

BADEN-
WÜRTTEMBERG

Waldzustandsbericht 2000



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg



FORSTLICHE
VERSUCHS- UND
FORSCHUNGSANSTALT

Herausgeber:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Autoren

Thomas Herrmann
Dr. Hansjochen Schröter
Dr. Dieter Seemann
Dr. Klaus v. Wilpert

Bestellung an:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg
Tel.: 0761/4018-0
Fax.: 0761/4018-333
e-mail: poststelle@fva.bwl.de
Internet: <http://fva.forst.uni-freiburg.de>

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0 ORKAN „LOTHAR“	1
1 MONITORINGNETZE IM WALD	4
2 METHODIK UND DURCHFÜHRUNG DER TERRESTRISCHEN WALDSCHADENSINVENTUR	5
2.1 Methodik der Terrestrischen Waldschadensinventur	5
2.2 Durchführung der Terrestrischen Waldschadensinventur 2000	7
3 ERGEBNISSE	8
3.1 Ergebnisse der Terrestrischen Waldschadensinventur 2000	8
3.2 Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen 2000	9
4 EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND	10
4.1 Klimatische Rahmenbedingungen	10
4.2 Allgemeine Waldschutzsituation 1999/2000	12
4.3 Stoffeinträge	12
4.3.1 Gasförmige Immissionen	13
4.3.2 Depositionen im Niederschlag	13
5 AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE ZU NEUARTIGEN EICHENSCHÄDEN	15
5.1 Einfluss von blattfressenden Insekten auf den Kronenzustand der Eichen	15
5.2 Physikalische und chemische Bodeneigenschaften als prädisponierende Faktoren neuartiger Eichenschäden	16
6 SCHLUSSFOLGERUNGEN	20
6.1 Aktuelle Stressfaktoren	20
6.2 Erforderliche Maßnahmen	20

0 ORKAN „LOTHAR“

Das Jahr 2000 ist geprägt durch die Folgen des verheerenden Sturmereignisses vom zweiten Weihnachtsfeiertag 1999, als das Orkantief "Lothar" durch Baden-Württemberg zog und eine Spur der Verwüstung hinterließ. Mit Windgeschwindigkeiten von ortsweise über 200 km/h (z.B. 212 km/h im Schwarzwald auf dem Feldberg) wurden bisher unerreichte Spitzengeschwindigkeiten gemessen. In nur wenigen Stunden wurden rund 25 Mio. Kubikmeter Holz in den Wäldern Baden-Württembergs zu Boden geworfen. Dies ist die größte Sturmkatastrophe seit Beginn der geregelten Waldwirtschaft in Baden-Württemberg.

Schadereignis und Schadhöhe

Neben Süddeutschland waren vor allem Frankreich (hier auch noch durch Folgesturm „Martin“) und die Schweiz betroffen. Nach ersten Schätzungen hat der Orkan "Lothar" im Wald allein in diesen Ländern zu einem Sturmholzanfall von ca. 180 Mio. m³ Holz geführt.

Bereits am 4.12.1999 warf das Sturmtief "Anatol" knapp 10 Mio. m³ Holz in Nordeuropa (vor allem Dänemark und Südschweden) zu Boden.

Land	Sturmholz durch Lothar* ¹	"normaler" jährlicher Einschlag	Sturmholzanfall in Prozent des "normalen" jährlichen Einschlags	Sturmholz durch Vivian und Wiebke 1990
	in Millionen m ³	in Millionen m ³		in Millionen m ³
Deutschland	30	40	70%	72,5
<i>hiervon in Baden-Württemberg</i>	25	10	250%	15
<i>hiervon in Bayern</i>	4,3	10	40%	23
Frankreich	138	47	290%	8,5
<i>hiervon im Elsaß</i>	6,5	-	-	-
<i>hiervon in Lothringen</i>	29,5	-	-	-
Schweiz	11,8	4,5	262%	4,9
Summe gerundet	180	90	200%	86

*¹ in Frankreich auch der Folgesturm "Martin"

In Deutschland ist Baden-Württemberg mit ca. 25 Mio. m³ (entstandene Kahlfäche rund 40.000 ha) weitaus am stärksten betroffen. In einigen Forstbezirken liegt die aufgearbeitete Sturmholzmenge bereits zum jetzigen Zeitpunkt über der ursprünglichen Schätzung. Daher ist die hier angeführte Sturmholzmenge als Mindestmenge anzusehen. In den übrigen Bundesländern war in Bayern ein nennenswerter Sturmholzanfall (4,3 Mio. m³) zu verzeichnen.

Geschätzte Sturmholzmenge in Baden-Württemberg nach Waldbesitzarten

	Staatswald	Körperschaftswald	Privatwald* ¹	alle Besitzarten
Anteil an der Waldfläche in %	24%	39%	37%	100%
Anteil am Sturmholz in %	34%	44%	22%	100%
Nadelholzanteil am Sturmholz	87%	77%	91	80%
Laubholzanteil am Sturmholz	13%	23%	9%	20%

*¹ ohne den Großprivatwald mit ca. 1,5 Mio. Festmeter

Stand vom 07.01.2000

Rund 80% des Gesamtsturmholzes ist Nadelholz. Die höchsten Schadmengen sind mit rund 45% der Gesamtsturmholzmenge im Körperschaftswald angefallen.

Durch die Sturmwürfe wird im Land mit einem finanziellen Schaden in Höhe von mindestens 1,5 Mrd. DM gerechnet.

Alle verfügbaren Kräfte innerhalb der Landesforstverwaltung wurden eingesetzt, um die Folgen des Sturms zu bewältigen.

Der Sturm „Lothar“ hatte auch für die forstlichen Monitoringnetze einschneidende Folgen. Zum einen waren Versuchsflächen und Stichprobenpunkte direkt durch Sturmeinwirkung beschädigt oder zerstört. Zum anderen war das geplante Aufnahmeprogramm weder personell durchführbar noch waren alle Waldorte begehbar.

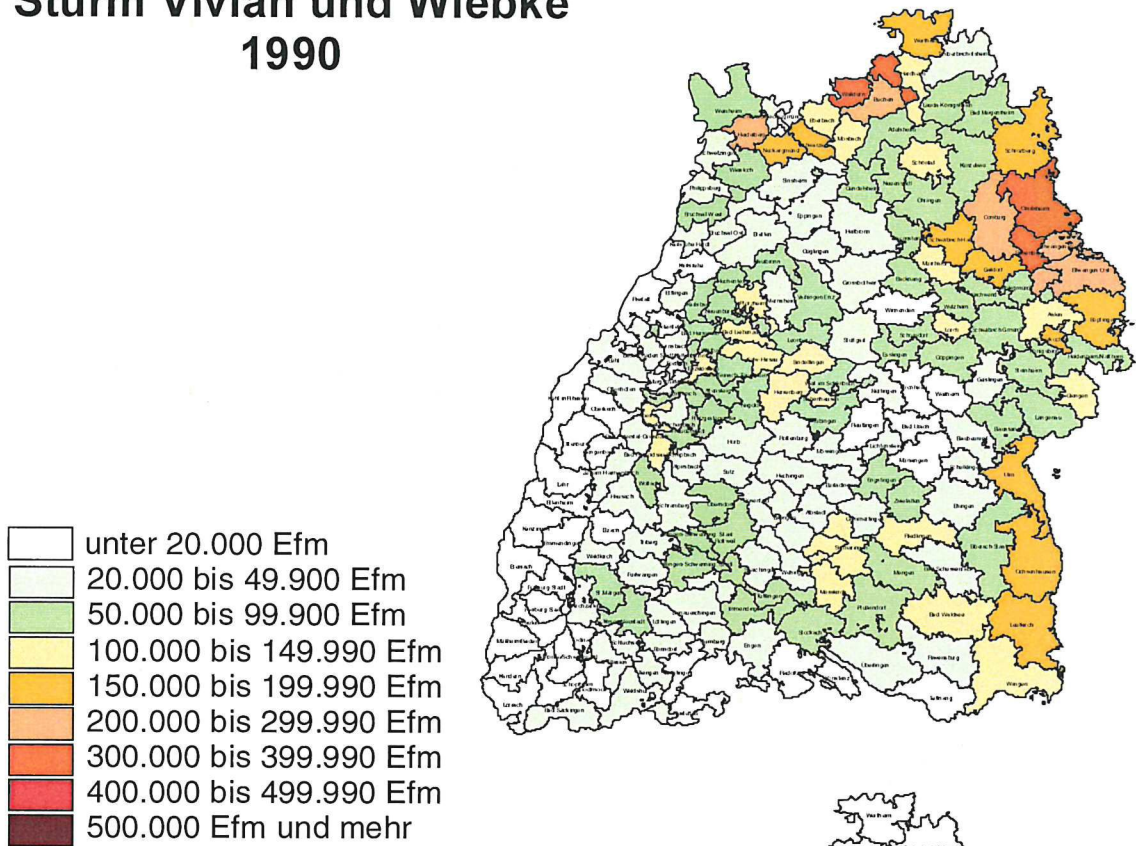
Neben der Schadenserfassung und Wiederherstellung der Flächen (soweit möglich) konnte daher im Jahr 2000 nur ein Teil der ursprünglich vorgesehenen Erhebungen durchgeführt werden.

Rund 50% aller 1999 aufgesuchten Probepunkte der Waldschadensinventur waren vom Sturm beschädigt. Insgesamt wurden mehr als 10% der Probestämme vom Sturm geworfen. Das Inventurverfahren sieht vor, dass fehlende Probestämme durch benachbarte Bäume ersetzt werden. Dadurch ist gewährleistet, dass das Ergebnis der Inventur immer den aktuellen Waldzustand wiedergibt.

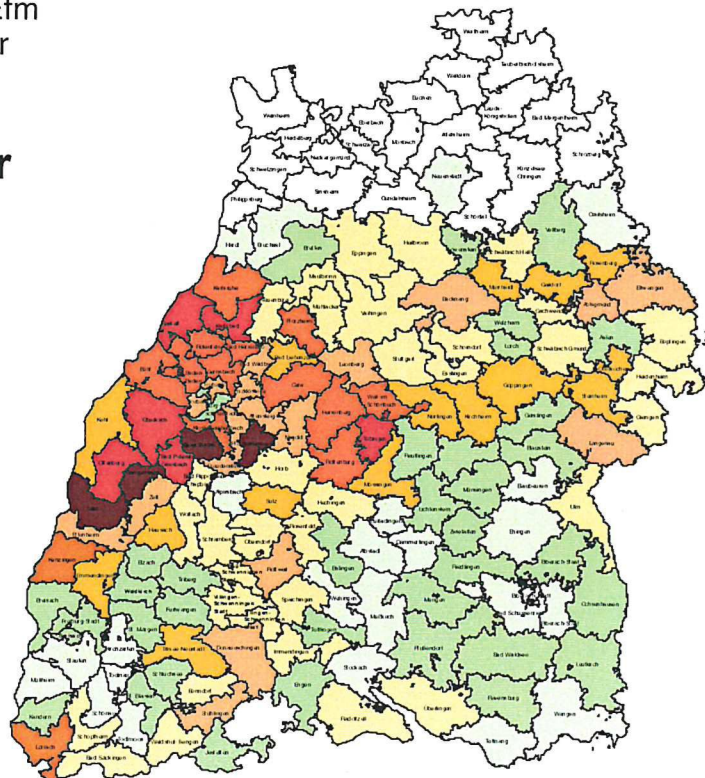
Die nachfolgenden Karten stellen die Schätzungen der angefallenen Sturmholzmengen in den einzelnen Forstbezirken dar. Zum Vergleich der betroffenen Regionen und den Größenordnungen der Schäden ist auch die Karte der angefallenen Mengen der Stürme „Vivian“ und „Wiebke“ im Jahr 1990 abgebildet.

Ein Vergleich der beiden Karten zeigt, dass die Sturmholzmengen 1999 deutlich über denen von 1990 liegen. Die Schwerpunkte der Schäden haben sich zum Teil deutlich verlagert. Einige Regionen wie z. B. der Schwarzwald wurden 1999 stärker betroffen als 1990, während andere Regionen wie z.B. das Oberland 1999 weitgehend verschont blieben. Manche Regionen waren aber sowohl von den Stürmen 1990 als auch von 1999 stark betroffen (Schönbuch, südlicher Virngrund, Schwäbisch-Fränkischer Wald, Vorland der Ostalb).

Sturm Vivian und Wiebke 1990



Sturm Lothar 1999



1 MONITORINGNETZE IM WALD

Eine Vielzahl natürlicher und anthropogener Faktoren beeinflusst die 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 Monitoringnetze können dann gezielte Maßnahmen abgeleitet werden, um die Waldökosysteme langfristig zu stabilisieren.

Der Turnus, in dem die Messnetze aufgenommen werden, richtet sich hierbei nach der zu erwartenden Veränderung der Messgrößen und dem Erhebungsaufwand. Da sich viele Entwicklungen nur durch langfristige Beobachtungen nachweisen lassen, ist eine hohe Kontinuität der Messnetze von Bedeutung.

Folgende Umweltmonitoringsysteme werden von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg unterhalten:

Monitoringsysteme auf der Basis von Rasterstichproben

- **Terrestrische Waldschadensinventur "TWI"**
Die Ergebnisse der Stichprobenerhebung ergeben flächendeckende Informationen über die Entwicklung des Kronenzustands der Waldbäume.
(siehe Kapitel 2 und 3.1)
- **Immissionsökologische Waldzustandserhebung "IWE"**
Landesweites Stichprobenverfahren, das in periodischen Abständen Informationen über den Nährstoffgehalt der Nadeln von Fichte und Tanne liefert. Des Weiteren enthält die IWE Informationen über das Höhenwachstum dieser Baumarten. Bisherige Erhebungen erfolgten in den Jahren 1983, 1988 und 1994. Die nächste Aufnahme sollte im Jahr 2000 erfolgen, wurde aber aufgrund des Sturmereignisses um ein Jahr verschoben.
(siehe hierzu TWI Bericht 1999)
- **Bodenzustandserhebung "BZE"**
Bisher einmalig durchgeführtes Stichprobenverfahren (1990/91), das Daten über den bodenchemischen Zustand, z.B. Versauerung und Nährstoffvorräte, der Waldböden liefert und Gefährdungen der Böden aufzeigt. Eine Wiederholung der BZE ist im Zeitraum von ca. 15 Jahren vorgesehen.
(siehe hierzu TWI Bericht 1999)

Monitoringsysteme auf der Basis von Versuchsflächen

- **Dauerbeobachtungsflächen "DBFI"**
Sie liefern punktuelle Informationen über die Entwicklung des Kronenzustands für die Hauptbaumarten auf den wichtigsten Standorten ihrer Hauptverbreitungsgebiete.
(siehe Kapitel 3.2)
- **Depositionsmessnetz**
Permanentes Messnetz auf 25 Waldstandorten zur Ermittlung der Säure- und Stickstoffeinträge durch Niederschlag.
(siehe Kapitel 4.3.2)
- **Stoffflussmessnetz**
Intensiv instrumentierte Versuchsflächen an 6 Standorten zur Messung der Stoffein- und -austräge in Waldökosystemen.
(siehe hierzu TWI Bericht 1999)
- **Waldwachstumsversuchsflächen**
Sie liefern Informationen über das Wachstum der Hauptbaumarten auf verschiedenen Standorten.
(siehe hierzu TWI Bericht 1997)
- **Schädlingsüberwachung**
Sie bringt Informationen über die aktuelle Gefährdung des Waldes durch biotische Schaderreger (z.B. Insekten, Pilze).
(siehe Kapitel 4.2 sowie Waldschutzbericht der FVA)

Darüber hinaus werden die Daten von Messnetzen weiterer Institutionen herangezogen, z.B.

- **Klimastationen** (Deutscher Wetterdienst)
Sie liefern Informationen über die Witterung.
(siehe Kapitel 4.1)
- **Immissionsmessstationen** (Gesellschaft für Umweltmessung und Umwelterhebung mbH und Stationen des Umweltbundesamtes UBA)
Sie liefern kontinuierliche Messdaten über die Schadstoffkonzentrationen in der Luft. Zwei Stationen befinden sich im Wald.
(siehe Kapitel 4.3.1)

Verknüpfung der Messnetze:

Die Stichprobennetze der Rasterinventuren (TWI, BZE, IWE) wurden so gewählt, dass die Daten der einzelnen Messreihen an möglichst denselben Punkten erhoben werden.

Intensive Untersuchungen zur Ursachenforschung wie Stoffflussmessungen, Depositionsmessungen oder Immissionsmessungen können nur anhand von Fallstudien bzw. repräsentativer Messstationen auf einzelnen Flächen durchgeführt werden. Um die Ergebnisse dieser Untersuchungen auf den Gesamtwald übertragen zu können, werden derzeit Lösungsansätze entwickelt. Hierzu werden die Erkenntnisse aus den nicht flächenrepräsentativen Messnetzen mit den Ergebnissen von Rasterinventuren und anderen Flächeninformationen verknüpft.

Nationale und internationale Einbindung der Messnetze:

Die Messnetze in Baden-Württemberg sind sowohl auf Ebene der Stichprobenerhebungen als auch auf der Ebene der Versuchsflächen in nationale und internationale Programme eingebunden. Bei den Messnetzen auf Stichprobenbasis sind insgesamt 50 Punkte in das europäische Forstliche Umweltmonitoring Programm „Level I“ eingebunden. Bei Messnetzen auf Versuchsflächenbasis 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.

2 METHODIK UND DURCHFÜHRUNG DER TERRESTRISCHEN WALDSCHADENSINVENTUR

2.1 Methodik der Terrestrischen Waldschadensinventur

Die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) ist ein Monitoringsystem, durch das zeitnahe Aussagen über die Vitalität der Waldbäume ermittelt werden. Der Ursachenkomplex der neuartigen Waldschäden wird durch das Inventurverfahren nicht unmittelbar geklärt. Direkte Rückschlüsse auf einzelne Ursachen sind nur dort möglich, wo anhand einer gleichzeitig durchgeführten Differenzialdiagnose spezifische Merkmale von Schadensursachen, z.B. Schädlingsbefall, erkennbar sind.

Das Verfahren basiert auf einer Erhebung des Kronenzustandes von dauerhaft markierten Probebäumen des herrschenden Bestandes (soziologische Klassen 1-3 nach KRAFT) in einem an den Gauß-Krüger-Koordinaten orientierten, systematischen Stichprobennetz. An jedem Stichprobenpunkt, nachfolgend auch als Probefläche bezeichnet, wird eine systematisch ausgewählte Gruppe von 24 Bäumen erfasst.

Wichtigste Aufnahmeparameter an jedem Probebaum sind der Nadel-/Blatt

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

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

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			

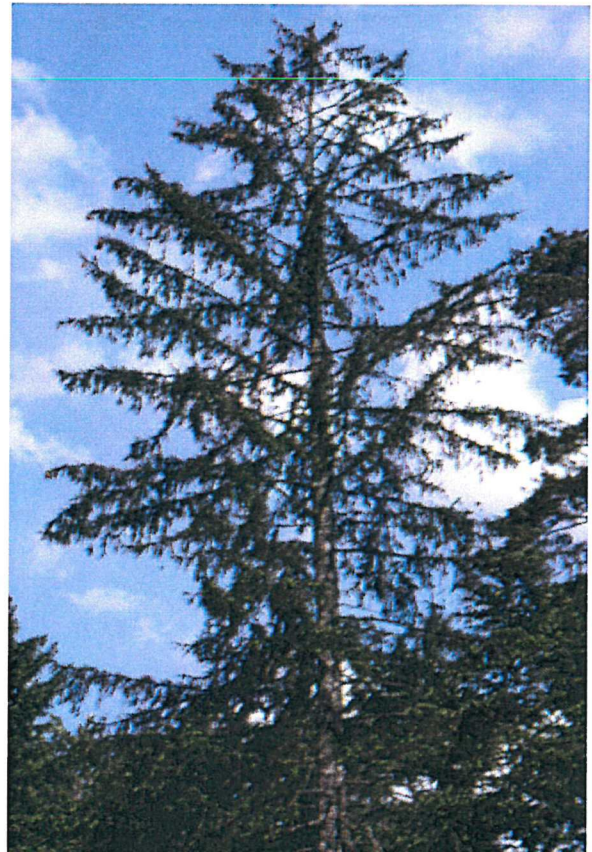
Schadstufe 0:	ohne Schadensmerkmale	
Schadstufe 1:	schwach geschädigt	Warnstufe
Schadstufe 2:	mittelstark geschädigt	deutliche Schäden
Schadstufe 3:	stark geschädigt	
Schadstufe 4:	abgestorben	

verlust und die Vergilbung der Blattorgane. Bezugsgröße zur Einschätzung des Nadel-/Blattverlustes ist eine für das Erhebungsgebiet typische, vollbenadelte-/belaubte Baumkrone (Referenzbaum).

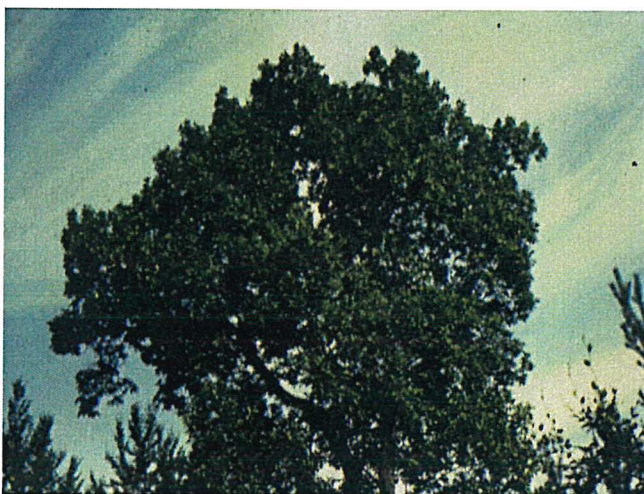
Der Nadel-/Blattverlust (NBV) wird fünf Stufen zugewiesen. Der Vergilbungsanteil wird in vier Stufen erfasst. Zur vereinfachten Darstellung werden der Nadel-/Blattverlust und die Vergilbung in fünf „Kombinationsschadstufen“ zusammengefasst.



Fichte: Schadstufe 0



Fichte: Schadstufe 3



Eiche: Schadstufe 0



Eiche: Schadstufe 3

Die Zahl der Probeflächen ist entscheidend für die Aussagefähigkeit der Ergebnisse sowie für den Aufwand der Aufnahme. Nur eine hohe Aufnahmedichte ermöglicht eine Aufgliederung der Ergebnisse nach Baumarten, Altersgruppen oder Regionen.

In Baden-Württemberg wurden bisher drei verschiedene Aufnahmedichten angewandt:

1. Aufnahme im **4x4 km-Netz** („**Vollaufnahme**“) mit rund 840 Probeflächen.
2. Aufnahme im **16x16 km-Netz (EU-Netz; Level I)** mit rund 50 Probeflächen in Baden-Württemberg. Dies sind 6% einer Aufnahme des 4x4 km-Netzes. Das 16x16 km-Netz ist durch eine Verordnung der Europäischen Union festgeschrieben und umfasst in ganz Europa rund 5.000 Probeflächen mit insgesamt ca. 100.000 Bäumen.
3. Aufnahme im **8x8 km-Netz**. Dieses Netz wurde 1987 und 1988 angewandt. Im damaligen Hauptschadgebiet „Schwarzwald“ erfolgte in diesen Jahren eine Verdichtung auf das 4x4 km-Netz.

Die Ergebnisse der bisherigen Inventuren haben gezeigt, dass der Kronenzustand des Gesamtkollektivs der Waldbäume keinen abrupten jährlichen Veränderungen unterworfen ist. Dies gilt, gemessen an der Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes, vor allem für die Nadelbäume. Solange sich keine wesentlichen Änderungen im Schadverlauf abzeichnen, wird die Terrestrische Waldschadensinventur in Baden-Württemberg als Vollaufnahme periodisch in einem Dreijahresturnus durchgeführt. Die nächste Vollaufnahme ist für das Jahr 2001 vorgesehen.

In den Jahren zwischen den Vollaufnahmen im 4x4 km-Netz erfolgt eine Erhebung im EU-Netz. Die Ergebnisse dieser Unterstichprobe lassen auf Landesebene keine differenzierten Aussagen zu. Auf Bundes- und EU-Ebene sind aber verlässliche Aussagen möglich, so dass der Auswertungsschwerpunkt der Daten auf diesen größeren Auswertungseinheiten liegt.

2.2 Durchführung der Terrestrischen Waldschadensinventur 2000

Infolge der enormen Schäden in den Wäldern Baden-Württembergs durch den Sturm „Lothar“ war es im Jahr 2000 nicht möglich, wie vorgesehen die 18. Terrestrische Waldschadensinventur als Vollaufnahme der rund 840 Probeflächen im 4x4 km-Netz durchzuführen. Auch die vierte Wiederholung der IWE musste aufgrund der Sturmschäden um ein Jahr verschoben werden.

Wie bereits nach den Sturmereignissen 1990 beschränkten sich die Aufnahmen auf eine Unterstichprobe der 50 Probeflächen des EU-Netzes im 16x16 km-Netz. Die Aufnahmen erfolgten in der Zeit vom 19. Juli bis 18. August.

Aufgrund der durch die Sturmschäden angespannten Personalsituation wurde die Inventur erstmals ausschließlich von Mitarbeitern der FVA Baden-Württemberg durchgeführt.

Von den insgesamt 50 Probeflächen waren 23 durch Sturm „Lothar“ direkt betroffen. Zwei Probeflächen mit ihren jeweils 24 Probebäumen waren durch den Sturm so stark zerstört, dass keine Ersatzbäume ausgewählt werden konnten. Für 122 Probebäume, die vom Sturm geworfen oder gebrochen wurden, konnten Ersatzbäume ausgewählt werden. Aufgrund planmäßiger Nutzung mussten 7 Probebäume ersetzt werden. Darüber hinaus wurden 10 weitere Probebäume ersetzt, deren veränderte Konkurrenzsituation zu den Nachbarbäumen eine Bewertung nicht mehr zuließ.

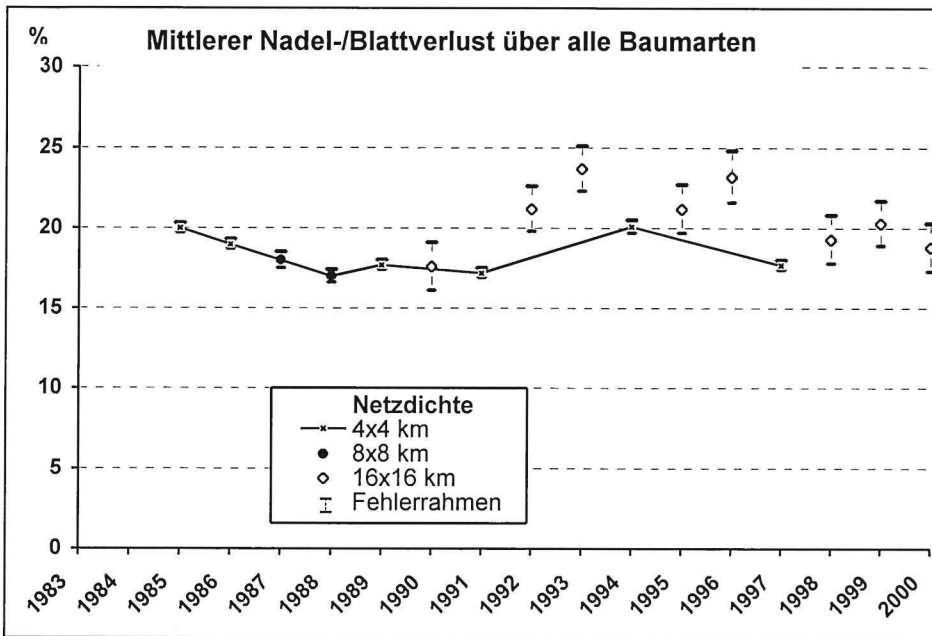
Gleichzeitig wurden drei Probeflächen, die vorübergehend stillgelegt waren, inzwischen aber wieder mit jungen Bäumen bestockt sind, in diesem Jahr wieder reaktiviert.

Somit konnten im Jahr 2000 von den 50 Probeflächen des EU-Netzes 48 Flächen mit insgesamt 1.146 Bäumen aufgenommen und ausgewertet werden.

3 ERGEBNISSE

3.1 Ergebnisse der Terrestrischen Waldschadensinventur 2000

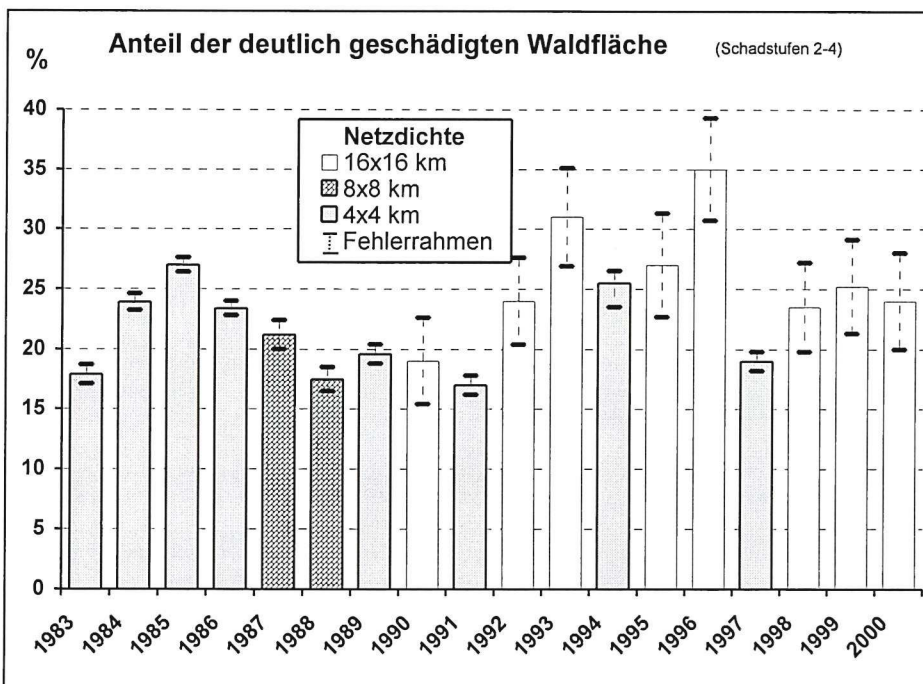
Zum Zeitpunkt der Aufnahme lag der mittlere **Nadel-/Blattverlust bei 18,8% ± 1,5**. Dieser Wert liegt unter den Ergebnissen der Jahre 1999 und 1998, wobei die Veränderung statistisch nicht signifikant ist. Die nachfolgende Graphik zeigt den Vergleich zu früheren Ergebnissen bei gleichzeitiger Berücksichtigung der unterschiedlichen Netzdichten.



Die Genauigkeit des Stichprobenergebnisses wird durch den Standardfehler angegeben. Durch diese Größe wird ein Bereich um den errechneten Stichprobenmittelwert bestimmt, innerhalb dessen mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% der 'wahre Wert' (der sich aus der Aufnahme aller Bäume ergäbe) zu erwarten ist.

Der Standardfehler hängt entscheidend vom Stichprobenumfang ab. Bei Aufnahmen im 4x4 km-Netz (ca. 840 Probeflächen) ist

der Fehler für den mittleren Nadel-/Blattverlust mit Werten um ± 0,3 Prozentpunkten gering. Bei Aufnahmen im EU-Netz mit lediglich 50 Probeflächen ist der Fehler mit ± 1,5 Prozentpunkten deutlich größer, was bei einer Interpretation der Ergebnisse bezüglich der Veränderungen berücksichtigt werden muss.



Der Anteil deutlich geschädigter Waldfläche (Schadstufen 2-4) lag im Jahr 2000 bei 24% und somit 1%-Punkt unter dem Wert des Vorjahres. Durch den geringen Stichprobenumfang ist diese Messgröße aber mit einem Fehler in der Größenordnung von ± 4 Prozentpunkten behaftet.

Somit hat sich innerhalb der letzten drei Jahre der Vitalitätszustand der Wälder in Baden-Württemberg nicht signifikant verändert. Mit rund einem Viertel deutlich geschädigter Waldfläche ist das Schadniveau weiterhin hoch.

Bei einer Wertung der Ergebnisse in beiden Graphiken ist zu beachten, dass verlässliche Aussagen über zeitliche Veränderungen nur innerhalb gleicher Stichprobennetze möglich sind.

Im Vergleich zur Aufnahme 1999 hat sich der Kronenzustand bei Laubbäumen tendenziell verbessert, bei den

Nadelbäumen war kein Trend erkennbar. Vor allem bei den Eichen konnten in diesem Jahr keine Fraßschäden festgestellt werden. Ein regional starker Fruchtbehang bei Buche und Fichte ist vermutlich in Folge der langen Trockenperiode im Frühjahr verkümmert. Die Bucheckern waren zum Zeitpunkt der TWI-Aufnahme häufig abgefallen. Auffällige Schäden durch Blattfraß von Insekten wurden regional bei Buche (Springgrüsslerbefall) und beim Bergahorn (Fenstergallmücke) beobachtet.

Die Schadstufenanteile aller Erhebungen seit 1983 sowie der mittlere Nadel-/Blattverlust ab 1985 sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

	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⁾
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
Schadstufe 1	31	42	39	42	39	42	40	44	44	50	46	40	44	40	41	44	44	38
Schadstufe 2	17	22	25	21	20	16	18	17	16	21	27	23	25	34	18	23	24	23
Schadstufen 3/4	1	2	2	2	1	1	2	2	1	3	4	2	2	1	1	1	1	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
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
¹⁾ 8 x 8 km Netz ²⁾ 16 x 16 km Netz																		

Als abgestorben (100% Nadel-Blattverlust = Schadstufe 4) wurden bei der diesjährigen Aufnahme 4 Fichten und eine Eiche erfasst. Bei den Fichten konnte Borkenkäferbefall als Absterbeursache ermittelt werden, bei der Eiche konnten keine Schädlinge gefunden werden.

3.2 Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen 2000

Intensiv untersuchte Dauerbeobachtungsflächen „Waldschäden“ bestehen in Baden-Württemberg für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche. Diese 0,25 ha großen Flächen, auf denen der Zustand jedes Baumes langfristig aufgezeichnet wird, dienen neben der Dokumentation des Schadensverlaufs auch der Ursachenforschung. Es handelt sich ausschließlich um ältere Bestände auf für die jeweilige Baumart geeigneten Standorten. Die Dauerbeobachtungsflächen sind somit weder bezüglich der Altersstruktur und Baumartenverteilung noch in Bezug auf die Standorte für den Gesamtwald repräsentativ. Die Ergebnisse von diesen Flächen können daher nicht direkt mit denen der TWI verglichen werden. Sie können jedoch zur Interpretation des Ergebnisses der TWI mit herangezogen werden.

Im Jahr 2000 wurden 17 Fichten-, 12 Tannen- und 10 Eichenflächen mit rund 2000 Bäumen untersucht. Aufgrund der Schäden durch Sturm „Lothar“ mussten 10 Tannen- und 3 Fichtenflächen aufgegeben werden. Die Buchen- und Kiefernflächen konnten aus Kapazitätsgründen in diesem Jahr nicht aufgenommen werden.

Folgende Befunde unterstützen die Beurteilung der Schadensentwicklung der TWI-Ergebnisse (dabei ist zu beachten, dass die Nadelbaumflächen bereits im Frühjahr vor dem Austrieb aufgenommen wurden):

Fichte: Im Trend leichte Zunahme der Kronenverlichtung

Im Vergleich zum Vorjahr ergab sich auf der Mehrzahl der bonitierten Fichtenflächen eine Zunahme des Nadelverlustes. Auf einigen Flächen ist hier ein Zusammenhang mit dem Abreißen von Zweigen durch Sturmeinwirkung und der damit verbundenen Zunahme des Nadelverlustes sichtbar.

Tanne: Kein einheitlicher Trend

Auf den 12 Dauerbeobachtungsflächen war kein einheitlicher Trend des Benadelungszustandes im Vergleich zu den Vorjahresergebnissen erkennbar.

Eiche: Im Trend leichte Zunahme der Kronenverlichtung

Im Vergleich zum Vorjahr wurde auf der Mehrzahl der Flächen eine leichte Zunahme des Blattverlustes festgestellt. Biotische Schäden an Blättern (Pilze, Insekten) als maßgebliche Ursache der Verschlechterung waren nicht zu erkennen. Abiotische Schäden (Hagel) führten auf einer Fläche zu einer deutlichen Verschlechterung. Eine deutliche Verbesserung des Belaubungszustandes war nur auf einer Fläche erkennbar.

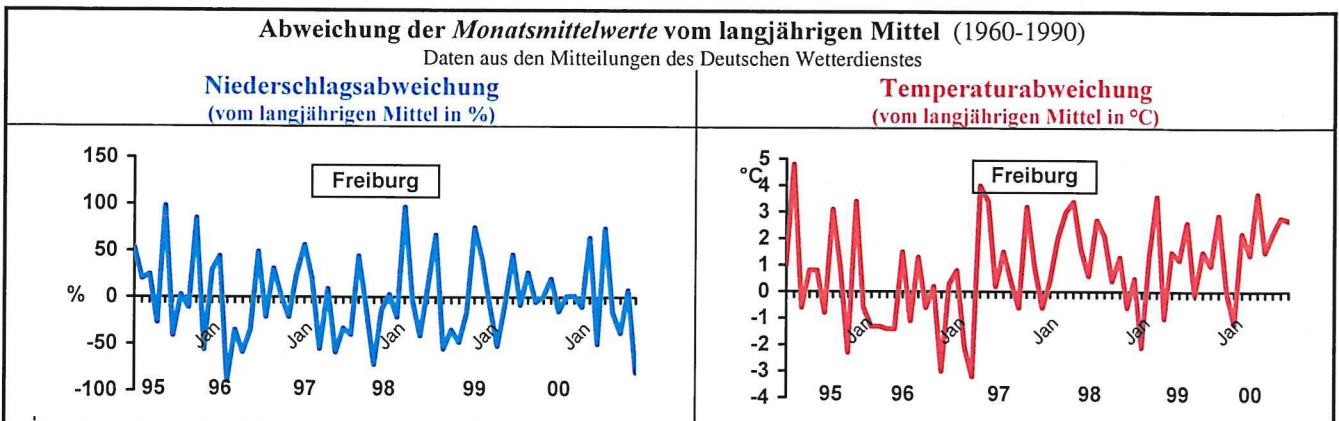
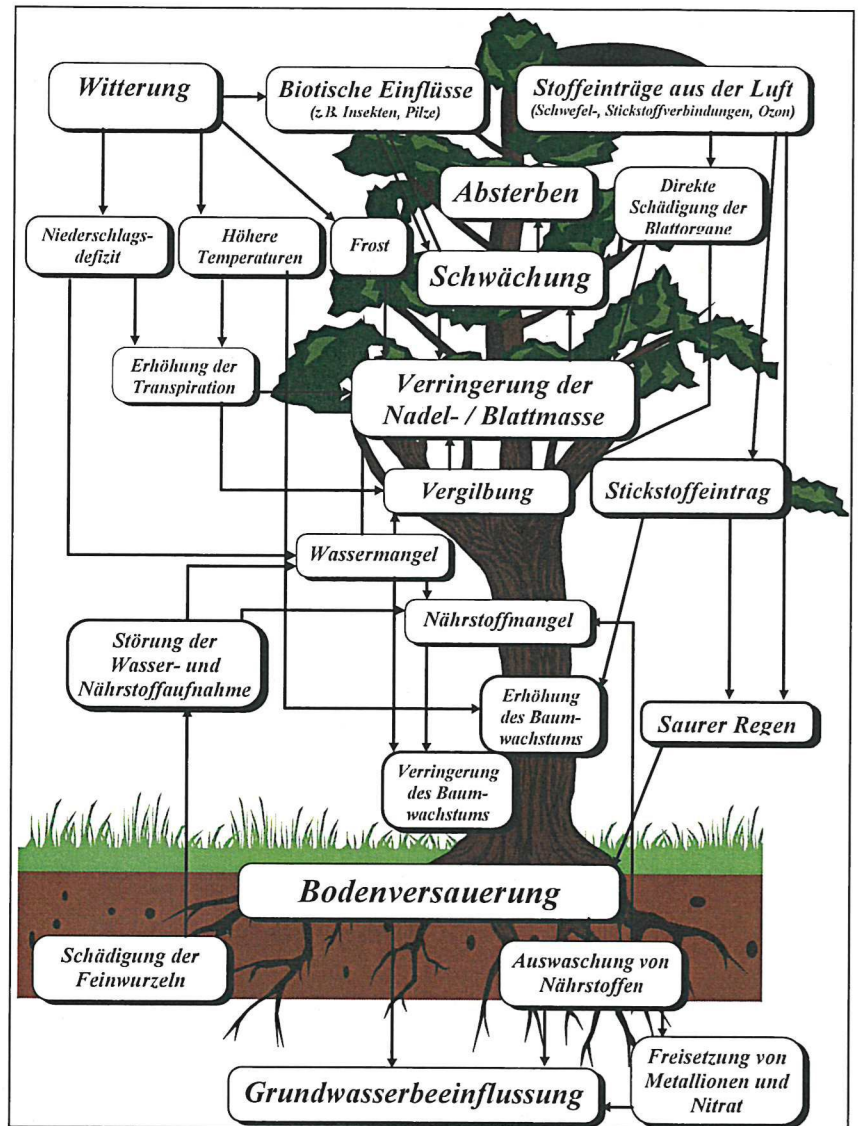
4 EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND

Der Kronenzustand der Waldbäume ist ein hoch integrierender Parameter, der auf eine Vielzahl von Faktoren reagiert. Dadurch ist er einerseits hoch sensibel, andererseits jedoch jedoch unspezifisch, was eine Interpretation von Veränderungen erschwert (siehe Schaubild).

4.1 Klimatische Rahmenbedingungen

Witterungsextreme wie Stürme, anhaltende Trockenperioden oder extreme Temperaturen wirken sich meist direkt auf den Zustand der Baumkronen aus. Aber auch weniger extreme Witterungsereignisse beeinflussen im Zusammenspiel mit anderen abiotischen und biotischen Einflussfaktoren den Kronenzustand. Neben dem aktuellen Witterungsverlauf kann, vor allem bei Nadelbäumen, auch jener der Vorjahre einen Einfluss haben.

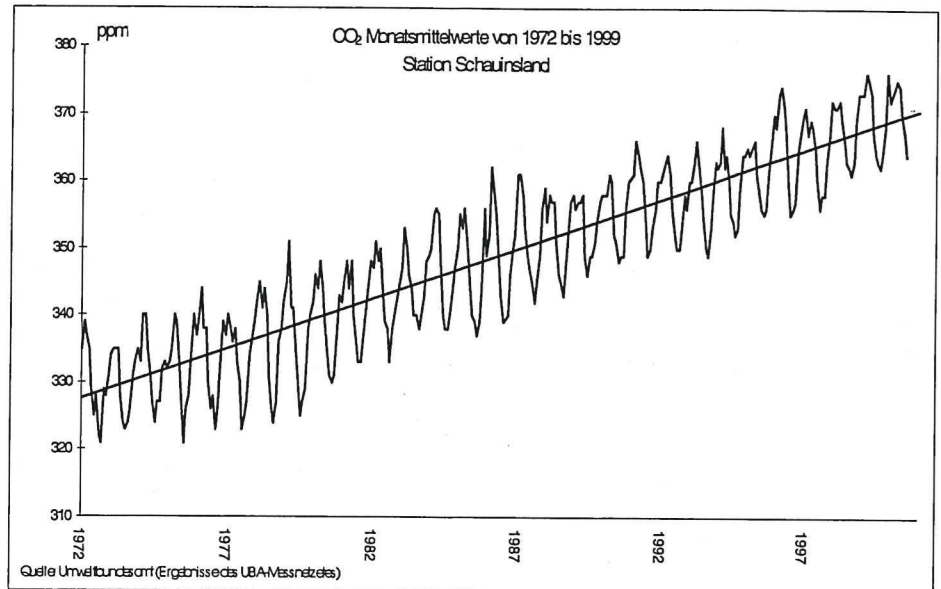
Die **Jahresmitteltemperaturen** liegen im Süden Deutschlands seit Mitte der siebziger Jahre meist über den langjährigen Durchschnittswerten. Hierbei fällt der Temperaturanstieg in den Sommermonaten in der Regel höher aus als in den Wintermonaten. Gleichzeitig hat sich auch die Vegetationszeit verlängert. Bei der Entwicklung der jährlichen **Niederschlagshöhen** ist keine einheitliche Tendenz festzustellen. Jedoch sind Niederschlagsdefizite in der Vegetationszeit häufiger. Niederschlagsmengen über dem langjährigen Mittel fallen meist auf die Wintermonate. Beispielhaft für die Temperatur- und Niederschlagsentwicklung sind hier die Daten für die Station Freiburg von Januar 1995 bis Juni 2000 dargestellt. Mit Ausnahme des Jahres 1996 lagen die Jahrestemperaturen deutlich über dem langjährigen Mittel. Gleichzeitig war des Öfteren in der Vegetationsperiode ein Niederschlagsdefizit vorhanden.



Ob die hier am Beispiel der Messstation Freiburg aufgezeigten Abweichungen vom langjährigen Mittelwert bei Temperatur und Niederschlag neben jährlichen, natürlichen Witterungsschwankungen auch die Auswirkungen der globalen Klimaerwärmung wiedergeben, ist umstritten. Festzuhalten ist jedoch, dass weltweit die Temperatur in den letzten 100 Jahren um 0,3 bis 0,6 °C angestiegen ist. Dies wird u.a. auf den sogenannten Treibhauseffekt zurückgeführt. Als wesentlicher Faktor für den Treibhauseffekt wird von vielen Wissenschaftlern die Zunahme der Konzentration von bestimmten, nur in sehr geringen Mengen vorkommender Gase in der Atmosphäre angesehen. Hier ist neben Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) zu nennen. Nach Angaben des Umweltbundesamtes (UBA) stiegen weltweit die Konzentrationen von Kohlendioxid um ca. 30%, von Methan um 145% und von Distickstoffoxid um ca. 15% gegenüber den Werten vorindustrieller Zeiten an.

Der Anstieg der Konzentrationen in der Atmosphäre hat vielfältige Gründe. Beim CO₂-Anstieg ist einer der Hauptgründe die Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Öl, Erdgas).

Neben den negativen Auswirkungen des CO₂-Anstiegs auf den Treibhauseffekt ist der Anstieg des CO₂-Gehalts der Luft wachstumsfördernd für die Waldbäume. Dieser positive Effekt ist jedoch nach bisherigen Erkenntnissen im Vergleich zu den negativen Effekten als sehr gering zu bewerten.



Witterung 1999/2000:

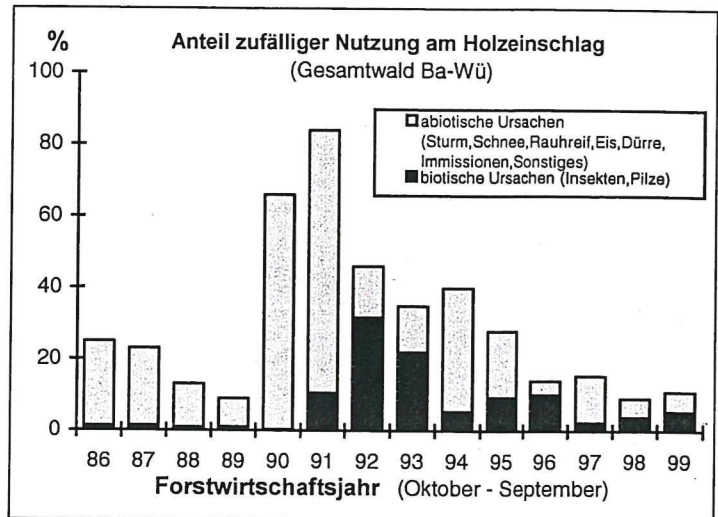
Das zurückliegende Jahr 1999 begann mit einem sehr schneereichen Winter. Das Frühjahr war insgesamt feucht und kühl. Auch der Frühsommer war niederschlagsreich. Im Jahresverlauf kam es zu kurzen Perioden großen Hitzestresses mit entsprechenden Auswirkungen auf den Kronenzustand (z.B. Kleinblättrigkeit, Zusammenrollen der Blätter, Zweigabsprünge, Nadel-/Blattabwurf). Das Jahresende präsentierte sich extrem stürmisch. Den Höhepunkt bildete dabei der Sturm „Lothar“ am 26. Dezember 1999 dem in Baden-Württemberg ca. 25 Mio. m³ Holz zum Opfer fielen (Stand Januar 2000).

Der Winter 1999/2000 war insgesamt schneeärmer als der vorangegangene. Häufig schwankende Temperaturen bei gleichzeitig häufigem Schneefall führten in den Hochlagen des Schwarzwaldes zu Schneebruch. Das Frühjahr und der Frühsommer 2000 waren geprägt von überdurchschnittlichen Temperaturen bei gleichzeitiger Trockenheit. Dieser Zeitabschnitt hat sich negativ auf die Fruktifikation der Buchen und Fichten ausgewirkt. Die im Frühjahr angelegten Früchte dieser Baumarten verkümmerten während dieser Periode und fielen teilweise im Sommer bereits ab. Der Hochsommer war wechselhaft, häufig kühl und regenreich. Erst im August trat eine mehrwöchige Trockenperiode bei gleichzeitig hohen Temperaturen auf, die jedoch kaum unmittelbaren Einfluss auf den Kronenzustand hatte.

4.2 Allgemeine Waldschutzsituation 1999/2000

Mit einem Anteil von 11% (ohne Sturm „Lothar“) am gesamten Holzeinschlag im Jahr 1999 lagen die durch Schadeinflüsse verursachten zwangsweisen Holzeinschläge („zufällige Nutzungen“) insgesamt auf einem niedrigen Niveau (siehe Graphik).

Knapp ein Drittel der zwangsweisen Holzeinschläge wurden durch Insektenbefall, hauptsächlich durch Borkenkäfer, verursacht. Der Anteil der Sturmschäden betrug knapp 30% (ohne Sturm „Lothar“). Weitere 25% der zwangsweisen Holzeinschläge im Jahr 1999 wurden durch winterliche Witterungsereignisse (Schnee-, Eisbruch oder Rauhref) verursacht. Hiervon waren vor allem die Hochlagen des Schwarzwalds betroffen.



Der Borkenkäferbefall an Fichten nahm landesweit leicht zu, so dass es regional nach wie vor hohe, durch Borkenkäferbefall bedingte Zwangsnutzungen gab. Daneben waren größere Schadflächen mit bestandesbedrohendem Befall durch Maikäfer-Engerlinge an Verjüngungen und Laubbaumunterständen in den Wäldern der nördlichen Oberrheinebene zu verzeichnen. Parasitierende Misteln an Tannen und Kiefern verursachen regional nach wie vor nennenswerte Schäden. Der in den letzten Jahren auffällige Blattfraß an Eichen durch Frostspanner und Eichenwickler spielte 1999 keine Rolle mehr. Dagegen nahm an Buchen der Befall durch den Buchenspringrüssler wieder zu.

Ausführliche Informationen zur Waldschutzsituation enthält der Waldschutzbericht 1999/2000 der FVA.

4.3 Stoffeinträge

Luftschadstoffe beeinflussen die Waldökosysteme auf vielfältige Weise. Hierbei sind neben direkten Wirkungen über die Blattorgane vor allem indirekte Wirkungen über den Waldboden bekannt. Während direkte Auswirkungen auf die Blattorgane in der Regel nur bei sehr hohen Schadstoffkonzentrationen eintreten, können sich im Boden auch geringe, aber lang anhaltende Einträge auswirken. Insgesamt sind Waldökosysteme aufgrund der Filterwirkung des Kronenraumes und der dort ablaufenden Speicher- und Pufferreaktionen stärker durch Luftschadstoffe belastet als benachbarte Freilandflächen.

Allgemein wird zwischen Schadstoffkonzentrationen in der Luft und Schadstoffen im Niederschlag unterschieden. Die gasförmigen Luftschadstoffe werden von der Gesellschaft für Umweltmessung und Umwelterhebung mbH (UMEG, Karlsruhe) an über das ganze Land verteilten Messstationen gemessen. Darunter befinden sich auch zwei stationäre Messanlagen im Wald („Kälbelescheuer“ im Südschwarzwald und „Edelmannshof“ im Schwäbisch-Fränkischen Wald), auf die nachfolgend Bezug genommen wird. Die Schadstoffe im Niederschlag werden an 25 Orten im Wald von der FVA erfasst (Depositionsmessnetz).

4.3.1 Gasförmige Immissionen

Das Niveau der **Jahresmittelwerte von Schwefeldioxid (SO₂)** ist seit Beginn der 90er Jahre, verglichen mit den Werten der 80er Jahre, sehr gering. Die Jahresmittelwerte beim Schwefeldioxid lagen an den beiden Stationen 1992 erstmals unter 5 µg je m³ Luft. Seither verharren die Mittelwerte bei nur geringfügigen Schwankungen auf diesem Niveau.

Die Jahresmittel liegen insgesamt unter den Werten, die bei Bäumen zu sichtbaren Schäden führen können.

Ozon (O₃) entsteht bodennah aus Umwandlungsprodukten von Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) unter Einwirkung von UV-Strahlung. Die mittleren Ozonkonzentrationen zeigten bis 1992 einen steigenden Trend. In den Jahren 1994 und 1995 war ein leichter Rückgang festzustellen, wobei sich die Werte der Station „Kälbelescheuer“ denen der Station „Edelmannshof“ annäherten. In den Jahren 1996 und 1997 sind die Werte an der Station „Kälbelescheuer“ wieder deutlich angestiegen, so dass sich trotz des leichten Rückgangs 1998 die Belastungssituationen in den Hochlagen des Südschwarzwaldes („Kälbelescheuer“) und im Schwäbisch-Fränkischen Wald („Edelmannshof“) weiter deutlich unterscheiden. Die Mittelwerte des Jahres 1999 sind im Vergleich zum Vorjahr weitgehend unverändert hoch.

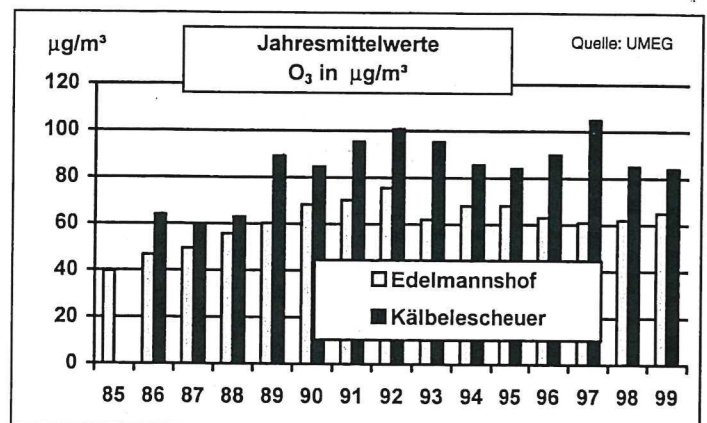
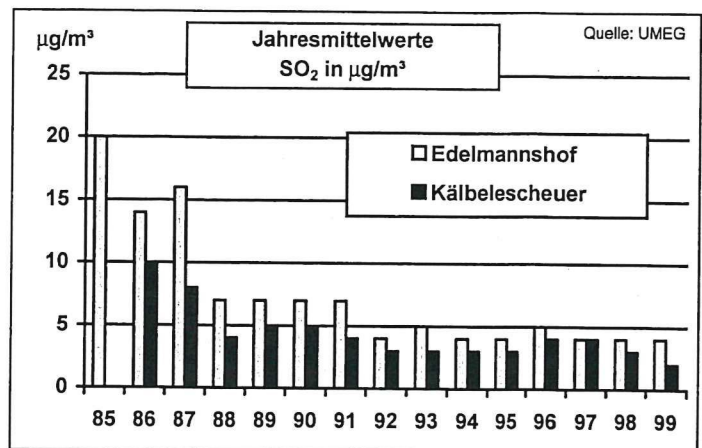
In den Sommermonaten werden weiterhin hohe Spitzenwerte von Ozonkonzentrationen erreicht, die im August 1998 erstmals zu Fahrverboten in mehreren Bundesländern geführt haben. Die Grenzwerte werden besonders häufig in den „Reinluftgebieten“ der Hochlagen überschritten. Bisher wurden in Baden-Württemberg 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 belastender Faktor für die Waldbäume eingestuft werden.

4.3.2 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 Säureinträge großflächig überschritten wird.

An den Depositionsmessstationen werden die Einträge von Säurebildnern und die Gesamtstickstoffeinträge gemessen. Die Säureinträge im Niederschlag setzen sich aus Sulfat, Nitrat und Ammonium zusammen. Während die Sulfat- und Nitratdepositionen neben den natürlichen Quellen 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 Gesamtsäureinträge für das Jahr 1999. 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 anteilmäßig 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 unverzüglich wieder ersetzt.

Die Gesamtsäureeinträge in die Wälder Baden-Württembergs sind mit Werten von 0,5-2,3 kmol_c/ha/Jahr nach wie vor so hoch, dass sie das natürliche Puffervermögen nichtkarbonatischer Standorte in der Regel um ein Mehrfaches übersteigen.

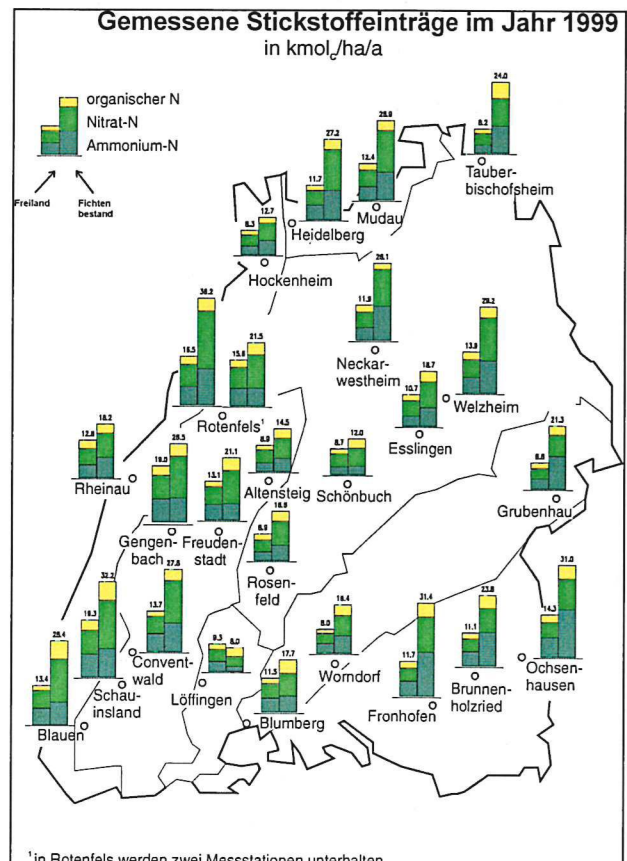
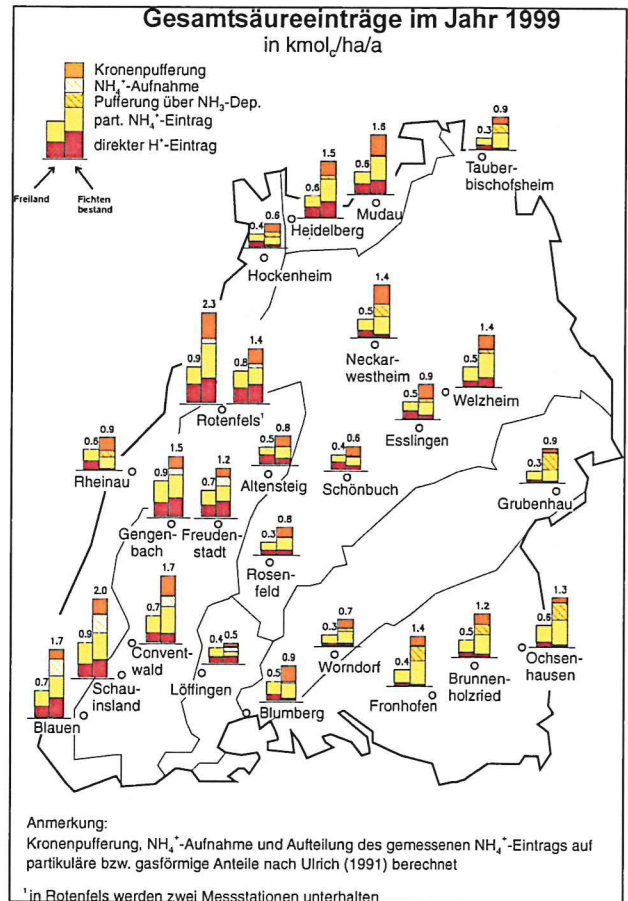
Regional sind drei Bereiche unterschiedlicher Depositionsintensität unterscheidbar. Im Windschatten des Schwarzwaldes werden die niedrigsten Gesamtsäureeinträge (<1 kmol_c/ha/Jahr) gemessen, entlang des Schwarzwald-Westkamms mit Werten zwischen 1.5 und 2.5 kmol_c/ha/Jahr die höchsten. Die übrige Landesfläche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

Die Stickstoffeinträge liegen mit Werten zwischen 8 und 36 kg/ha/Jahr auf einem Großteil der Landesfläche um ein Mehrfaches über den Stickstoffmengen, die im Biomassezuwachs fixiert werden können. Sie übersteigen damit die „critical load“ die dadurch definiert ist, dass auch auf längere Sicht keine unerwünschte Eutrophierung der Standorte durch Stickstoffeintrag stattfinden soll.

Nur in den Leelagen des Schwarzwaldes wurden Stickstoffeinträge gemessen, die zwischen 8 und 18 kg/ha/a und damit im 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.

In allen Bereichen des Landes sind seit Mitte der 80er Jahre die Gesamtsäureeinträge um 15-40% zurückgegangen. Diese Entwicklung ist im Wesentlichen auf eine Reduktion der Sulfateinträge zurückzuführen. Bei den Stickstoffeinträgen wurden über die gesamte Messperiode gleichbleibende Eintragungshöhen festgestellt.

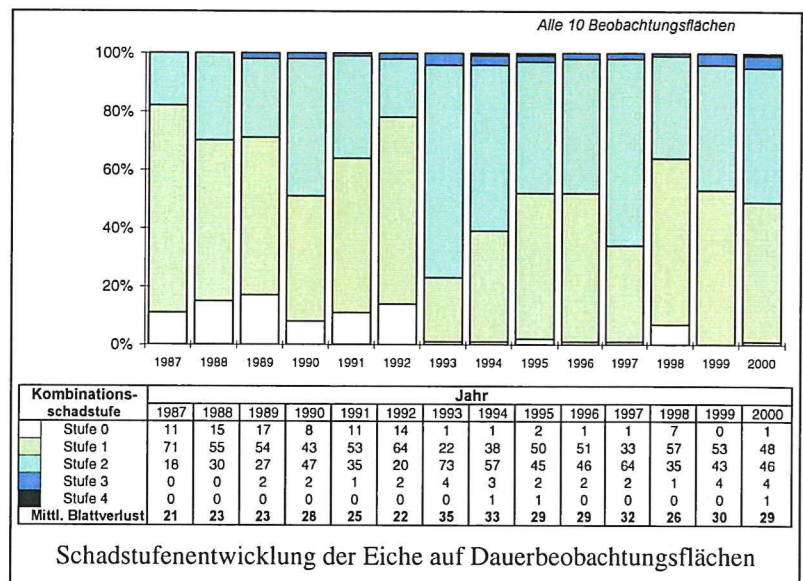


5 AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE ZU NEUARTIGEN EICHENSCHÄDEN

Der Gesundheitszustand gemessen an der Kronenverlichtung der Eichen hat sich seit Beginn der Waldschadenserhebungen deutlich verschlechtert. Noch in der ersten Hälfte der Achtziger Jahre war die Eiche die Baumart, die am wenigsten von den 'Neuartigen Waldschäden' betroffen war. Der Anteil der deutlich geschädigten Eichenfläche in Baden-Württemberg stieg von unter 20% (1985) auf 40% bei der letzten Vollaufnahme 1997 (vgl. TWI-Bericht 1997).

Auch die seit 1987 periodisch durchgeführten Erhebungen von Eichen im Alter von 90 und 160 Jahren auf 10 Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg zeigen eine kontinuierliche Verschlechterung des Gesundheitszustandes der Eichen auf diesen Flächen.

Diese rapide Verschlechterung der Vitalität und vermehrte Meldungen über ein unerwartetes Absterben von Eichen führte zu umfangreichen Sonderuntersuchungen auf den Eichen-Dauerbeobachtungsflächen.



5.1 Einfluss von blattfressenden Insekten auf den Kronenzustand der Eichen

Als Ursache der Verschlechterung des Gesundheitszustandes der Eichen wurde der in manchen Jahren starke Fraß blattfressender Insekten vermutet. In den zurückliegenden 20 Jahren, insbesondere in den Jahren 1979-1981 und in den Jahren 1994-1996, wurden die Eichenkronen stark befallen. Flächenmäßig etwas geringer waren die Fraßschäden in den Jahren 1987-1988. An diesen Fraßzyklen waren vor allem die Raupen der Frostspannerarten und des Eichenwicklers beteiligt. Die Raupen des Schwammspinners hatten nur in den Jahren 1993-1994 auf der Fläche in Kehl (401) einen nennenswerten Anteil am Fraßgeschehen.



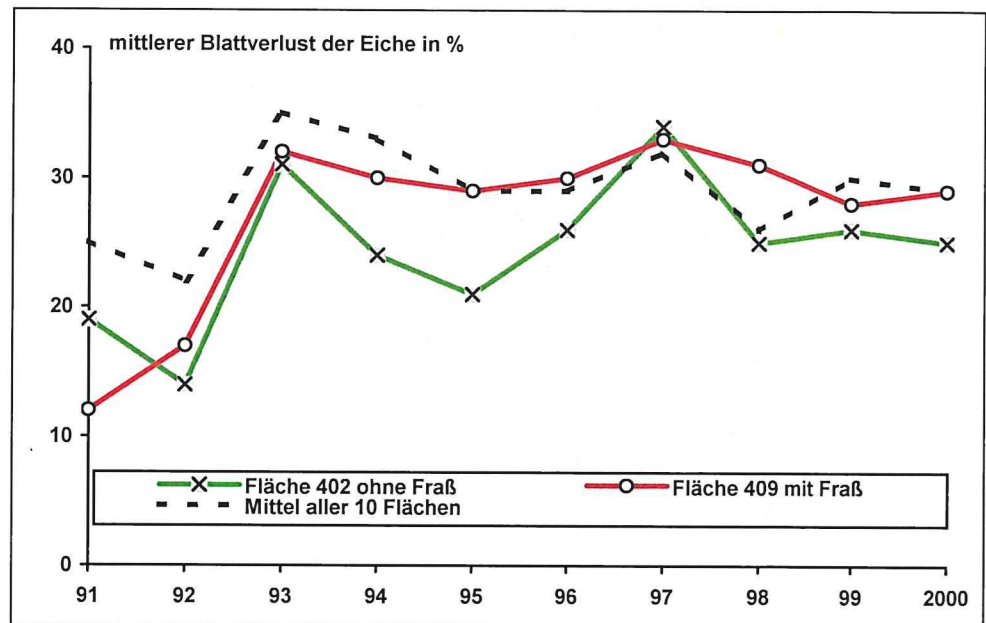
Fraßschäden an Eiche durch Eichenwickler

Tatsächlich zeigten differenzialdiagnostische Untersuchungen, dass eine Verschlechterung des Kronenzustandes im Sommer meist mit deutlich sichtbaren Fraßschäden einher gingen. Es muss in diesem Zusammenhang aber beachtet werden, dass die Bäume im Jahr des Fraßes je nach der Fraßstärke unterschiedlich reagieren. Kahlfraß an Eiche im Frühjahr ist bis zum Zeitpunkt der Erhebung des Kronenzustandes im Sommer zu einem Großteil durch die kurz nach dem Fraß einsetzende Wiederbelaubung

ausgeglichen. Dagegen bleibt geringer, nur Blattteile betreffender Fraß bis zum Blattfall im Herbst erkennbar. Erhebungen des Kronenzustandes ausschließlich im Sommer sind daher in Jahren mit starkem Blattfraß nicht ausreichend, um die Ursachen für einen Vitalitätsverlust der Eichen zu erklären. Seit 1994 wird daher auf den Dauerbeobachtungsflächen zusätzlich zur Erhebung des Kronenzustandes im Sommer noch eine „Fraßerhebung“ im Frühjahr durchgeführt, um möglichst zeitnah die Blattverluste durch Fraß zu ermitteln. Hierdurch können durch Fraß hervorgerufene Vitalitätsverluste erkannt und interpretiert werden.

Durch diese Erhebungen konnte nachgewiesen werden, dass in den unmittelbar dem Fraß folgenden Jahren eine Verschlechterung des Kronenzustandes eintritt. Es stellte sich dann die Frage, ob sich die stark befallenen Eichen wieder erholen, wenn die Fraßjahre einige Zeit vorüber sind oder ob starker Fraß einen nachhaltig negativen Einfluss auf den Gesundheitszustand hat. In diesem Fall müsste sich der Kronenzustand auf Flächen mit hoher Fraßintensität im Vergleich zu den Flächen mit geringer Fraßintensität in der Zeit nach dem Fraß unterschiedlich entwickeln. Hinsichtlich dieser Fragestellungen kann bisher nur die Entwicklung seit 1994 beurteilt werden, da erst ab diesem Jahr verlässliche, zeitnahe Daten der Fraßintensität im Frühjahr vorliegen. Zur vergleichenden Beurteilung

wurde ein dreijähriger Zeitraum vor und nach der Fraßperiode angesetzt. In diesem Zeitraum kann man davon ausgehen, dass eine Regeneration des Kronenzustandes auf vormals stark befallenen Flächen eingetreten sein müsste. Zum Vergleich wurden die Flächen 402 (Oberrheinisches Tiefland; Forstbezirk Müllheim), die wenig oder gar keinen Fraß aufwies, der Fläche 409 (Schwäbische Alb; Forstbezirk



Langenau) mit überdurchschnittlich starkem Fraß herangezogen. In der Abbildung lässt sich erkennen, dass beide Flächen unabhängig vom Fraßgeschehen einen ähnlichen Verlauf des Belaubungszustandes aufweisen. Weder eine nachhaltige Schädigung der Eichen durch Fraß, noch eine eindeutige Verbesserung in Perioden ohne Fraß konnte bisher eindeutig nachgewiesen werden. Auch bei Zugrundelegung der Ergebnisse aller 10 Eichen-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg zeigt sich, dass der Blattfraß durch Schadinsekten für sich allein keine ausreichende Erklärung für die Entwicklung des Kronenzustandes bei Eiche bietet.

Um weitere Ursachen der Veränderung des Gesundheitszustandes zu ermitteln, wurde in einem interdisziplinären Forschungsprojekt auch der Einfluss des Bodenzustandes als wesentliche Einflussgröße untersucht.

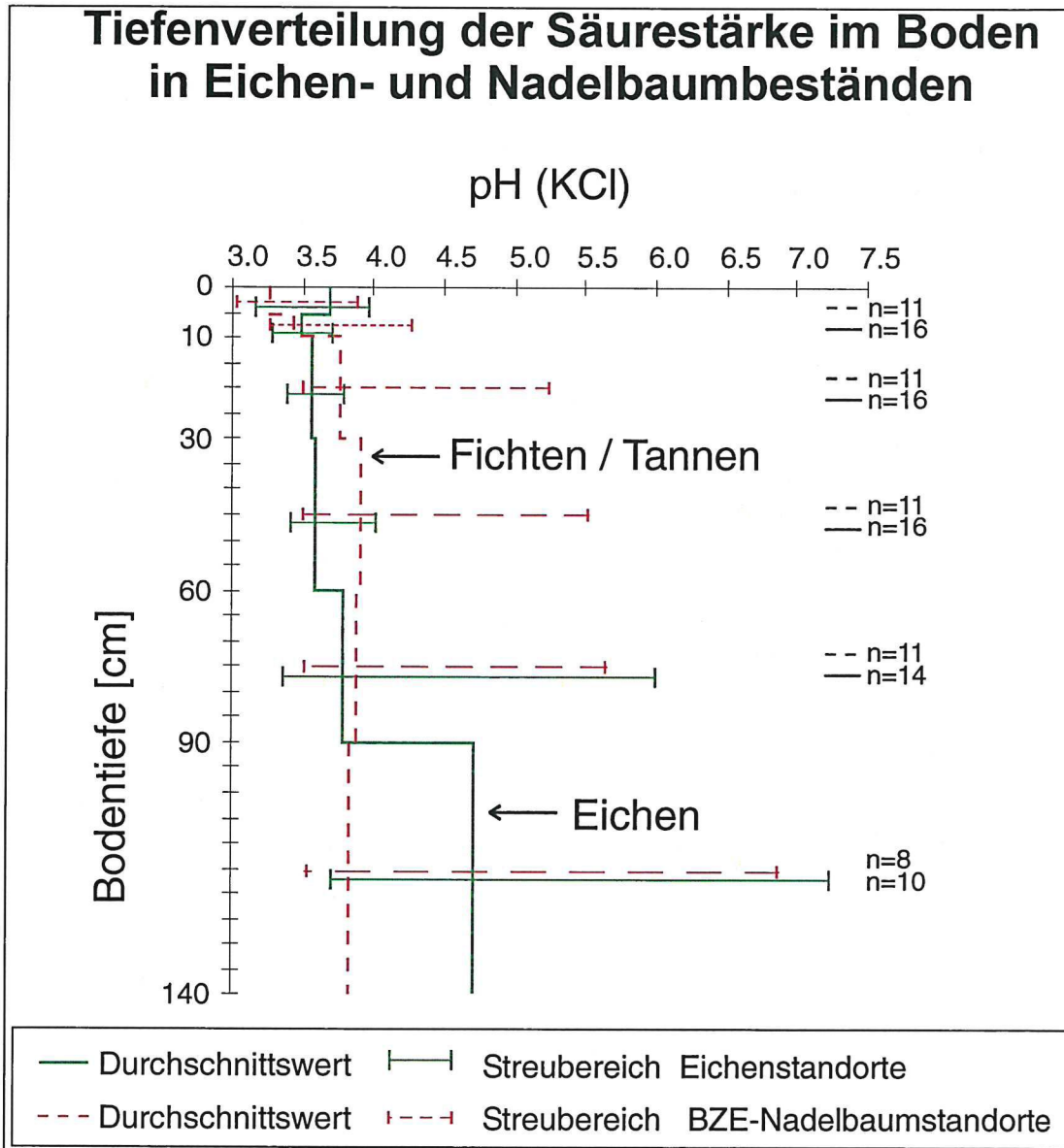
5.2 Physikalische und chemische Bodeneigenschaften als prädisponierende Faktoren neuartiger Eichenschäden

Die bodenchemischen und bodenphysikalischen Eigenschaften des Bodens definieren die Wachstums- und Überlebensbedingungen für Baumwurzeln und so die Größe und Effektivität des Wurzelwerks, sowie die im Wurzelraum verfügbaren Nährelementvorräte. Veränderungen dieser Standortseigenschaften können zur Labilisierung der dort existierenden Waldökosysteme führen.

Anfang der neunziger Jahre wurde im Rahmen der bundesweiten Bodenzustandserfassung (BZE) der bodenchemische Zustand der Waldböden erfasst. In Baden-Württemberg wurden in einem ersten Schritt ausschließlich Nadelbaumstandorte in die BZE einbezogen. Ein wesentlicher Befund dieser Untersuchung war, dass sich die Oberböden auf silikatischen Ausgangsgesteinen mit sehr unterschiedlicher Basenausstattung

unter dem Einfluss von Immissionen großflächig auf einem Niveau hoher Bodenazidität und niedriger Basensättigung angleichen. Diese Entwicklung hat zur Folge, dass sich der Nährstoffkreislauf vom Mineralboden entkoppelt und damit die Bestandesernährung sowie auch die bodenbiologische Aktivität zunehmend beeinträchtigt werden.

Es stellt sich die Frage, ob solche Veränderungen auch auf den in der Regel im Tiefland liegenden, niederschlagsärmeren und vom Substrat her günstiger eingeschätzten Eichenstandorten zu beobachten sind, und ein disziplinierender Faktor für das „Eichensterben“ sein können.



An den 10 Eichen Dauerbeobachtungsflächen und 6 zusätzlichen Projektflächen, die das gesamte Verbreitungsgebiet der Eiche in Baden-Württemberg berücksichtigen, wurden bodenkundliche Einflussfaktoren auf Bodendurchwurzelung und Gesundheitszustand von Eichen untersucht. Zur Bewertung der in den Eichenbeständen festgestellten bodenchemischen Zustände wurden 11 jeweils direkt benachbarte Nadelbaum - Standorte der Bodenzustandserfassung (BZE) herangezogen. Unerwartet war der Befund, dass im gesamten Wurzelraum sich die Säurestärke zwischen Eichen- und Nadelbaumstandorten nicht oder nur sehr unwesentlich unterschieden (pH 3.5-4.0). Erst ab 90 cm Bodentiefe ist der pH-Wert an den Eichenstandorten im Mittel um ca. 1 pH-Einheit höher. Es ist davon auszugehen, dass bei diesen Säurestärken die in Laubbaumbeständen typischerweise hohe biologische Aktivität des Bodens gehemmt ist. Das bedeutet, dass im Zusammenspiel zwischen Sackung und strukturschaffenden Prozessen eine Verschiebung in Richtung von Strukturverlusten und Dichtlagerung der Böden eintritt. Die Bodenstruktur ist neben dem chemischen

Zustand des Bodens von besonderer Bedeutung für die Durchwurzelung. Nach bisherigen Befunden beeinflussen Strukturverluste des Bodens sowohl die Biomasse der Wurzeln als auch deren Vitalität. Der Verlust an Bodenstruktur geht in erster Linie mit dem Verlust von biogenen Grobporen einher. Für die Wurzeln bedeutet der Verlust an Grobporen einen Verlust des potenziellen Lebensraumes und damit einen Verlust an wurzelerreichbaren Wasser- und Nährstoffvorräten.

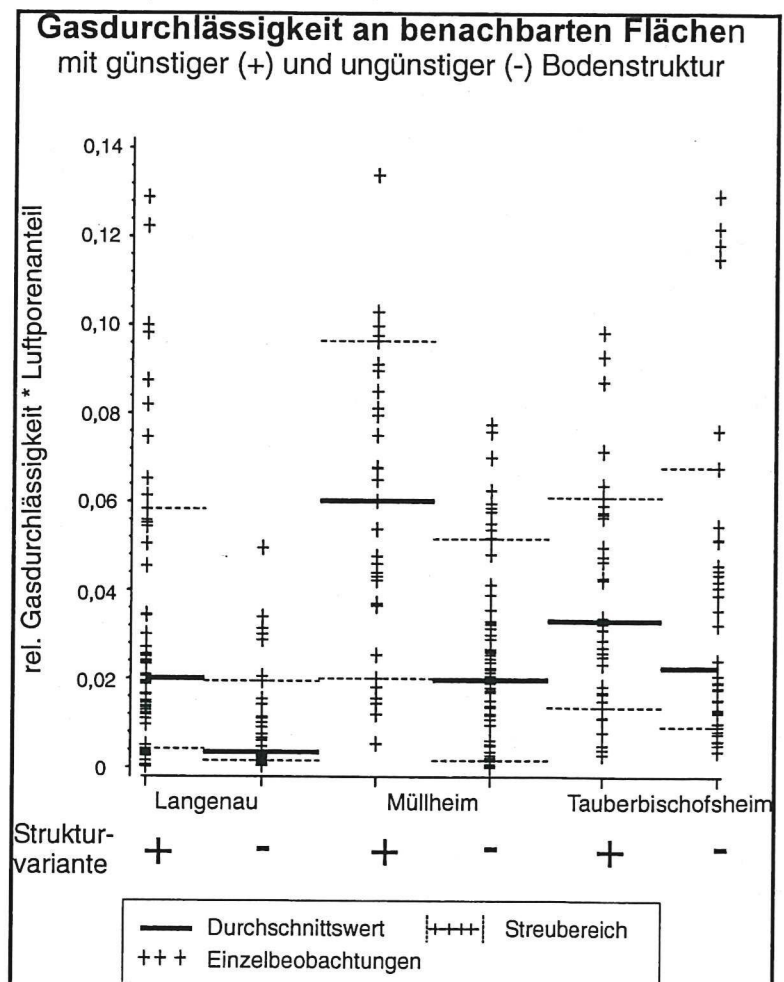
Gleichzeitig verschlechtert sich durch den Strukturverlust die Bodenbelüftung. Dies ist ökologisch bedeutsamer als die durch Dichtlagerung erhöhten Eindringwiderstände. Während oberirdische Pflanzenteile durch den Kontakt zur Atmosphäre immer ausreichend belüftet sind, ist die Belüftung der Wurzeln von dem Luftporenvolumen des Bodens und der Kontinuität dieser Poren abhängig. Feinwurzeln sind ausgesprochen stoffwechselaktive Organe des Baumes. Zwischen 25% und 50% des in der Vegetationszeit gebundenen Kohlenstoffs werden bei Waldbäumen durch die Wurzelatmung verbraucht. Die Versorgung mit Sauerstoff und die Entsorgung von Kohlendioxid ist Voraussetzung für alle aeroben Atmungsvorgänge.

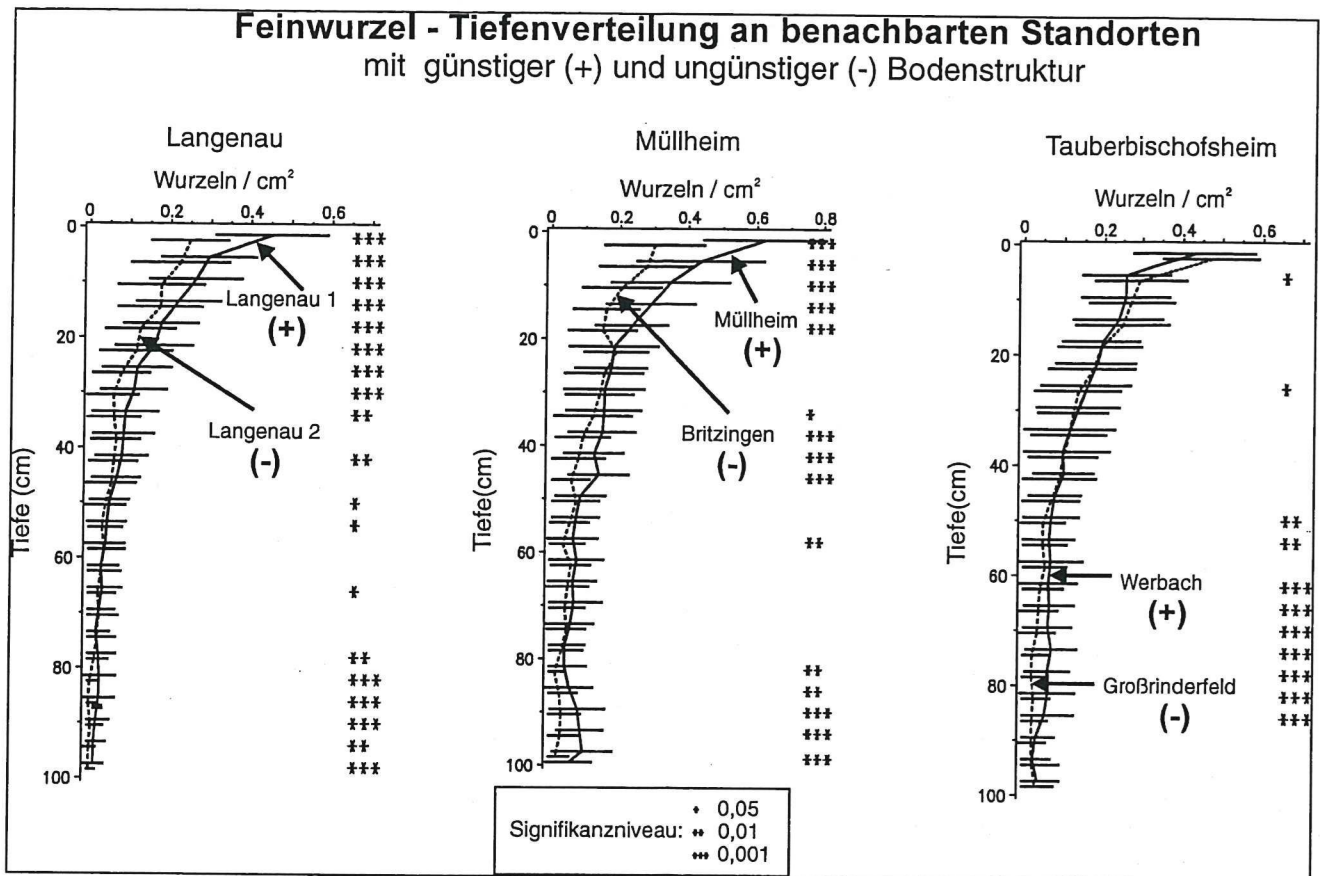
Die Eiche gilt in der forstlichen Praxis als besonders durchwurzelungsaktive und gegen Belüftungsengpässe unempfindliche Baumart. Nicht zuletzt deshalb wird sie häufig auf strukturgefährdeten Standorten und Standorten mit Belüftungsproblemen angebaut. Bei abgestorbenen Eichen konnten häufig Wurzeldegenerationen im Zusammenhang mit plattig verdichteten, kohärenten Strukturen im Oberboden festgestellt werden. Aufgrund dieser Beobachtungen wurde der Zusammenhang zwischen der Oberbodenbelüftung und der Durchwurzelung des Bodens an einer Auswahl von Projektflächen auf Feinlehmstandorten intensiver untersucht. In den drei Forstbezirken Langenau, Müllheim und Tauberbischofsheim wurden Flächenpaare mit Eichenaltbeständen ausgewählt, die sich bei vergleichbaren lehmigen Substraten und ähnlichem Bestandesaufbau nur in der Oberbodenstruktur unterscheiden.

Als Leitinformation für die Bodenbelüftung wurde auf den untersuchten Standorten das Produkt aus relativer Gasdurchlässigkeit und dem Luftporenanteil gemessen. Das somit ermittelte Belüftungspotenzial wird als Geländegasdiffusionskoeffizient bezeichnet.

An allen drei Standorten zeigen die Oberböden auf den Untersuchungsflächen mit äußerlich sichtbaren Störungen der Bodenstruktur eine deutlich reduzierte Gasdurchlässigkeit. Dieser Unterschied in der Bodenbelüftung zwischen gut und schlecht strukturierten Parzellen war in den Forstbezirken Langenau und Müllheim statistisch signifikant.

Auf den gleichen Untersuchungsflächen, auf denen die Bodenbelüftung untersucht wurde, wurden an Bodenprofilen Tiefenverteilungen der Feinwurzelndichte aufgenommen. Dabei zeigte sich, dass in allen Fällen die Durchwurzelungsintensität auf den besser belüfteten Böden mit intakter Bodenstruktur höher war als auf den Flächen mit Belüftungsmängeln.





An den beiden Standorten mit den größten Unterschieden in der Belüftungssituation (Langenau und Müllheim) war auch die Durchwurzelungsintensität am unterschiedlichsten. In Tauberbischofsheim bestanden nur im Unterboden signifikante Unterschiede zwischen den Strukturvarianten, sozusagen als „Fernwirkung“ des schwächer ausgeprägten Belüftungseingpasses an der Bodenoberfläche.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in den untersuchten Eichenbeständen deutliche, offensichtlich immissionsbedingte Versauerungstendenzen zu beobachten sind, die mit Strukturverlusten an der Bodenoberfläche einhergehen. Strukturverluste führen zu einer Behinderung der Bodenbelüftung und damit zur einer verminderten Durchwurzelungsintensität. Auf den gleichen Untersuchungsflächen, auf denen die bodenchemischen und bodenphysikalischen Untersuchungen sowie Feinwurzelinventuren durchgeführt wurden, wurde der Kronenzustand erfasst. Dabei ergab sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Faktoren Bodenbelüftung, Durchwurzelungsintensität und Kronenzustand. Am aktuell schlechten Gesundheitszustand sind neben Schäden durch Insektenfraß und anderen biotischen Stressoren offensichtlich auch umweltbedingt veränderte bodenchemische und bodenphysikalische Zustände zumindest als prädisponierende Faktoren beteiligt.

Für die Forstpraxis bedeuten die dargestellten Befunde, dass auch in Laubbaumbeständen mit vermeintlich intaktem Stoffhaushalt ein Bedarf für Bodenschutzkalkungen bestehen kann. Außerdem sollten alle waldbaulichen und technischen Maßnahmen zum Schutz der Bodenstruktur ergriffen werden, da die Eiche offensichtlich unerwartet sensitiv auf Störungen der Bodenbelüftung reagiert.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

6.1 Aktuelle Stressfaktoren

Nach wie vor wirkt ein ganzes Bündel einzelner Stressfaktoren auf den Wald. Der Anteil der einzelnen Faktoren kann hierbei nicht genau ermittelt werden, da sie sich zum Teil gegenseitig bedingen, oder auch verstärken.

Witterungseinflüsse:

Neben jährlichen natürlichen Witterungsschwankungen führen vor allem die seit Mitte der siebziger Jahre deutlich gestiegenen Temperaturen bei oft länger anhaltenden Trockenperioden in der Vegetationszeit sowie häufigen Stürmen zu Stresssituationen.

Die zur Zeit beobachtete globale Klimaänderung, u.a. durch den CO₂ mitbedingten Treibhauseffekt hervorgerufen, bringt neben einem generellen Temperaturanstieg auch eine Verschiebung der Niederschläge mit sich. Während die Niederschlagsmenge in den Wintermonaten im Vergleich zum langjährigen Mittel steigt, nimmt sie in der Vegetationszeit ab. Die veränderten Klimabedingungen wirken sich direkt auf die Wasser- und Nährstoffversorgung aus. Aber auch indirekte Wirkungen sind möglich. So kann zum Beispiel die Temperaturerhöhung die Population von Schadinsekten erhöhen.

Schadstoffe in der Luft und im Niederschlag:

Nach wie vor sind in den Sommermonaten sehr hohe Ozonkonzentrationen, vor allem in den Hochlagen der Mittelgebirge zu verzeichnen. Diese führen zwar in der Regel nicht zu sichtbaren Blattschäden, in Verbindung mit hohen Temperaturen wird jedoch der Stoffumsatz der Nadeln und Blätter negativ beeinflusst.

Trotz deutlichen Rückgangs der Schwefeldioxidimmissionen sind die hohen Säure- und Stickstoffeinträge ein bedeutendes Risiko. Diese führen zu Veränderungen im Boden und zur Auswaschung von Nährstoffen. Neben Nitrat werden Makronährelemente wie Magnesium, Calcium und Kalium ausgewaschen. Hohe Stickstoffeinträge fördern zwar das Wachstum der Bäume, sie können aber gleichzeitig zu Ungleichgewichten im Nährstoffhaushalt führen.

6.2 Erforderliche Maßnahmen

Da sich der Vitalitätszustand der Waldbäume aus der Summe aller einwirkenden Faktoren ergibt, müssen alle beeinflussbaren Stressfaktoren weiter reduziert und gleichzeitig die stabilisierenden Maßnahmen fortgesetzt werden.

Maßnahmen im Bereich der Politik:

Luftreinhaltemaßnahmen, insbesondere die Ausrüstung von Großfeuerungsanlagen mit Rauchgasfilteranlagen, haben zu einer merklichen Reduktion von Säureeinträgen in die Wälder geführt. Dies geht überwiegend auf eine Reduktion von Schwefeleinträgen zurück. Stickstoffeinträge sind im Beobachtungszeitraum annähernd gleich hoch geblieben.

Daher gilt es auf politischer Ebene, weiterhin eine weitere Reduktion der Luftschadstoffe durchzusetzen, vor allem hinsichtlich der Stickstoffverbindungen aus den heterogenen Quellen im Kraftfahrzeugverkehr und der Landwirtschaft, aber auch bei Kläranlagen und der chemischen Industrie.

Die finanzielle Unterstützung für Forschung und betroffene Waldbesitzer (z.B. Förderung von Kalkungsmaßnahmen) ist weiterhin notwendig.

Maßnahmen von Seiten der Waldbesitzer:

Von Seiten der Waldbesitzer sind vitalitätsfördernde Maßnahmen erforderlich. Hier ist neben einem standortgerechten Waldbau die Bodenschutzkalkung zu nennen. Bodenschutzkalkungen mit magnesiumhaltigem Kalk kompensieren die aktuellen Säureeinträge und führen gleichzeitig Magnesium wieder zu, welches durch Nährstoffauswaschung ins Minimum geraten ist. Hier besteht inzwischen auch Bedarf in Laubbaumbeständen mit bislang vermeintlich intaktem Stoffhaushalt.

Naturnahe, standortgerechte, gut gepflegte Mischwälder sind stabiler gegen schädigende Umwelteinflüsse. Daher muss auch in Zukunft der naturnahe Waldbau weiter vorangebracht werden. Hierzu gehören neben der standortgerechten Baumartenwahl mit standörtlich bewährtem, herkunftsgesichertem Vermehrungsgut auch die Bestandespflege zur Förderung von Mischbaumarten und der Stabilität. Der Baumartenwahl kommt vor allem auf den Sturmflächen große Bedeutung zu. Aber auch integrierte Waldschutzmaßnahmen im Rahmen der Schädlingsüberwachung und -bekämpfung sind nötig, um die Stressfaktoren für die Wälder zu verringern.

Maßnahmen im Bereich der Forschung:

Durch die anhaltenden Stoffeinträge 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 hohe Kontinuität der Messnetze von Bedeutung.