

**Waldzustandsbericht 2002**  
**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: [poststelle@fva.bwl.de](mailto:poststelle@fva.bwl.de)  
Internet: <http://fva.forst.uni-freiburg.de>

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Monitoringnetze im Wald</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Methodik und Durchführung der Terrestrischen Waldschadensinventur</b> .....	<b>5</b>
3.1	Methodik der Terrestrischen Waldschadensinventur.....	5
3.2	Durchführung der TWI 2002.....	7
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>9</b>
4.1	Ergebnisse der TWI 2002.....	9
4.1.1	Die Kombinationsschadstufen.....	9
4.1.2	Der Nadel-/Blattverlust.....	11
4.1.3	Die Vergilbung.....	11
4.1.4	Häufigkeitsverteilung des Nadel-/Blattverlustes.....	12
4.1.5	Biotische und abiotische Schäden.....	13
4.2	Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen .....	14
<b>5</b>	<b>Einflüsse auf den Waldzustand</b> .....	<b>15</b>
5.1	Der Klimawandel.....	15
5.2	Witterungsverhältnisse 2001/2002 .....	17
5.3	Allgemeine Waldschutzsituation 2001/2002.....	17
5.4	Stoffeinträge .....	19
5.4.1	Gasförmige Immissionen .....	19
5.4.2	Depositionen im Niederschlag.....	21
<b>6</b>	<b>Bodenversauerung und Wasserqualität</b> .....	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerung</b> .....	<b>26</b>
7.1	Aktuelle Stressfaktoren .....	26
7.2	Erforderliche Maßnahmen.....	27
	<b>GLOSSAR</b> .....	<b>29</b>

# 1 EINLEITUNG

Der aktuelle Waldzustand Baden-Württembergs wird durch ein umfassendes Monitoringnetz im Wald erhoben. Ein wesentlicher Bestandteil ist hierbei die jährlich durchgeführte **Terrestrische Waldschadensinventur (TWI)**. Durch sie wird seit 1983 die Vitalität der Waldbäume anhand des aktuellen Kronenzustandes vom Boden aus im Hinblick auf den Nadel-/Blattverlust und die Vergilbung der Blattorgane eingeschätzt. Das Verfahren und die Methodik der Waldschadenserhebung ist auf Bundes- und EU-Ebene abgestimmt und vergleichbar, so dass die Ergebnisse jährlich in einem gemeinsamen Bericht für Deutschland und die EU integriert werden können.

Erste gravierende, anthropogen verursachte Schadsymptome an Wäldern traten schon Mitte des 19. Jahrhunderts in stark von der Industrie geprägten Gebieten Deutschlands auf. Die betroffenen Bäume verfärbten ihre Nadeln bzw. Blätter und warfen diese bei stärkerer Belastung ab. Die so genannten „Rauchschäden“ mit abgestorbenen Waldbeständen begrenzten sich jedoch auf die unmittelbare Umgebung von stark emittierenden Industrieanlagen.

In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden ähnliche Schadsymptome beobachtet. Allerdings traten diese großflächig und fernab von Industrieanlagen in so genannten „Reinluftgebieten“ auf. Einerseits stiegen die Emissionsraten nach industrieller Aufschwung Anfang des 20. Jahrhunderts, andererseits führte der Bau immer höherer Schornsteine zu einer großräumigen Verfrachtung der Schadstoffe. Die Verdünnung der Luftverunreinigungen sowie deren chemische Umwandlung zu Sekundärschadstoffen ließen neuartige Waldschäden in bis dahin unbelasteten Gebieten entstehen.

Als Mitte der 70er Jahre Schädigungen an Tanne im Schwarzwald festgestellt wurden, erfolgten erste Untersuchungen seitens der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) bezüglich der „Neuartigen Waldschäden“. 1977 wurden die ersten Dauerbeobachtungsflächen mit Tanne aufgenommen, die im Übrigen heute noch wertvolle Zeitreihenstudien erlauben. Anhand dieser Flächen wurden Methoden zum Monitoring von Waldschäden entwickelt. Heute bestehen in ganz Baden-Württemberg für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche Dauerbeobachtungsflächen, die für das Monitoring wichtige Daten über den Kronenzustand der Baumarten in ihren jeweiligen Hauptverbreitungsgebieten liefern.

Ausschlaggebend für die Einführung einer systematisch angelegten Waldschadensinventur auf ganzer Fläche war die Ausweitung der Schadsymptome auf andere Baumarten und andere Gebiete außerhalb des Schwarzwaldes. Zudem wurde das Thema „Waldsterben“ Anfang der 80er Jahre sehr stark in der Öffentlichkeit diskutiert.

Im Jahr 2002 fand die 20. Terrestrische Waldschadensinventur statt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Waldfläche in Baden-Württemberg weiterhin stark geschädigt ist. Es ist auch künftig unerlässlich, eine konsequente Luftreinhaltepolitik zu betreiben, um den Waldzustand langfristig zu verbessern.

## 2 MONITORINGNETZE IM WALD

Eine Vielzahl natürlicher und anthropogener Faktoren beeinflusst den Zustand der Waldökosysteme. Um Informationen über die Intensität und Ursachen von Veränderungen in den Waldböden und der Vegetation zu erhalten, wurden in den Wäldern Baden-Württembergs verschiedene Mess- und Beobachtungsnetze eingerichtet. Hierbei sollen 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 langfristig zu stabilisieren.

Es lassen sich grundsätzlich zwei unterschiedlich praktizierte Aufnahmeverfahren für die Monitoringflächen unterscheiden:

Zum einen die **Rasterstichproben**, bei denen ein systematisches Netz über Baden-Württemberg gelegt wurde und jeder Schnittpunkt im Wald als Stichprobe dient, und zum anderen die **Versuchsflächen**, die nach jeweiligem Untersuchungsschwerpunkt ausgewählt wurden.

Die Aufnahmeintervalle der jeweiligen Messnetze richten sich nach den zu erwartenden Veränderungen der Messgrößen und dem jeweiligen Erhebungsaufwand. Auf eine Kontinuität der Aufnahmen und deren Methodik ist zu achten, da sich bestimmte Entwicklungen nur durch langfristige Beobachtungen aufzeigen lassen.

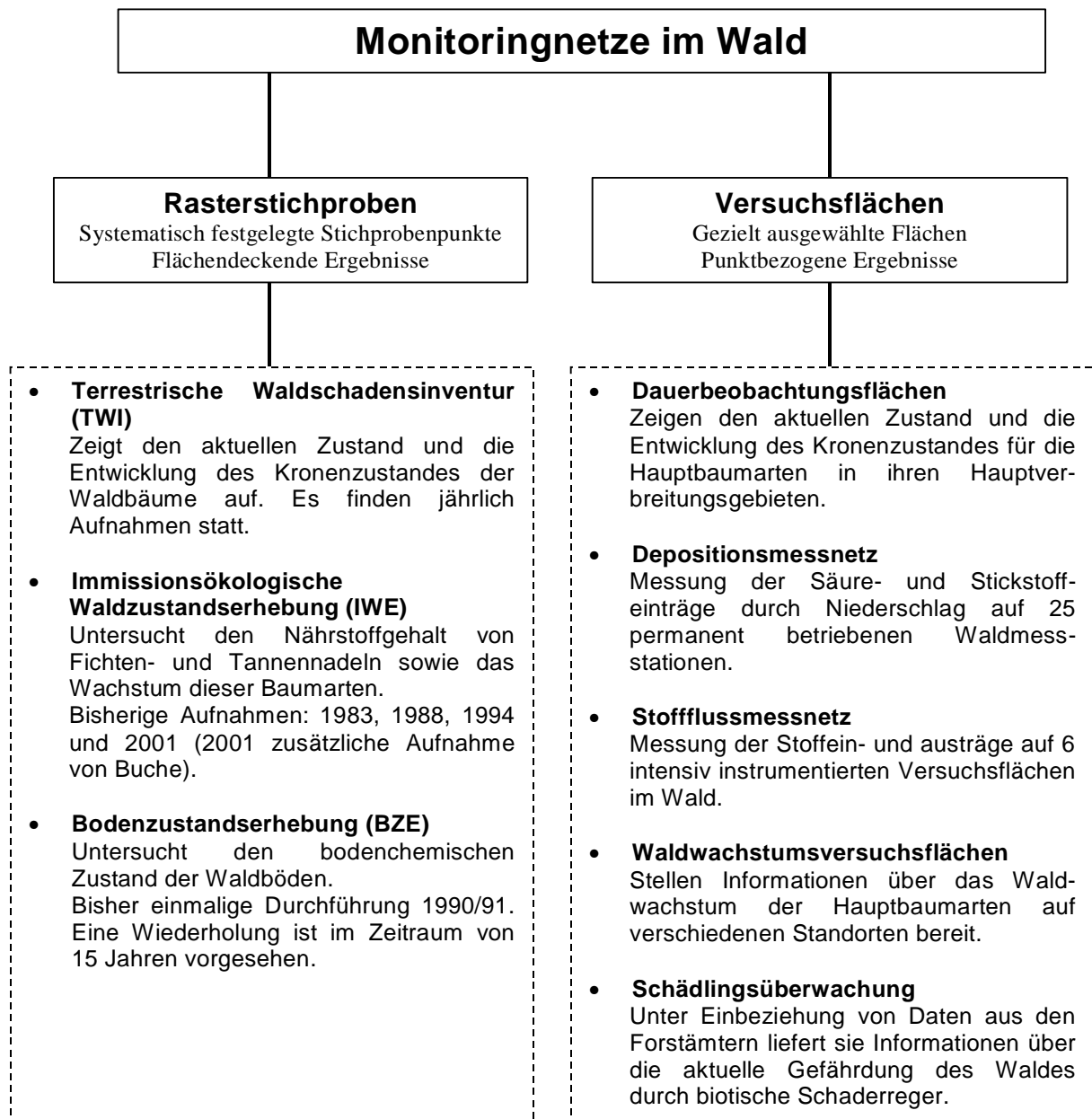
Die Übersicht 1 gibt einen Überblick über die von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg unterhaltenen Umweltmonitoringnetze.

Die Aufnahmen auf der Basis von Rasterstichproben erfolgen auf einem einheitlichen, auf dem Gauss-Krüger-Koordinatensystem basierenden Stichprobennetz. Dadurch sind Verknüpfungen der Daten von TWI, IWE und BZE möglich.

Auch Daten externer Institutionen werden zur Beurteilung der Umwelteinflüsse auf das Waldökosystem herangezogen:

- **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

**Nationale und internationale Einbindung der Messnetze:**

Die Messnetze in Baden-Württemberg sind sowohl auf Ebene der Rasterstichproben als auch auf Ebene der Versuchsflächen in nationale und internationale Programme eingebunden. Von den Rasterstichproben sind insgesamt 50 Punkte in das Europäische Forstliche Umweltmonitoring-Programm „Level I“ eingebunden. Von den Versuchsflächen 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

Die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) liefert Daten über den aktuellen Vitalitätszustand der Waldfläche in Baden-Württemberg. Die Entwicklung des Waldzustandes kann durch das seit 1983 jährlich nach gleicher Methodik durchgeführte Verfahren abgesichert interpretiert werden.

Auf einem nach dem Gauß-Krüger-Koordinatensystem ausgerichteten Stichprobennetz werden pro Stichprobenpunkt (nachfolgend auch als Stichprobenfläche bezeichnet) systematisch 24 Probebäume des herrschenden Bestandes (KRAFT'sche Klasse 1 – 3) ausgewählt und dauerhaft markiert, so dass eine jährliche Aufnahme der selben Baumindividuen gewährleistet ist. Das Inventurverfahren beruht im Wesentlichen auf der Beurteilung des Kronenzustandes der Probebäume.

Hierbei werden als wichtigste Kriterien der Nadel-/Blattverlust und die Vergilbung der Blattorgane vom Boden aus eingeschätzt.

Der **Nadel-/Blattverlust** (NBV) wird in Bezug auf eine für das Erhebungsgebiet vollbenadelte bzw. vollbelaubte Baumkrone (Referenzbaum) in 5%-Stufen

Übersicht 2: Schadstufen

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

Kombinationsschadstufen				
Nadel-/Blattverluststufe	Vergilbungsstufe			
	0	1	2	3
0	0	0	1	2
1	1	1	2	2
2	2	2	3	3
3	3	3	3	3
4	4			

Vergilbungsstufen	Vergilbungsprozent
0	0%-10%
1	11%-25%
2	26%-60%
3	>60%

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

erfasst, die zu 5 unterschiedlichen NBV-Schadstufen (ungeschädigt bis abgestorben) zusammengefasst werden. Die **Vergilbung** wird analog in vier Vergilbungsschadstufen (ungeschädigt bis stark geschädigt) erfasst.

Die ermittelten Schadstufen von Nadel-/Blattverlust und Vergilbung werden zu fünf so genannten **Kombinationsschadstufen** zusammengeführt.

Zudem werden an jedem Baum im Rahmen einer Differenzialdiagnose alle visuell erkennbaren biotischen und abiotischen Schadmerkmale, wie z.B. Insektenfraß oder Pilzbefall, ermittelt und ihr Schädigungsgrad (Befallsstärke) in vier Stufen aufgenommen. Ein jährlich stattfindender Abstimmungskurs mit Vertretern aller Bundesländer gewährleistet eine weitgehend einheitliche Einschätzung des Kronenzustandes auf Bundesebene.



**Abb. 1:** Buche Schadstufe 0



**Abb. 2:** Buche Schadstufe 3



**Abb. 3:** Tanne Schadstufe 0



**Abb. 4:** Tanne Schadstufe 3



Ausschlaggebend für die Aussagefähigkeit der ermittelten Ergebnisse der Inventur ist der Abstand zwischen den einzelnen Stichprobenflächen (Stichprobendichte). In Baden-Württemberg wurden seit 1983 verschiedene Stichprobendichten angewandt:

- 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.
- 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 hohe Stichprobendichte im 4x4 km-Netz lässt im Gegensatz zu den anderen Netzen mit geringerer Dichte eine Aufgliederung des Waldzustandes auf einzelne Baumarten und Regionen zu. Wie die Inventurergebnisse der letzten Jahre zeigen, unterliegt der Waldzustand langfristigen Veränderungen. Daher findet die weitaus aufwendigere Vollerhebung im 4x4 km-Netz nur alle drei Jahre in Baden-Württemberg statt. Die letzte Vollerhebung war im Jahr 2001.

In den Jahren zwischen den Vollaufnahmen erfolgt eine Erhebung im 16x16 km-Netz (EU-Netz). Die Ergebnisse dieser Unterstichprobe lassen für Baden-Württemberg Aussagen über den Waldzustand als Ganzes zu und zeigen die Entwicklung des Waldzustandes im Vergleich zu vergangenen Inventuren im EU-Netz auf. Differenzierte Aussagen über Baumarten und Regionen können aus statistischen Gründen hierbei nicht getroffen werden.

### 3.2 Durchführung der TWI 2002

Die 20. TWI in Baden-Württemberg erfolgte im Sommer 2002 im 16x16 km-Netz (EU-Netz). Die Außenaufnahmen fanden im Zeitraum vom 8. bis 26. Juli durch private forstliche Sachverständige statt. Die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg war für die fachliche Leitung, Schulung und Kontrolle zuständig.

Von den insgesamt 50 Probeflächen des EU-Netzes konnte auf einer Stichprobenfläche wegen Sturmwurf durch „Lothar“ (Wintersturm 1999) keine Aufnahme stattfinden.

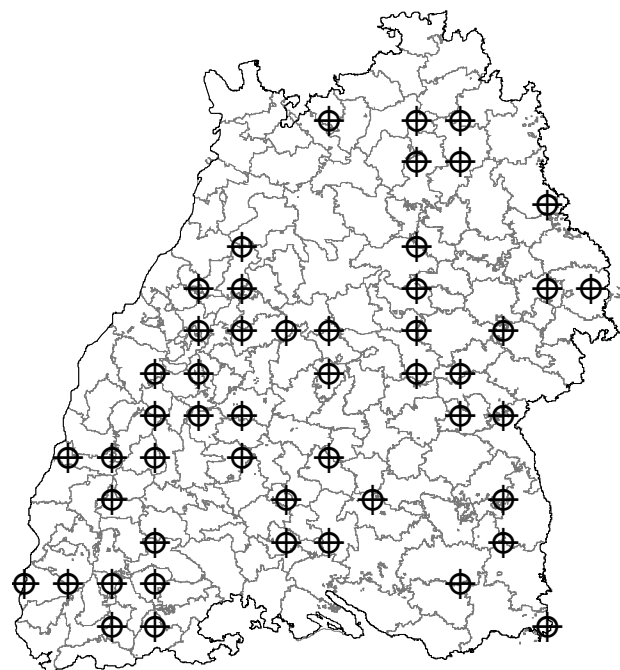


Abb. 5: EU-Netz (16x16km-Netz)

Auf einem anderen Standort war die Probebaumanzahl von 24 auf 18 reduziert, da durch den Sturmeinfluss keine in der Nähe stehenden Ersatzbäume zur Verfügung standen. Demgegenüber wurde eine Probefläche, die in den letzten beiden Jahren wegen Sturmwurfs geruht hatte, wieder reaktiviert.

Für die gesamte Inventur konnten somit 49 Stichprobenpunkte mit insgesamt 1.170 Bäumen aufgenommen werden. Hiervon gehörten 485 Bäume der Altersgruppe bis 60 Jahre und 685 der Altersgruppe ab 61 Jahre an.

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 aufgrund biotischer oder abiotischer Schadwirkungen. Die betroffenen und meist entnommenen Bäume werden systematisch durch benachbarte Bäume ersetzt.

Im Jahr 2002 wurden insgesamt 30 Bäume ersetzt. Dies entspricht 2,6% aller Probebäume (siehe Kapitel 4.1.5).

**Tab. 1:** Anzahl untersuchter Probebäume

<b>Anzahl untersuchter Probebäume</b> (Werte in Klammer = 2000)			
	<b>Altersgruppe</b>		<b>Summe</b>
	bis 60 Jahre	ab 61 Jahre	
<b>Fichte</b>	199 (219)	304 (288)	503 (507)
<b>Tanne</b>	21 (21)	113 (113)	134 (134)
<b>Douglasie</b>	38 (36)	0 (0)	38 (36)
<b>Kiefer</b>	7 (6)	25 (25)	32 (31)
<b>sonstige Nadelbäume</b>	12 (12)	15 (14)	27 (26)
<b>Buche</b>	77 (75)	164 (165)	241 (240)
<b>Eiche</b>	25 (25)	26 (26)	51 (51)
<b>sonstige Laubbäume</b>	106 (84)	38 (37)	144 (121)
<b>Summe</b>	<b>485</b> (478)	<b>685</b> (668)	<b>1170</b> (1146)

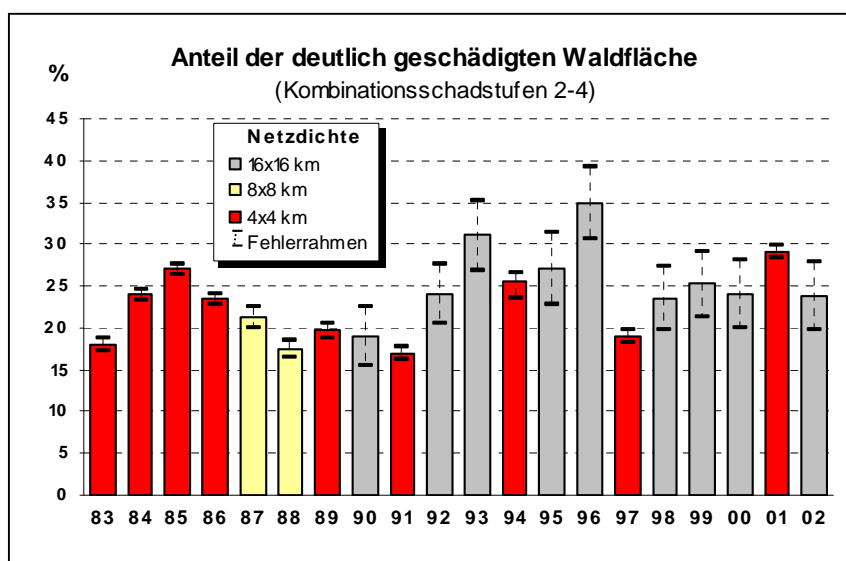
## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Ergebnisse der TWI 2002

#### 4.1.1 Die Kombinationsschadstufen

Betrachtet man die Kombinationsschadstufen (Zusammenführung von Nadel-/Blattverlust und Vergilbung), so lag der Anteil der **deutlich geschädigten Waldfläche (Schadstufe 2-4) im Jahr 2002 bei 24%** und somit auf dem Niveau der letzten Aufnahme im EU-Netz 2000. Der Stichprobenfehler liegt aufgrund der geringen Stichprobendichte des EU-Netzes bei  $\pm 4$  Prozentpunkten (Abb. 6).

Der Vitalitätszustand der Waldfläche Baden-Württembergs hat sich im Vergleich zu den letzten vier Aufnahmen im EU-Netz seit 1998 nicht signifikant verändert. Das Schadniveau ist mit rund  $\frac{1}{4}$  deutlich geschädigter Waldfläche (Stufe 2-4) weiterhin relativ hoch.



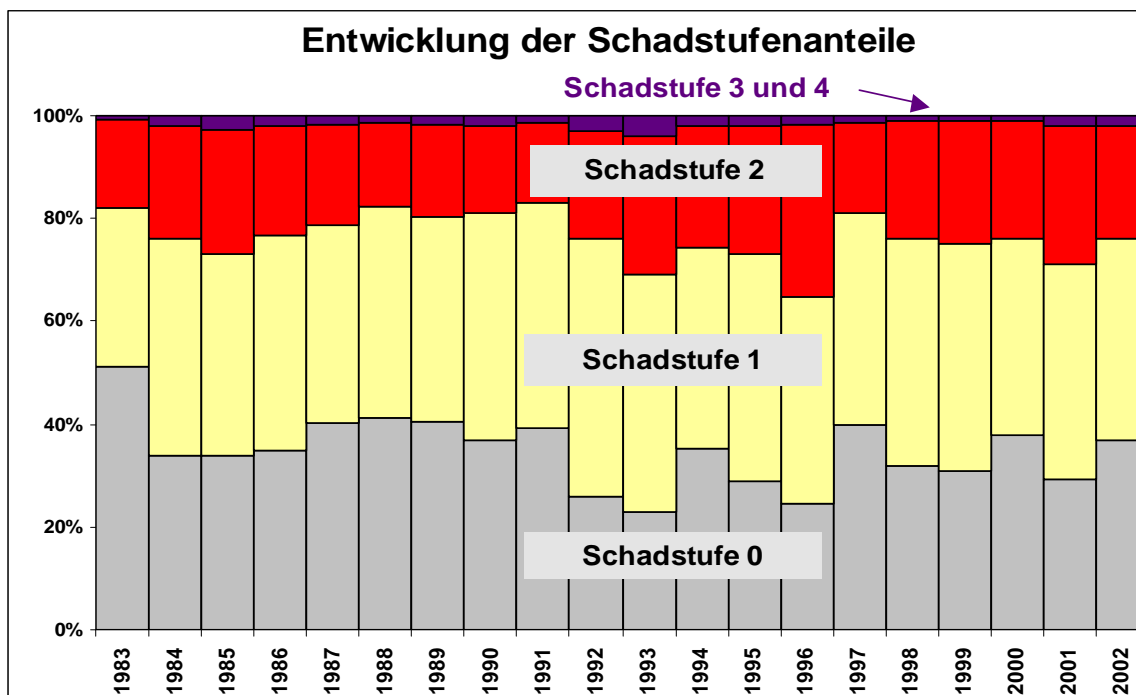
**Abb. 6:** Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche

Gegenüber den Aufnahmen 1993 und 1996 ist eine Verbesserung zu verzeichnen. Ein Vergleich mit der Vollaufnahme des Jahres 2001 (29% deutlich geschädigte Waldfläche) lässt aufgrund der unterschiedlichen Stichprobenetze keine verlässlichen Aussagen zu. Betrachtet man bei der Aufnahme 2001 lediglich die Ergebnisse der Punkte, die auf

das 16x16 km-Netz fallen, so ergeben sich im Vergleich zu 2002 ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Die Schadstufenverteilung im Einzelnen und ihre Entwicklung seit 1983 sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Schadstufenverteilung der Waldfläche zeigt zwischen den Aufnahmen 2000 und 2002 keine wesentlichen Veränderungen auf. Erst die Betrachtung der kompletten Zeitreihe lässt Entwicklungen des Gesundheitszustandes der Wälder in Baden-Württemberg erkennen.

Seit Anfang der 90er Jahre steigt der Anteil der Waldfläche mit Bäumen ohne Schadmerkmale (Schadstufe 0). Von 1992 bis 2002 ist eine Waldflächenzunahme der Schadstufe 0 von über 10% zu verzeichnen. Der Wert liegt seit den letzten beiden EU-Aufnahmen (2000 und 2002) erstmals wieder auf dem Niveau des Jahres 1990 (37%). Demgegenüber ist der Flächenanteil mit mittelstark geschädigten Bäumen (Schadstufe 2) seit Beginn der Waldschadensuntersuchung angestiegen. Stark geschädigte bzw. abgestorbene Bäume (Schadstufe 3 und 4) sind seit 1983 mit etwa gleich bleibenden Anteilen vertreten (Abb. 7).



	1983	1984	1985	1986	1987 <sup>1)</sup>	1988 <sup>1)</sup>	1989	1990 <sup>2)</sup>	1991	1992 <sup>2)</sup>	1993 <sup>2)</sup>	1994	1995 <sup>2)</sup>	1996 <sup>2)</sup>	1997	1998 <sup>2)</sup>	1999 <sup>2)</sup>	2000 <sup>2)</sup>	2001	2002 <sup>2)</sup>
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
Schadstufe 1	31	42	39	42	39	42	40	44	44	50	46	40	44	40	41	44	44	38	42	39
Schadstufe 2	17	22	25	21	20	16	18	17	16	21	27	23	25	34	18	23	24	23	27	22
Schadstufen 3/4	1	2	2	2	1	1	2	2	1	3	4	2	2	1	1	1	1	1	2	2
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
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
<sup>1)</sup> 8 x 8 km Netz																				
<sup>2)</sup> 16 x 16 km Netz																				

Abb. 7: Entwicklung der Schadstufenanteile

Der Vitalitätszustand eines Baumes steht im eindeutigen Zusammenhang mit seinem Lebensalter. In Abbildung 8 ist die Schadstufenverteilung nach Altersgruppen (bis 60 und ab 61 Jahre) über alle Baumarten dargestellt. Es wird deutlich, dass Bäume der Altersgruppe ab 61 Jahre erheblich stärker geschädigt sind als die der jüngeren Altersgruppe. Seit 1985 stieg das mittlere Alter aller Probestämme durchschnittlich um ca. 10 Jahre an. In der Gruppe der Bäume bis 60 Jahre ist das mittlere Alter im Schnitt mit einem Anstieg von 2,0 Jahren nur gering gestiegen. Das liegt daran, dass Stichprobenpunkte, deren Probestämme genutzt wurden, mit jungen Probestämmen wieder reaktiviert werden. Das mittlere Alter der Gruppe ab 61 Jahre stieg seit 1985 um 13 Jahre auf 108 Jahre an.

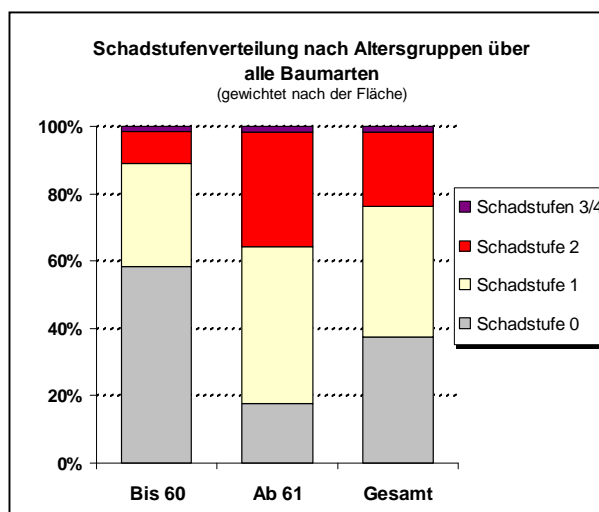


Abb. 8: Schadstufenverteilung alle Baumarten

### 4.1.2 Der Nadel-/Blattverlust

Zum Zeitpunkt der Aufnahme lag der **mittlere Nadel-/Blattverlust** (über alle Baumarten) bei **18,9 % ± 1,5**. Damit liegt der Wert auf dem Niveau der im 16x16 km-Netz durchgeführten Inventur aus dem Jahr 2000 (18,8%). Ein statistisch signifikanter Unterschied ist hierbei nicht festzustellen. Verlässliche Aussagen über die Entwicklung des Waldzustandes lassen sich nur innerhalb des gleichen Stichprobennetzes machen. Die Abbildung 9 zeigt die Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes über alle Baumarten seit 1983 in Baden-Württemberg.

Die unterschiedlichen Stichprobennetze sowie die damit einhergehenden unterschiedlichen Fehlerrahmen sind gekennzeichnet. Der Standardfehler des

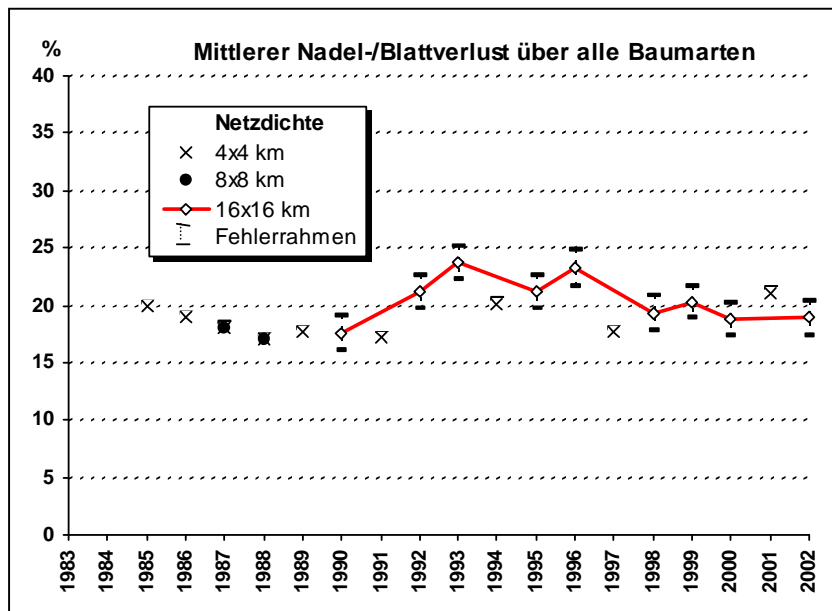


Abb. 9: Mittlerer Nadel-/Blattverlust

EU-Netzes ist aufgrund der geringeren Stichprobendichte im 16x16 km-Netz (50 Probeflächen) mit ± 1,5 Prozentpunkten wesentlich größer als der des 4x4 km-Netzes (ca. 840 Probeflächen) mit nur ± 0,3 Prozentpunkten.

### 4.1.3 Die Vergilbung

Die Vergilbung von Nadeln und Blättern ist im Vergleich zu den letzten Jahren wieder deutlich angestiegen. Insgesamt sind **9% der Waldfläche von Vergilbungserscheinungen betroffen** (2000: 0,9%). Hiervon sind 7,7% der Fläche mit Vergilbungsstufe 1 und 1,3% mit Stufe 2 aufgenommen. Probebäume mit Vergilbungsstufe 3 bzw. 4 konnten nicht festgestellt werden (Abb10). Die Vergilbung von Nadeln und Blättern ist häufig auf einen Mangel von im Boden verfügbarem Magnesium zurückzuführen.

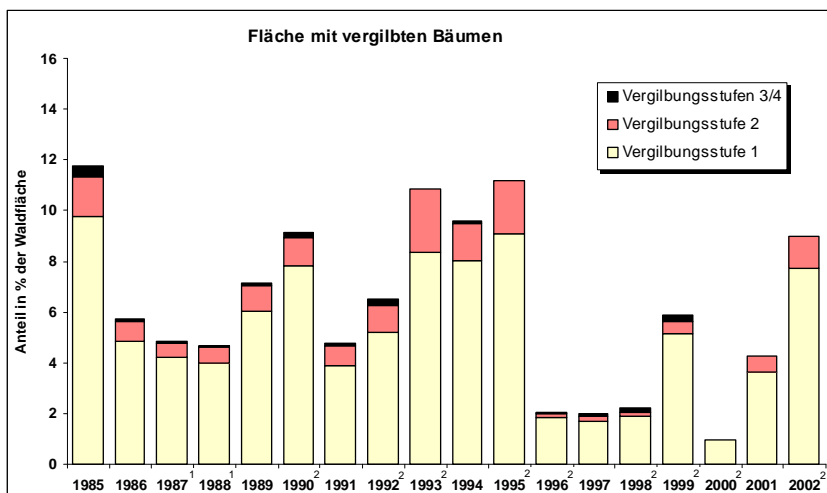
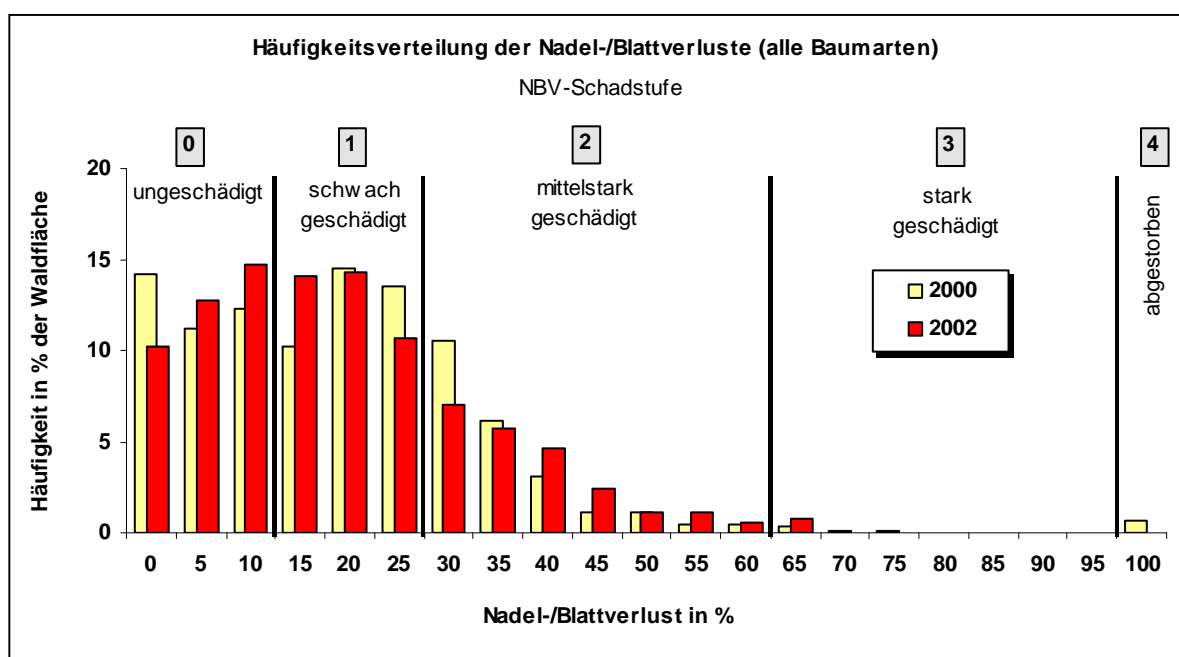


Abb. 10: Vergilbung

Das Magnesium wird durch Einträge von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in Folge von Niederschlägen („Saurer Regen“) zusammen mit weiteren Pflanzennährstoffen wie Kalium und Calcium aus dem Boden herausgewaschen. Man spricht hierbei auch von Versauerungsprozessen im Boden, da sauerwirkende Stoffe wie z.B. Aluminium somit ein Übergewicht erlangen. Die seit Anfang der 80er Jahre durchgeführten Bodenschutzkalkungen mit magnesiumhaltigem Dolomitkalk haben die Vergilbung der Blattoorgane deutlich reduziert. Der neuerliche Anstieg der Vergilbung ist ein Hinweis darauf, dass die Kalkungsmaßnahmen auch weiterhin konsequent durchgeführt werden müssen und auf einigen Standorten inzwischen Wiederholungskalkungen notwendig werden, weil die verfügbaren Vorräte an Magnesium offensichtlich verbraucht sind.

#### 4.1.4 Häufigkeitsverteilung des Nadel-/Blattverlustes

In der nachfolgenden Abbildung (Abb. 11) ist die Häufigkeitsverteilung des Nadel-/Blattverlustes in 5%-Stufen über alle Baumarten dargestellt. Die größte Häufigkeit des Nadel-/Blattverlustes im Jahr 2002 liegt im Bereich zwischen 5 bis 20%. Über 55% der Waldfläche sind diesen Prozentstufen zuzuordnen.



**Abb. 11:** Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste

Im Vergleich zu der Häufigkeitsverteilung im Jahr 2000 ergeben sich z.T. deutliche Veränderungen. Insbesondere an der Schadstufengrenze zwischen 0 und 1 (Prozentwerte 10% und 15%) nahm die Waldfläche mit entsprechendem Nadel-/Blattverlust zu, währenddessen an der Schadstufengrenze zwischen 1 und 2 (Prozentwerte 25% und 30%) eine Abnahme zu verzeichnen ist. Zudem kam es zu einer deutlichen Reduzierung des Anteils der Waldfläche mit Prozentstufe 0%, sowie zu einer Zunahme der Flächenanteile mit 40 und 45% Nadel-/Blattverlust.

Innerhalb der Schadstufen gleichen sich die Verschiebungen zwischen 2000 und 2002 jedoch weitgehend aus, so dass es zu keiner wesentlichen Veränderung der Schadstufenanteile kommt.

#### 4.1.5 Biotische und abiotische Schäden

Auf den 50 Stichprobenflächen des EU-Netzes wurden im Jahr 2002 nur geringe Ausfälle von Probebäumen registriert. Die Ausfälle im Jahr 2000 waren bedingt durch den Sturm „Lothar“ im Winter 1999 um ein Vielfaches höher.

Insgesamt fielen 2002 auf 11 Stichprobenflächen 30 Probebäume seit der letzten TWI aus. Hiervon waren allein 80% Fichten, die zum überwiegenden Teil im Rahmen ordnungsgemäßer Forstwirtschaft genutzt wurden. Es ist zu vermuten, dass es sich hierbei wohl zu einem hohen Anteil um Bäume handelt, die aufgrund von Borkenkäferbefall entnommen wurden. Sonstige Ausfallgründe waren Einzelwürfe durch Sturm, Kronenbrüche und veränderte Konkurrenzsituation gegenüber Nachbarbäumen (Umsetzung in KRAFT'sche Klasse 4 oder 5).

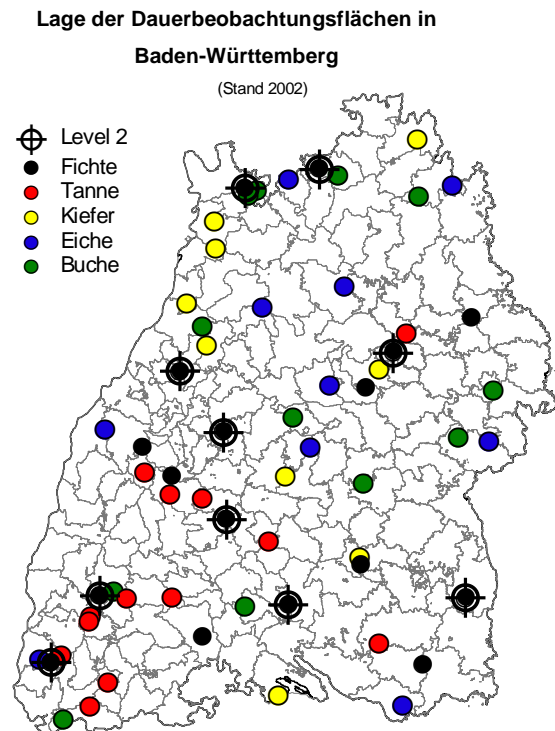
Bei vier Bäumen konnte kein Ausfallgrund ermittelt werden. Im Rahmen der Differenzialdiagnose konnten an den Probebäumen der diesjährigen Aufnahme folgende Schadmerkmale durch Insekten und Pilze festgestellt werden: Auffällige Schäden durch Blattfraß wurden regional bei Buche ermittelt (Buchenspringrüssler - *Rynchaenus fagi*). An 25% aller Buchen war geringer und an 5% mittlerer Buchenspringrüsslerbefall vorhanden. Geringe Fraßschäden durch Schadinsekten konnten auch an Eiche festgestellt werden. An Ahorn wurde Befall durch die so genannte Teerfleckenkrankheit (*Rhytisma acerinum*) in höheren Lagen, sowie Schäden durch die Fenstergallmücke (*Dasyneura vitrina*) aufgenommen.

Schädigungen an den aufgenommenen Probebäumen durch abiotische Faktoren (z.B. Hagel, Frost- oder Blitzschaden) konnten nicht beobachtet werden.

## 4.2 Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen

Schon seit 1977 existieren in Baden-Württemberg Dauerbeobachtungsflächen zur Dokumentation und Untersuchung des Waldzustandes. Damals wurden im Südschwarzwald die ersten Flächen zur Untersuchung der Waldschäden an Tanne angelegt. Heute bestehen in ganz Baden-Württemberg für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche Dauerbeobachtungsflächen. Auf ihnen wird durch Mitarbeiter der FVA Baden-Württemberg die Entwicklung des Kronenzustandes langfristig aufgezeichnet und Ursachenforschung der Schäden betrieben. Die 0,25 ha großen Flächen wurden für die jeweiligen Baumarten auf den wichtigsten Standorten ihrer Hauptverbreitungsgebiete angelegt.

Es handelt sich ausnahmslos um Bestände mit einem Bestandesalter von über 61 Jahren. Daher sind die Dauerbeobachtungsflächen nicht für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs repräsentativ und ihre Ergebnisse können somit nicht unmittelbar mit denen der TWI verglichen werden. Die Ergebnisse sind jedoch wichtig für die Beurteilung des Kronenzustandes der Hauptbaumarten in den jeweiligen Gebieten und können zur Interpretation der TWI-Ergebnisse herangezogen werden.



**Abb. 12:** Dauerbeobachtungsflächen

Im Jahr 2002 wurden insgesamt 62 Dauerbeobachtungsflächen untersucht. Davon waren 17 Fichten-, 13 Tannen-, 10 Kiefer-, 12 Buchen- und 10 Eichenflächen. 10 Fichtenflächen sind in das Europäische Umweltmonitoring Programm „Level II“ eingebunden (Abb. 12).

Insgesamt deuten die Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen im Vergleich zu den letztjährigen Aufnahmen auf eine Verschlechterung des Kronenzustandes hin. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der TWI. Gründe hierfür sind die subjektive Auswahl der Dauerbeobachtungsflächen (nach Alter, Wuchsgebiet und Standort) im Gegensatz zu den rein systematisch ausgewählten Stichprobenpunkte der TWI. Zudem überlagern regionale Einflussfaktoren, wie Schädigungen durch Insekten oder Pilze, die Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen im erhöhten Maß.

Deutliche Veränderungen ergaben sich z.B. auf Buchenflächen mit starker Fruktifikation. Wie Untersuchungen der letzten Jahre gezeigt haben, kann die Fruchtbildung einen starken Einfluss auf die Belaubung der Buchen ausüben. Auf den Eichenflächen konnte regional eine bedeutende Blattverfärbung durch Eichenmehltau (*Microsphaera alphitoides*) beobachtet werden. Zu einer Verschlechterung des Kronenzustandes kam es ebenfalls auf den Fichtenflächen. Dagegen konnte die Tanne das Niveau des Vorjahres halten. Auf den Dauerbeobachtungsflächen der Kiefer ist kein einheitlicher Trend erkennbar.



## 5 EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND

Auf das Ökosystem Wald wirken eine Vielzahl von Faktoren ein, die teils natürlichen und teils anthropogenen Ursprungs sind. Der Kronenzustand als Kriterium für die Vitalität der Waldbäume reagiert empfindlich auf zahlreiche dieser Faktoren, die z.T. in Wechselbeziehung zueinander stehen. Dies macht den Kronenzustand einerseits zu einem hervorragenden Weiser bezüglich des Gesundheitszustandes der Waldbäume, andererseits ist die Ursachenbestimmung aufgrund der vielfältig einwirkenden Faktoren erschwert. Die nebenstehende Abbildung gibt einen Überblick über die verschiedensten Einflussfaktoren auf das Waldökosystem.

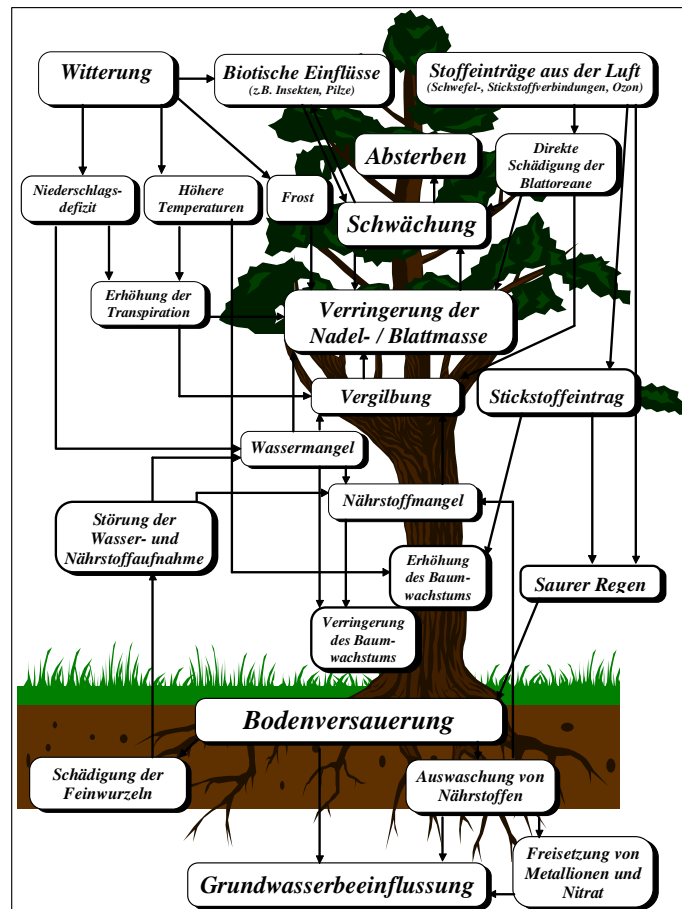


Abb. 13: Einflüsse

### 5.1 Der Klimawandel

Der Klimawandel ist eines der herausragenden umweltpolitischen Themen der heutigen Zeit. Nach Angaben des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; 3. Bericht 2001) ist der Mittelwert der bodennahen Lufttemperatur im 20. Jahrhundert um etwa 0,6° Celsius angestiegen. Die in immer kürzeren Abständen auftretenden schweren Umweltkatastrophen (Stürme, Überschwemmungen etc.) sind vermutlich erste Anzeichen einer Klimaveränderung.

Als Ursache für den Klimawandel wird von vielen Wissenschaftlern der so genannte „Treibhauseffekt“ angesehen. Hierbei ist zwischen einem natürlichen und einem anthropogen verursachten Treibhauseffekt zu unterscheiden.

Die kurzwellige Sonneneinstrahlung dringt fast vollständig durch die Atmosphäre und erwärmt die Erdoberfläche. Langwellige Wärmestrahlung wird von der Erde zurückgestrahlt und in den oberen Schichten der Atmosphäre von natürlichen Treibhausgasen absorbiert und zu einem gewissen Anteil wieder zur Erde reflektiert. Somit bleibt Strahlung in der Atmosphäre gefangen und die bodennahe Luft erwärmt sich (natürlicher Treibhauseffekt). Ohne diesen Effekt läge die Durchschnittstemperatur der Erde ca. 30° Celsius unter dem derzeitigen Wert. Ein Leben nach heutigen Vorstellungen wäre damit nicht möglich.

Zu den natürlichen Treibhausgasen gehören die Spurengase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), stratosphärisches Ozon (O<sub>3</sub>) und Wasserdampf (H<sub>2</sub>O).

Seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert werden durch den Menschen zusätzlich Spurengase in die Atmosphäre freigesetzt. Diese erhöhen die Reflexion der langwelligen Wärmestrahlung in Richtung Erde und verstärken somit den Treibhauseffekt (anthropogener Treibhauseffekt). Eine globale Erwärmung der Erdatmosphäre ist die Folge. Besonderes Augenmerk gilt in diesem Zusammenhang dem Spurengas CO<sub>2</sub>. Seine Konzentration in der Atmosphäre hat seit 1750 um 31% zugenommen (IPCC). Dies ist zum überwiegenden Teil auf die Nutzung fossiler Energieträger zurückzuführen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden für die Wälder nicht ohne Folgen bleiben. Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagshöhe bzw. eine jahreszeitliche Verschiebung können langfristig das Gleichgewicht 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, wie sich das Zusammenspiel der abiotischen und biotischen Einflussfaktoren auf den Baum zukünftig verändern wird.

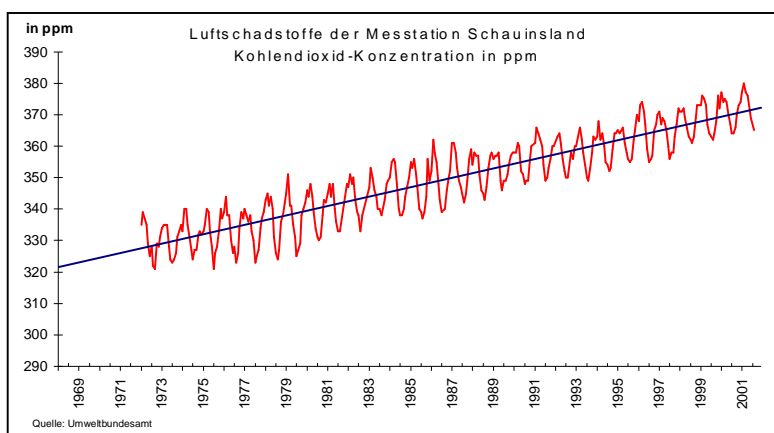


Abb. 14: Kohlendioxid-Konzentration in ppm

Im Süden Deutschlands liegen die **Jahresmitteltemperaturen** seit Mitte der 70er Jahre fast durchgehend über dem langjährigem Jahresmittel (berechnet aus den Werten der Jahre 1951 bis 1996). Durch die Temperaturerhöhung, insbesondere im Frühjahr und Herbst, kommt es zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode. Die **Jahresmittelwerte der Niederschläge** zeichnen keinen einheitlichen Trend auf. Ein Niederschlagsdefizit ist häufiger in der Vegetationsperiode (zwischen Mai und August) zu verzeichnen. Über dem langjährigen Mittel liegende Niederschlagsmengen fallen meist auf die Wintermonate.

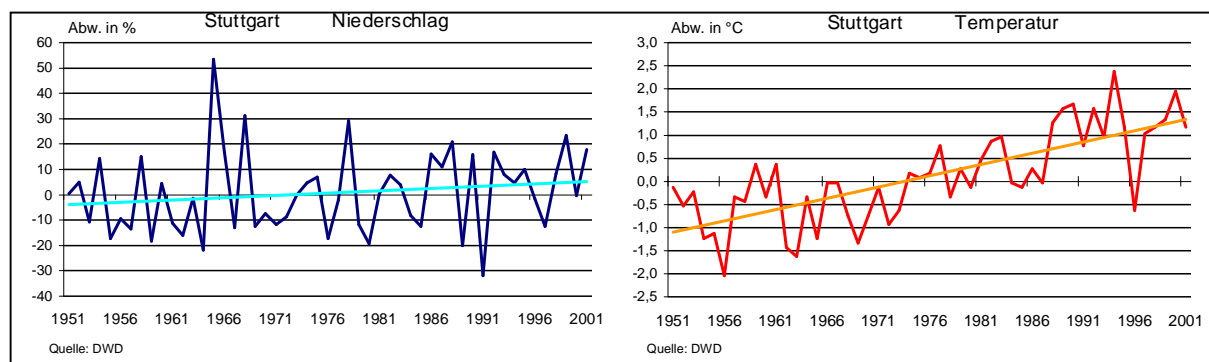


Abb. 15: Klimadaten

### 5.2 Witterungsverhältnisse 2001/2002

Das Jahr 2001 begann – gemessen am langjährigen Jahresmittel – mit einem zu warmen Winter bzw. Frühjahr. Einzig der April war verhältnismäßig kühl und brachte wie zuvor der März überdurchschnittlich viel Niederschlag. Im Verlauf des Sommers war es insgesamt eher zu warm. Insbesondere der August mit hohen Temperaturen und wenig Niederschlag erzeugte Stresssituationen an der Vegetation. Der Herbst war wieder wesentlich niederschlagsreicher und mit Ausnahme des Oktobers verhältnismäßig kühl.

Im Winter 2001/2002 war es zunächst sehr kalt und bis in die tieferen Lagen schneereich. Eine Warmluftfront, die z.T. von starken Stürmen begleitet war, sorgte Ende Januar für einen deutlichen Temperaturanstieg.

Die Temperaturen im Frühjahr waren im Vergleich zum langjährigen Jahresmittel insgesamt zu hoch. Im Verlauf von Mai bis zum Ende der Waldschadensaufnahme im Juli war es wiederum zu warm, wobei der Juni mit außergewöhnlich hohen Temperaturen und im Vergleich zu den anderen Monaten wenig Niederschlag, eine Sonderstellung einnimmt.

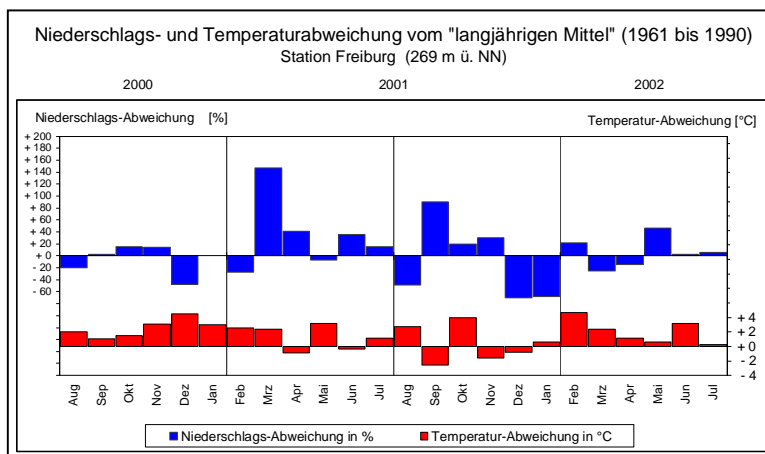


Abb. 16: Niederschlags- und Temperaturabweichung

### 5.3 Allgemeine Waldschutzsituation 2001/2002

Das Jahr 2001 stand ganz im Zeichen der Borkenkäferbekämpfung. In Folge des Orkans „Lothar“ am zweiten Weihnachtsfeiertag 1999, bei dem allein in Baden-Württemberg rund 29 Millionen Kubikmeter Sturmholz anfielen, konnten sich die Borkenkäfer aufgrund des großen Brutraumangebotes bei gleichzeitig milder Witterung stark vermehren. Bestandesgefährdend ist hier besonders der Buchdrucker (*Ips typographus*), der zunächst umgefallene und geschwächte Fichten auf den Sturmflächen befällt. Sind diese aufgrund von Austrocknung nicht mehr bruttauglich, wechselt der Käfer vom Befall liegender Sturmhölzer zum Stehndbefall gesunder Fichten. Bei einer hohen Populationsdichte bringt er so auch vitale Fichten zum Absterben. Die warme Sommerwitterung begünstigte 2001 die explosionsartige Vermehrung des Buchdruckers. Als geeignete Gegenmaßnahme wurde ein intensives Monitoring und ein rascher Einschlag befallener Fichten durchgeführt. Dies sollte verhindern, dass die

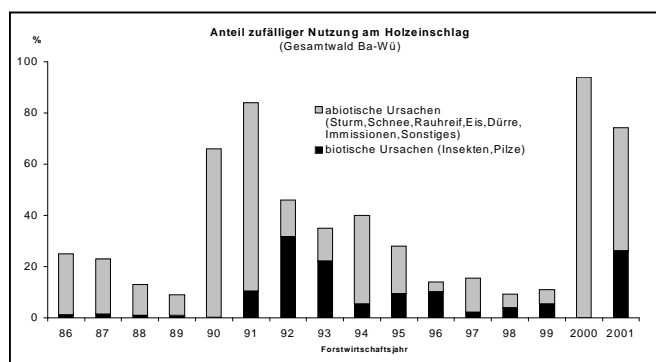


Abb. 17: Anteil zufälliger Nutzung am Holzeinschlag

neuentwickelten Käfer sich weiter ausbreiten. Insgesamt wurden im Jahr 2001 über 2,3 Millionen Kubikmeter Käferholz aufgearbeitet. Dies entsprach etwa  $\frac{1}{4}$  des Gesamteinschlags von Baden-Württemberg. Der recht hohe Anteil an verbuchtem Sturmholz im Jahr 2001 beruht zum größten Teil noch auf restlichem aufgearbeitetem „Lothar“-Sturmholz (Abb. 17).

Auch das Jahr 2002 ist durch den Anfall von Borkenkäferholz geprägt, auch wenn die angefallenen Käferholzmengen aufgrund eines intensiven Käfermonitorings und erfolgreicher Bekämpfung deutlich unter den Werten des Vorjahres liegen (Abb. 18 u. 19). Die Verteilung der Käferholzmenge je Forstbezirk spiegelt im Wesentlichen den Sturmholzanfall von Fichte und Tanne von 1999 wider. Lediglich im südöstlichen Oberschwaben ist seit einigen Jahren ein regionaler Schwerpunkt von Käferschäden zu beobachten, der diesen engen Zusammenhang nicht aufzeigt.

Sonstige biotische Schäden traten nur mit regionalen Schwerpunkten auf. Im Bereich der nördlichen Oberrheinebene kam es zu größeren Schadflächen an Jungbeständen und Laubbaumunterständen durch den Maikäfer-Engerling, sowie an Kiefern durch parasitären Mistelbefall. Letztere verursachen auch in Tannengebieten der unteren und mittleren Lagen größere Schäden. Zudem waren Verfärbungen sowie vorzeitiger Blattfall durch die Schrotschusskrankheit (durch *Stigmina carpophila*) bei Kirsche, die Blattbräune-Krankheit bei Hainbuche durch *Monostichella robergei* und die Marssonina-Krankheit (*Marssonina populi-nigrae*) bei Schwarzpappel zu beobachten.

Abiotische Schädigungen waren auf Landesebene von untergeordneter Rolle. Auffällig für die durch „Lothar“ geschädigten Gebiete war ein deutlich höherer Anfall von Trockenschäden bedingt durch die Hitze-/Trockenperiode im August 2001. Es ist anzunehmen, dass durch den Sturm das Feinwurzelsystem der Bäume geschädigt wurde und daher Trockensymptome hervorgerufen wurden. Weiterführende Informationen enthält der „Waldschutzbericht 2001/2002“ der FVA Baden-Württemberg.

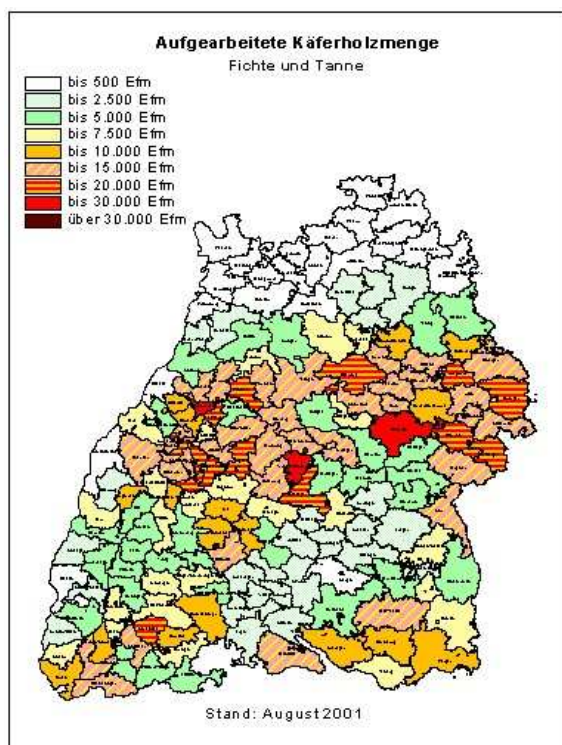


Abb. 18: Käferholzmenge Jan-Aug. 2001

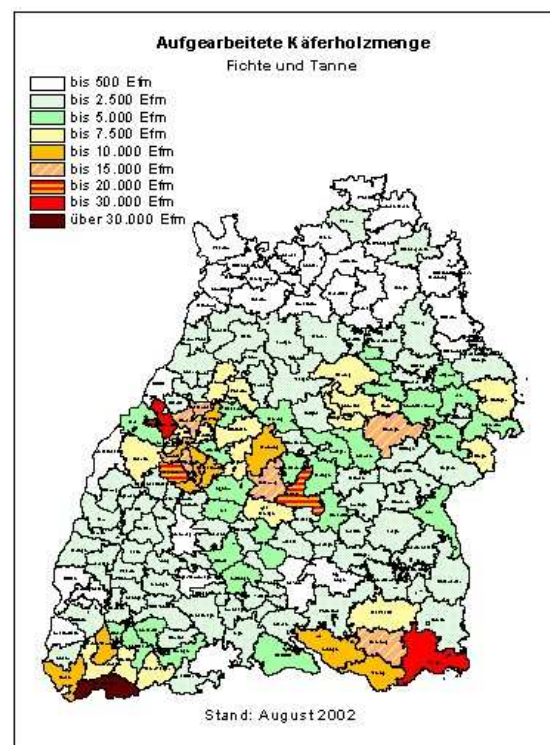


Abb. 19: Käferholzmenge Jan-Aug. 2002

## 5.4 Stoffeinträge

Luftverunreinigungen beeinflussen in vielfältiger Weise die Waldökosysteme. Es wird zwischen gasförmigen Immissionen und Depositionen im Niederschlag unterschieden. Dabei kommt es zu direkten Schadwirkungen an Nadeln und Blättern, aber auch zu indirekten Wirkungen durch Ablagerungen von Schadstoffen im Boden. Die Belastung liegt zu weiten Teilen deutlich über den ökologisch vertretbaren Schwellenwerten (so genannten critical loads).

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

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

### 5.4.1 Gasförmige Immissionen

**Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)** entsteht durch Verbrennungsprozesse schwefelhaltiger Brennstoffe wie Braun- und Steinkohle oder Heizöl. Es schädigt bereits nach kurzer Einwirkung den Assimilationsapparat von Pflanzen. Durch intensive Anstrengungen, (z.B. durch Einbau von Entschwefelungsanlagen in der Großindustrie) konnte der Jahresmittelwert von SO<sub>2</sub> seit Ende der 80er Jahre drastisch verringert werden. Seit einigen Jahren

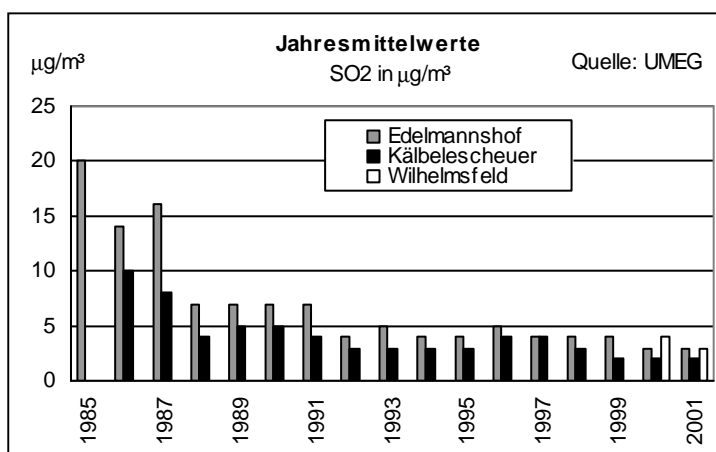


Abb. 20: Schwefeldioxid-Konzentration

liegen die Jahresmittel von SO<sub>2</sub> wieder deutlich unter den Werten, die zu sichtbaren Schädigungen an Bäumen führen.

Das für die Pflanzen schädliche, bodennahe **Ozon (O<sub>3</sub>)** entsteht aus der Reaktion zwischen Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und reaktiven Kohlenwasserstoffen. Da für den Ablauf dieser Reaktion Sonnenlicht benötigt wird, kann Ozon nur tagsüber gebildet werden. In der Nacht wird es durch Oxidation von Stickstoffmonoxid (NO) wieder abgebaut. Die Abbaureaktion hängt stark von der NO-Konzentration ab. Ist diese gering (wie in höheren Lagen, abseits von Schadstoffquellen) bleiben die Ozon-Werte hoch. In Städten wird durch einen nächtlichen Abbau die Akkumulation von Ozon verhindert.

Die Jahresmittelwerte der Stationen „Edelmannshof“ und „Kälbelescheuer“ sind bis Anfang der 90er Jahre nahezu stetig angestiegen. Nach einem leichten Rückgang lagen die mittleren Ozonkonzentrationen in den letzten Jahren weitgehend auf unverändertem Niveau, wobei sich die Belastungssituation zwischen den beiden Stationen deutlich unterscheidet. Für die Station „Wilhelmsfeld“ kann aufgrund der kurzen Zeitreihe noch keine Aussage getroffen werden.

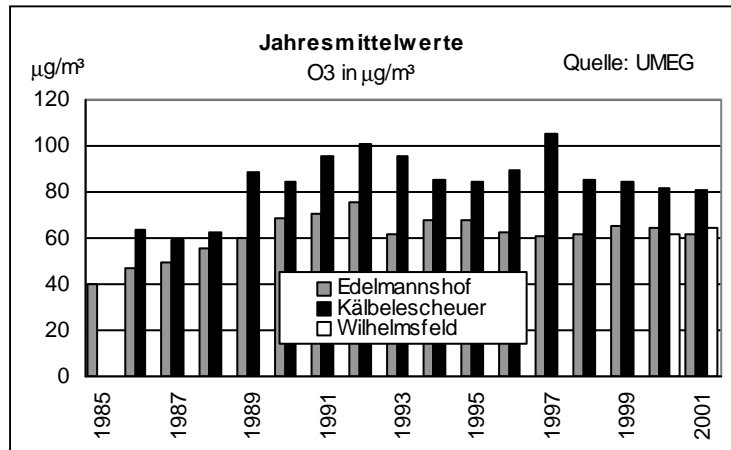


Abb. 21: Jahresmittelwerte Ozon

Im jährlichen Verlauf der Ozonkonzentration zeigt sich die starke Abhängigkeit der Ozonentstehung von vorhandener UV-Strahlung. Während in den Wintermonaten nur wenige Tage den Ozon-

schwellenwert erreichen, kommt es in den Sommermonaten zu einer erheblichen Ozonbelastung. Bisher wurden in Baden-

Württemberg keine akuten Blattschädigungen an Waldbäumen durch bodennahes Ozon nachgewiesen. Aufgrund von Forschungsergebnissen, die u.a. im Rahmen des „Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung“ (PEF) erbracht wurden, muss Ozon dennoch als ein belastender Faktor für die Waldbäume eingestuft werden.

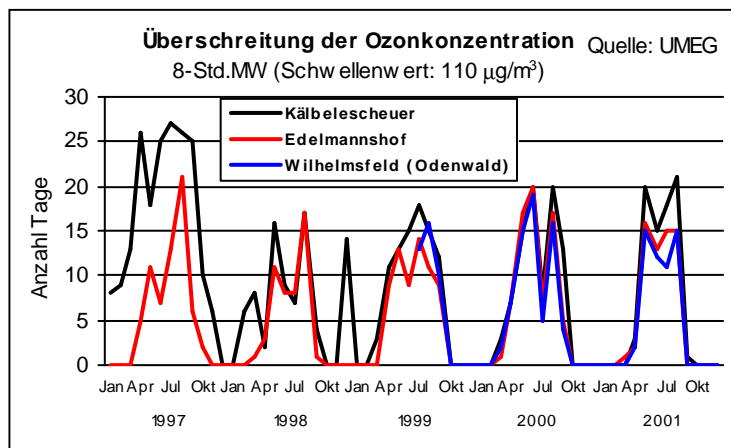
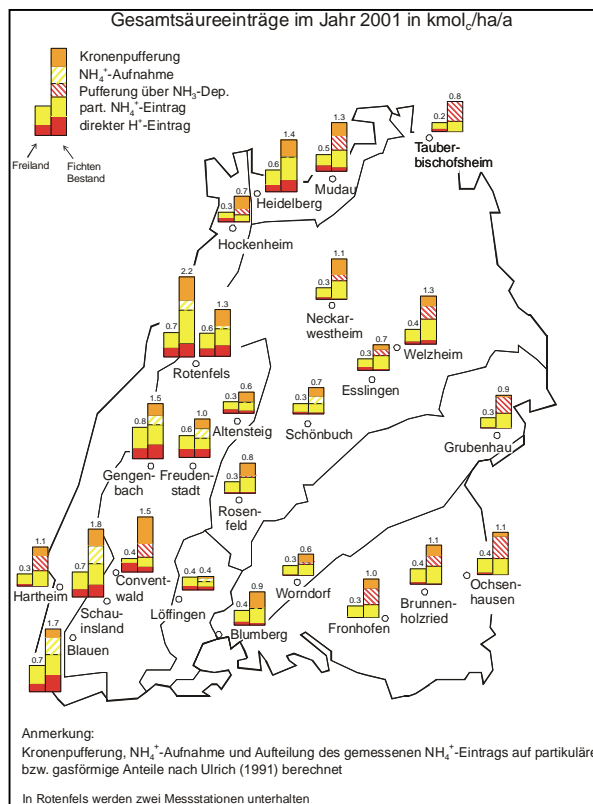


Abb. 22: Überschreitung der Ozonkonzentration

### 5.4.2 Depositionen im Niederschlag

An landesweit 25 Messorten werden derzeit die Stoffeinträge vergleichend unter jeweils einem Fichtenbestand und einer benachbarten Freilandmessstelle überwacht.



Die Messpunkte dieses Depositionsmessnetzes sind auf Regionen mit vorwiegend nichtkarbonatischen Standorten konzentriert, da dort die standortspezifische Pufferrate durch die aktuellen Säureeinträge großflächig überschritten wird. An den Depositionsmessstationen werden die Einträge von Säurebildnern und die Gesamtstickstoffeinträge gemessen. Die Säureeinträge im Niederschlag setzen sich aus Sulfat, Nitrat und Ammonium zusammen. Während die Sulfat- und Nitratdepositionen überwiegend aus der Verbrennung fossiler Energieträger stammen, werden die anthropogenen Ammoniumbeinträge zu einem erheblichen Teil durch Tierhaltung, aber auch durch Emissionen aus Kläranlagen und der chemischen Industrie verursacht. Die Abbildung 23 zeigt den Stand der Gesamtsäureeinträge für das Jahr 2000 - 2001.

**Abb. 23:** Gesamtsäureeinträge im Jahr 2001

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 mengenmäßig weit überwiegende Anteil wird als Kronenpufferung bezeichnet. Er wird durch Modellrechnungen ermittelt und der direkt gemessenen Säuremenge zugeschlagen (Abb. 23). Die im Kronenraum aufgenommenen Säuremengen müssen 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 1/2 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.

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

Regional sind drei Bereiche unterschiedlicher Depositionsintensität unterscheidbar. Im Windschatten des Schwarzwaldes werden die niedrigsten Gesamtsäureeinträge (<1 kmol<sub>e</sub>/ha/Jahr) gemessen, entlang des Schwarzwald-Westkamms mit Werten zwischen 1,5 und 2,2 kmol<sub>e</sub>/ha/Jahr die höchsten. Die übrige Landesfläche ist mit Säureeinträgen zwischen 1 und 1,5 kmol<sub>e</sub>/ha/Jahr bezüglich der Säure -

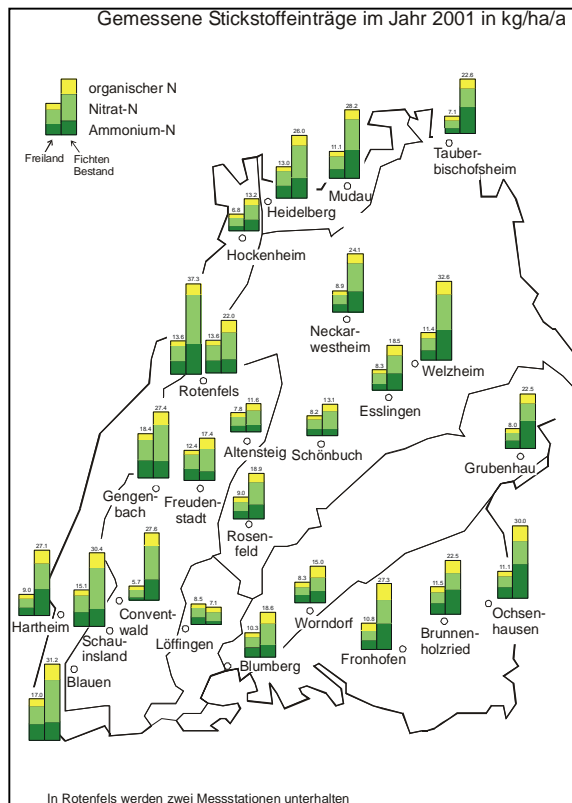


Abb. 24: Stickstoffeinträge im Jahr 2001

Bei der stofflichen Zusammensetzung der Stickstoffeinträge überwiegt im Westen des Landes der überwiegend verkehrsbürtige Nitratanteil, während im Osten der Ammoniumanteil dominiert.

In allen Bereichen des Landes sind seit Mitte der 80er Jahre die Gesamtsäureeinträge deutlich zurückgegangen. Diese Entwicklung ist im Wesentlichen auf eine Reduktion der Sulfateinträge zurückzuführen. Die Ammoniumbelastung in Baden-Württemberg liegt im Vergleich zu hoch belasteten Regionen in der Bundesrepublik Deutschland, wie z.B. in Nordrhein-Westfalen oder im Bereich von Großmästereien in Ostdeutschland, deutlich niedriger.

Bei den Stickstoffeinträgen wurden über die gesamte Messperiode etwa gleich bleibende bis geringfügig abnehmende Eintragungshöhen festgestellt. Auffallend ist, dass die Nitratbelastung trotz der Einführung der Katalysator – Technik nicht abgenommen hat. Offensichtlich ist die durch die Katalysatoren erreichte Minderung der Nitratbelastungs von einer entsprechenden Ausweitung des Verkehrsaufkommens vollständig aufgezehrt worden.

Depositionsrate wenig differenziert.

Die Stickstoffeinträge liegen mit Werten zwischen 7 und 37 kg/ha/Jahr auf einem Großteil der Landesfläche um ein Mehrfaches über den Stickstoffmengen, die im Biomassezuwachs fixiert werden können. Die Größenordnung von 40 kg Reinstickstoff /ha/Jahr entspricht einer extensiven Stickstoffdüngung in der Landwirtschaft, an die Wälder und Waldvegetation evolutionsbiologisch nicht angepasst sind. Nur in den Leelagen (windabgewandte Seite) des Schwarzwaldes wurden Stickstoffeinträge gemessen, die zwischen 7 und 19 kg/ha/a und damit im Bereich der biologischen Aufnahmekapazität von wüchsigen Wäldern liegen (Abb. 24).



## 6 BODENVERSAUERUNG UND WASSERQUALITÄT

Die forstliche Umweltüberwachung ist in unterschiedlichen thematischen Messnetzen organisiert, bei denen das Hauptaugenmerk einerseits auf Flächeninformationen gelegt wird und andererseits auf die Erfassung der Dynamik von zeitlichen Trends und der Prozessidentifikation. Flächeninformationen werden durch periodische Aufnahmen vergleichsweise unaufwendig erhebbarer Messgrößen in landesweiten Rastermessnetzen (z.B. TWI 4x4km) erarbeitet. Zeitliche Trends und die Erkennung komplexer Prozesse der Ökosystemveränderung erfordern i.d.R. wesentlich aufwendigere und zeitlich höher auflösende Messungen, die durch ihre Aufwendigkeit nicht an einer Vielzahl von Messpunkten durchgeführt werden können und so auf wenige, ausgewählte Messorte beschränkt werden müssen. Beispiele hierfür sind das Depositionsmessnetz (s. Kap. 5.4.2) und das Stoffflussmessnetz. Letzteres ist ein Unterkollektiv des Depositionsmessnetzes an dem an 6 Messorten zusätzlich zu den Stoffeinträgen mit dem Regen auch Transporte mit dem Sickerwasser im Boden und die Entwicklung von Nährstoffvorräten im Wurzelraum überwacht werden. Im Stoffflussmessnetz wird also gleichermaßen danach gefragt, wie sich unter dem externen Einfluss von Depositionen die Standortsqualität verändert bzw. die Standortnachhaltigkeit als Grundlage der Holzproduktion gefährdet ist und wie sich Stoffausträge mit dem Sickerwasser entwickeln. Letzteres beinhaltet Ansatzpunkte für eine langfristige Wasservorsorge in bewaldeten Wassereinzugsgebieten.

Wälder sind Quellbereiche für sauberes Oberflächen- und Trinkwasser. Die chemischen und biologischen Filter- und Pufferfunktionen von Waldböden sind jedoch zunehmend durch Säure- und Stickstoffeinträge aus der Luft beeinträchtigt.

Hydrochemische Entwicklungen in bewaldeten Wassereinzugsgebieten sind einerseits für eine langfristige Trinkwasservorsorge relevant. 70 % der Wassergewinnung findet derzeit noch in dezentralen gemeindlichen Wasserwerken statt, 20 % der gesamten in Baden-Württemberg produzierten Wassermenge stammt aus Quellwasser. Andererseits bestimmt die chemische Zusammensetzung von Oberflächengewässern entscheidend deren Eignung als Lebensraum für vielfältige aquatische Lebensgemeinschaften. Im mittleren und südlichen Schwarzwald, der Region mit der am weitesten fortgeschrittenen Bodenversauerung in Baden-Württemberg, sind eine Vielzahl von Vorflutern in ihrem Oberlauf „stark bis sehr stark sauer“.

In der Ökosystemfallstudie „Conventwald“ ca. 20 km östlich von Freiburg, die Teil des Stoffflussmessnetzes ist, wird in einem knapp 10 ha großen bewaldeten Wassereinzugsgebiet parallel die Entwicklung von Boden- und Gewässerversauerung seit 1991 beobachtet. An diesem ursprünglich gut basenversorgten und damit gegenüber Bodenversauerung vergleichsweise stabilen Standort wurden in der 11-jährigen Beobachtungsperiode von 1991-2001 sowohl im Boden als auch im Vorfluter massive Versauerungstendenzen beobachtet.

Im Bachwasser des Conventwaldes wurde ein ausgeprägter, linearer Versauerungstrend beobachtet, der von neutralen pH-Werten am Anfang der Periode (ca. pH 7,2) eine pH-Absenkung auf durchschnittliche Werte um 6,6 am Ende der Periode erbrachte. Diesem linearen Trend überlagert ist eine ausgeprägte saisonale Schwankung, die konsequent Minimalwerte im Spätwinter zu Zeiten der maximalen Wassersättigung im Boden und ihre Maximalwerte im Sommer erreicht. Einen ähnlich abfallenden Trend wie der pH-Wert weist die Calciumkonzentration im Bachwasser auf. Hier sind mit

dem pH-Wert gleich gerichtete saisonale Schwankungen mit auffallend großer Amplitude zu beobachten. In Abb. 25 sind die entsprechenden Trendverläufe und saisonalen Schwankungen dargestellt.

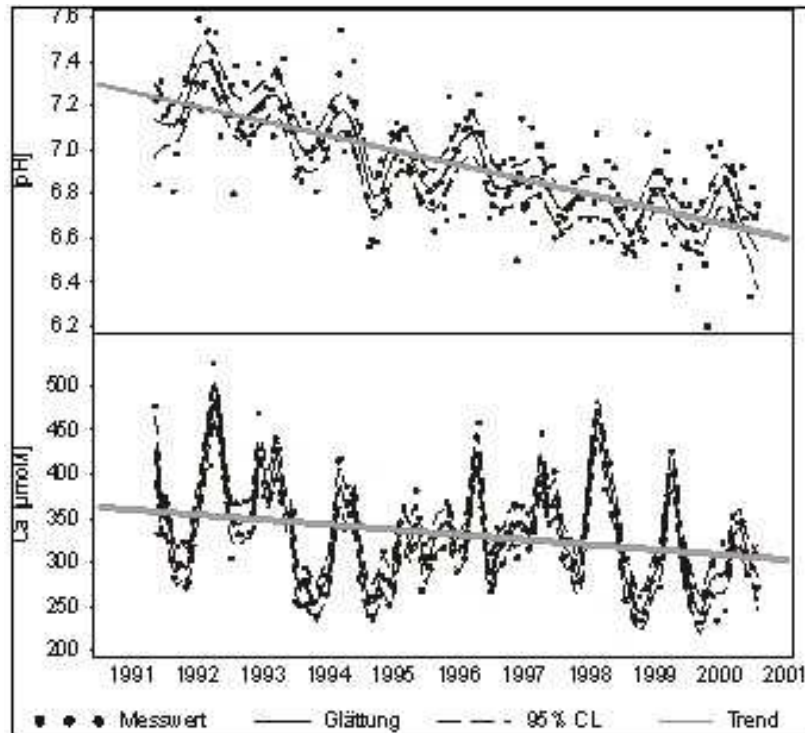


Abb. 25: Trend (lineare Regression) und saisonale Schwankung für pH-Wert und Calciumkonzentrationen im Bachwasser.

Im Bodensickerwasser aus 180 cm Bodentiefe ist im Einzugsgebiet für pH-Wert und Calciumkonzentration ein vergleichbarer Trend festzustellen wie im Bachwasser. Eine Halbierung der Ca-Konzentration im Sickerwasseraustrag deutet auf die Erschöpfung der aus dem Boden mobilisierbaren Ca-Vorräte hin. Dies wurde durch eine jahresweise Eintrags-/Austragsbilanz für Ca zwischen 1992 und 1998 dargestellt (Abb. 26). Diese Bilanz wies am Anfang deutliche Nettoausträge für Ca zwischen 0,2 und 0,4 kmol<sub>c</sub>/ha/Jahr aus und ging in den letzten Jahren konsequent auf Werte

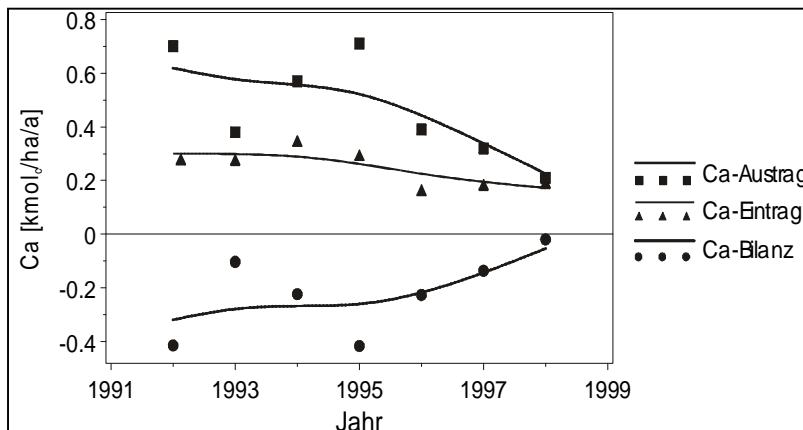


Abb. 26: Bilanz zwischen Ca-Eintrag mit der Deposition und Ca-Austrag aus dem Boden in 180cm Tiefe

nahe Null zurück. Im gleichen Zeitraum gingen die Ca-Einträge nur ganz geringfügig von 0,3 kmol<sub>c</sub>/ha/Jahr auf 0,2 kmol<sub>c</sub>/ha/Jahr zurück. Im Jahr 1998 wird nahezu der gesamte Ca-Austrag aus dem Boden direkt vom Eintrag mit dem Niederschlag gespeist. Die Pufferkapazität im Boden ist offensichtlich erschöpft.

---

Aus den dargestellten Ergebnissen der Conventwald-Fallstudie lassen sich folgende Schlussfolgerungen verallgemeinernd ableiten:

Es ist zu erwarten, dass in Kristallingebieten des Schwarzwaldes auf großer Fläche ähnlich dynamische Versauerungsprozesse in vielen Wassereinzugsgebieten aktuell ablaufen. Da offensichtlich ein enger Zusammenhang zwischen der Abnahme der Pufferkapazität im Boden und der zeitlich versetzt ablaufenden Gewässerversauerung besteht, erscheint es in den hoch durchlässigen Schuttwasseraquiferen des Schwarzwaldes aussichtsreich den Trend zur Gewässerversauerung über eine langfristige Bodenmelioration durch Bodenschutzkalkungen zu bremsen. Dies ist sowohl als Maßnahme eines langfristigen vorsorgenden Trinkwasserschutzes als auch zur Erhaltung der Vielfalt gewässerbiologischer Lebensgemeinschaften zu bewerten.

## 7 SCHLUSSFOLGERUNG

Das Schadniveau der Wälder in Baden-Württemberg ist mit rund ¼ deutlich geschädigter Waldfläche (Schadstufe 2-4) weiterhin sehr hoch. Im Vergleich zur letzten Aufnahme im gleichen Stichprobennetz (2000) ist der mittlere Nadel-/Blattverlust über alle Baumarten mit 18,9% ( $\pm 1,5$ ) relativ konstant geblieben. Der Waldflächenanteil mit vergilbten Bäumen (9%) ist dagegen im gleichem Zeitraum deutlich gestiegen.

### 7.1 Aktuelle Stressfaktoren

Auf den Waldzustand wirken eine Vielzahl natürlicher und anthropogener Stressfaktoren, die z.T. in Wechselbeziehung zueinander stehen.

#### **Witterungseinflüsse:**

Die globale Klimaveränderung, die u.a. auf den durch die erhöhte CO<sub>2</sub>-Emission bedingten Treibhauseffekt zurückzuführen ist, schafft eine Reihe von Stressfaktoren für die Wälder. Durch die Temperaturerhöhung, insbesondere im Frühjahr und Herbst, kommt es zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode und zu einer Verschiebung der jährlichen Niederschlagsmengen. Während die Niederschläge im Vergleich zum langjährigen Mittel in den Wintermonaten steigen, nehmen sie in der Vegetationszeit ab. Die veränderten Klimabedingungen wirken sich direkt auf die Wasser- und Nährstoffversorgung der Waldökosysteme aus. Zudem führen häufigere Klimaextreme, wie Sturmereignisse, anhaltende Trockenheit oder Hitzeperioden zu Stresssituationen, die den Vitalitätszustand der Bäume negativ beeinflussen. Es sind aber auch andere, indirekte Einflüsse des Klimawandels denkbar, wie z.B. eine Veränderung der Populationsdynamik von Schadinsekten.

#### **Schadstoffe in der Luft und im Niederschlag:**

Trotz deutlichem Rückgang der Schwefeldioxidmissionen (SO<sub>2</sub>) seit Ende der 80er Jahre sind die Säure- und Stickstoffeinträge nach wie vor insbesondere auf silikatischen Standorten ein bedeutendes Risiko für das Waldökosystem. Hierdurch kommt es zu Auswaschungsprozessen von Nährelementen wie Magnesium, Calcium und Kalium und somit zur Versauerung des Bodens. Hohe Stickstoffeinträge fördern zwar das Wachstum der Bäume, sie können aber gleichzeitig zu Ungleichgewichten im Nährstoffhaushalt der Bäume führen.

Die Konzentration von pflanzenschädlichem, bodennahem Ozon (O<sub>3</sub>) ist in den Sommermonaten insbesondere in den Hochlagen der Mittelgebirge weiterhin sehr hoch. Zwar konnten in Baden-Württemberg noch keine sichtbaren Blattschädigungen an Waldbäumen nachgewiesen werden, doch ist mit einer negativen Beeinflussung des Stoffumsatzes in Nadeln und Blättern zu rechnen.

## 7.2 Erforderliche Maßnahmen

Der Vitalitätszustand der Waldökosysteme ergibt sich aus der Summe aller auf ihn einwirkenden Stressfaktoren. Daher muss versucht werden, die Intensität der beeinflussbaren Faktoren weiter zu reduzieren. Gleichzeitig müssen die stabilisierenden Maßnahmen fortgesetzt werden.

### **Maßnahmen im Bereich der Politik:**

Durch Luftreinhaltemaßnahmen, insbesondere durch die Ausrüstung der Großfeuerungsanlagen mit Rauchgasfiltersystemen, konnte der Säureeintrag in die Wälder seit Ende der 80er Jahre drastisch reduziert werden. Dies betraf v.a. die Absenkung der Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)-Konzentration. Der Eintrag von Stickstoff blieb im gleichen Zeitraum weitgehend konstant auf hohem Niveau.

Auf politischer Ebene bedeutet dies eine konsequente Fortsetzung der Luftreinhaltepolitik. Hier gilt es weiterhin eine Absenkung der Luftschadstoffe durchzusetzen, d.h. insbesondere die Emission von Stickstoffverbindungen aus Kraftverkehr, Landwirtschaft, Kläranlagen und chemischer Industrie deutlich zu reduzieren.

Die finanzielle Unterstützung für Monitoring und Forschung ist weiterhin notwendig. Zudem bedarf es auch künftig der finanziellen Unterstützung betroffener Waldbesitzer für stabilisierende Maßnahmen (z.B. Förderung von Kalkungsmaßnahmen).

### **Maßnahmen von Seiten der Waldbesitzer:**

Vitalitätsfördernde Maßnahmen von Seiten der Waldbesitzer sind unentbehrlich. Hierzu gehören u.a. ein standortgerechter Waldbau und die Durchführung von Bodenschutzkalkungen.

Bodenschutzkalkungen mit magnesiumhaltigem Kalk bewirken eine Kompensation der aktuellen Säureeinträge und führen dem Boden zugleich notwendiges, zuvor durch Nährstoffauswaschung entzogenes Magnesium zu. Hierdurch treten zwei wesentliche Effekte auf: Einerseits werden der Vegetation wichtige Nährelemente wieder zur Verfügung gestellt, andererseits wird der Trend zur Gewässerversauerung durch die Bodenschutzkalkung erheblich gemildert. Inzwischen sind Wiederholungskalkungen auf anthropogen stark versauerten Standorten insbesondere in Schwarzwald und Odenwald erforderlich. Die Bodenschutzkalkung im Wald ist eine umwelttechnische Vorsorgemaßnahme, die zwar Säureeinträge kompensieren kann, aber in keiner Weise ein Ersatz für eine konsequente Weiterführung der Luftreinhaltepolitik ist. Ziel ist die langfristige Senkung von Säure- und Stickstoffeinträgen auf ein ökosystemverträgliches Maß.

Naturnahe, gut gepflegte Mischwälder sind widerstandsfähiger gegenüber schädigenden Umwelteinflüssen. Auch in Zukunft muss das Konzept der Naturnahen Waldwirtschaft konsequent umgesetzt werden. Hierzu gehören neben der standortgerechten Baumartenwahl mit herkunftsgesichertem Vermehrungsgut auch die Bestandespflege zur Förderung von Mischbaumarten und der Stabilität der Bestände. Zudem sind integrierte Waldschutzmaßnahmen im Rahmen der Schädlingsüberwachung und -bekämpfung nötig, um die Stressfaktoren für die Wälder zu verringern.

**Maßnahmen im Bereich der Forschung:**

Durch die anhaltenden Stoffeinträge und klimatischen Verschiebungen ändern sich die Bedingungen für das Ökosystem Wald permanent. Ein konsequentes Umweltmonitoring im Wald ist unabdingbar, um Informationen über die Intensität und Ursachen von Veränderungen in den Waldböden und der Vegetation zu erhalten. Da sich viele Entwicklungen nur durch langfristige Beobachtungen nachweisen lassen, ist eine Kontinuität der Messreihen von hoher Bedeutung.

## GLOSSAR

<p><b>Abiotische Schäden:</b> Schäden, die durch unbelebte Faktoren eines Ökosystems hervorgerufen werden (z.B. Sturm).</p> <p><b>Anthropogen:</b> Durch den Menschen beeinflusst.</p> <p><b>Biotische Schäden:</b> Schäden, die durch den Einfluss lebender Organismen bedingt sind.</p> <p><b>Biotop:</b> Der von einer Lebensgemeinschaft besiedelte Raum. Die spezifischen Faktoren in einem Biotop machen es für spezielle Lebewesen zum Lebensraum.</p> <p><b>Boniturbereich:</b> Kronenbereich eines Baumes, der nicht durch Kronenkonkurrenz der Nachbarbäume oder Lichtmangel beeinflusst ist.</p> <p><b>„Critical Load“:</b> Schwellenwert für Schadstoffeinträge, bei dem noch keine nachweisbaren schädlichen Veränderungen der Ökosysteme zu erwarten sind.</p> <p><b>Deposition:</b> Ablagerung von Schadstoffen (z.B. am Boden, im Wasser, an Pflanzen), die durch Staub (trockene D.) oder Niederschlag (nasse D.) eingetragen werden.</p> <p><b>Denitrifikation:</b> Bei Sauerstoffmangel im Boden durch anaerobe Bakterien verursachte Stickstoffverluste.</p> <p><b>Emission:</b> Ausstoß z.B. von Schadstoffen in die Luft</p> <p><b>Eutrophierung:</b> Nährstoffüberangebot, das negative Auswirkungen auf das Ökosystem haben kann.</p> <p><b>Immission:</b> Einwirkung von Faktoren (z.B. Luftverunreinigungen, Geräusche, Licht, Wärme, Strahlen etc.) auf die Umwelt.</p> <p><b>Kombinationsschadstufen:</b> Zusammenfassung der Nadel-/Blattverluststufe mit der Vergiftungsstufe.</p>	<p><b>Kronenverlichtung:</b> In 5%-Stufen eingeschätzter Nadel-/Blattverlust bzw. Minderaustrieb bei Waldbäumen.</p> <p><b>Makroelemente:</b> 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.</p> <p><b>Mittlerer Nadel-/Blattverlust:</b> Arithmetischer Mittelwert der in 5%-Stufen eingeschätzten Kronenverlichtung aller Einzelbäume.</p> <p><b>Nadel-/Blattverlust:</b> Die Summe der Stellen innerhalb des Boniturbereiches der Krone, an denen keine Nadeln/Blätter vorhanden, jedoch von der Morphologie her zu erwarten wären.</p> <p><b>Ökosystem:</b> Wirkungsgefüge zwischen Lebewesen und ihrem Lebensraum.</p> <p><b>Referenzbaum:</b> Für das Erhebungsgebiet typische, vollbenadelte/-belaubte Baumkrone.</p> <p><b>Standardfehler:</b> 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.</p> <p><b>Treibhauseffekt:</b> 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.</p>
--	--