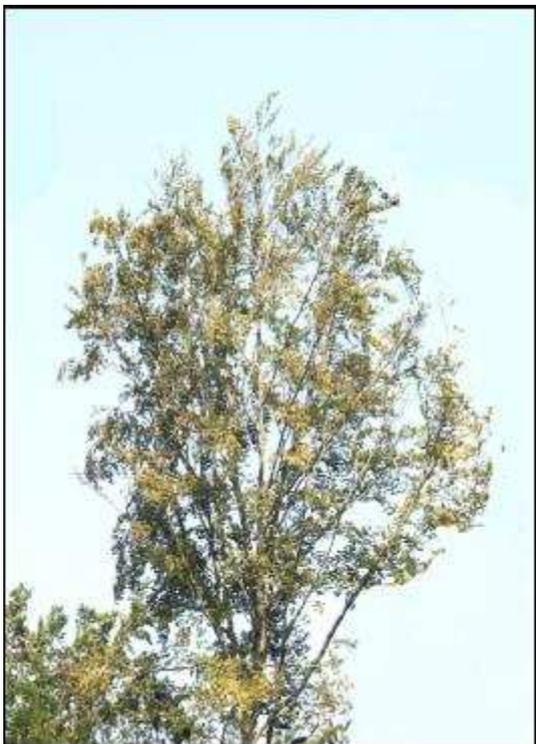


Abb. 12: Buche mit Trocknissymptomen

Bei den Aufnahmen der Waldschadenserhebung Ende Juli bis Mitte August waren v.a. in den Tieflagen und an sonnenexponierten Hängen die Auswirkungen dieser extremen Trockenheit und Hitze in den Baumkronen deutlich sichtbar. Die Bäume reagieren auf Wassermangel mit Abwurf von Nadeln bzw. Blättern, um ihre Transpiration zu reduzieren. Die Kronen erscheinen hierdurch wesentlich transparenter. Die Buche beispielsweise versucht zunächst durch Aufklappen der Blattränder („Schiffchenbildung“) eine erhöhte Transpiration zu verhindern. Werden Sonneneinstrahlung und Wassermangel zu hoch, kommt es zum Laubabfall. Die Blätter werden teils gelb bis braun verfärbt, oftmals aber auch noch grün abgeworfen (Abb. 12). Damit verliert der Baum wichtige Nährelemente, die normalerweise während der üblichen Herbstverfärbung aus den Blättern in den Stamm als Reserve verlagert werden. Hierdurch kann es zu erheblichen indirekten Schäden kommen.

Insbesondere die Eiche als ringporige Baumart ist auf die Bildung von Reservestoffen angewiesen, da die Wasserleitung hauptsächlich im kurz vor dem Austrieb gebildeten Frühholz stattfindet. Wird das Frühholz auf Grund fehlender Reservestoffe im nächsten Frühjahr nicht entsprechend stark ausgebildet, kann dies im nächsten Jahr zu erheblichen Folgeschäden führen. Zudem sind an Bäumen, die durch Hitze und Trockenheit geschwächt sind, vermehrt Schäden durch Insekten zu erwarten. Hier sind insbesondere die Borkenkäfer zu nennen, deren Populationsdichte auf Grund der starken Populationszunahme nach den Stummschäden 1999 („Lothar“) noch immer sehr hoch ist.

Bei den Aufnahmen zur TWI 2003 wurden vergleichsweise noch wenige **Schäden durch Insekten** festgestellt. An Buche trat regional Blattfraß durch den Buchenspringrüssler (*Rynchaenus fagi*) auf. Etwa 20% aller Buchen waren hiervon überwiegend mit geringer Befallsintensität betroffen. Geringe Fraßschäden durch Schadinsekten (Schwammspinner, Eichenwickler und Frostspanner) konnten auch an Eichen festgestellt werden. Aktuelle Schäden durch Borkenkäfer an Fichten waren im Rahmen der Waldschadenserhebung an den Probestämmen nicht feststellbar. Jedoch traten erhebliche, weiträumig verbreitete Borkenkäferschäden in diesem Jahr erst im Spätsommer auf.

Besonders auffällig ist der hohe Anstieg an **Fruktifikation** (Zapfenbildung) bei der Fichte im Vergleich zum Vorjahr. Insgesamt wurde bei über 77% aller aufgenommenen Fichten Zapfenbehang registriert,

wobei der weit überwiegende Teil der Probestämme eine schwache oder mittelstarke Fruktifikation aufwies. Ein direkter Zusammenhang zwischen Fruktifikationsintensität und Benadelung ist bei der Fichte im Gegensatz zur Buche nicht eindeutig nachweisbar. In Mastjahren ist die Belaubungsdichte bei der Buche meist deutlich geringer. Vitale Buchen erholen sich jedoch in aller Regel in den Folgejahren. Bei der diesjährigen Waldschadensinventur konnte keine überdurchschnittliche Fruktifikation bei der Buche festgestellt werden.

4.1.5 Ausgefallene Bäume

An den 49 ausgewerteten EU-Stichprobenpunkten sind im Jahr 2003 insgesamt 56 Bäume auf 18 verschiedenen Punkten ausgefallen. Dies entspricht in etwa 5% der aufgenommenen Baumzahl. Knapp zwei Drittel der ausgefallenen Bäume (37 Stück) sind Laubbäume, davon allein 21 Buchen. Bei den Nadelbäumen nimmt die Fichte mit 11 Individuen den überwiegenden Anteil der ausgefallenen Bäume ein.

Als Ausfallursache konnte bei 22 Bäumen eine planmäßige Nutzung im Rahmen einer ordnungsgemäßen Forstwirtschaft festgestellt werden. 11 Bäume sind aus abiotischen (Sturm, Schneebruch etc.) und ein Baum aus biotischer Ursache (Insekten- bzw. Pilzbefall) ausgefallen. Des Weiteren mussten acht Bäume auf Grund der geänderten Konkurrenzsituation zu ihren Nachbarbäumen (Umsetzung in KRAFT'sche Klasse 4 oder 5) aus der Stichprobe genommen werden. Bei 14 Bäumen konnte kein Ausfallgrund mehr ermittelt werden.

Um die Absterbeursache in Zusammenhang mit dem Kronenzustand näher zu betrachten, wurden alle ausgefallenen Bäume nach ihrem Ausfallgrund und nach ihrem letztmalig erhobenen Nadel-/Blattverlust seit 1996 analysiert. In die Analyse wurden sowohl Bäume des EU-Netzes als auch Bäume der Vollauf-

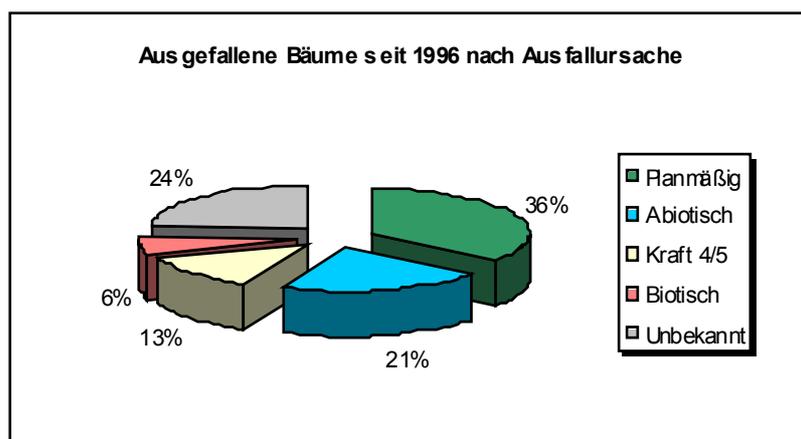


Abb. 13: Ausgefallene Bäume seit 1996

nahme eingeschlossen. In dem Zeitraum von 1996 bis 2003 sind insgesamt 2.624 Bäume ausgefallen, die für diese Untersuchung herangezogen werden konnten. Die Fichte, als die am häufigsten in der Stichprobe vertretenen Baumart, stellt mit über 54% den größten Anteil der ausgefallenen Bäume dar. Weit dahinter folgt die Buche mit etwa 15%.

Als Ausfallgrund wurde mit 36% die planmäßige Nutzung als häufigste Ursache ermittelt. Immerhin 21% der Bäume sind durch abiotische Ursachen ausgefallen, wobei die überwiegende Anzahl dieser Bäume durch den Wintersturm 1999 („Lothar“) ausgefallen sind. Durch die Umsetzung in eine andere soziologische Stellung (KRAFT'sche Klasse 4 oder 5) wurden 13% aus der Stichprobe genommen. Der Anteil

an biotischen Schäden als Ausfallursache liegt bei 6%. Auffällig ist, dass der Anteil der Fichte in dieser Gruppe bei über 80% liegt, was hauptsächlich auf den Einfluss der Borkenkäfer zurückgeführt werden kann. Bei 24% der ausgefallenen Bäume konnte kein eindeutiger Ausfallgrund mehr ermittelt werden (Abb. 13).

Durch eine planmäßige Nutzung entnommene Bäume hatten durchschnittlich bei ihrer letzten Waldschadensaufnahme einen Nadel-/Blattverlust von 21% (Abb. 14). Den etwa gleichen Wert (22%) hatten Bäume, die durch abiotische Ursachen (v.a. Sturm) ausgefallen sind. Im Vergleich mit dem erhobenen mittleren Nadel-/Blattverlust seit 1996 kann dieser Wert in etwa als Durchschnitt der letzten Inventuren angesehen werden (vgl. Kap. 4.1.2: Abb. 9). Unter diesem Nadel-/Blattverlust liegen mit 19% die Bäume, die auf Grund der Umsetzung in eine andere soziologische Stellung nicht mehr aufgenommen wurden. Dies ist sicherlich durch das überproportionale Vorhandensein von jungen Bäumen in dieser Gruppe zu erklären.

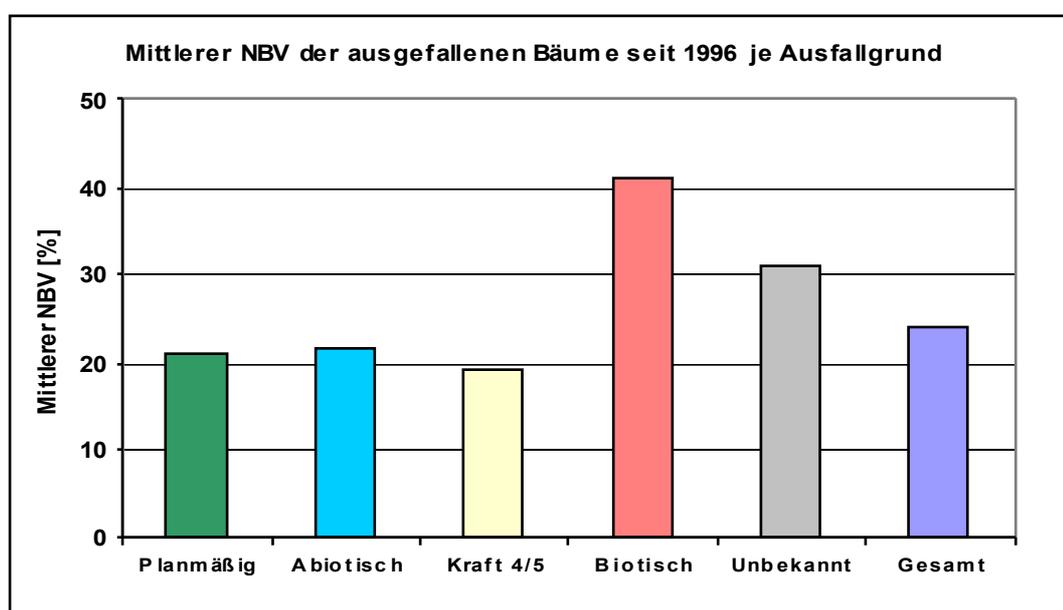


Abb. 14: Nadel-/Blattverlust der ausgefallenen Bäume

Der letztmalig aufgenommene Wert des Nadel-/Blattverlusts der Bäume, die durch biotische Ursache ausgefallen sind, ist mit durchschnittlich 41% dagegen ausgesprochen hoch. Bei der Fichte liegt in dieser Gruppe im Vergleich zur planmäßigen Nutzung der Nadelverlust um 13% höher. Dies weist darauf hin, dass geschwächte Bäume eher gegenüber biotischen Schaderregern anfällig sind als gesunde Bäume. Eine Verschlechterung des Vitalitätszustandes erhöht die Disposition gegenüber biotischen Schaderregern, die schließlich ein Absterben der Bäume bewirken. Der mittlere Nadel-/Blattverlust der Bäume, bei denen kein eindeutiger Ausfallgrund mehr bestimmt werden konnte, liegt mit 31% ebenfalls deutlich über dem Durchschnitt aller Bäume. Es ist zu vermuten, dass hier der Anteil von biotisch geschädigten Bäumen sehr hoch liegt. Insbesondere bei Inventuren mit mehrjährigem Abstand (4x4 km-Netz) ist es unter Umständen schwierig, biotische Schaderreger als Absterbeursache nachträglich eindeutig zu identifizieren.

4.2 Vergleich der Ergebnisse auf Ebene des Bundes und Europa

Die Aufnahmen der Terrestrischen Waldschadensinventur Baden-Württembergs sind Bestandteil der Waldschadenserhebung auf Bundesebene sowie auf Ebene der Europäischen Union. Da die jeweiligen endgültigen Ergebnisse aus den Daten der einzelnen Bundesländer bzw. EU-Mitgliedsstaaten berechnet werden, kann hier nur ein Vergleich mit den Daten aus dem Jahr 2002 bzw. der vorhandenen Zeitreihe gezogen werden. Einheitliche Datenreihen liegen für das Bundesgebiet seit dem Jahr 1984, für Europa seit 1988 vor.

Im Vergleich der deutlich geschädigten Waldfläche ist zwischen Baden-Württemberg und dem gesamten Bundesgebiet ein ähnlicher Verlauf festzustellen:

Nach anfänglich hohem Niveau Anfang der 80er Jahre verringert sich die Waldfläche mit deutlichen Schäden bis zum Ablauf dieses Jahrzehnts sowohl in Baden-Württemberg als auch im Bundesgebiet. Anfang der 90er Jahre vergrößert sich die deutlich geschädigte Waldfläche erneut und erreicht ihren bisherigen Höchststand (in Baden-Württemberg zeitverzögert 1996). In den letzten Jahren stabilisiert sich der Anteil der Waldfläche der Schadstufe 2 – 4 auf einem Niveau, welches in etwa dem der ersten Aufnahmen der Waldschadenserhebung entspricht. Einzig das Jahr 2001 zeigt in Baden-Württemberg im Gegensatz zu den Aufnahmen des Bundesgebiets einen erheblich höheren Anteil an deutlich geschädigter Waldfläche.

Mit Ausnahme des Jahres 1997 liegt der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg seit 1995 stets über dem des Bundesgebiets. In Europa zeigen die ersten Aufnahmen (1988/89) noch einen geringen Anteil an den Schadstufen 2 bis 4. Dieser steigt jedoch bis Mitte der 90er Jahre kontinuierlich an und stabilisiert sich Anfang des 21. Jahrhunderts auf einem ähnlichem Niveau wie im Bundesgebiet (Abb. 15).

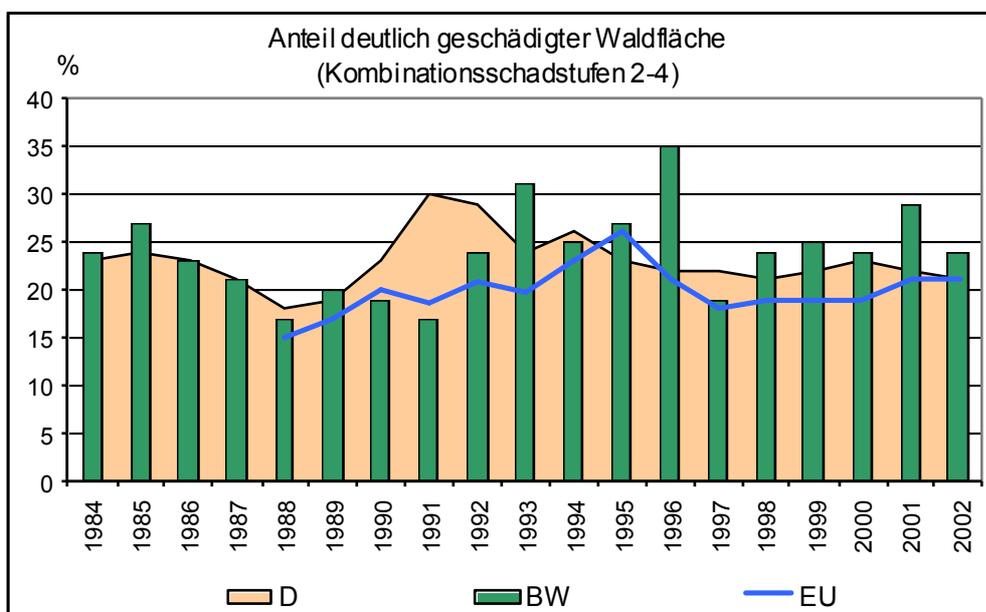


Abb. 15: Anteil deutlich geschädigter Waldfläche in D – BW – EU

Im Vergleich des mittleren Nadel-/Blattverlusts der einzelnen Baumarten zwischen Baden-Württemberg und dem Bundesgebiet zeichnen sich ebenfalls ähnliche Entwicklungen ab (Abb. 16). So ist beispielsweise bei der Eiche seit Beginn der Erhebungen ein stetiger Anstieg des Schadniveaus festzustellen,

der erst nach 1997 etwas abflaut. Die Buche zeichnet auf etwas geringerem Niveau in etwa den Schadverlauf der Eiche bis 1997 nach. In Baden-Württemberg ist jedoch in den letzten Jahren keine Verringerung des Blattverlustes der Buche erkennbar.

Betrachtet man nur die Baumarten, die auf Bundesebene ausgewertet werden (Fichte, Kiefer, Buche, Eiche), so ist das Schadniveau in Baden-Württemberg insgesamt leicht gestiegen. Hingegen ist es im Bundesgebiet relativ gleich geblieben, wobei sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Baumarten deutlich vergrößert haben.

In Baden-Württemberg ist zudem die Entwicklung der Tanne als die für eine lange Zeit am stärksten geschädigte Baumart bemerkenswert, da sich der mittlere Nadelverlust im langjährigen Trend seit 1985 auf Grund der großen Regenerationsfähigkeit dieser Baumart deutlich verringert hat.

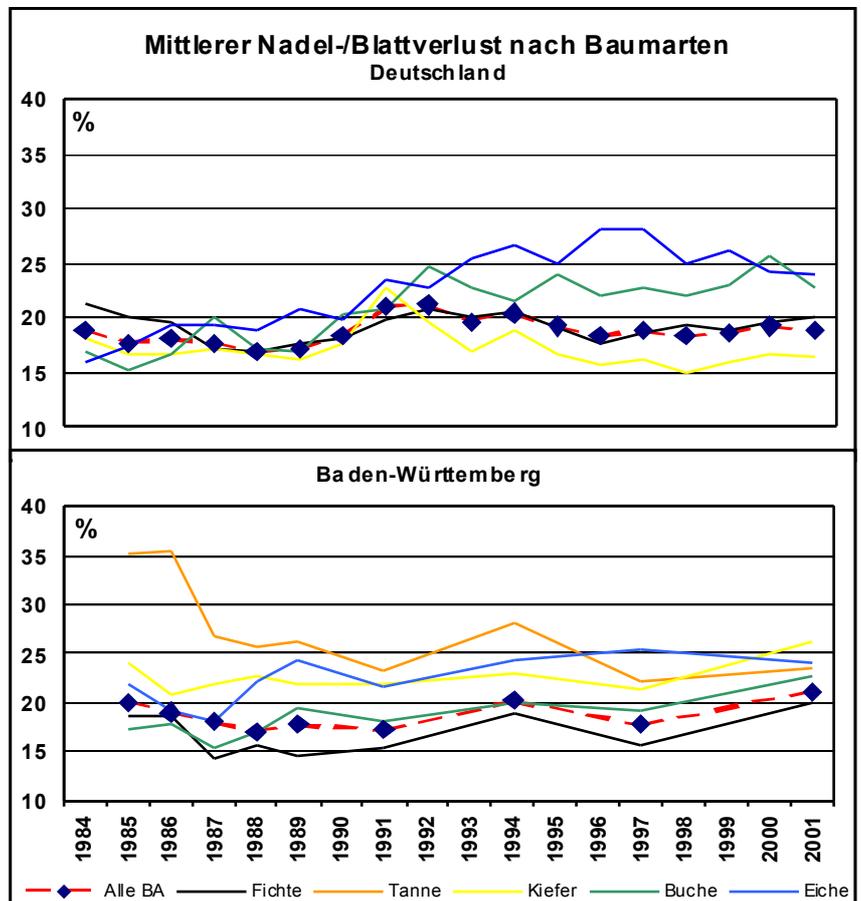


Abb. 16: Mittlerer Nadel-/Blattverlust nach Baumarten

4.3 Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen

Für zusätzliche Informationen über den aktuellen Waldzustand von Baden-Württemberg können die Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden herangezogen werden. Entgegen den Rasterstichprobenpunkten der TWI sind Dauerbeobachtungsflächen gezielt auf den wichtigsten Standorten der Hauptverbreitungsgebiete der jeweiligen Baumart angelegt worden. Bei den 0,25 ha großen Flächen handelt es sich ausnahmslos um Bestände mit einem Bestandesalter von über 60 Jahren. Der Anteil der Bäume mit deutlichen Schäden (Schadstufe 2-4) ist demnach um einiges höher als bei der TWI. Zudem muss berücksichtigt werden, dass die Aufnahmen der Nadelbaumflächen aus verfahrenstechnischen Gründen jährlich im Frühjahr durchgeführt werden, so dass die Ergebnisse den Waldzustand der Vegetationsperiode des vorangegangenen Jahres abbilden.

Die Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen sind nicht für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs repräsentativ, geben jedoch wichtige Hinweise über die Entwicklung des Kronenzustands der Hauptbaumarten in den jeweiligen Gebieten und können zur Interpretation der TWI-Ergebnisse herangezogen werden.

Im Jahr 2003 wurden insgesamt 62 Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden mit zusammen über 1.600 Bäumen von Mitarbeitern der FVA Baden-Württemberg erhoben. Davon waren 17 Fichten-, 13 Tannen-, 10 Kiefer-, 12 Buchen- und 10 Eichenflächen. Hierbei sind 10 der aufgenommenen Fichtenflächen in das Europäische Umweltmonitoring Programm „Level II“ eingebunden (Abb. 17).

Lage der Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg

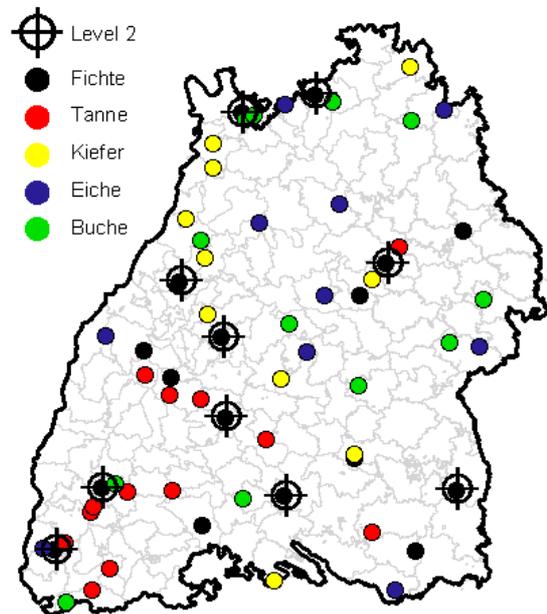


Abb. 17: Dauerbeobachtungsflächen

4.3.1 Die Entwicklung des Kronenzustandes

Im Vergleich zur Aufnahme im Jahr 2002 hat sich der Anteil der deutlich geschädigten Bäume sowohl auf den **Fichten-** als auch auf den **Tannenbeobachtungsflächen** kaum geändert. Auf den Fichtenflächen zeichnet sich seit wenigen Jahren eine tendenzielle Verschlechterung des Kronenzustandes ab, während sich auf den Tannenbeobachtungsflächen der Anteil deutlich geschädigter Bäume nach einer intensiven Erholungsphase Ende der 80er Jahre auf hohem Niveau stabilisiert hat. Bei der Tanne ist häufig eine Regeneration der abgestorbenen Oberkrone durch eine von Wasserreisern gebildete Sekundärkrone zu beobachten (Abb. 18, Abb. 19).

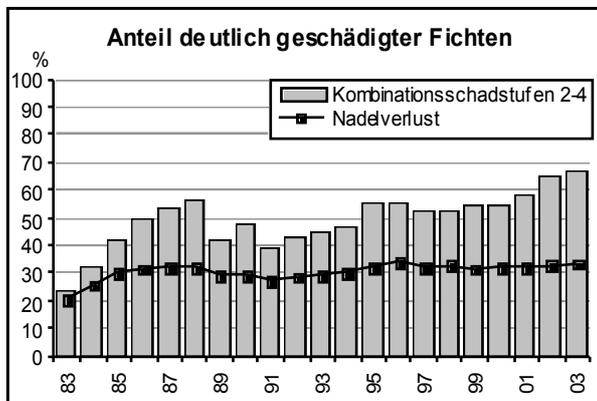


Abb. 18: Fichten-Dauerbeobachtungsflächen

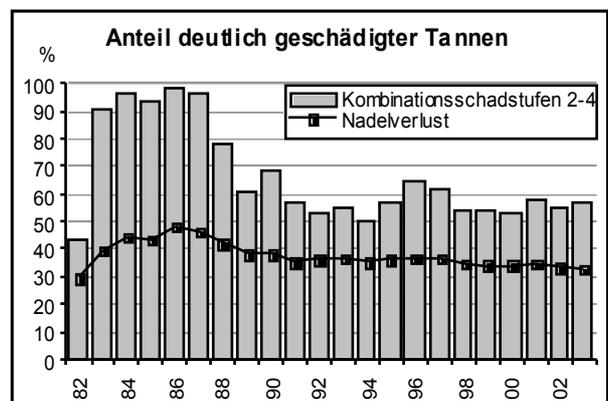


Abb. 19: Tannen-Dauerbeobachtungsflächen

Auf den **Kieferbeobachtungsflächen** ist der Anteil deutlich geschädigter Bäume erheblich gesunken (Abb. 20). Auf den Einzelflächen ist der Kronenzustand aber sehr unterschiedlich. Auf den Beobachtungsflächen in der Rheinebene ist ein zunehmender Mistelbefall an den Kiefern zu beobachten. Die Mistel (*Viscum album*) lebt halbparasitisch in den Baumkronen und entzieht dem Baum Wasser und Nährsalze. Dadurch kommt es zu einer Schwächung des Baumes, der darauf mit verstärkter Kronenverlichtung reagiert.

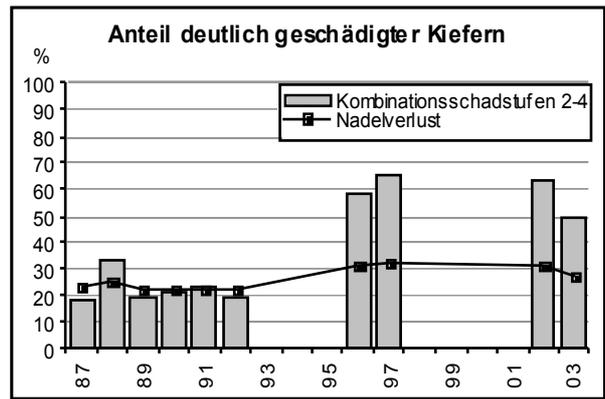


Abb. 20: Kiefern-Dauerbeobachtungsflächen

Die **Buchenflächen** zeigen im Sommer 2003 erhebliche Schädigungen durch Trockenheit. Bei den Aufnahmen Mitte Juli konnte bereits starker Laubfall beobachtet werden. Der Anteil der deutlich geschädigten Bäume hat sich im Vergleich zum Vorjahr um über 15 Prozentpunkte erhöht und damit seit Beginn der Beobachtungsperiode des Kollektives seinen Höchststand erreicht (Abb. 21). Auf den **Eichenflächen** wurden dieses Jahr wieder leicht erhöhte Fraßschäden durch Schwammspinner, Frostspanner und Eichenwickler beobachtet. Der Anteil an Bäumen der Schadstufe 2 - 4 lag auf den Eichen-dauerbeobachtungsflächen in etwa auf dem Niveau des Vorjahres (Abb. 22).

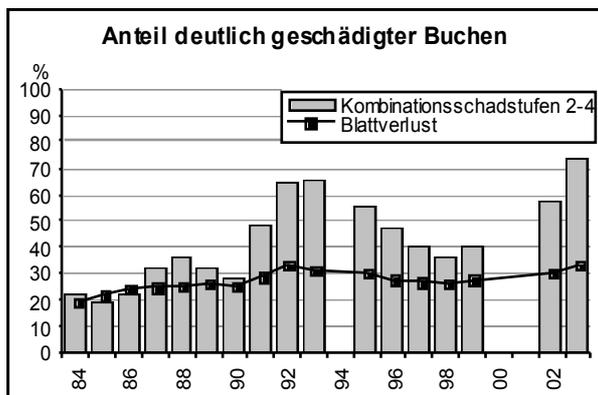


Abb. 21: Buchen-Dauerbeobachtungsflächen

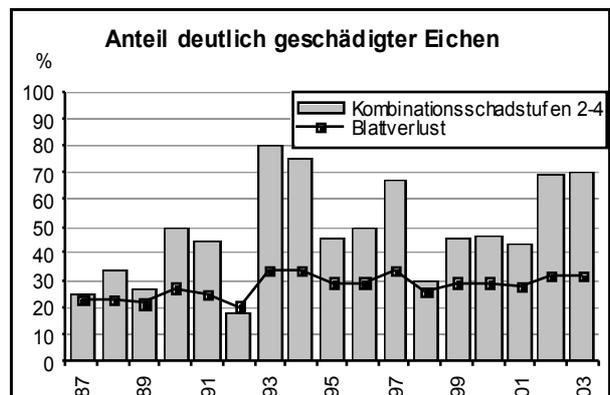


Abb. 22: Eichen-Dauerbeobachtungsflächen

4.3.2 Schäden durch Ozon

Eine schädigende Wirkung von bodennahem Ozon (O_3) auf Organismen ist seit längerem bekannt. Das Auftreten von Schäden an Waldbäumen wurde erstmals an der Ponderosa-Kiefer in Kalifornien (USA) beobachtet. In zahlreichen Laborversuchen wurde eine direkte Schädigung der Blattorgane auch an anderen Waldbaumarten nachgewiesen. Seit einigen Jahren werden Ozonschädigungen an Waldbäumen v.a. aus dem südeuropäischen Raum gemeldet.

Bei Einwirkung von Ozon ist eine Verfärbung zwischen den Blattnerven auf der Blattoberseite zu beobachten. Es bilden sich kleine, graue bis schwarze Pünktchen (sogenannte „Stipplings“) in den Inter-costalfeldern aus, die in fortgeschrittenem Stadium als flächige Verfärbung erscheinen können. Zunächst sind sie nur auf der Blattoberseite, später auch auf der Unterseite erkennbar (Abb. 23). An Koniferen verursacht Ozon helle bis bronzefarbene Punkte an der lichtzugewandten Seite der Nadeln.

Ozon wird von der Pflanze über die Spaltöffnungen der Blattorgane aufgenommen. Im Blattinneren kommt es im Palisadenparenchym zur Einlagerung sekundärer Substanzen (Phenole). Die Zellen degenerieren und sterben schließlich ab. Die Produktion von lebenswichtiger Stärke wird somit eingeschränkt und der Abtransport vermindert, so dass die Versorgung anderer Zellen nicht mehr vollständig gewährleistet ist.

Im Jahr 2003 wurden in Baden-Württemberg erste Untersuchungen der FVA hinsichtlich Ozonschädigungen im Wald durchgeführt. Es wurden an allen 10 Level II Flächen in Baden-Württemberg auf voll besonnten Waldrandflächen, sogenannten LESS-Flächen (**L**ight **E**xposed **S**ampling **S**ite), auffällige Blattproben eingesammelt und diese anschließend im Labor mikroskopisch untersucht. Zudem wurde eine LESS-Fläche an der Tannen-Dauerbeobachtungsfläche im Forstbezirk Müllheim (Kälbelescheuer) eingerichtet, da in unmittelbarer Nachbarschaft die Ozonkonzentration durch die UMEG kontinuierlich gemessen wird und somit Bezugswerte zur Verfügung stehen (vgl. Kap. 5.3.1).

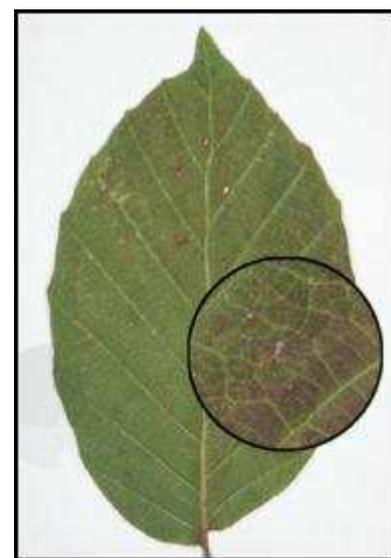


Abb. 23: Ozonsymptome an Buche

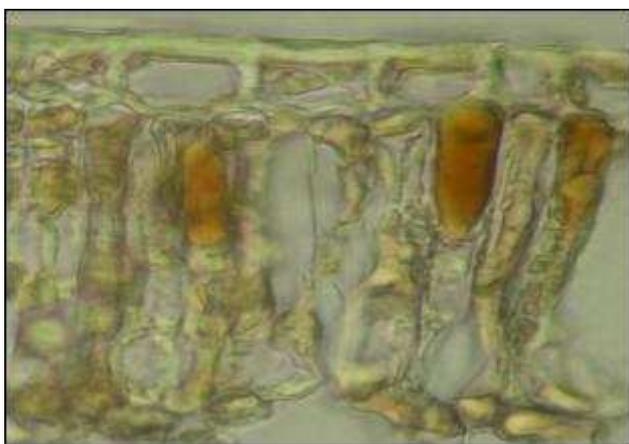


Abb. 24: Querschnitt eines Buchenblattes

Auf fünf von insgesamt elf untersuchten LESS-Flächen konnten an mehreren Blattproben der Baumart Buche (*Fagus sylvatica*) Schäden des Palisadenparenchyms festgestellt werden, die den typischen Symptomen von Pflanzen aus Ozonbegasungsversuchen entsprechen (Abb. 24).

Im Rahmen einer Differenzialdiagnose wurden andere Schadeinwirkungen (Trockenheit, biotische Schäden o.ä.) ausgeschlossen.

Zudem wurden die Ergebnisse durch die Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, die sich seit Jahren mit der Ozonproblematik und ihrer eindeutigen Ansprache beschäftigt, in mehreren Fällen bestätigt.

Damit konnten erstmals auf Versuchsflächen der FVA Baden-Württemberg akute Schädigungen durch Ozon an Waldbaumarten nachgewiesen werden.

4.4 Zusammenhang zwischen Waldzustand und Waldwachstum

Seit Beginn der Waldschadenserhebung werden die möglichen Auswirkungen des Kronenzustandes auf die Zuwachsentwicklung der Bäume diskutiert. Bisher wird davon ausgegangen, dass zumindest bei einer starken Verlichtung der Krone Zuwachseinbußen sowohl beim Dicken- als auch im Höhenzuwachs zu erwarten sind. Demgegenüber stehen Meldungen über signifikante Zuwachssteigerungen der Waldbestände in den letzten Jahrzehnten (z.B. EFI-Studie 1996) zunächst im Widerspruch mit den Ergebnissen der Waldschadensinventur.

Die Ergebnisse der im Jahr 2001 durchgeführten **Immissionsökologischen Waldzustandserhebung (IWE)**, auch Belastungsinventur genannt, geben Hinweise über den Zusammenhang zwischen Waldzustand und Wachstum und helfen, den scheinbaren Widerspruch zwischen zunehmender geschädigter Waldfläche und zunehmendem Wachstum der Bestände zu verstehen. Darüber hinaus wird im Rahmen der IWE die Ernährungs- und Belastungssituation anhand von Nadelanalysen untersucht, welche jedoch zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend ausgewertet sind.

Das Inventurverfahren der IWE basiert ebenso wie die TWI auf dem bereits 1983 angelegten 4x4 km-Netz. An jedem Stichprobenpunkt im Wald werden nach festgelegten Kriterien (KRAFT 1, >40 Jahre etc.) Bäume für die IWE ausgewählt. Zunächst findet an jedem Baum eine Kronenansprache gemäß dem Verfahren der Waldschadensinventur statt. Anschließend wird das Dickenwachstum anhand der Auswertung von entnommener Stammscheiben bzw. Bohrkernen, der Höhenzuwachs anhand von Trieb-

längenmessungen und die Ernährungssituation anhand von Nadel- bzw. Blattanalysen untersucht. An jedem Stichprobenpunkt der IWE 2001 wurde im Gegensatz zu vorherigen Inventuren lediglich ein Baum ausgewählt.

Von den insgesamt 779 Stichprobenpunkten der IWE 2001 konnten 573 Stammscheiben sowie 164 Buchenbohrkerne ausgewertet werden. Die Stammscheiben gliedern sich in 476 Fichten- und 97 Tannenstammscheiben. Das Einmessen geschah in Zusammenarbeit mit der Universität Freiburg, Institut Waldwachstum / Prof. Dr. H. Spieker, dem für die Unterstützung gedankt wird. Erste Ergebnisse dieser Stammscheibenauswertung sollen im Folgenden kurz dargestellt werden.

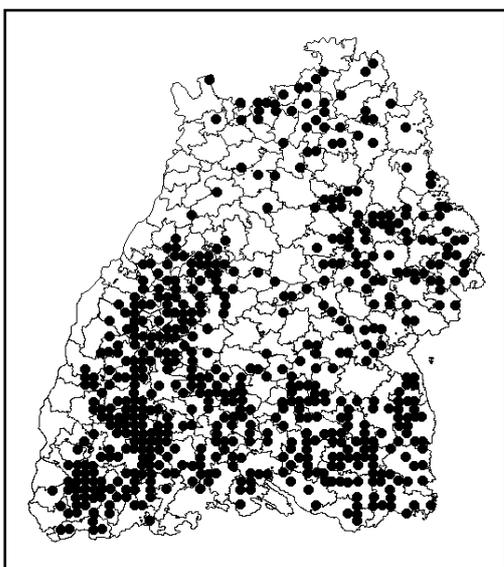


Abb. 25: IWE-Netz Baden-Württemberg

Betrachtet man das Dickenwachstum nach Altersgruppen getrennt, so fällt zunächst der deutliche Anstieg des Wachstums in den letzten Jahrzehnten auf. Abbildung 26 zeigt das unterschiedliche Dickenwachstum von Fichten unterteilt in 5 Altersgruppen. Demnach hat eine Fichte, die in den letzten 70 Jahren aufgewachsen ist, im Alter von 40 Jahren einen Brusthöhendurchmesser von etwa 24 cm. Dagegen war der Durchmesser einer Fichte, die heute über 130 Jahre alt ist, im Alter von 40 Jahren durchschnittlich um ca. 9 cm geringer. Als Ursache hierfür sind zum Einen eine Vielzahl forstwirtschaftlicher Maßnahmen zu nennen, die sich im Verlauf der Zeit geändert bzw. weiterentwickelt haben, wie z.B. der Wegfall der Streunutzung und der Waldweide oder Änderungen bezüglich der Bestandesbegründung und -behandlung. Zum Anderen spielen hierbei die in den letzten Jahrzehnten massiv veränderten Umweltbedingungen eine gravierende Rolle. Vor allem der stark gestiegene Eintrag von Stickstoff in die Wälder sorgt für ein schnelleres Wachstum. Aber auch der erhöhte Kohlendioxidgehalt in der Luft und für das Wachstum günstigere Witterungsverhältnisse (z.B. längere Vegetationsperioden) können für diesen deutlichen Anstieg mit verantwortlich gemacht werden.

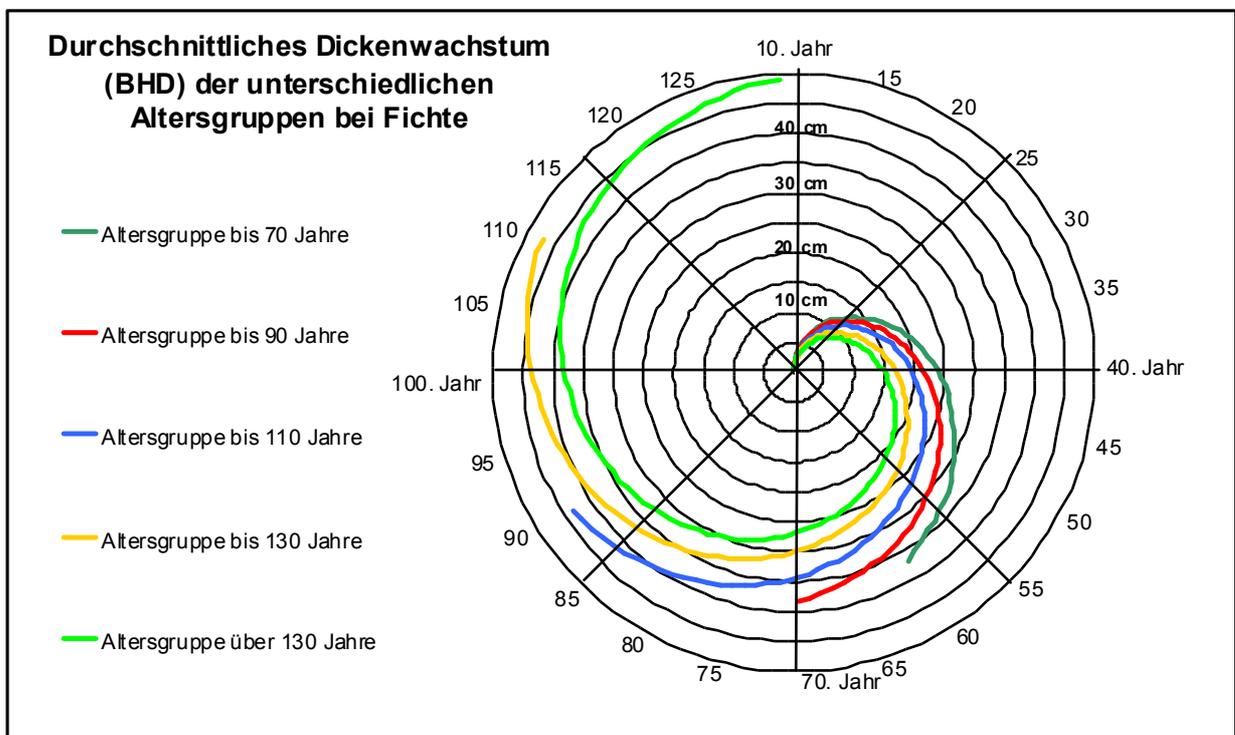


Abb. 26: Dickenwachstum nach Altersgruppen

Die hohe Stichprobenanzahl von Fichte und Tanne, die bei der IWE 2001 ausgewertet wurden, ermöglicht einen Vergleich zwischen der im Jahr 2001 erhobenen Schadstufe eines Baumes und der Entwicklung des Dickenwachses. In ganz Baden-Württemberg wurden 57 Stammscheiben von Fichten bzw. Tannen der Schadstufe 0, 295 Stammscheiben der Schadstufe 1 und 218 Stammscheiben der Schadstufe 2 ausgewertet. Die Schadstufe 3 ist mit nur drei Bäumen derart gering besetzt, dass auf eine Auswertung verzichtet wurde.

In Abbildung 27 sind die Zuwächse der Bäume der jeweiligen Schadstufe über einer Zeitachse aufgetragen. Die statistische Signifikanz der Werte zwischen den Schadstufen 0 und 1 bzw. zwischen 0 und 2 sind zur besseren Veranschaulichung als Plus und Minus dargestellt.

Der letzte vollständige Jahrringzuwachs der Bäume im Jahr 2000 weist sowohl zwischen den Schadstufen 0 und 1 sowie zwischen den Schadstufen 0 und 2 eine statistische Signifikanz auf. Die Gruppe der gesunden Bäume wächst gegenüber der Gruppe der schwach bzw. mittelstark geschädigten erheblich stärker zu. Der Unterschied im Dickenzuwachs zwischen Bäumen der Schadstufe 0 und 2 beträgt in diesem Jahr allein 15%. In den weiter zurückliegenden Jahren ist statistisch meist nur ein Unterschied im Zuwachs zwischen den Gruppen der Bäume mit Schadstufe 0 und 2 feststellbar. Je weiter die Zeitreihe zurückreicht, desto seltener wird der statistisch nachweisbare Unterschied zwischen den Gruppen. Die Reihung der Zuwächse nach der im Jahr 2001 erhobenen Vitalität der Bäume bleibt über den gesamten dargestellten Zeitraum bestehen. Hierbei spielen die unterschiedlichen, den Zuwachs beeinflussenden Faktoren wie Nährstoffversorgung, Alter, Stoffeinträge etc. eine Rolle, die wiederum in Wechselbeziehung zum Kronenzustand stehen. Der Kronenzustand als Weiser für die Vitalität von Bäumen ist unspezifisch, d.h. er umfasst alle Einflussfaktoren, die auf den Baum und seinen Kronenzustand einwirken.

In der zeitlichen Entwicklung wird deutlich, dass die Zuwachstendenz zwischen den drei ausgewählten Gruppen parallel verläuft. In Jahren mit günstigeren Wuchsbedingungen weisen alle Bäume einen stärkeren, in Jahren mit schlechten Bedingungen einen geringeren Zuwachs auf. So ist beispielsweise in dem ausgesprochen trockenem Jahr 1976 das Dickenwachstum aller ausgewerteten Bäume auffallend gering und eine statistische Signifikanz der verschiedenen Schadstufengruppen nicht erkennbar.

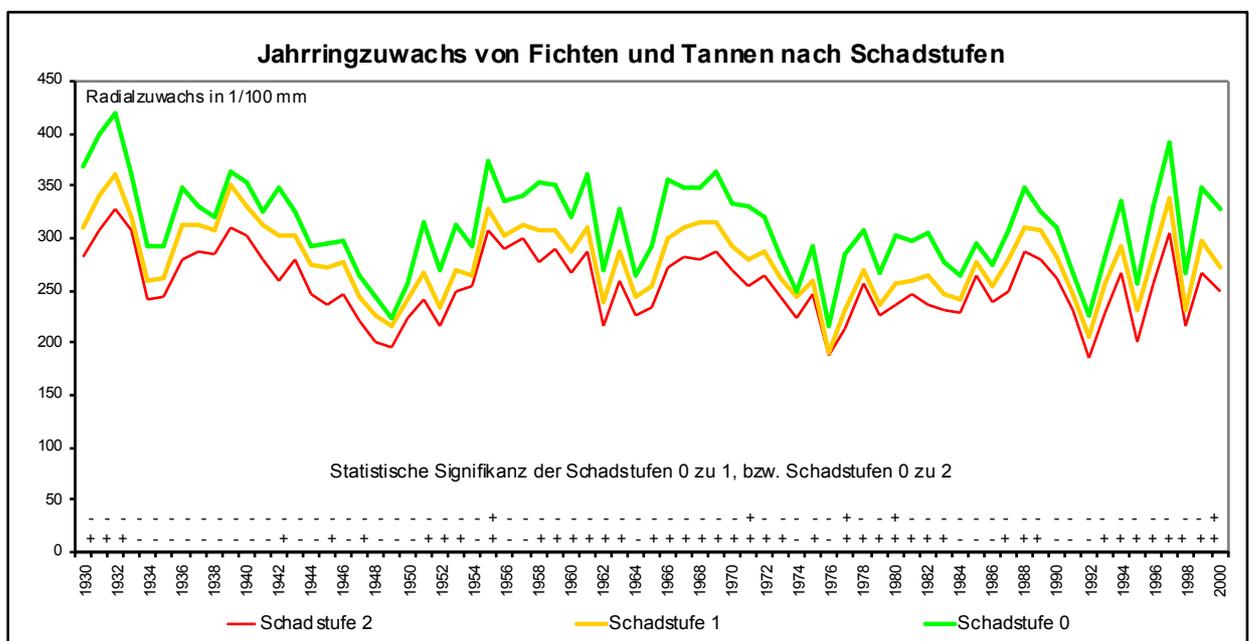


Abb. 27: Jahrringzuwachs bei Fichten und Tannen seit 1930

5 EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND

Zahlreiche Umweltfaktoren wirken auf das Ökosystem Wald ein und nehmen damit Einfluss auf den Waldzustand. Insbesondere sind dies Witterungseinflüsse (z.B. extreme Trockenheit oder Hitze, Frost, Sturm), biotische Einflüsse z.B. durch Insekten oder Pilze und nicht zuletzt anthropogen bedingte Stoffeinträge. Diese Faktoren wirken einerseits direkt auf den Baum, wie beispielsweise die Schädigung der Blattorgane durch Luftschadstoffe, andererseits können sie indirekt Einfluss auf das Waldökosystem nehmen, z.B. durch Bodenversauerung. Dabei wirken sich nicht nur die aktuell vorhandenen Einflussgrößen auf den Waldzustand aus, sondern auch bereits länger zurückliegende. Beispielsweise sind für die Ausbildung von Trieben und Knospen die Witterungsverhältnisse des vorausgegangenen Herbstes von entscheidender Bedeutung. Die einzelnen Faktoren stehen zudem in Wechselbeziehung zueinander und können sich in ihrer Wirkung verstärken oder abschwächen. So bewirkt ein extremer Witterungsverlauf mit starkem Trockenstress für die Bäume eine erhöhte Disposition für biotische Schadereger. Ein durch Trockenheit geschwächter Baum ist weit anfälliger für Insekten- oder Pilzbefall als ein Baum, der diesen extremen Witterungsbedingungen nicht ausgesetzt ist (Abb. 28).

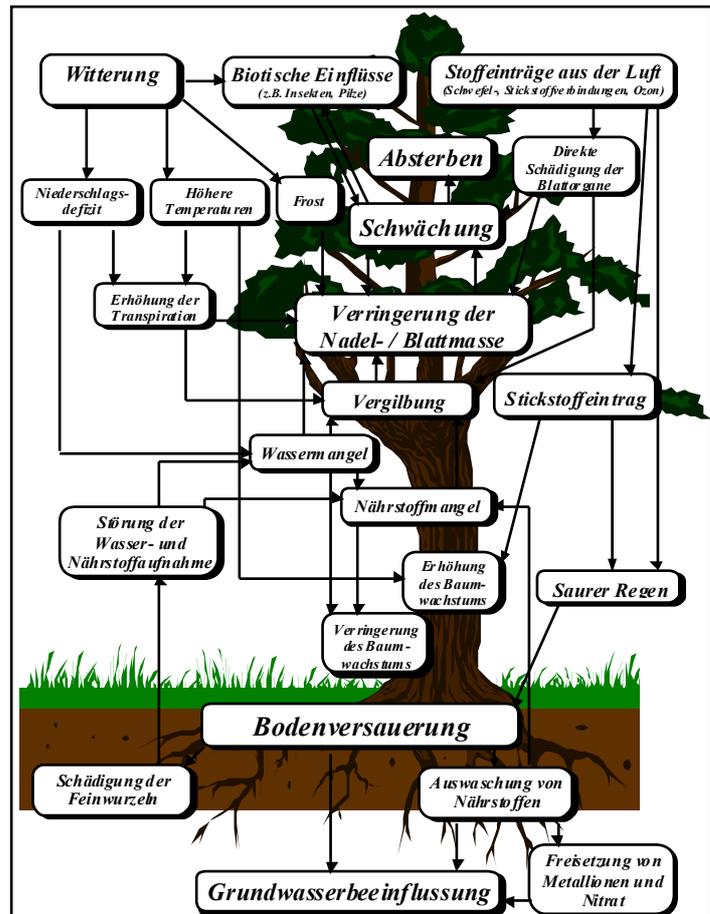


Abb. 28: Einflüsse auf den Waldzustand

Der Kronenzustand als Kriterium für die Vitalität der Waldbäume reagiert empfindlich auf zahlreiche dieser Einflussfaktoren. Dies macht ihn auf der einen Seite zu einem hervorragenden Weiser bezüglich des Vitalitätszustandes der Waldbäume, auf der anderen Seite ist die Ursachenbestimmung auf Grund der vielfältig einwirkenden Faktoren erschwert.

5.1 Klimatische Einflüsse

5.1.1 Witterungsverhältnisse 2002/2003

Die Niederschlags- und Temperaturverteilung im Jahresverlauf ist eine wichtige Einflussgröße auf den Waldzustand. Abbildung 29 zeigt exemplarisch den Jahresgang der Niederschlags- bzw. Temperaturabweichung der Station Freiburg i. Brsg. vom langjährigen Mittel (berechnet aus den Jahresmittelwerten von 1961 – 1990).

Das Jahr 2002 begann im Vergleich zum langjährigen Mittel mit einem zu warmen Winter bzw. Frühjahr, in denen mit Ausnahme der Monate Februar und Mai ein deutliches Niederschlagsdefizit zu verzeichnen war. Im Verlauf des Sommers lagen sowohl die Temperatur- als auch die Niederschlagsabweichungen im Südwesten Deutschlands nahezu auf dem Durchschnitt der letzten Jahre. Der Herbst war bis auf den September überwiegend zu warm und deutlich zu nass. Die erheblichen Niederschlagsmengen verringerten sich erst wieder gegen Jahresende.

Im Jahr 2003 ist ab Februar ein deutliches Niederschlagsdefizit zu verzeichnen. Während der Februar noch zu kalt war, ist ab März die Temperatur im Vergleich zum langjährigen Mittel stets zu hoch. Die extreme Trockenheit in der Vegetationsperiode führte in Verbindung mit der fehlenden Wasserspeisung der Böden im Frühjahr zu massiven Schädigungen an der Vegetation. Der Juni war mit ausgesprochen hohen Temperaturen und wenig Niederschlag vielerorts der wärmste Juni seit Beginn der Messaufzeichnungen in Baden-Württemberg. Im August wurden örtlich Temperaturen bis 40° C erreicht.

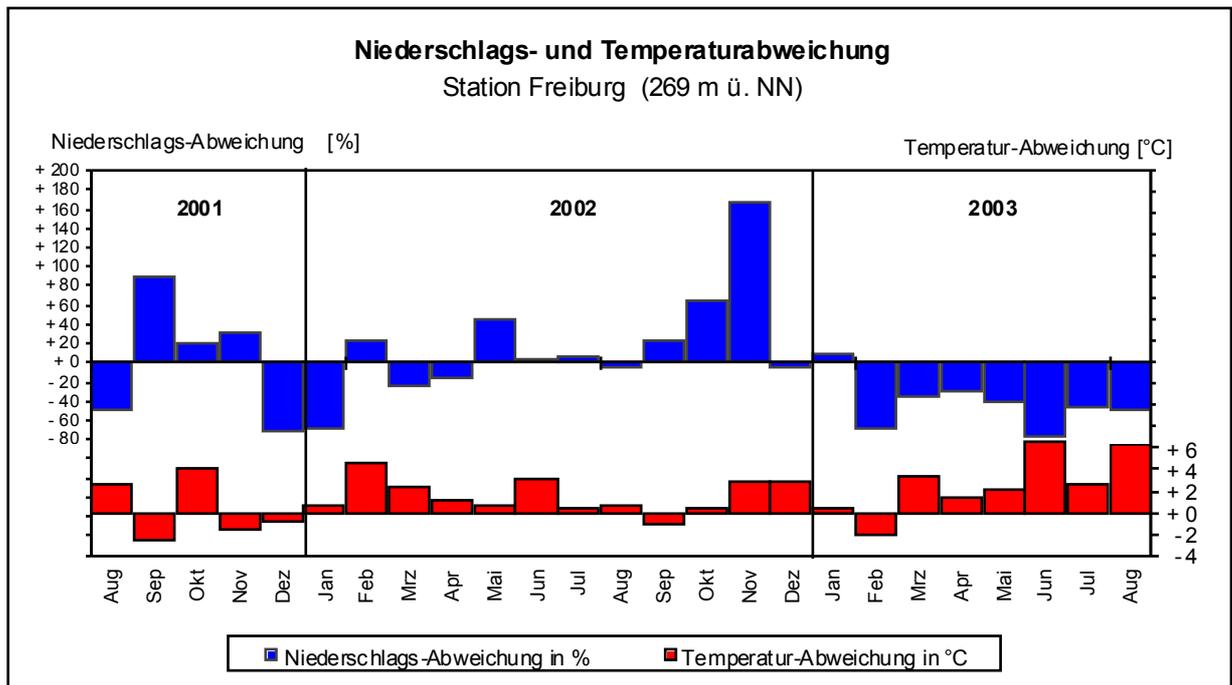


Abb. 29: Niederschlags- und Temperaturabweichung

5.1.2 Langfristige Klimaänderung

Hinsichtlich der langfristigen Entwicklung der Klimadaten sind global in den letzten 100 Jahren offensichtliche Veränderungen zu beobachten. Nach Angaben des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; 3. Bericht 2001) ist die bodennahe Lufttemperatur im 20. Jahrhundert um etwa $0,6^{\circ}$ Celsius angestiegen. Es wird vermutet, dass die in immer kürzeren Abständen vorkommenden Umweltkatastrophen (Stürme, Überschwemmungen, Trocken- und Dürreperioden etc.) erste Auswirkungen dieser Veränderung darstellen.

Als mögliche Ursache dieses langfristigen Klimawandels wird der durch den Menschen bedingte Treibhauseffekt angeführt. Durch vermehrte Freisetzung klimarelevanter Spurengase wird die Reflexion von langwelliger Strahlung in Richtung Erde erhöht und somit der natürliche Treibhauseffekt zusätzlich verstärkt. Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem Spurengas Kohlendioxid (CO_2) zu. Seit etwa 250 Jahren hat die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre um 31% zugenommen (IPCC). Als Ursache hierfür wird von vielen Wissenschaftlern die Nutzung fossiler Energieträger (wie Öl und Gas) genannt (Abb. 30).

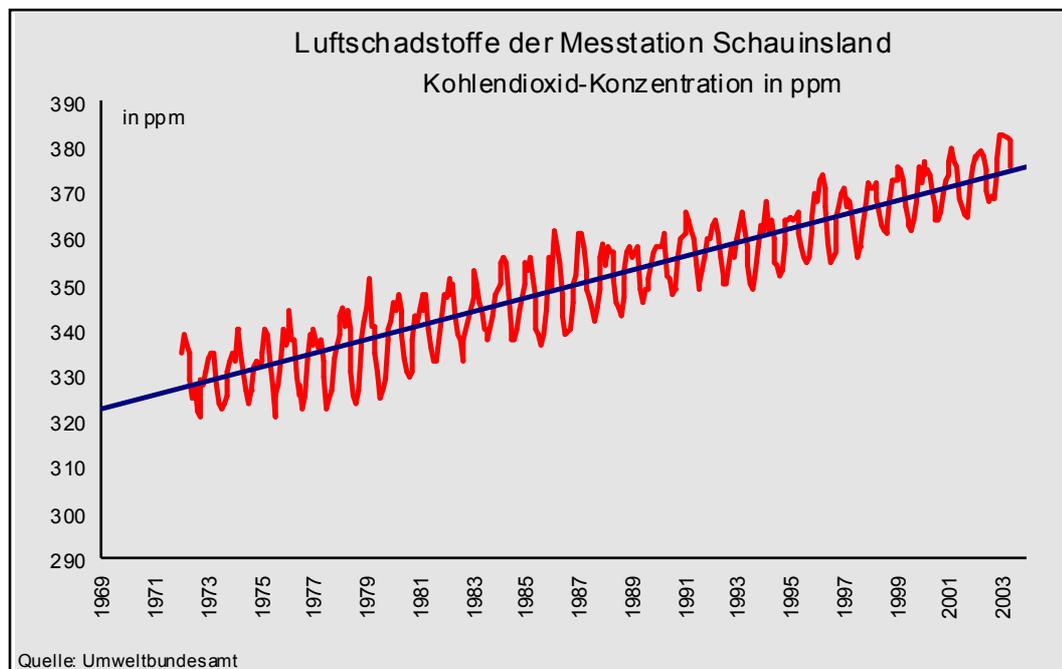


Abb. 30: Kohlendioxid-Konzentration in ppm

Die Auswirkungen einer Klimaänderung werden für die Wälder nicht ohne Folgen bleiben. Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagshöhe bzw. eine jahreszeitliche Verschiebung können langfristig das Gleichgewicht auch bisher stabiler Waldökosysteme stören. Eine Destabilisierung des Klimas mit häufigeren Sturmereignissen, anhaltenden Trockenperioden oder extremen Temperaturen wirkt sich meist direkt auf den Vitalitätszustand der Waldbäume aus. Zudem ist noch weitgehend unklar, inwieweit sich das Zusammenspiel der abiotischen und biotischen Einflussfaktoren auf den Baum zukünftig verändern wird.

Abbildung 31 zeigt die Abweichung der Temperatur und des Niederschlags vom langjährigen Mittel (berechnet aus den Werten der Jahre 1951-1996) der Klimastationen Stuttgart (mittlerer Neckar), Freiburg

(Oberrhein), Münsingen (Schwäbische Alb) und Villingen (Baar) des Deutschen Wetterdienstes seit 1952. Die berechnete Trendlinie ist in die jeweiligen Diagramme eingezeichnet. Die **Jahresmittelwerte des Niederschlags** an den Stationen zeichnen ein sehr undifferenziertes Bild. Einzelne Jahre sind (wie beispielsweise das Jahr 2002) zu nass, andere deutlich zu trocken. Ein einheitlicher Trend ist nicht erkennbar. Dagegen zeigt sich bei den **Jahresmitteltemperaturen** aller vier Stationen im Durchschnitt ein eindeutiger Anstieg der Werte gegenüber dem langjährigem Mittel seit Mitte der 70er Jahre.

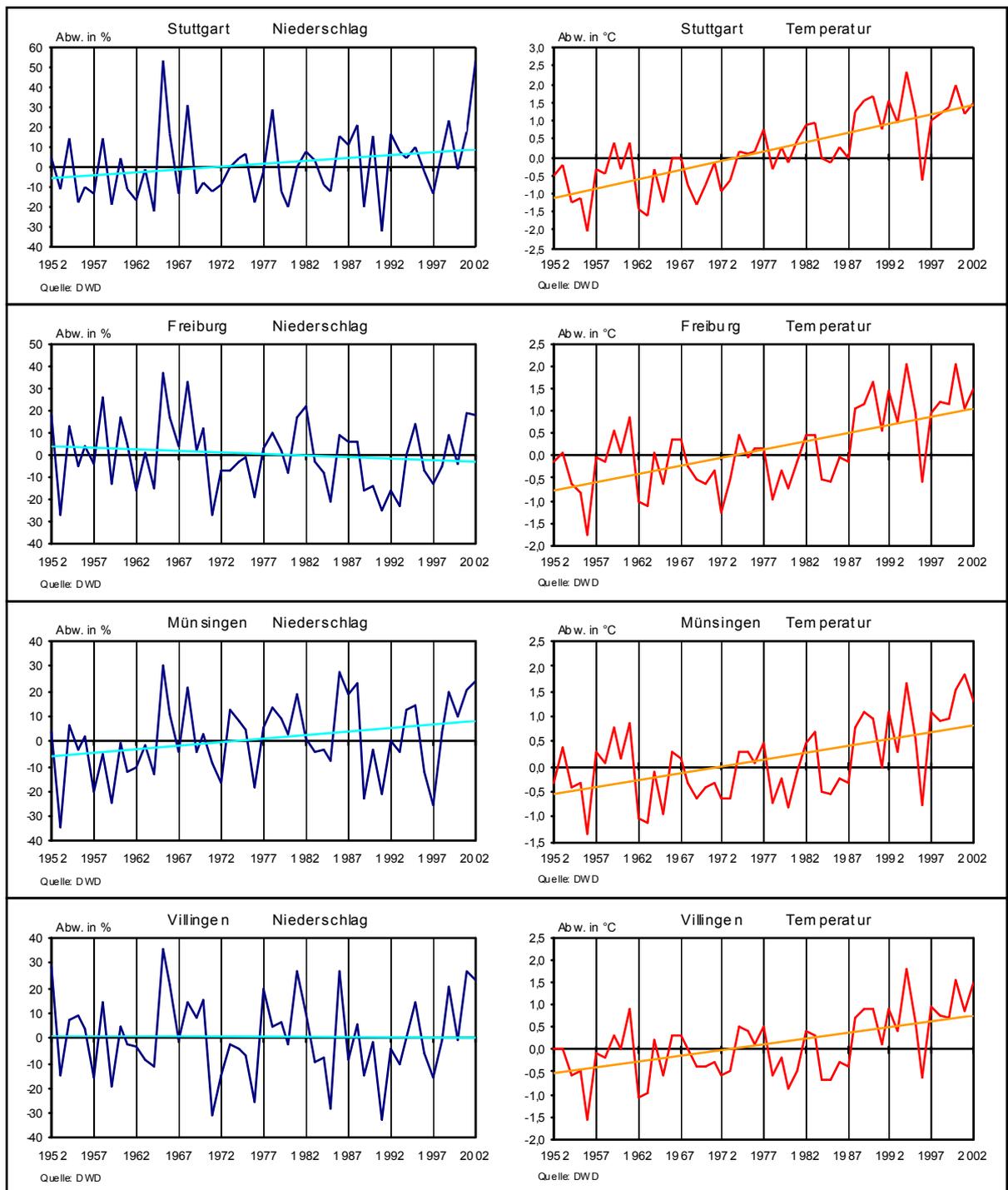


Abb. 31: Jahresmittelwerte der vier Klimastationen

5.2 Allgemeine Waldschutzsituation

Insgesamt hat sich die Waldschutzsituation im Jahr 2002 in Baden-Württemberg im Vergleich zu den beiden Vorjahren (2000/2001) weiter entspannt. Mit 31% am Jahreseinschlag des Gesamtwaldes lag die sogenannte „zufällige Nutzung“, d.h. die nicht planmäßige, durch Naturereignisse bedingte Zwangsnutzung, jedoch weiterhin sehr hoch. Hiervon waren 59% aus abiotischen (v.a. Sturm und Schneebruch) und 41% aus biotischen Ursachen (v.a. Borkenkäfer) angefallen (Abb. 32).

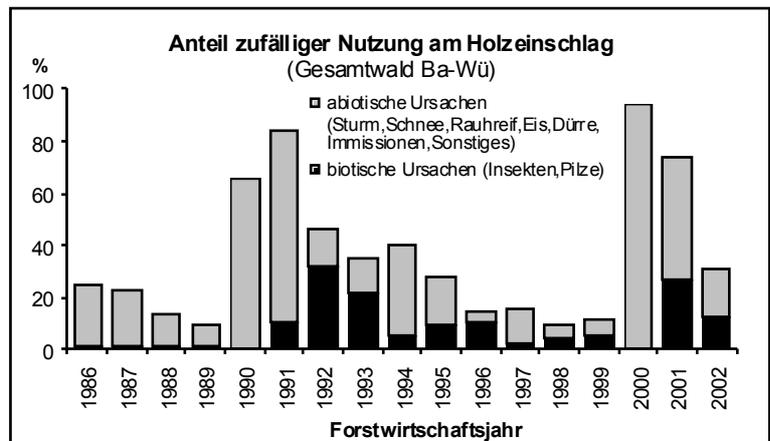


Abb. 32: Anteil zufälliger Nutzung am Holzeinschlag

Größere **Sturmereignisse** mit Auswirkungen auf die Wälder kamen im Januar („Ilona“) und im Oktober 2002 („Jeanette“) vor, hatten jedoch überwiegend nur Einzelwürfe oder Brüche zur Folge. Das Sturmtief „Calvann“ vom 2./3.1.2003 verursachte dagegen v.a. in den Hochlagen von Nord- und Südschwarzwald lokal auch kleinere Flächenwürfe.

Die relativ kühle und z.T. feuchte Witterung im Sommer 2002 bremste die Entwicklung der Fichten-**Borkenkäfer**, deren Populationsdichte drei Jahre nach „Lothar“ noch verhältnismäßig hoch ist. Zudem konnte der Stehendbefall von Fichten durch den Buchdrucker nicht zuletzt durch konsequente Überwachungs- und Bekämpfungsmaßnahmen des Forstpersonals und der Waldbesitzer im Jahr 2002 gegenüber 2001 deutlich reduziert werden.

Die extrem trockene und z. T. sehr heiße Witterung im Frühjahr und Sommer 2003 führte dagegen zu einer **unerwartet dramatischen** Käferentwicklung. Nachdem der Käferholzanfall lange Zeit auf einem sehr niedrigen Niveau gelegen hatte, kam es erst Ende Juli nahezu landesweit explosionsartig zu erheblichen Käferholzmengen. Die durch Trockenstress geschwächten Fichten konnten sich einem Stehendbefall auch an Orten mit geringerem Befallsdruck nicht widersetzen. Neben Befall durch den **Buchdrucker (*Ips typographus*)** kam es in älteren Beständen auch zu dramatischen Schäden durch den **Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*)**, der überwiegend jüngere Fichten bzw. die obere Krone älterer Fichten befällt. Die Befallsflächen verlaufen häufig nicht nur in Fronten entlang von Sturmflächenrändern, sondern sie verteilen sich auch „schrotschussartig“ über ganze Fichtenareale. Bis Ende September 2003 wurden bereits **1 Mio. Festmeter** Käferholz verbucht. Die Menge wird sich bis Jahresende noch erhöhen.

Weitere nennenswerte Schäden an Nadelbäumen (Lärchen, Kiefern, Tannen) wurden auch durch Bock-, Pracht- und Rüsselkäfer verursacht.

Im Jahr 2002 hat die Schadfläche der Tannentrieblaus (*Dreyfusia sp.*) im Vergleich zum Vorjahr zugenommen. Sie schädigt v.a. Jungwüchse, die plötzlich (z.B. durch Sturm) freigestellt werden.

Im Verlauf des Jahres 2003 kam es zu weiträumig starkem Befall der Douglasie durch die Rußige Douglasenschütte (*Phaeocryptopus gaeumannii*). Der Pilz konnte sich auf Grund den günstigen Infektionsbedingungen in den beiden Vorjahren stark ausbreiten.

An der Baumart Eiche wurde im Jahr 2002 wieder vermehrt Befall durch den Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus*) beobachtet, dessen Larven in der Rinde leben und Eichen zum Absterben bringen können. Zudem wurde 2003 stärkerer Befall von blattfressenden Schmetterlingsraupen (Frostspanner, Eichenwickler, Schwammspinner) vermerkt. In der nördlichen Oberrheinebene hält die starke Vermehrung des Waldmaikäfers (*Melolontha hippocastani*), der insbesondere durch den Wurzelfraß der Engerlinge in Laubbaumunterständen erhebliche Schäden anrichtet, weiter an.

Weiterführende Informationen über die aktuelle Waldschutzsituation enthält der „Waldschutzbericht 2002/2003“ der FVA Baden-Württemberg.

5.3 Stoffeinträge

Anthropogen bedingte Stoffeinträge in die Wälder Baden-Württembergs haben seit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert stark zugenommen. Für den Vitalitätszustand des Waldes spielen im Wesentlichen die Wirkungen von **Stickstoff-** und **Schwefelverbindungen** sowie das **Ozon** eine entscheidende Rolle. Im Folgenden wird zwischen gasförmiger Immission und Deposition im Niederschlag unterschieden.

In Baden-Württemberg werden gasförmige Luftschadstoffe vom Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG, Karlsruhe) an über das ganze Land verteilten Stationen gemessen. Darunter befinden sich drei stationäre Messanlagen im Wald, auf die nachfolgend Bezug genommen wird: „Kälbelescheuer“ (Südschwarzwald), „Edelmannshof“ (Schwäbisch-Fränkischer Wald) und „Wilhelmsfeld“ (Odenwald) [seit Juli 1999].

Die Depositionen im Niederschlag werden an 25 Messstationen im Wald von der FVA Baden-Württemberg erfasst (Depositionsmessnetz).

5.3.1 Gasförmige Immissionen

Das Einwirken von hohen Konzentrationen von **Schwefeldioxid (SO₂)** führt bereits nach kurzer Zeit zu massiven Schäden an der Vegetation. In den Blattorganen werden pflanzenphysiologische Prozesse – wie die Photosynthese – massiv gestört, die Blätter vergilben und sterben ab. Zudem trägt SO₂ zur Bodenversauerung bei. Schwefeldioxid entsteht überwiegend aus Verbrennungsprozessen schwefelhaltiger Brennstoffe wie Braun- und Steinkohle oder Heizöl. Seit Ende der 80er Jahre konnte durch die Rauchgasentschwefelung der Kraftwerke die Schwefeldioxid-Emission drastisch gesenkt werden. Die Jahresmittelwerte liegen seit einigen Jahren wieder deutlich unter den Werten, die zu sichtbaren Schädigungen an Bäumen führen (Abb. 33).

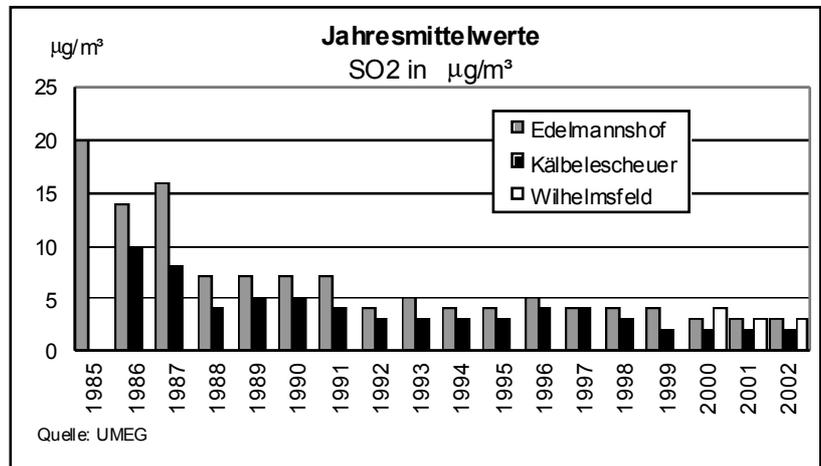


Abb. 33: Schwefeldioxid-Konzentration

Auf Versuchsflächen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) wurden im Jahr 2003 akute Schädigungen durch **Ozon (O₃)** an Blättern der Baumart Buche festgestellt. Bodennahes Ozon entsteht unter Einwirkung von Sonnenlicht aus der Reaktion von Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen Kohlenwasserstoffen. Da die Bildung von vorhandener UV-Strahlung abhängig ist, ergeben sich starke Unterschiede im Jahresverlauf. Während in den Wintermonaten nur wenige Tage den Ozonschwellenwert erreichen, kommt es in den Sommermonaten zu einer erheblichen Ozonbelastung.

Die extremen Witterungsverhältnisse des Sommers 2003 mit erhöhter Strahlungsintensität haben in Baden-Württemberg zu einem deutlichem Anstieg der Ozonkonzentration geführt. Abbildung 34 zeigt die Anzahl der Tage, die den Schwellenwert von 110µg/m³ (8-Stundenmittelwert) überschreitet. Für das Jahr 2003 liegen Messdaten bis einschließlich August vor. An allen drei dargestellten Stationen wurden gegenüber den Vorjahren ab dem Monat Juni deutlich mehr Tage mit Überschreitungen des Schwellenwertes gemessen. Die Messdaten für 2003 sind zunächst vorläufig und bedürfen noch einer endgültigen Prüfung durch die UMEG.

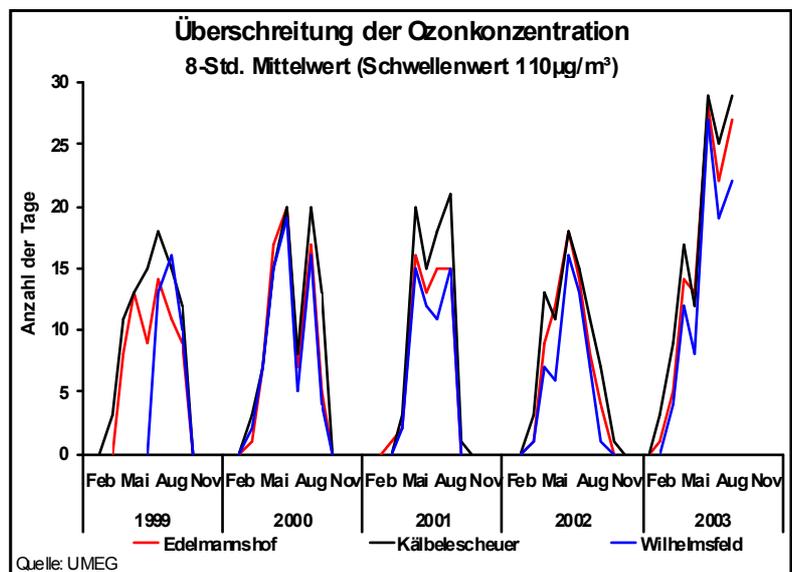


Abb. 34: Überschreitung der Ozonkonzentration

Auf Grund der globalen Zunahme der Vorläufersubstanzen von Ozon und der großräumigen Luftmassenverfrachtung, ist in den nächsten Jahren (bei hoher Strahlungsintensität) mit einer verstärkten Ozonbelastung zu rechnen.

5.3.2 Depositionen im Niederschlag

An landesweit 25 Messorten werden derzeit die Stoffeinträge vergleichend unter einem Fichtenbestand und einer benachbarten Freilandmessstelle überwacht. Die Messpunkte des Depositionsmessnetzes sind auf Regionen mit vorwiegend nichtkarbonatischen Standorten konzentriert, da dort die standortspezifische Pufferrate durch die aktuellen Säureeinträge großflächig überschritten wird. Aus Standardisierungsgründen werden die Depositionsmessstellen auf Fichtenbestände beschränkt.

An den Depositionsmessstationen werden die Einträge von Säurebildnern und die Gesamtstickstoffeinträge gemessen. Die Säureeinträge im Niederschlag setzen sich aus Sulfat (SO₄), Nitrat (NO₃) und Ammonium (NH₄) zusammen. Während die Sulfat- und Nitratdepositionen überwiegend aus der Verbrennung fossiler Energieträger stammen, werden die anthropogenen Ammoniuminträge zu einem erheblichen Teil durch Tierhaltung, aber auch durch Emissionen aus Kläranlagen und der chemischen Industrie verursacht. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Stand der Gesamtsäureeinträge für das Jahr 2002. Die dargestellten Jahreswerte der Depositionen in Text und Abbildungen beziehen sich auf die jeweiligen hydrologischen Jahre (01. Mai bis 30. April).

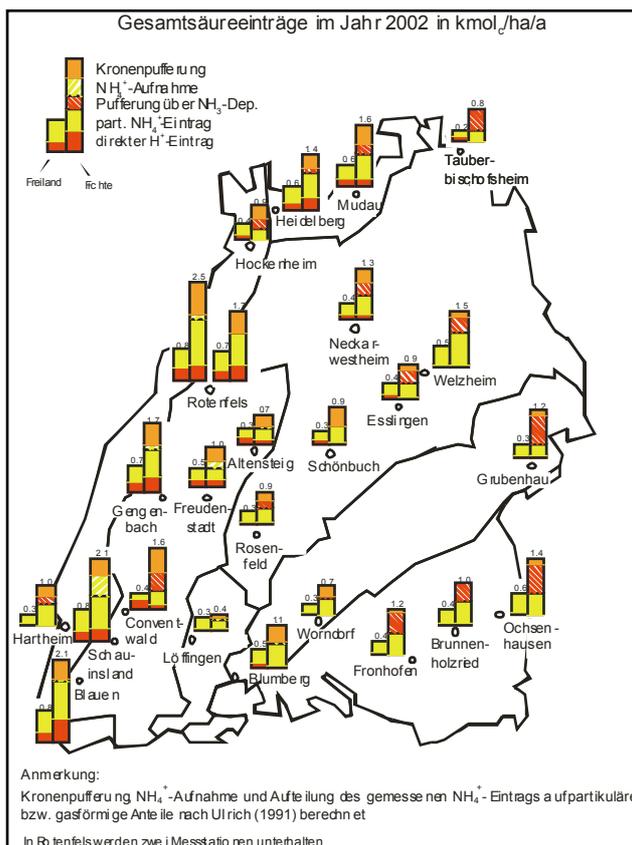


Abb. 35: Gesamtsäureeinträge im Jahr 2002

erheblichen Teil durch Tierhaltung, aber auch durch Emissionen aus Kläranlagen und der chemischen Industrie verursacht. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Stand der Gesamtsäureeinträge für das Jahr 2002. Die dargestellten Jahreswerte der Depositionen in Text und Abbildungen beziehen sich auf die jeweiligen hydrologischen Jahre (01. Mai bis 30. April).

Ein erheblicher Teil der mit dem Niederschlag eingetragenen Säuren wird bereits im Kronenraum aufgenommen (z.B. direkte Aufnahme von Ammonium) oder durch Freisetzung von Basen abgepuffert und entzieht sich somit der direkten Messung. Dieser Anteil wird als Kronenpufferung bezeichnet. Er wird durch Modellrechnungen ermittelt und der direkt gemessenen Säuremenge zugeschlagen (vergleiche Abbildung). Die im Kronenraum aufgenommenen Säureäquivalente müssen zur Aufrechterhaltung der Elektroneutralität durch die Abgabe von Kationen („Leaching“) gepuffert werden. Die abgegebenen

Kationen werden unter Freisetzung von Protonen im Wurzelraum wieder ersetzt. Die Gesamtsäureeinträge sind in den Waldbeständen (jeweils rechte Säulen) im Durchschnitt ca. 2-3 mal so hoch wie im Freiland. Das bedeutet, dass Wälder mit ihrer großen Kronenoberfläche Stäube und Aerosole aus der Luft ausfiltern und damit aktiv zur Luftreinhaltung beitragen. Lediglich in den immissionsarmen Wind-

schattenlagen des Schwarzwaldes treten vereinzelt im Waldbestand und im benachbarten Freiland vergleichbare Gesamtsäureeinträge auf (siehe Station Löffingen in der Abbildung).

Die Gesamtsäureeinträge in die Wälder Baden-Württembergs sind mit Werten von 0,4-2,5 kmol_e/ha/Jahr nach wie vor so hoch, dass sie das natürliche Puffervermögen nichtkarbonatischer Standorte in der Regel übersteigen.

Regional sind drei Bereiche unterschiedlicher Depositionsintensität unterscheidbar. Im Windschatten des Schwarzwaldes werden die niedrigsten Gesamtsäureeinträge (<1 kmol_e/ha/Jahr) gemessen, entlang des Schwarzwald-Westkamms mit Werten zwischen 1.5 und 2.5 kmol_e/ha/Jahr die höchsten. Die übrige Landesfläche ist mit Säureeinträgen zwischen 1 und 1.5 kmol_e/ha/Jahr bezüglich der Depositionsrate wenig differenziert.

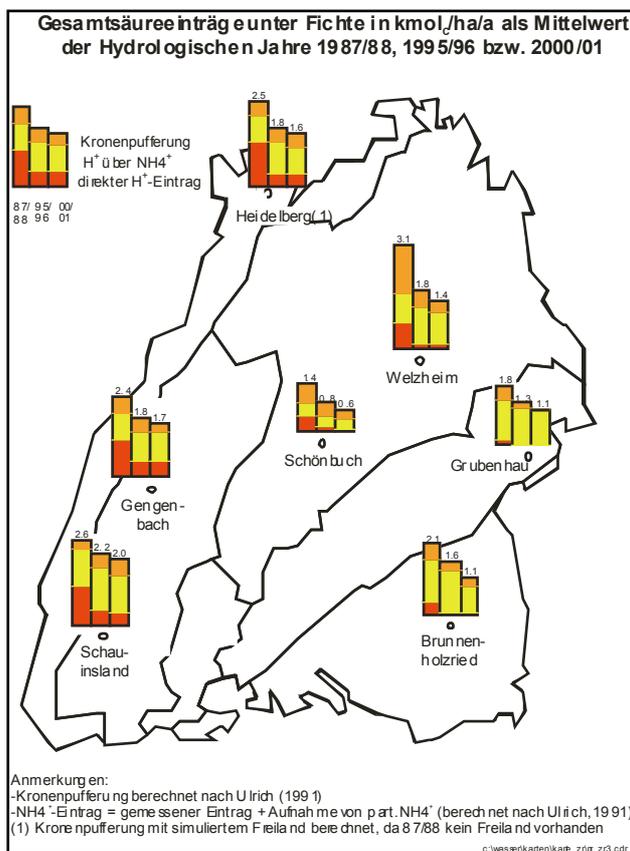


Abb. 36: Gesamtsäureeintrag unter Fichte

An 7 Standorten, an denen seit Mitte der 80er Jahre kontinuierlich Depositionsmessungen durchgeführt worden sind, konnte der zeitliche Entwicklungstrend der Gesamtsäureeinträge dargestellt werden. Hierfür wurden jeweils 2-Jahresmittelwerte für die Zeiträume 1987/88, 1995/96 und 2000/01 gebildet, so dass der Trend über eine 14-jährige Beobachtungsperiode dargestellt werden konnte. Über diesen Zeitraum sind die Gesamtsäureeinträge an allen Stationen zurückgegangen. Diese Abnahme der Säurebelastung variierte zwischen 30 und 120%. Eine regionale Struktur in der Intensität dieses Rückgangs der Gesamtsäurebelastung ist nicht zu erkennen.

Der Rückgang der Gesamtsäureeinträge ist im Wesentlichen auf eine Reduktion von Sulfateinträgen zurückzuführen, welche durch den konsequenten Einbau von Filteranlagen in Großfeuerungsanlagen und die Reduktion des Schwefel-

gehaltes in Brennstoffen aus Erdöl erreicht wurde. Das ist als klarer Erfolg der über die TA Luft und Folgeverordnungen umgesetzten Luftreinhaltepolitik zu bewerten.

Die Stickstoffeinträge liegen mit Werten zwischen 9 und 44 kg/ha/Jahr auf einem Großteil der Landesfläche um ein Mehrfaches über den Stickstoffmengen, die im Biomassezuwachs fixiert werden können. Im Jahr 2002 lagen die Stickstoffeinträge im Bestandesniederschlag mit dem Jahr 2000 sehr vergleichbaren Werten um 10-20% höher als im Vorjahr. Überdurchschnittliche Niederschläge wie im Jahr 2000 und der damit verbundene Auswaschungseffekt können im Jahr 2002 hierfür keine Erklärung liefern.

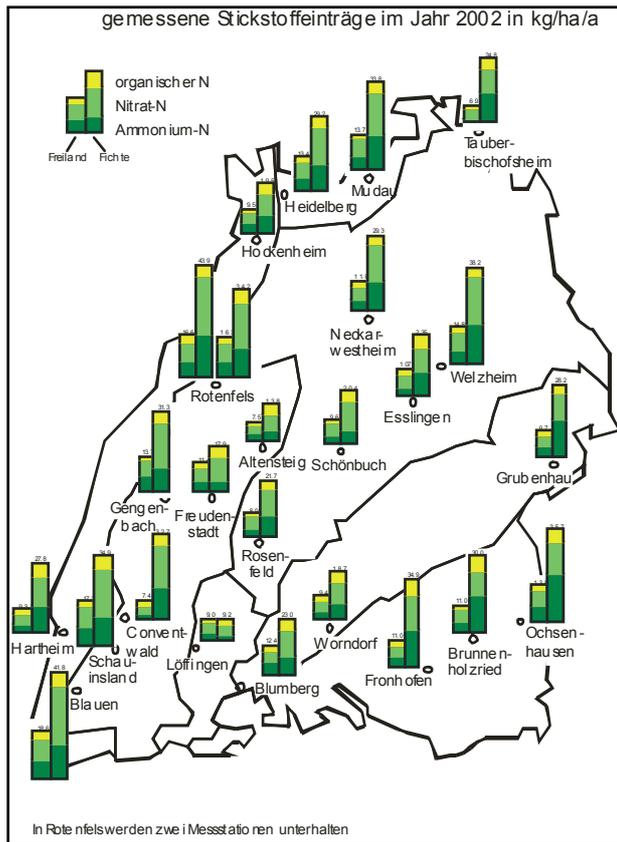


Abb. 37: Stickstoffeinträge im Jahr 2001

Nur in den Leelagen des Schwarzwaldes wurden Stickstoffeinträge gemessen, die zwischen 9 und 22 kg/ha/a und damit im oder knapp über dem Bereich der biologischen Aufnahmekapazität von wüchsigen Wäldern liegen.

Bei der stofflichen Zusammensetzung der Stickstoffeinträge überwiegt im Westen des Landes der Nitratanteil, während im Ostteil der Ammoniumanteil dominiert. Im Landesdurchschnitt liegt der Anteil an Ammonium, der für den Anteil der Stickstoffbelastung aus der tierischen Produktion steht, etwas niedriger als der dem Individualverkehr zurechenbare Nitratanteil.

Die Höhe der Stickstoffeinträge liegt in der Größenordnung einer extensiven landwirtschaftlichen Düngung. Dies ist für Wälder und ihre typische Bodenvegetation problematisch, da diese evolutionsbiologisch nicht an Stickstoffüberfluss angepasst sind. Die Folge ist eine Verschiebung

der Artenzusammensetzung in der Bodenvegetation in Richtung stickstoffliebender Arten und eine Verdrängung oftmals seltener und naturschutzfachlich interessanter Waldarten. In der Waldernährung sind Nährstoffgleichgewichte (z.B. eine Verschärfung von Kaliummangelercheinungen) die Folge zunehmender Stickstoffsättigung.

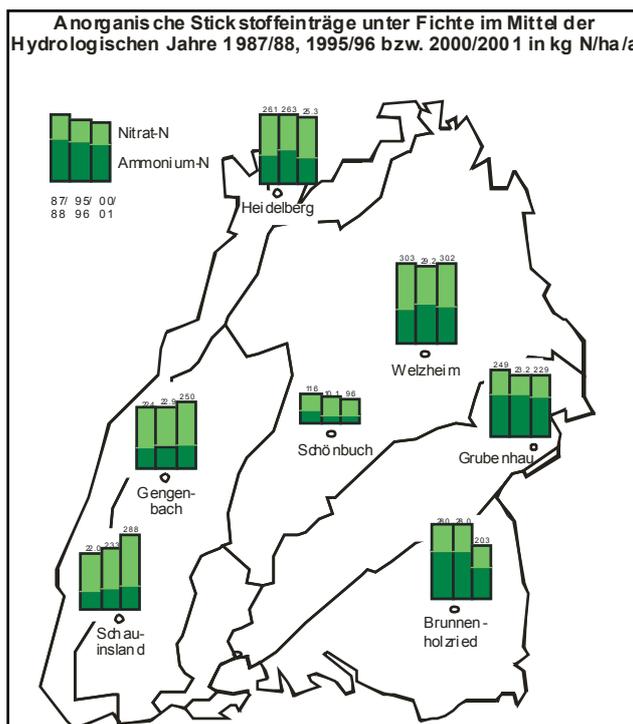


Abb. 38: Anorg. Stickstoffeinträge unter Fichte

Analog zu den Gesamtsäureeinträgen wurde auch bei den Stickstoffeinträgen die zeitliche Entwicklung an den 7 seit Mitte der 80er Jahre betriebenen Depositionsstationen ermittelt. Über die gesamte 14-jährige Messperiode sind die Stickstoffeinträge annähernd gleich geblieben. Unerwarteterweise sind die absoluten Höhen der Nitratreinträge in diesem Messzeitraum sehr konstant geblieben, während Ammoniumeinträge lokal und regional leichte Zu- und Abnahmetendenzen aufweisen, die sich jedoch landesweit gegenseitig aufheben. Dies bedeutet, dass im Nitratreintrag in den Waldbeständen die Wirkung einer Reduktion oxidierter Stickstoffverbindungen durch die Einführung von Katalysatoren in Kraftfahrzeugen noch nicht erkennbar ist.

6 INTENSIVE UMWELTÜBERWACHUNG IM WALD

Im Depositionsmessnetz wird die zeitliche Entwicklung der Stoffeinträge in Waldökosysteme überwacht.

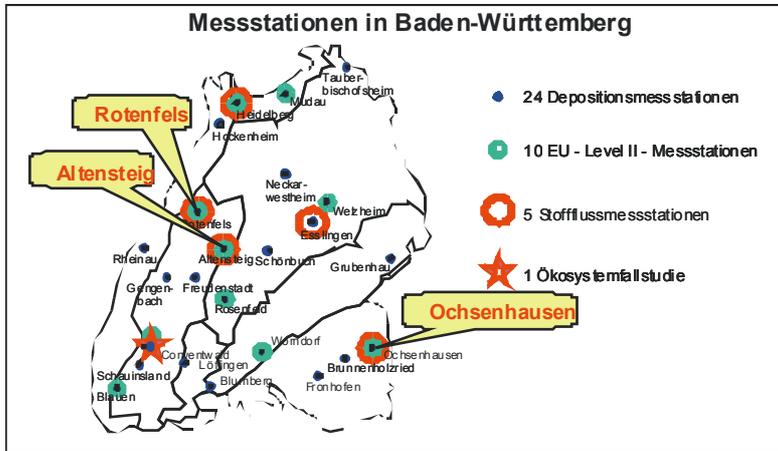


Abb. 39: Intensiv-Messstationen in Baden-Württemberg

Zur Überwachung der Wirkung, die diese Stoffeinträge auf die Standortsqualität und die Geschwindigkeit von Transport- und Versauerungsprozessen ausüben, werden an 5 Messstationen des Depositionsmessnetzes und der Ökosystemfallstudie „Conventwald“ zusätzlich zu den Eintragsmessungen die aktuellen Stoffflüsse im Boden gemessen.

So kann die Abnahmerate der Basenvorräte im Boden und damit die Versauerungsrate sowie andere die Bodenfunktion und Standortsqualität beeinträchtigende Veränderungsprozesse abgeschätzt werden. Dies ist eine wichtige Grundlage für die Planung von Bodenschutzmaßnahmen auf unterschiedlichen Substraten und in Regionen mit unterschiedlichem „Immissionsklima“.

Stoffflussmessungen sind technisch aufwendig und können deshalb nicht mit hoher Wiederholungszahl durchgeführt werden. Sie werden auf Stoffflusstypen beschränkt, die sich aus Eigenschaften des Bodens wie der chemischen Ausstattung, Korngrößenzusammensetzung etc., sowie Intensität und Zusammensetzung atmosphärischer Immissionen definieren. Die 6 Messnetzpunkte in Baden-Württemberg sind in das EU-weite Level II - Messnetz („Intensives Monitoring in Wäldern“) integriert.

Das Stoffflussmessnetz wurde in den Jahren 1994-1996 installiert, so dass inzwischen 7-9 Jahre umfassende Messreihen vorliegen, die schon eine erste qualitative Einschätzung von Stoffbilanzen erlauben.

An den Stationen des Stoffflussmessnetzes werden folgende Messgrößen in zum Teil deutlich unter einer Stunde liegenden Messintervallen erhoben, um einerseits Stofftransporte durch den Boden messen zu können, andererseits andere belastende Einflüsse auf die Wälder wie z.B. Witterungsextreme mit hinreichender Detailgenauigkeit zu erfassen:

- Messung der Säure- und Stickstoffbelastung und anderer Stoffeinträge mit dem Niederschlag im 14-Tagesabstand
- Messung der Stoffkonzentrationen im Sickerwasser in 4 Messtiefen bis unterhalb des Wurzelraums im 14-Tagesabstand (Beprobung kontinuierlich)
- Messung der Witterungsgrößen Lufttemperatur, Relative Luftfeuchte, Strahlungsintensität und Windgeschwindigkeit im 10-Sekundentakt (Aggregation auf Stundenwerte)
- Akkumulierende Messung der durchschnittlichen monatlichen Gaskonzentrationen in der Umgebungsluft für Stickoxide (NO_x), Ammoniak (NH₃), Schwefeldioxid (SO₂) und Ozon (O₃).

- Jährliche Ansprache des Kronenzustandes aller Bäume auf 0.25 ha Fläche
- Beprobung der Nadeln von 5 Bäumen und Analyse des Ernährungszustandes mit Makronährelementen im 2-jährigen Turnus
- Kontinuierliche Messung des Durchmesserzuwachses

6.1 Stoffflüsse mit dem Sickerwasser

Am Beispiel der Stoffflussmessnetzpunkte Rotenfels, Altensteig und Ochsenhausen wird die Stoffbilanz aus dem Jahr 1998 dargestellt und verglichen. Diese drei Messorte unterscheiden sich stark in Höhe und Zusammensetzung der Stoffeinträge. Die höchste Gesamtsäurebelastung betrifft den Standort Rotenfels mit 1.7 kmol_c/ha/a und 34 kg/ha/a Gesamtstickstoffeinträgen. Die niedrigsten Einträge sind in Altensteig, im Windschatten des Schwarzwaldes zu finden mit 0.7 kmol_c/ha/a Säure- und 14 kg/ha/a Stickstoffeinträgen. Ochsenhausen repräsentiert eine Region, die durch hohe Ammoniumdepositionen charakterisiert ist. Die Stickstoffeinträge liegen hier mit 36 kg/ha/a am höchsten und die Säureeinträge bei 1.4 kmol_c/ha/a. Die bodenchemische Ausgangssituation ist an allen drei Standorten durch eine weit fortgeschrittene Bodenversauerung gekennzeichnet.

Die Stoffbilanz der drei Beispielsstandorte, welche die Spreitung der in Baden-Württemberg vertretenen Stoffhaushaltssituationen gut repräsentieren, kann an der folgenden Abbildung beschrieben werden, welche die Flussdichten der Stoffe, die mit dem Wasser durch Bestand und Boden transportiert werden, zeigt. In der Abbildung sind jeweils von oben nach unten die Stoffflüsse im Freilandniederschlag, im Bestandesniederschlag, unter der Humusauflage, sowie in 15, 30 und 60 (80) cm Bodentiefe dargestellt, wobei die unterste Tiefenstufe den Stoffaustrag aus dem Wurzelraum repräsentiert.

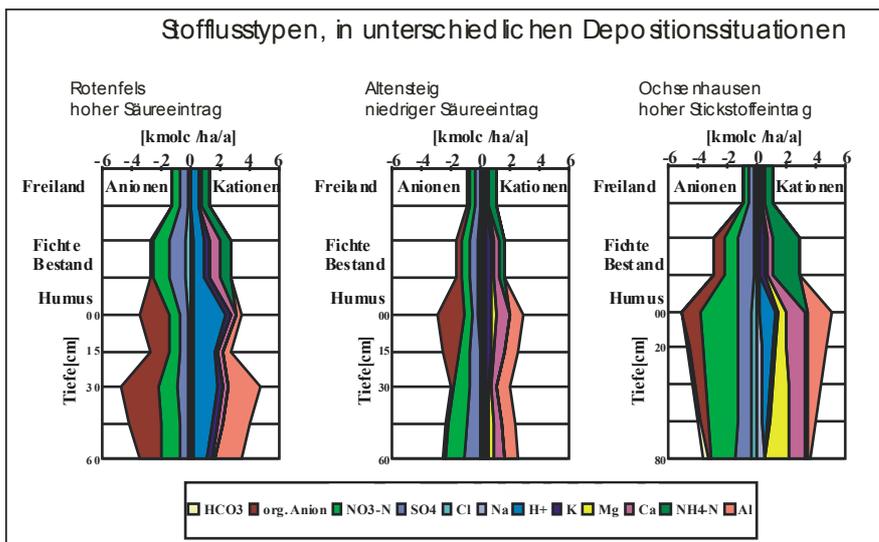


Abb. 40: Stoffflusstypen in Rotenfels, Altensteig und Ochsenhausen

In Rotenfels hat der Boden seine Pufferkapazität gegenüber Säuren vollständig verloren. Den Boden verlassen deutlich mehr Protonen als eingetragen werden, dies überwiegend in Form von organischen Säuren und Salpetersäure. Die organischen Säuren stammen aus der Auflösung organischer Bodensubstanz, was einen Verlust von Speicherkapazität

und damit Standortsqualität bedeutet. Außerdem wird aus dem Wurzelraum eine große Menge an Aluminium ausgetragen, das aus der Auflösung von Tonmineralen stammt. Im tieferen Sickerwasser treten nur noch Spuren der basisch wirkenden Elemente Calcium und Kalium auf, das für die Bestandesernährung wichtige Magnesium fehlt ganz

In Altensteig sind die Säure- und Stickstoffeinträge weniger als halb so hoch wie in Rotenfels. Entsprechend sind die Stoffflüsse unterhalb des Wurzelraumes auch nur etwa halb so hoch wie in Rotenfels. Bezüglich gelöster organischer Verbindungen ist der Boden hier noch eine Senke. In ca. 30cm Bodentiefe fallen diese wieder aus der Transportphase ausfallen und akkumulieren sich im Boden, was der natürlichen Bodenentwicklung auf stark sauren Böden entspricht.

In Ochsenhausen wird eine überproportional hohe Menge an Ammonium in den Bestand eingetragen, die im Boden jedoch vollständig zu Nitrat umgewandelt wird. Nitrat ist hochmobil und wird mit dem Bodenwasser zu hohen Anteilen aus dem Boden ausgewaschen. Dabei wird es neben Aluminium von den basisch wirkenden Kationen Magnesium, Calcium und Kalium begleitet. Dies stellt einen Verlust an Pufferkapazität dar und treibt die Bodenversauerung voran.

Mehr als die Hälfte aller ausgewaschenen Basen ist Magnesium, das nicht nur die Puffereigenschaften des Bodens bestimmt, sondern als Makronährelement ein wichtiger Faktor der Waldernährung ist. Damit muss bei Fortdauer der aktuellen Verlusten bereits in rund 50 Jahren mit einer Halbierung der Magnesiumversorgung auf vergleichbaren Standorten gerechnet werden. Bislang trat Magnesiummangel großflächig, vorwiegend in den Hochlagen von Schwarzwald und Odenwald auf.

Gegenüber Nitrat spielen die anderen Faktoren der Bodenversauerung wie Sulfat und organische Säuren auf diesem Standort eine vergleichsweise geringe Rolle.

An allen drei Standorten wird seit dem Nachlassen der Sulfateinträge der Stoffaustrag aus dem Wurzelraum stärker durch Nitrat als durch Sulfat angetrieben. Es ist also zu erwarten, dass der Austrag an Basizität erst dann substantiell zurückgehen wird, wenn auch Stickstoffeinträge aus der Luft auf ein ökosystemverträgliches Maß zurückgeführt werden.

6.2 Gaskonzentrationen in der Umgebungsluft

In einer Pilotphase wurden an 6 Level II-Stationen seit Juli 2002 Adsorptionskörper ausgebracht, die während der einmonatigen Expositionszeiträume spezifisch die Gaskomponenten Stickoxide, Ammoniak, Schwefeldioxid und Ozon akkumulieren und so die durchschnittliche Gaskonzentration in den Sammelzeiträumen ermitteln lassen. Der Vergleich mit Daten der Landesanstalt für Umweltschutz (LFU) und des Umweltbundesamtes zeigte, dass mit dieser vergleichsweise kostengünstigen Sammeltechnik durchschnittliche Gaskonzentrationen verlässlich eingeschätzt werden können. In der folgenden Abbildung werden die für den Stickstoffeintrag verantwortlichen Gaskonzentrationen für Stickoxide und Ammoniak gezeigt.

Die Abbildung zeigt, dass die Konzentrationen der überwiegend aus Verbrennungsmotoren stammenden Stickoxide um den Faktor 3-4 über dem hauptsächlich aus biologischen Quellen stammenden Ammoniak liegen. Die Stickoxidkonzentrationen sind offensichtlich einer jahreszeitlichen Periodik mit niedrigen Werten im Sommer und Herbst und hohen Werten im Winterhalbjahr unterworfen. Es zeichnen sich zwei Standortskollektive mit unterschiedlichen Konzentrationsniveaus für Stickoxide ab. Die ballungsraumnahen Standorte Heidelberg und Rotenfels, aber auch der Standort Altensteig, der in direkter Nähe zur vielbefahrenen B28 im Nagoldtal liegt, zeigen die höchsten Konzentrationen mit maximalen Monatsmittelwerten von bis zu $13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$. Aus diesem Verteilungsmuster lässt sich die Bedeutung des

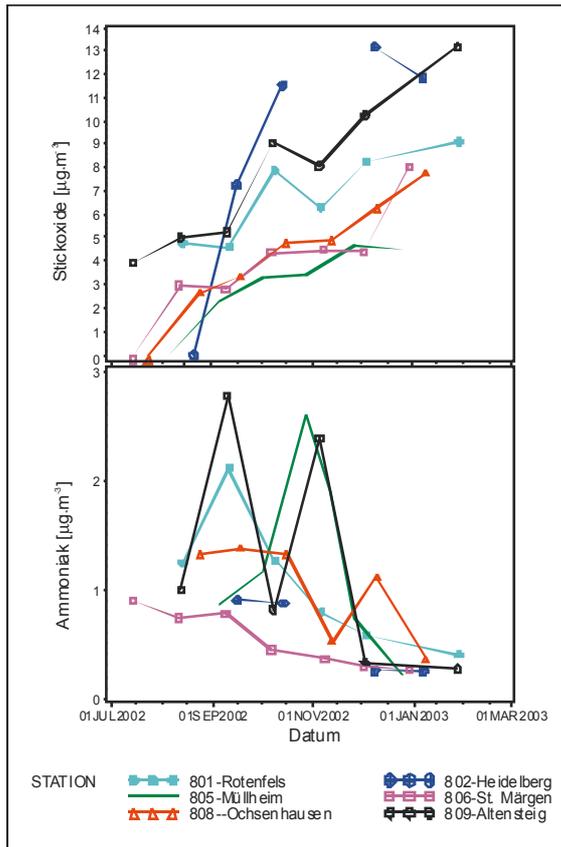


Abb. 41: Gaskonzentrationen (Monatsmittelwerte)

Autoverkehrs für diese Belastungskomponente erkennen. Auch die höchsten Monatsmittelwerte liegen um mindestens eine Größenordnung niedriger als der im Bundes-Immissionsschutzgesetz genannte zulässige Tagesmittelwert von $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$.

Die Ammoniakkonzentrationen schwanken viel stärker und unregelmäßiger. Hier lassen sich zwischen den Standorten mit Ausnahme der Station Conventwald (Bereich der nördlichen Umrandung des Dreisambekens bei Freiburg) mit leicht unterdurchschnittlichen Ammoniakkonzentrationen keine systematischen Unterschiede erkennen. Die überwiegende Zahl der monatlichen Durchschnittskonzentrationen liegt mit Werten zwischen <0.5 und $2.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ sehr niedrig und nur einzelne Spitzenwerte erreichen $2.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$. Alle Monatsmittelwerte liegen deutlich unter dem in der Neufassung der TA-Luft genannten Vorsorgewert von $3.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$, bei dessen Einhaltung davon ausgegangen wird, dass „auch an ungünstigen Standorten mit hoher Vorbelastung keine schädlichen Umwelteinwirkungen zu erwarten sind“ (TA-Luft, 2000).

Für beide gasförmigen Stickstoffverbindungen kann für alle 6 Messorte festgestellt werden, dass die Monatsmittelwerte der Gaskonzentrationen weit unterhalb des Bereiches liegen, in dem mit akuten Schäden gerechnet werden muss. Die Wirkung der N-Emissionen auf Wälder ist weitgehend auf Einträge in gelöster Form mit dem Niederschlag beschränkt.

Korrespondierend zu der Aufnahme von akuten Ozonschäden an lichtexponierten Waldrandsituationen (LESS-Flächen) an allen 10 Level II-Standorten (s. Kap. 4.3.2) wurde an den 6 Stoffflussmessflächen

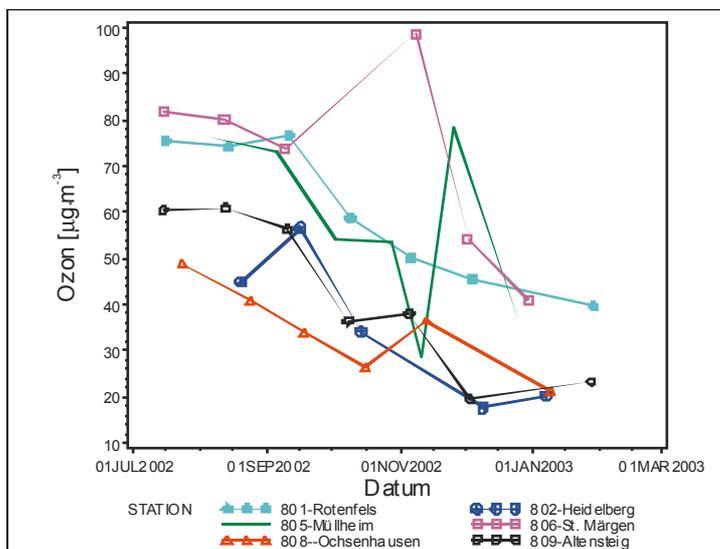


Abb. 42: Ozonkonzentrationen (Monatsmittelwerte)

auch Ozon-Passivsammler exponiert. Die Messwerte sind wie bei den anderen Gaskomponenten als Monatsmittelwerte zu interpretieren, lassen also keine kurzzeitigen Spitzenkonzentrationen erkennen.

Auch hier lassen sich unscharf zwei Kollektive von Standorten unterscheiden. Die niedrigsten Monatsmittelwerten mit im Sommer $50-60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ und im Winterhalbjahr $50-60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ wurden an den Standorten Heidelberg, Altensteig und Ochsenhausen gemessen. Die Hochla-

genstandorte Rotenfels, Müllheim (Blauen) und St.Märgen (Conventwald) zeigen um $10\text{-}30\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ höhere Werte. Es ist nicht ausgeschlossen, dass die einzelnen, überproportional hohen Werte im Conventwald und am Blauen technisch bedingte Ausreißer sind.

Die Größenordnung der hier dargestellten Monatsmittelwerte korrespondiert insofern mit den in Kapitel 5.3.1 dargestellten Zahl an Tagen, an denen ein 8-Stundenmittelwert von $100\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ überschritten wurde, als die Monatsmittelwerte, in die auch die niedrigen Nachtwerte eingehen, mit bis über $80\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ nahe an diesen Grenzwert herankommen. Die relative Reihung der Ozonkonzentrationen lässt bei längerer Durchführung dieser Messungen ein relatives Risiko für das Auftreten pflanzenschädigender Ozonkonzentrationen abschätzen.

6.3 Witterungsdaten an den Level II-Flächen

Die Witterungsdaten, die an den Messflächen des Level II Messnetzes erhoben werden, dienen einerseits als Eingangsdaten in Wasserhaushaltsmodelle, die den Wasser- und Stofffluss durch die beobachteten Böden erlauben. Andererseits sollen sie witterungsbedingte Stressphasen für die betroffenen Waldbestände erkennbar machen. Für die Wasserhaushaltsmodellierung sind Tagesmittelwerte der Klimadaten hinreichend detailliert, während für die Ableitung von Stressphasen zeitlich höher auflösende Daten benötigt werden. Spitzengeschwindigkeiten von Sturmböen sind nur im Sekundentakt sinnvoll zu erfassen. Da bisher die Wasserhaushaltsberechnung im Vordergrund der Auswertungen stand, wurden die Witterungsmessungen auf diese Aufgabe optimiert, um den Messaufwand zu minimieren. Mit zunehmender Bedeutung von extremen Witterungsereignissen wurde die Messintensität erhöht, indem sowohl der Messtakt als auch im Jahr 2003 die Zahl der Standorte mit Witterungsmessungen von 6 auf 11 erhöht wurde. Somit steht seit 2003 ein funktionstüchtiges Waldklimamessnetz in Baden-Württemberg zur Verfügung.

6.3.1 Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit ist gegenüber Mittelung über längere Zeiträume besonders empfindlich, wenn Spitzengeschwindigkeiten in Windböen abgeschätzt werden sollen. Am Level II-Standort Ochsenhausen besteht eine Datenreihe die den Sturm Lothar umfasst, allerdings nur in Form von Stundenmittelwerten.

Die Grafik zeigt, dass der maximale Stundenmittelwert während dieses Jahrhundertereignisses in Ochsenhausen bei etwas über $30\ \text{km/h}$ lag und dass im Sommer 2000, wahrscheinlich während eines Gewittersturms, deutlich höhere Stundenmittelwerte erreicht wurden.

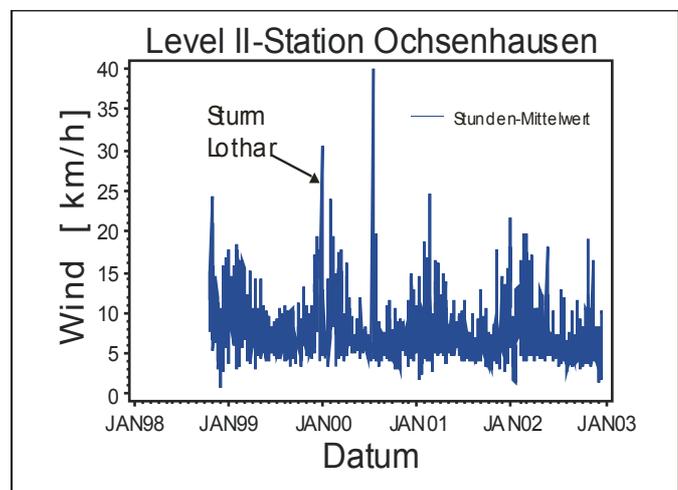


Abb. 43: Windgeschwindigkeit Ochsenhausen (Std.werte)

Um die Relation zwischen kurzzeitigen und längerfristigen Mittelwerten der Windgeschwindigkeit abschätzen zu können, werden vom Standort Stimpfach 10-Sekunden- und Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit im Vergleich dargestellt. Leider ist in dieser Datenreihe das Lothar-Sturmereignis nicht enthalten.

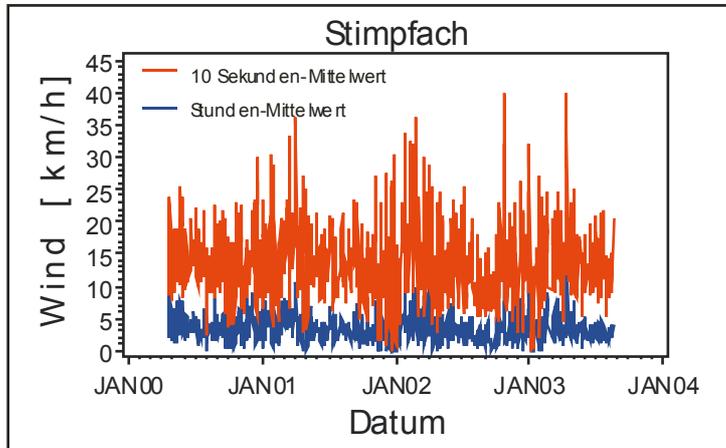


Abb. 44: Windgeschwindigkeit Stimpfach

Während in der hier dargestellten Zeitreihe die Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit zwischen 1 und 5-10 km/h schwanken liegen die korrespondierenden 10-Sekundenmittelwerte bis zu 4-6 mal höher. Wenn man diese Relation auf das Lothar-Sturmereignis in Ochsenhausen anwendet, sind dort Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 180 km/h zu erwarten.

6.3.2 Temperaturentwicklung

Waldklimastationen, die möglichst von einer überproportionalen Erwärmung in urbanen Ballungsräumen unbeeinflusst sind, können einen wesentlichen Beitrag zur Abschätzung der regionalen Ausprägung von treibhausbedingten Temperaturerhöhungen leisten. An den Level II-Stationen stehen aus Daten des Deutsche Wetterdienstes interpolierte Witterungsdaten als Monatsmittelwerte für den Zeitraum zwischen 1930 und 2000 zur Verfügung. Diese Daten stellen ein wertvolles Vergleichsmaterial zu den aktuell gemessenen Witterungsdaten dar, das die Ableitung

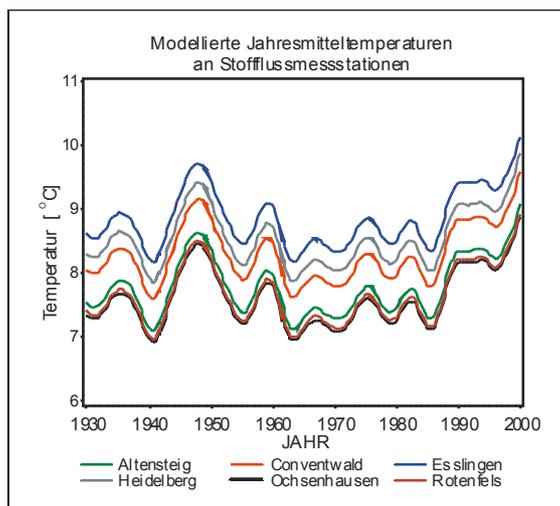


Abb. 45: Jahresmitteltemperaturen

langfristiger Trends der Witterungsparameter erlaubt. In der folgenden Abbildung werden für die 6 Level II-Stationen mit längeren Witterungsdatenreihen die Trends der interpolierten Lufttemperaturen für den Zeitraum 1930-2000 dargestellt. Hier wird sichtbar, dass die Vergleichsdaten zur Lufttemperatur an den weitab der Ballungsräume liegenden Stationen Altensteig, Ochsenhausen und Rotenfels sehr nahe beieinander und im Niveau um ca. 1°C niedriger liegen als die drei anderen Stationen, bei denen, wahrscheinlich unter dem Einfluss einer überproportionalen Erwärmungstendenz im urbanen Bereich, die räumlich interpolierten Temperaturen höher sind.

Um Niveauunterschiede und Trends der Lufttemperatur sichtbar zu machen wurden die Zeitreihen der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in der Abbildung leicht geglättet. An allen 6 Standorten ist in den 30er bis 60er Jahren eine markante 10-12jährige Periodik der Jahresmitteltemperaturen erkennbar, die

in den 70er und 80er Jahren zusammengebrochen ist. Ab Mitte der 80er Jahre zeigen die Zeitreihen durchgängig einen markanten Temperaturanstieg von 1.5-2 °C.

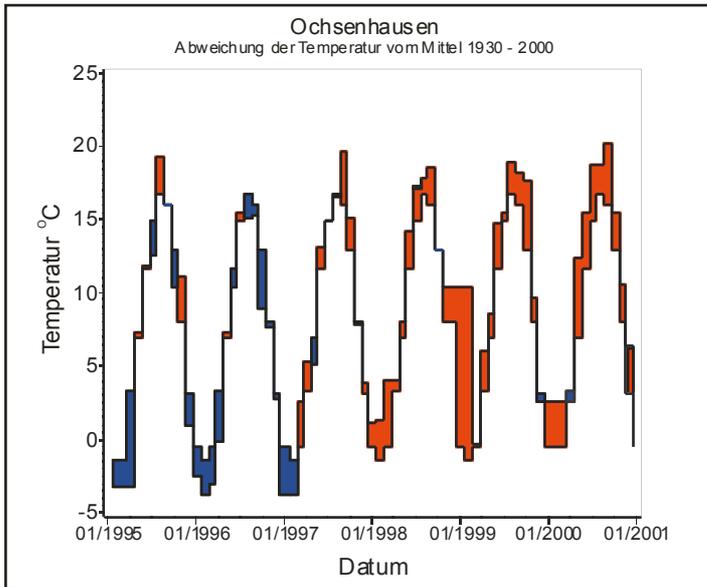


Abb. 46: Temperaturabweichung Ochsenhausen

der langjährigen Monatsmitteltemperaturen eingetreten ist, die hauptsächlich in den Winter- und Sommermonaten zu einer Erhöhung der Temperatur von bis zu 4 °C geführt hat. In den Monaten der Übergangsjahreszeiten war diese Temperaturerhöhung tendenziell niedriger.

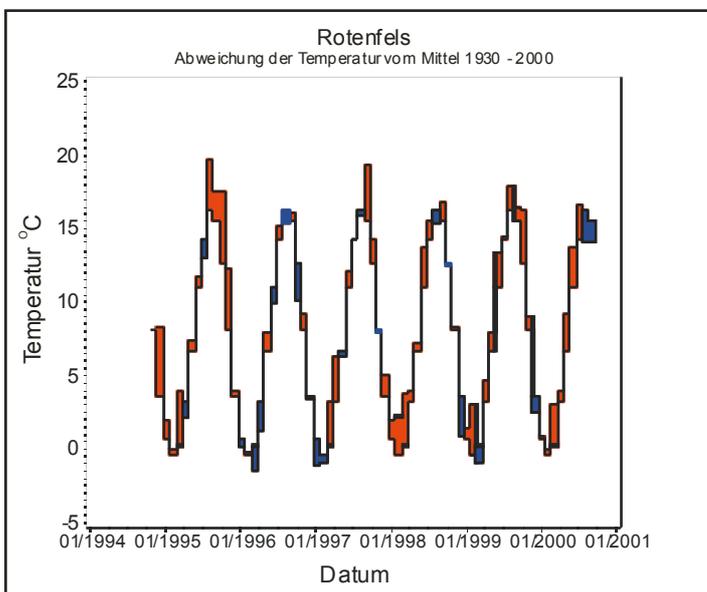


Abb. 47: Temperaturabweichung Roterfels

Aus diesen räumlich interpolierten Temperaturzeitreihen wurden durch Mittelung über die Periode 1930-2000 langjährige Monatsmitteltemperaturen abgeleitet, die in den folgenden Abbildungen als Vergleichswerte zu den an den einzelnen Level II-Stationen gemessenen Monatsmitteltemperaturen der letzten Jahre verwendet wurden.

In Ochsenhausen (obere Abbildung) sind die Jahre 1995 und '96 überwiegend durch unterdurchschnittliche Monatsmitteltemperaturen (blaue Flächen) gekennzeichnet, während in den folgenden 4 Jahren eine zunehmende Überschreitung

der langjährigen Monatsmitteltemperaturen eingetreten ist, die hauptsächlich in den Winter- und Sommermonaten zu einer Erhöhung der Temperatur von bis zu 4 °C geführt hat. In den Monaten der Übergangsjahreszeiten war diese Temperaturerhöhung tendenziell niedriger.

Am Standort Roterfels ist das Grundmuster der Temperaturerwärmung ähnlich. Auch hier finden sich die höchsten Temperaturzunahmen (rote Flächen) tendenziell in den Sommer- und Wintermonaten und die niedrigsten in den Übergangsjahreszeiten. Die etwas höhere Variabilität der Trends an diesem Standort kann mit der Nähe zum Westabfall des Schwarzwaldes und damit mit einem höheren Einfluss konvektiver Luftmassenverlagerungen als am Standort Ochsenhausen erklärt werden.

Die hier gezeigten Beispiele geben einen ersten Eindruck der Auswertungsansätze,

die mit dem umfangreichen Datenmaterial des Level II-Messnetzes möglich sind. Ziel der intensiven Umweltüberwachung an den Level II-Standorten ist eine synoptische und differentialdiagnostische Analyse der Einflüsse von Deposition, Witterung, akuten Schäden durch gasförmige Immissionen (z.B. Ozon) u.a. auf Kronenzustand, Baumwachstum und Stoffflüsse mit dem Bodenwasser.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich im Vergleich zu den vergangenen Jahren erheblich verschlechtert. Der Anteil deutlich geschädigter Waldfläche (Schadstufe 2-4) ist auf nunmehr 29% angestiegen. Dies ist der höchste Wert auf dem EU-Netz seit 1996. Der durchschnittliche Nadel-/Blattverlust hat sich im Vergleich zum Vorjahr um 2,5% auf nun 21,4% erhöht. Dagegen ging die Waldfläche mit Vergilbungserscheinungen an Nadeln und Blättern um mehr als die Hälfte auf nunmehr 4% zurück.

7.1 Aktuelle Stressfaktoren

Der Waldzustand wird von vielen natürlichen wie auch anthropogenen Faktoren beeinflusst, die z.T. in Wechselbeziehung zueinander stehen und räumlich und zeitlich variieren. Vor allem Einflüsse von extremer Witterung, biotischen Schaderregern und Stoffeinträgen stellen Stressfaktoren für das Ökosystem Wald dar.

Witterungseinflüsse:

Das Jahr 2003 ist geprägt durch ein massives Niederschlagsdefizit und lang anhaltenden, extrem hohen Lufttemperaturen. Von Beginn des Frühjahres bis zum Ende der Waldschadensaufnahmen im August war es in Baden-Württemberg im Vergleich zum langjährigem Mittel deutlich zu trocken und zu warm. Die extreme Witterungssituation stellt für die Wälder eine erhebliche Belastung dar. Die Bäume reagieren auf den Hitze- und Trockenstress teilweise mit vorzeitiger Laubverfärbung und Laubfall. Betroffen sind insbesondere Bäume auf Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität sowie flachwurzelnde Baumarten. Durch das Abwerfen von noch grünen Nadeln bzw. Blättern verlieren die Bäume erhebliche Mengen an Nährstoffen (v.a. Stickstoff und Phosphor), die normalerweise als Reservestoffe im Holz eingelagert werden. Hierdurch kann es noch zu erheblichen Folgeschäden in den nächsten Jahren kommen. Die Ergebnisse der Waldschadensinventur 2003 spiegeln die Auswirkungen der Hitze und Trockenheit auf den Wald wider. Auf Grund der geringen Aufnahmedichte des EU-Netzes können keine statistisch abgesicherten Aussagen über einzelne Baumarten getroffen werden, jedoch war zu beobachten, dass v.a. die Laubbaumarten mit Ausnahme der Eiche massive Schäden durch Trockenheit aufwiesen. Dies zeigen auch die Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen. Es ist zu vermuten, dass das wahre Ausmaß der extremen Witterungsbedingungen im Jahr 2003 erst in den Folgejahren sichtbar wird, zumal erfahrungsgemäß erhebliche Folgeschäden durch biotische Schaderreger zu erwarten sind.

Biotische Schaderreger:

Die Population der Borkenkäfer ist drei Jahre nach dem Winterorkan „Lothar“ in Baden-Württemberg noch sehr hoch. Die sehr trockene und warme Sommerwitterung 2003 hat die Entwicklung der Käfer begünstigt und zu einer weiteren Erhöhung der Käferdichte beigetragen. Die Käferholzmenge im Jahr 2003 blieb dennoch lange Zeit auf einem sehr niedrigem Niveau. Erst nach dem Schwärmflug der 2. Käfergeneration Ende Juli stieg die Schadholzmenge beträchtlich an. Bei den Aufnahmen der TWI Ende

Juli bis Mitte August wurde daher noch kein wesentlicher Borkenkäferbefall festgestellt. Je nach weiterem Witterungsverlauf besteht die erhöhte Gefahr einer massiven Ausbreitung des Borkenkäfers im nächsten Frühjahr. Die von den Folgen der Trockenheit geschwächten Fichten sind zudem gegenüber einem Käferbefall äußerst anfällig.

Stoffeinträge:

Der seit den 80er Jahren beobachtete Rückgang der Gesamtsäurebelastung ist vornehmlich auf die Reduktion von Sulfateinträgen zurückzuführen. Durch den Einbau von Entschwefelungsanlagen in Kraftwerken und in der Großindustrie konnte die Schwefelemission in den letzten 20 Jahren drastisch gesenkt werden. Dennoch ist der Gesamtsäureeintrag in die Wälder Baden-Württembergs in weiten Teilen noch zu hoch. Insbesondere am Westabfall des Schwarzwaldes liegen die Säureeinträge weit über dem natürlichem Puffervermögen silikatischer Standorte.

Die Stickstoffeinträge in die Wälder Baden-Württembergs liegen mit Ausnahme der Leelagen des Schwarzwaldes weit über der biologischen Aufnahmekapazität. Ursächlich hierfür sind v.a. Nitratdepositionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger sowie Ammoniumeinträge aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung, aus Kläranlagen und aus der chemischen Industrie. Durch das Zusammenwirken von Säure- und Stickstoffeinträgen kommt es zu einer zunehmenden Versauerung des Bodens, Belastungen des Grundwassers sowie zu Ungleichgewichten im Nährstoffhaushalt der Bäume.

Die Konzentration von bodennahem Ozon war im Sommer 2003 auf Grund der hohen Strahlungsintensität und der in der Luft vorhandenen Vorläufersubstanzen im Vergleich zu den letzten Jahren sehr hoch. Im Rahmen einer Untersuchung von Ozonschäden an Waldbäumen konnten 2003 erstmals auf Versuchsflächen der FVA sichtbare spezifische Schadmerkmale an Blättern durch das Einwirken von Ozon nachgewiesen werden.

7.2 Erforderliche Maßnahmen

Um den Waldzustand nachhaltig zu verbessern, müssen zum einen schädliche Einflussfaktoren auf die Wälder verringert (v.a. Verringerung des Stoffeintrags), zum anderen Maßnahmen zur Stabilisierung der Wälder ergriffen werden. Des Weiteren bedarf es einer kontinuierlichen Waldschadensforschung, die die Entwicklung des Waldzustandes und dessen Ursachen untersucht.

Maßnahmen im Bereich der Politik:

Auf politischer Ebene muss die Luftreinhaltepolitik konsequent fortgesetzt werden. Hier gilt es weiterhin eine Absenkung der anthropogenen Stoffeinträge durchzusetzen, d.h. insbesondere den Ausstoß von Stickstoffverbindungen aus Kraftverkehr, Landwirtschaft, Kläranlagen und chemischer Industrie weiter zu senken. Zudem muss die Emission von klimarelevanten Spurengasen (v.a. CO₂) drastisch reduziert werden.

Das forstliche Umweltmonitoring bedarf einer ausreichenden personellen und finanziellen Unterstützung, um auch zukünftig der Politik Entscheidungshilfen geben zu können. Außerdem ist weiterhin ein

finanzieller Anreiz für Waldbesitzer zu schaffen, um stabilisierende Maßnahmen im Wald durchzuführen (z.B. Förderung der Kalkungsmaßnahmen).

Maßnahmen im Bereich der Forstwirtschaft:

Ziel der Forstwirtschaft muss es sein, nachhaltig die Funktionsfähigkeit und Stabilität der Wälder zu erhalten bzw. zu verbessern.

Bodenschutzkalkungen mit magnesiumhaltigem Kalk können zu einer Kompensation der aktuellen Säureeinträge im Boden führen und ihm zugleich notwendiges, zuvor ausgewaschenes Magnesium wieder zur Verfügung stellen. Die Bodenschutzkalkung ist eine umwelttechnische Vorsorgemaßnahme und darf nicht als Ersatz einer konsequenten Weiterführung der Luftreinhaltepolitik missverstanden werden. Ziel muss es sein, die Säure- und Stickstoffeinträge auf ein ökosystemverträgliches Maß zu senken.

Außerdem sind **biotische** Schäden durch integrierte Waldschutzmaßnahmen auf ein Minimum zu begrenzen, um zusätzliche Stressfaktoren für die Wälder zu verringern. Aus den Erfahrungen der Trockenjahre 1947 bis 1952 ist bekannt, dass in den nächsten Jahren besonderes Augenmerk der **Borkenkäferbekämpfung** gelten muss. Auf Grund der im Spätsommer dieses Jahres bereits landesweit „schrot-schussartig“ verteilten Käferherde kann eine wirksame Überwachung und Bekämpfung in den kommenden Jahren nur durch einen erhöhten und großräumig koordinierten Einsatz von qualifiziertem und ortskundigem Forstpersonal sowie ausreichenden Maschinenkapazitäten erreicht werden. Eine laufende Einschätzung der Käferentwicklung durch Waldschutz-Spezialisten ist unerlässlich.

Um die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegenüber schädigenden Umwelteinflüssen weiter zu stärken, muss das Konzept der naturnahen Waldwirtschaft auch in Zukunft konsequent umgesetzt werden. Hierzu gehören neben einer standortgerechten Baumartenwahl mit herkunftsgesicherten Vermehrungsgut auch die Bestandespflege zur Förderung von Mischbaumarten und der Stabilität der Bestände.

Maßnahmen im Bereich der Forschung:

Die Bedingungen für das Ökosystem Wald ändern sich durch anhaltende Stoffeinträge, extreme Witterungsverläufe und z.T. massenhaft auftretende biotische Schaderreger permanent. Ein kontinuierliches forstliches Umweltmonitoring ist daher unabdingbar, um Informationen über die Entwicklung und mögliche Ursachen der Veränderungen an der Vegetation und in den Waldböden zu erhalten. In den nächsten Jahren wird es von erhöhtem Interesse sein, die absehbaren Folgeschäden der extremen Trockenheit des Jahres 2003 näher zu untersuchen. Besonderes Augenmerk gilt hierbei sowohl dem unterschiedlichen Schädigungsgrad des Hitze- und Trockenstresses auf unterschiedliche Baumarten bzw. Standorten als auch dem Auftreten von biotischen Schaderregern als indirekte Folgeerscheinung des Witterungseinflusses. Dabei muss untersucht werden, welche Folgeschädlinge sich bei den verschiedenen Baumarten und auf unterschiedlichen Standorten in welchem Zeitabstand zu der Hitze/Trockenperiode massenhaft vermehren und wie sie einzudämmen sind.

GLOSSAR

Abiotische Schäden:

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

Anthropogen:

Durch den Menschen beeinflusst.

Biotische Schäden:

Schäden, die durch den Einfluss lebender Organismen bedingt sind.

Biotop:

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

Boniturbereich:

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

„Critical Load“:

Schwellenwert für Schadstoffeinträge, bei dem noch keine nachweisbaren schädlichen Veränderungen der Ökosysteme zu erwarten sind.

Deposition:

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

Denitrifikation:

Bei Sauerstoffmangel im Boden durch anaerobe Bakterien verursachte Stickstoffverluste.

Emission:

Ausstoß z.B. von Schadstoffen in die Luft

Eutrophierung:

Nährstoffüberangebot, das negative Auswirkungen auf das Ökosystem haben kann.

Immission:

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

Kombinationsschadstufen:

Zusammenfassung der Nadel-/Blattverluststufe mit der Vergilbungsstufe.

Kronenverlichtung:

In 5%-Stufen eingeschätzter Nadel-/Blattverlust bzw. Minderaustrieb bei Waldbäumen.

Makroelemente:

Chemische Elemente, die am Aufbau der Körpersubstanz von Menschen, Tieren, Pflanzen beteiligt sind und dabei den größten Massenanteil ausmachen:

Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel, Kalium, Magnesium, Calcium.

Pflanzen nehmen diese Elemente aus dem Boden auf, sie können also durch Düngung ergänzt werden.

Mittlerer Nadel-/Blattverlust:

Arithmetischer Mittelwert der in 5%-Stufen eingeschätzten Kronenverlichtung aller Einzelbäume.

Nadel-/Blattverlust:

Die Summe der Stellen innerhalb des Boniturbereiches der Krone, an denen keine Nadeln/Blätter vorhanden, jedoch von der Morphologie her zu erwarten wären.

Ökosystem:

Wirkungsgefüge zwischen Lebewesen und ihrem Lebensraum.

Referenzbaum:

Für das Erhebungsgebiet typische, vollbenadelte/-belaubte Baumkrone.

Standardfehler:

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

Statistische Signifikanz: Mit einem Signifikanztest wird die Irrtumswahrscheinlichkeit quantifiziert. Hier: Test der paarweisen Differenzen gegen Null. Irrtumswahrscheinlichkeit 5%.

Treibhauseffekt:

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