

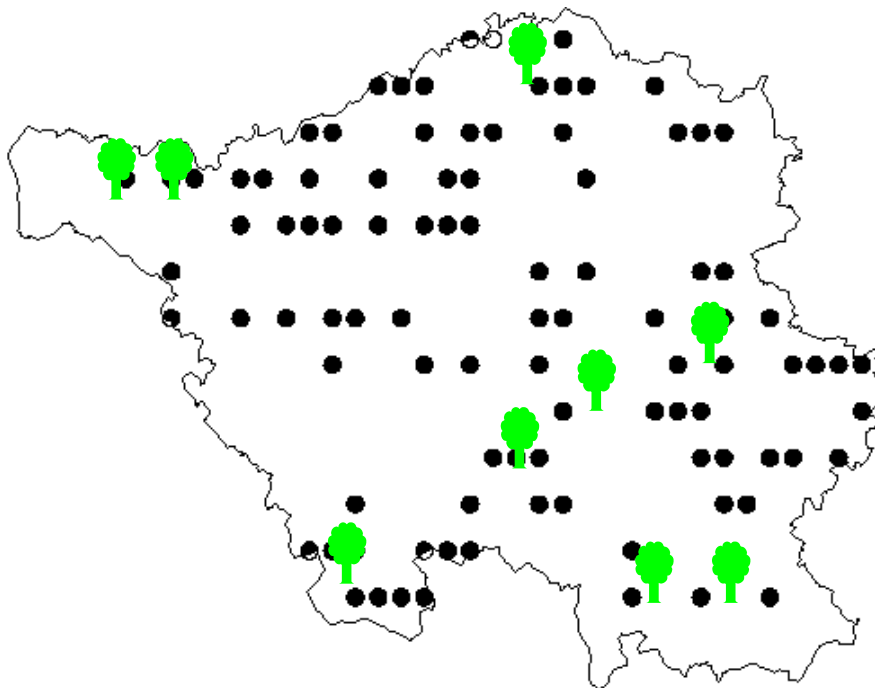
# Forstliches Umweltmonitoring im Saarland

## Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2002

● **Waldschadenserhebung Level I**



**Dauerbeobachtungsflächen Level II**



Ministerium für Umwelt

SaarForst 



Physische Geographie

Saarbrücken, im September 2002



# Inhalt

## ***Forstliches Umweltmonitoring***

	Seite	
Forstliches Umweltmonitoring	2	
<b><i>Ergebnisse der Waldschadenserhebung 2002 Level I</i></b>		
Gesamtergebnis	3	
Ergebnisse im Überblick	5	
Veränderungen seit 2001	6	
Alle Baumarten	7	
Buche	9	
Eiche	12	
Fichte	15	
Kiefer	18	
Einfluss der Witterung	20	
Verfahren	22	
Ersatz von Probebäumen	23	
Ergebnistabellen seit 1984	25	
<b><i>Ergebnisse der Dauerbeobachtungsflächen Level II</i></b>		
Dauerbeobachtungsflächen im Wald	27	
Belastungssituation saarländischer Wälder	29	
Bodenversauerung	31	
Wald und Wasser	36	
Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung	38	
Nährstoffbilanzen	40	

## Forstliches Umweltmonitoring

Waldstandorte unterliegen heute durch die mit der Luft und den Niederschlägen eingetragenen Mengen an Nähr- und Schadstoffen starken Veränderungen. Die dadurch ausgelösten Prozesse sind ein wesentlicher Teil der Wirkungskette, die für das Auftreten der sog. "Neuartigen Waldschäden" verantwortlich gemacht werden. Zur Beobachtung der Waldschadensentwicklung wurde in Deutschland ein zweistufiges System aufgebaut, das als Forstliches Umweltmonitoring bezeichnet wird. Es ist Teil eines EU-weiten Messnetzes, um den Waldzustand anhand einheitlicher Maßstäbe erfassen und bewerten zu können.

Bei der ersten Stufe (**Level I**) handelt es sich um Rastererhebungen im Abstand von i.d.R. 4x4 km. Sie umfassen im Wesentlichen die jährliche Waldschadenserhebung (WSE) über den Kronenzustand der Waldbäume sowie die Bodenzustandserhebung (BZE), die zuletzt 1989 durchgeführt wurde und im ca. 10-15jährigen Turnus wiederholt werden soll.

Die zweite Stufe (**Level II**) stellt ein intensives Monitoring dar, bei dem auf ausgewählten, repräsentativen Waldstandorten forstliche Dauerbeobachtungsflächen unterhalten und bewertet werden. Hier werden monatlich Proben über die Stoffein- und -austräge mit den Niederschlägen und die Dynamik der dadurch ausgelösten Prozesse sowohl in den Waldböden als auch in den Waldbeständen erfasst.

Die Ergebnisse aus diesen beiden Erhebungen stellen eine wesentliche Planungsgrundlage dar, um die Stabilität und Naturnähe des Waldes mit seinen vielfältigen ökologischen und ökonomischen Funktionen nachhaltig zu garantieren. Der Aufbau naturnaher, stabiler und standortgerechter Waldbestände mit intakten Stoffkreisläufen lässt sich nur durch forstliche Maßnahmen in Verbindung mit dem Forstlichen Monitoring gewährleisten.

### Stufen des Forstlichen Umweltmonitorings

Intensitätsstufe	Inventur	zeitl.-räuml. Auflösung	Erfassung	Interpretation
<b>Level I</b> Flächeninventur	WSE	Jährlich / 2x4 km (Saar) mind. 16x16 km Raster	Kronenzustand	Repräsentative Trends des Kronenzustandes für Hauptbaumarten
	BZE	alle 10-15 Jahre mind. 8x8 km Raster 4x4 km (Saar)	Elementgehalte in Blättern	Nährstoffversorgung in Verbindung mit Bodenchemie und Standortsinformationen
Bodenchemie			Räumliche Verteilung – Veränderung der bodenchemischen Zustände	
<b>Level II</b> Prozesse in Waldbeständen	Dauerbe- obachtungs- flächen	Kontinuierlich / repräsentative Waldbestände	Stoffeinträge mit den Niederschlägen, Stoffausträge mit den Bodenlösungen	Dynamik der Stoffhaushalte und deren Risiken, der Entwicklungstendenzen und der Ernährungszustände Standorte

## -Ergebnisse der Waldschadenserhebung 2002 -

Die Waldschadenserhebung im Saarland erfolgte im Jahr 2002 - zum 18. Mal - als Punktstichprobe in einem 2x4-km-Raster. Über 2300 zufällig ausgewählte Probestämme wurden nach äußerlich erkennbaren Kronenschäden als Weiser für Vitalität und allgemeinen Gesundheitszustand folgenden Schadensklassen zugeordnet::

**Schadstufe 1:** Schwache Schäden (Warnstufe; Blatt- oder Nadelverluste vorhanden, aber vielfach noch im Rahmen einer natürlichen Schwankung der Belaubungs- bzw. Benadelungsdichte).

**Schadstufe 2-4:** stark und sehr stark geschädigte sowie abgestorbene Bäume. Für die Darstellung der Schadensentwicklung werden die deutlichen Schäden ab der Schadstufe 2 als eindeutige (deutliche) Schäden mit mehr als 25% Nadel- bzw. Blattverlust zusammengefasst.

### **Gesamtergebnis seit 2001 unverändert**

Im Jahr 2002 halten sich die äußerlich erkennbaren Waldschäden für den Gesamtwald auf dem Stand des Vorjahres. Gut die Hälfte (52%) aller Waldbäume weist keine sichtbare Vitalitätsminderung auf (Blatt-/Nadelverluste bis 10%). Jeder 10. Baum ist mit Blatt-/Nadelverlusten von über 25% deutlich geschädigt.

### **Rückgang der deutlichen Schäden seit 1995**

Mitte der 90er Jahre lag der Anteil der deutlichen Schäden mit 23 % doppelt so hoch wie heute (11%). In der langjährigen Beobachtungsreihe wird dabei vor allem eine Verschiebung von den deutlichen zu den schwachen Schäden erkennbar. Die schwachen Schäden nehmen im gleichen Zeitraum tendenziell zu, der Anteil ungeschädigter Bäume bleibt bei einigen Schwankungen seit 1993 auf dem gleichen Niveau.

### **2002 Erneute Schadenszunahme bei der Buche**

Schadausmaß und -entwicklung sind für die einzelnen Baumarten und Alterstufen unterschiedlich.

Die Buche bleibt mit einem Anteil deutlicher Schäden von 27% die am stärksten geschädigte Hauptbaumart, gefolgt von Kiefer (9%), Fichte (7%) und Eiche (5%). Dabei sind die deutlichen Schäden bei der Buche in diesem Jahr erstmals wieder gestiegen (+3 Prozentpunkte), bei Fichte, Kiefer und Eiche leicht zurückgegangen.

Besonders betroffen sind ältere Bestände: Bei den über 60jährigen Bäumen liegen die deutlichen Schäden mit 20% ca. 7-mal höher als in Jungbeständen (3%). Der Anteil deutlich geschädigter Bäume in älteren Buchenbeständen steigt auf 43%.

## **Einflussfaktoren**

Die Vitalität des Waldes hängt bestimmend von dem Schadstoffeintrag mit seinen Auswirkungen auf das gesamte Waldökosystem ab. Daneben spielen eine Vielzahl weiterer biotischer und abiotischer Faktoren eine Rolle, die sich auch wechselseitig beeinflussen können.

### **Trockenheit im Frühsommer**

Günstige Witterungsbedingungen mit reichlichen Niederschlägen haben sich in den letzten Jahren günstig auf die Vitalität des Waldes ausgewirkt. In 2002 gab es im Saarland eine Trockenperiode im Frühsommer, die auf den meisten Standorten zu Trockenstreß führte.

### **Fruktifikation und Vergilbung**

Vor allem Buchen zeigen in diesem Jahr starkem Fruchtansatz, was zu einer zusätzlichen Belastung des Nährstoff- und Wasserhaushaltes und Verminderung der Vitalität führte. Bei der Buche traten schon ab Mitte August Blattvergilbungen auf, jedoch bei weitem nicht so ausgeprägt wie in Trockenjahren der 80er und 90er Jahre. Auf die Schadeinstufung wirkten sie sich im allgemeinen noch nicht aus.

### **Insekten- und Pilzbefall**

Insekten- und Pilzbefall hatten 2002 keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis der Waldschadenserhebung. Lediglich bei der Fichte traten im Sommer einzelne Befallsherde der Borkenkäfer (Buchdrucker- *Ips typographus* - und Kupferstecher – *Pytyogenes chalcographus* -) auf. Bei der Eiche kommt es durch das „Eichensterben“ mit Befall des Laubholzprachtkäfers (*Agrilus viridis*) zum Absterben einzelner Stämme in älteren Eichenbeständen, Schäden durch blattfressende Insekten wie Eichenwickler- und Frostspanner (*Tortrix viridana* u. *Operophtera brumata*) spielten in diesem Jahr keine Rolle.

### **Ausfall und Ersatz von Probebäumen**

2002 schieden 62 Probebäume z.B. durch Nutzung aus der Stichprobe aus und wurden durch benachbarte Bäume ersetzt. Das sind 2,7% der Probebäume. Die Auswirkung auf das Gesamtergebnis ist jedoch geringfügig (-0,4%-Punkte der deutlichen Schäden).

### **Keine Entwarnung**

Trotz der chemischen Verschlechterung der Waldböden mit anhaltender, durch Schadstoffeintrag verursachter Bodenversauerung und zunehmend schlechterer Nährstoffversorgung der Bäume bleibt der Waldzustand nach äußeren Vitalitätsmerkmalen insgesamt stabil. Dazu haben die insgesamt günstigen klimatischen Bedingungen der letzten Jahre beigetragen. Häufig auftretende Wurzeldeformationen mit Absterben tieferreichender Wurzeln weisen darauf hin, dass die Bäume im veränderten Bodenmilieu nachhaltig geschädigt werden. Bei Auftreten zusätzlicher Stressoren, z.B. Trockenheit bei einer Abfolge mehrerer niederschlagsarmer Sommer wie zuletzt in 1989-1993, ist zu befürchten, dass sich äußere Schäden infolge gestörter Wasser- und Nährstoffaufnahme sehr rasch wieder verstärken können.

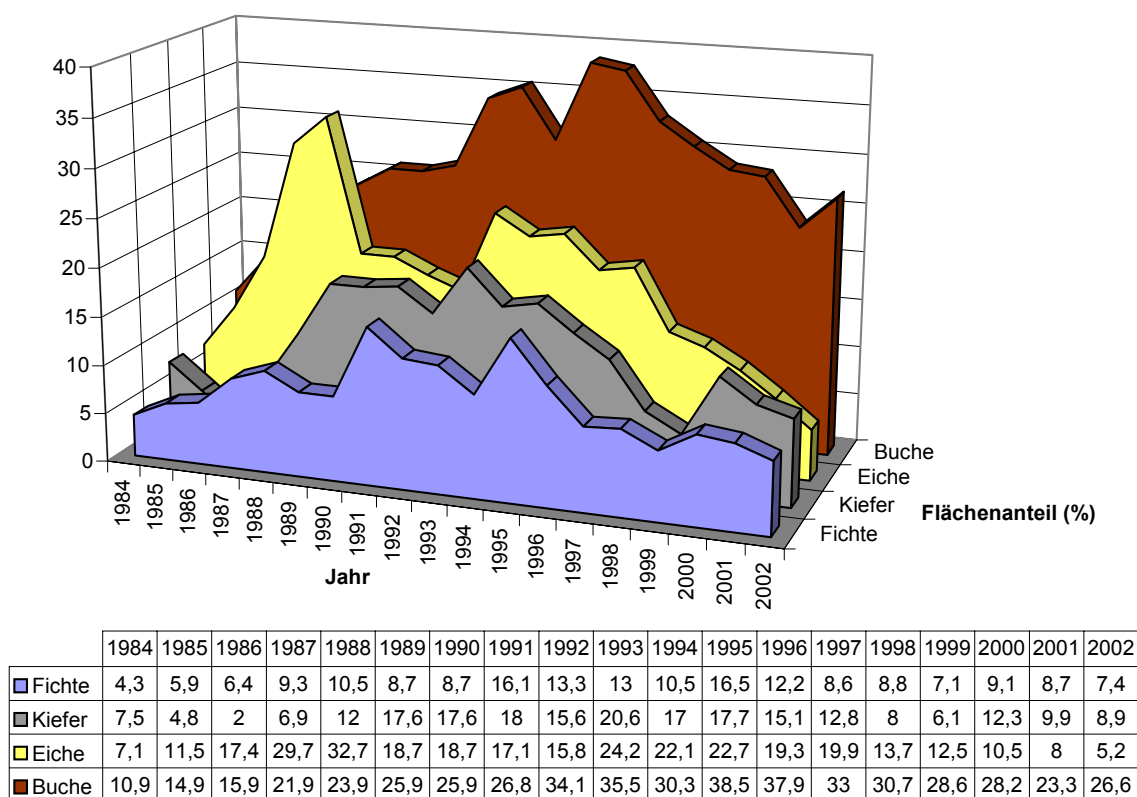
Die Schadentwicklung bei der Buche in diesem Jahr könnte diese Befürchtung bestätigen.

## Entwicklung der Waldschäden von 2000 auf 2002 im Überblick

	2001	2002
Gesamtschäden	48%	48%
deutliche Schäden	11%	11%
Buche	23%	26%
Eiche	8%	5%
Kiefer	10%	9%
Fichte	9%	7%
deutliche Schäden in älteren Beständen	21%	20%
deutliche Schäden in jüngeren Beständen	3%	3%

*Tabelle 1: Gesamtergebnis*

### Waldschadenserhebung 1984-2002 Deutliche Schäden der Hauptbaumarten



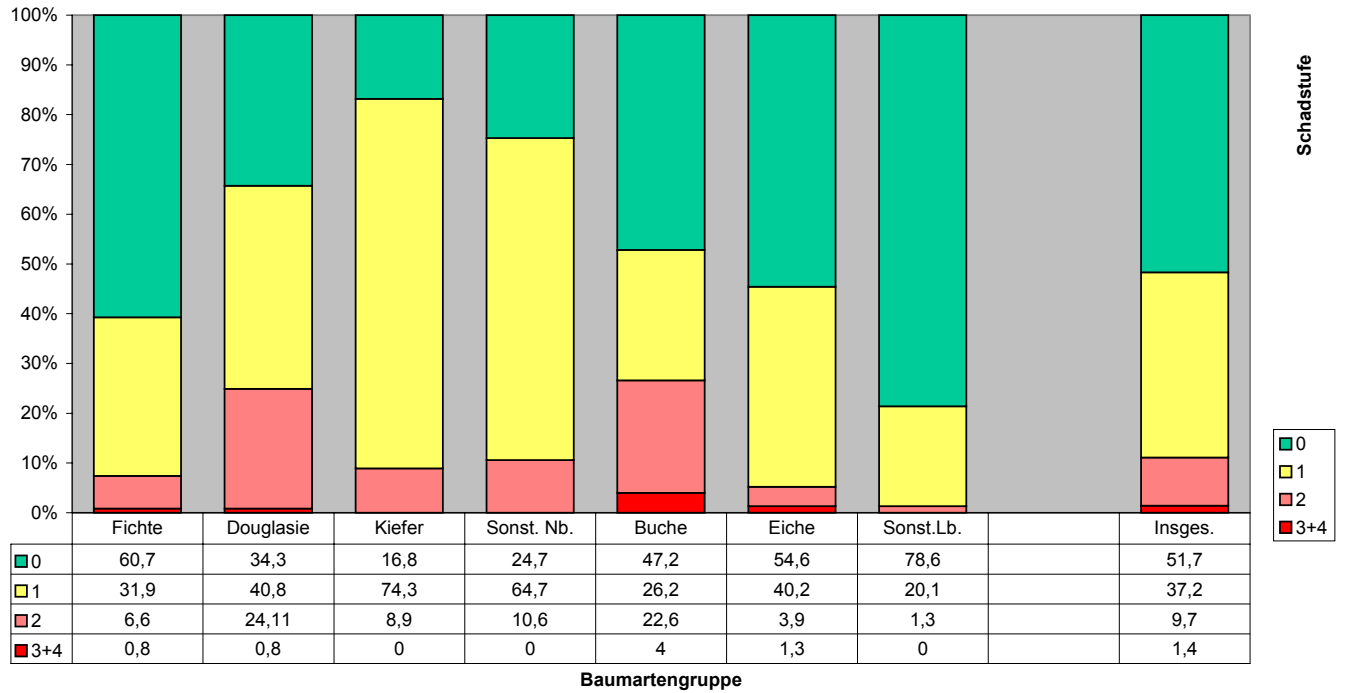
*Abb.1 Entwicklung der deutlichen Schäden seit 1984*

Entwicklung der Waldschäden seit 2001 nach Hauptbaumarten und Alterstufen										
Veränderung in Prozentpunkten										
Saarland										
Baumart	Jahr	bis 60 Jahre			über 60 Jahre			GESAMT		
		0	1-4	2-4	0	1-4	2-4	0	1-4	2-4
Fichte	2001	79,9	20,1	3,8	10,3	89,7	24,1	62,2	37,8	8,7
	2002	78,3	21,7	3,4	5,6	94,4	19,9	60,7	39,3	7,4
	Veränd.	-1,6	1,6	-0,4	-4,7	4,7	-4,2	-1,5	1,5	-1,3
Douglasie	2001	35,8	64,2	27,7	11,3	88,7	21,5	32,0	68,0	26,8
	2002	39,7	60,3	25,5	16,4	83,6	21,5	34,3	65,7	24,9
	Veränd.	3,9	-3,9	-2,2	5,1	-5,1		2,3	-2,3	-1,9
Kiefer	2001	39,0	61,0	1,1	11,6	88,4	13,0	18,7	81,3	9,9
	2002	22,7	75,3	2,0	14,7	85,3	11,4	16,8	83,2	8,9
	Veränd.	-16,3	14,3	0,9	3,1	-3,1	-1,6	-1,9	1,9	-1,0
Sonstige Nadelbäume	2001	22,6	77,4	8,0	47,9	52,1	3,6	28,7	71,3	6,9
	2002	21,5	69,8	8,7	29,4	70,6	13,3	24,7	75,3	10,6
	Veränd.	-1,1	-7,6	0,7	-18,5	18,5	9,7	-4,0	4,0	3,7
Buche	2001	97,4	2,6		21,1	78,9	38,0	50,7	49,3	23,3
	2002	95,7	4,3		16,8	83,2	43,2	47,2	52,8	26,6
	Veränd.	-1,7	1,7		-4,3	4,3	5,2	-3,5	3,5	3,3
Eiche	2001	81,2	18,8	2,2	27,7	72,3	11,9	49,6	50,4	8,0
	2002	88,5	9,6	1,6	31,5	68,5	7,4	54,6	45,4	5,2
	Veränd.	7,3	-9,2	-0,6	3,8	-3,8	-4,5	5,0	-5,0	-2,8
Sonstige Laubbäume	2001	83,1	16,9	1,1	56,7	43,3	5,1	78,0	22,0	1,9
	2002	85,9	14,0	0,4	55,9	44,1	4,1	78,6	21,4	1,3
	Veränd.	2,8	-2,9	-0,7	-0,8	0,8	-1,0	0,6	-0,6	-0,6
Alle Baumarten	2001	75,5	24,5	3,3	23,7	76,3	20,6	51,8	48,2	11,2
	2002	77,2	22,8	3,4	23,3	76,7	19,7	51,7	48,3	11,1
	Veränd.	1,7	-1,7	0,1	-0,4	0,4	-0,9	-0,1	0,1	-0,1

Tabelle 2: Veränderung der Waldschäden seit 2001



**Waldschadenserhebung 2002 Saarland  
Vergleich der Baumartengruppen  
Schadstufenanteile in % der Baumartenfläche**



*Abb.2 Schädigung der Baumartengruppen im Vergleich*

**Waldschadenserhebung 1984-2002: Alle Baumarten und Alterstufen**

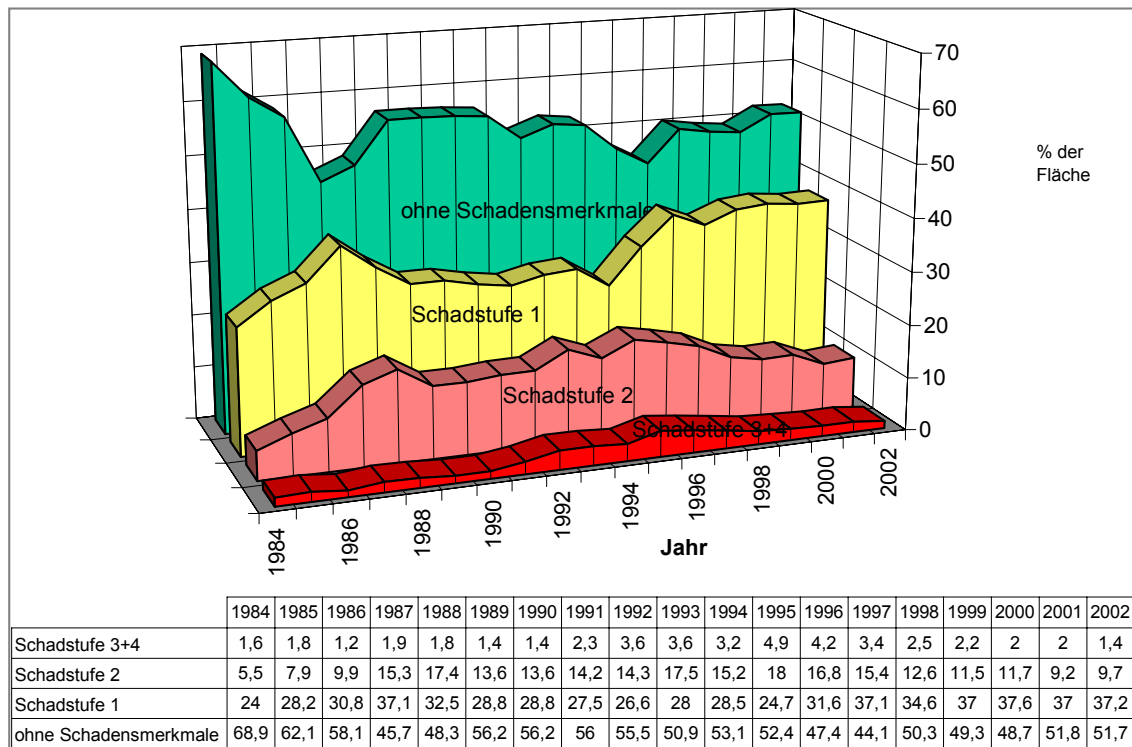


Abb. 3 Entwicklung der Schäden seit 1984 für alle Baumarten nach Schadstufen

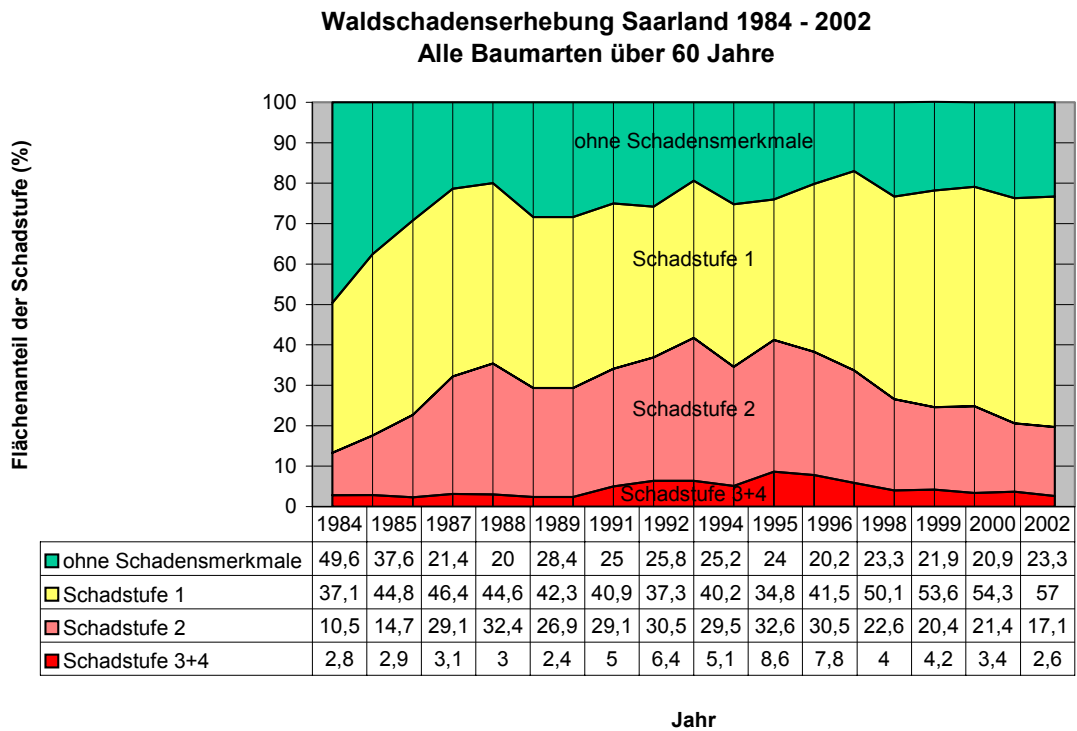


Abb. 4 : Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Bäume über 60 Jahre

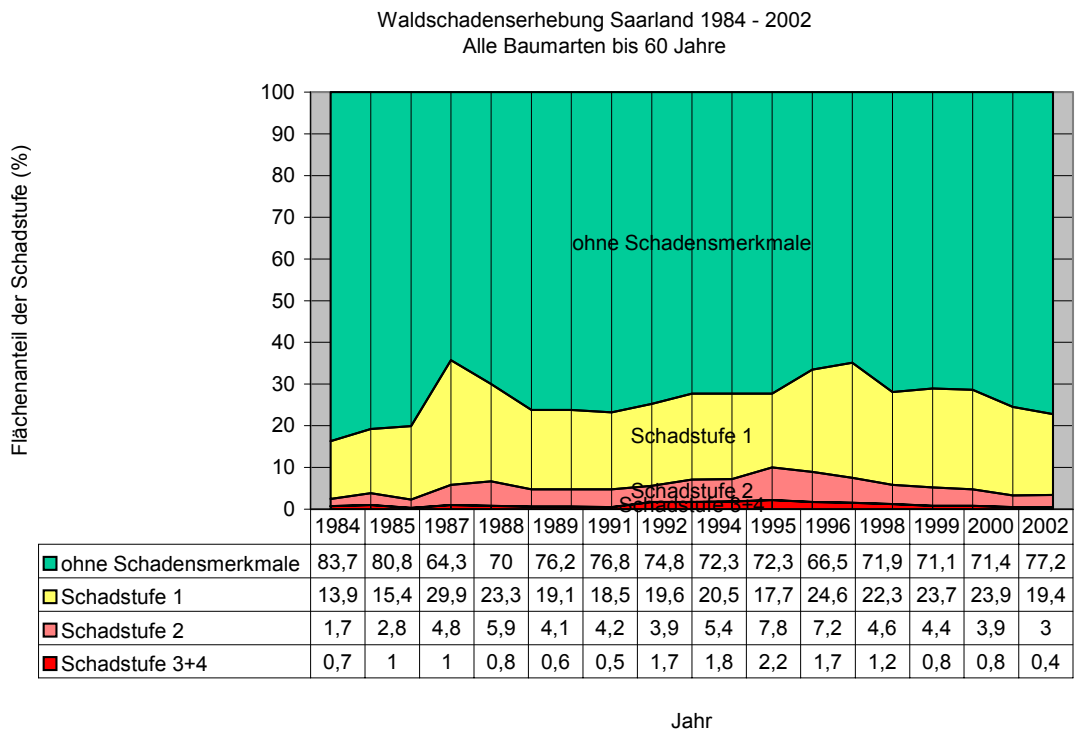


Abb. 5: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Bäume unter 60 Jahre

## Bewertung der Schadenssituation bei den Baumarten im Einzelnen:

### Buche

Die Buche ist im Saarland mit 23 % Flächenanteil die wichtigste Baumart und zugleich Leitbaumart der natürlich vorkommenden Waldgesellschaften.

#### Ausgangssituation:

Seit Beginn der Waldschadensuntersuchungen im Jahr 1984 nahmen die deutlichen Kronenschäden bei der Buche kontinuierlich zu und erreichten 1995 mit 39 % einen Höchststand. In den Folgejahren war bis 2001 insgesamt ein stetiger Rückgang zu verzeichnen. Auf diese Entwicklung hatten die Witterungsbedingungen hohen Einfluss: Trockensommer bis Mitte der 90er Jahre wirkten wiederholt durch zusätzlichen Trockenstress vitalitätsmindernd, während in den letzten Jahren mit hohen Sommerniederschlägen eher günstige Wachstumsbedingungen herrschten.

Der Schadensschwerpunkt konzentriert sich auf die älteren Bestände mit gravierenden, oft auch strukturellen Kronenschäden. Gemildert wurden diese in den letzten Jahren durch die Bildung sekundärer Kronenäste im mittleren bis unteren Kronenbereich. Mit Ausbrechen abgestorbener Äste aus der Oberkrone wirken diese Bäume dann oft vitaler als es ihrer tatsächlichen Schadentwicklung entspricht.

Die Wurzelstöcke durch Sturm geworfener Buchen lassen erkennen, dass vielfach starke Wurzelschäden auftreten und die Standfestigkeit der Bäume stark vermindert ist. Oft sind nur noch flache Wurzelteller ausgebildet und tieferreichende stärkere Senkerwurzeln nicht mehr vorhanden oder abgestorben. Diese Absterbeprozesse können mit den versauerungsbedingt erhöhten Konzentrationen von wurzeltxischem Mangan und Aluminium zusammenhängen. Oftmals konzentrieren sich die Feinwurzeln nur noch auf die obersten Bodenschichten.

#### Die aktuelle Entwicklung seit 2001

Wichtigstes Ergebnis der diesjährigen Erhebung ist, daß die deutlichen Schäden wieder zugenommen haben. Betroffen sind ausschließlich die älteren Buchen mit einer Steigerung um 5 Prozentpunkte auf 43%. Vitalitätsmindernde Verlichtungen zeigten sich bereits in der Trockenphase im Frühsommer durch örtlichen Abwurf grüner Blätter oder Verminderung der Assimilationsoberfläche durch Einrollen. Bereits im August traten dann wesentlich stärker als in den Vorjahren Blattvergilbungen in den oberen Kronenbereichen auf, allerdings ohne großen Einfluss auf die Schadeinstufung.

Außerdem führte in diesem Jahr eine starke Fruchtbildung zu einer zusätzlichen Belastung der Bäume durch zusätzliche Bindung von Wasser und Nährstoffen. Stark fruktifizierende Buchen erscheinen weniger vital durch die Ausbildung weniger und kleinerer Blätter.

Die Schadenssituation der Buchenaltbestände bleibt daher nach wie vor besorgniserregend. Die schweren Schäden (Schadstufe 3+4) nehmen immer noch einen Stand von 6% ein. Die deutliche Reaktion der Bäume auf die niederschlagsärmere Phase im Frühsommer weist auf Störungen von Wasser- und Nährstoffaufnahme infolge Wurzelschädigungen und eine verstärkte Gefährdung in Trockenjahren hin.



Abb.6: Entwicklung der Waldschäden der Buche seit 1984

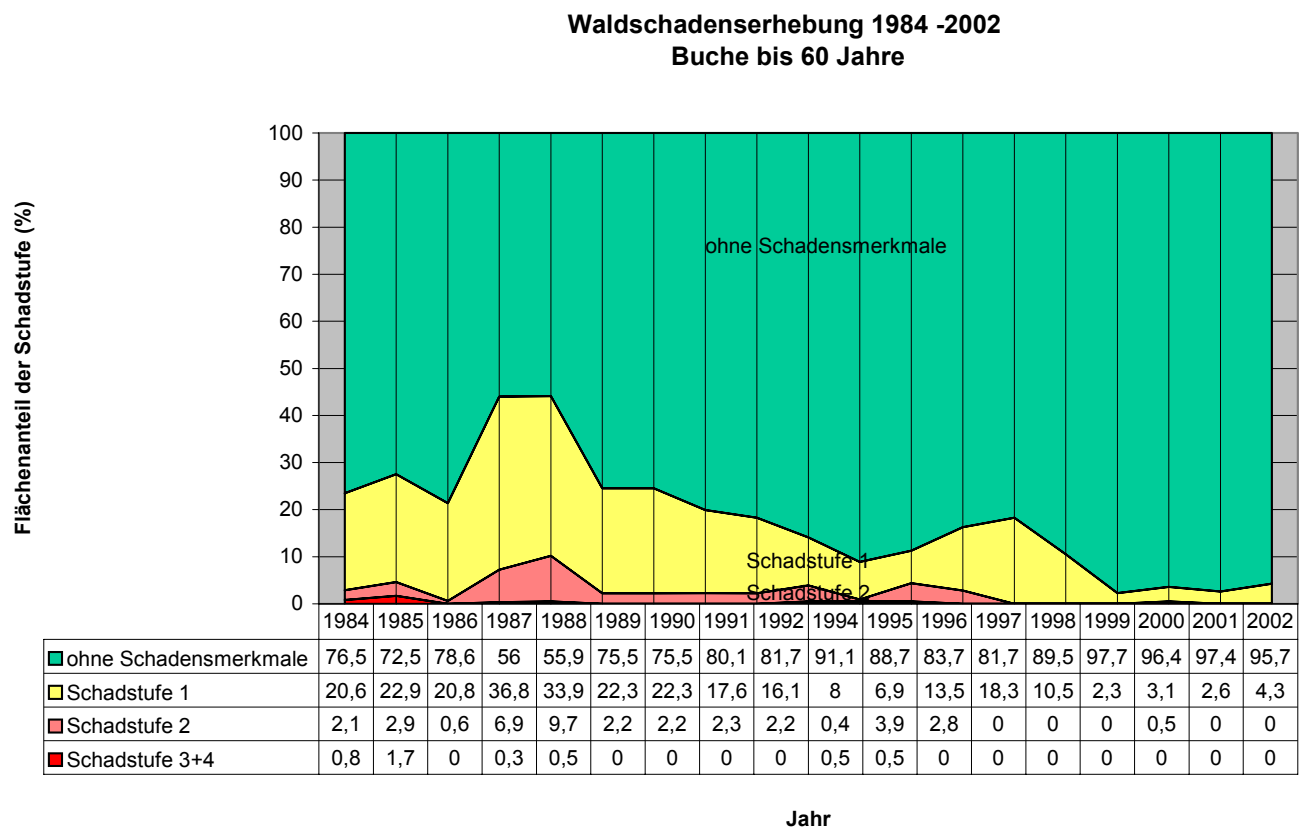
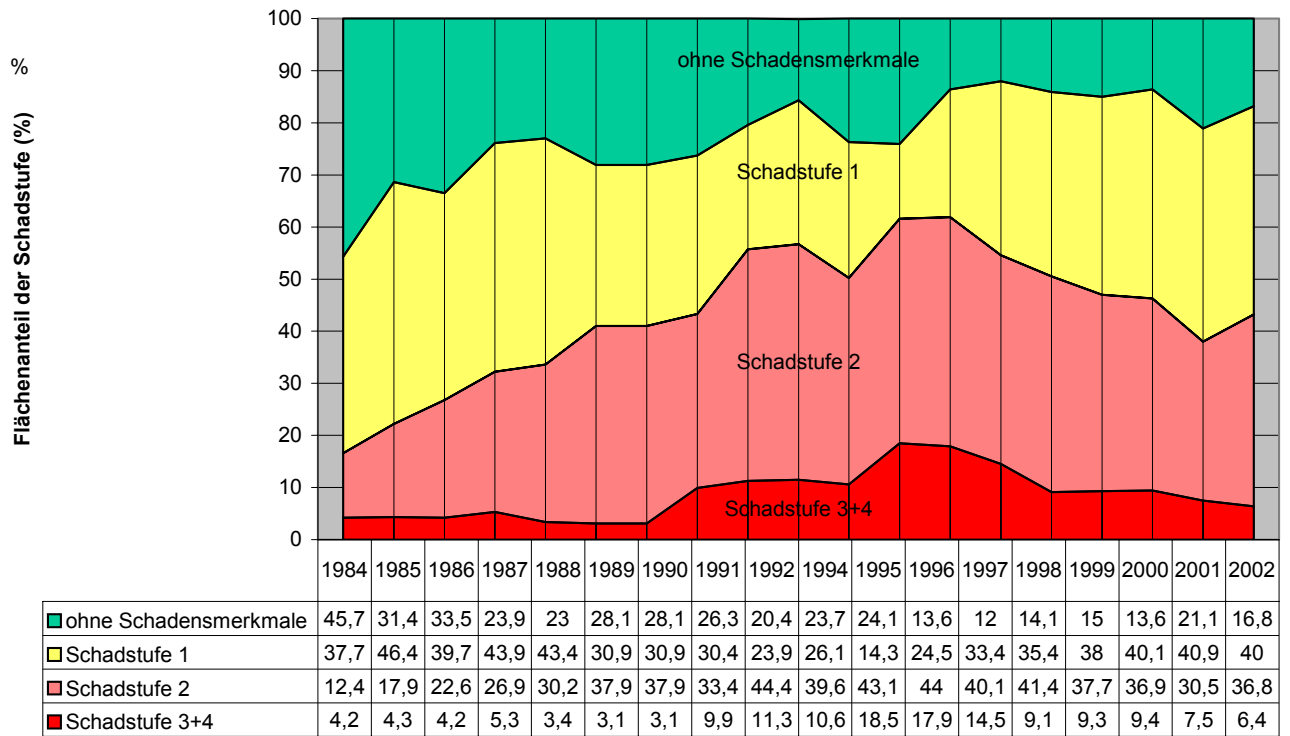


Abb.7: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Buche bis 60 Jahre

**Waldschadenserhebung 1984 -2002  
Buche über 60 Jahre**



*Abb.8: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Buche über 60 Jahre*

# Eiche

## Weiterer Rückgang der Schäden

Seit Beginn der systematischen Erfassung von Waldschäden ist die Schadentwicklung der Eiche sehr stark durch wiederholt auftretenden Befall blattfressender Insekten, insbesondere von Eichenwickler und Frostspanner geprägt. Diese Kalamitäten erfolgten sporadisch, in den Jahren 1995 bis 1997 als ausgeprägte Kalamität bis hin zum Kahlfraß, und bewirkten erhebliche Vitalitätsminderungen, da die Bäume auf starke Fraßschäden mit einem erneuten Austrieb im gleichen Jahr, meistens jedoch auch mit einer verminderten Blattmasse reagierten.

Seit 1998 blieb dieser Schädlingsbefall weitgehend aus; insbesondere in jüngeren Beständen regenerierten sich die Kronen bei gleichzeitig günstiger Witterung mit hohem Niederschlagsangebot.

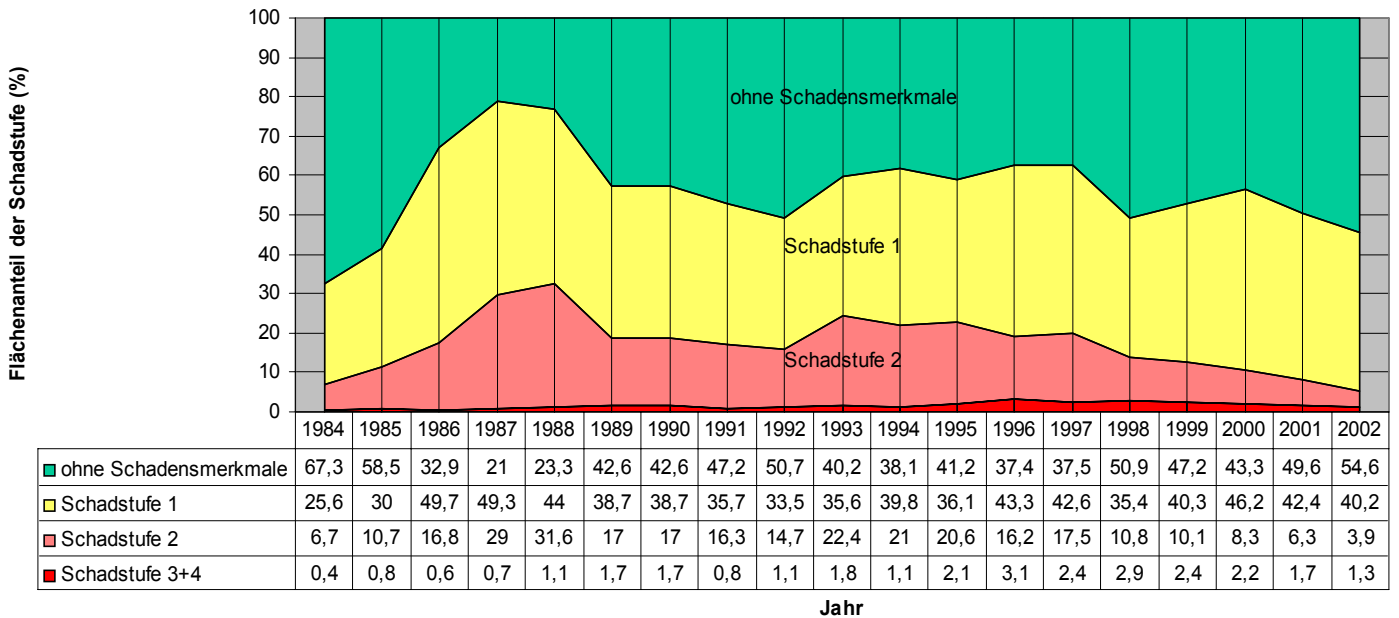
Die deutlichen Schäden bei der Eiche sind nach einem Höchststand von 33 % im Jahre 1988 auf 5% gesunken (2002 - 3%-Punkte). Der Anteil deutlicher Schäden in den älteren Eichen beträgt 7 %, in den jüngeren nur noch 2 %.

Bei einem hohen Anteil der schwachen Schäden (Schadstufe 1) liegt der Anteil der ungeschädigten Eichen insgesamt bei 55% (+ 5 Prozentpunkte gegenüber dem Vorjahr).

Deutliche Schäden bei der Eiche zeigen sich häufig durch das Auftreten von Trockenästen in der Oberkrone und einer büschelartigen Belaubung mit größeren Lücken im Kronendach. Mehr noch als die Buche besitzt die Eiche auch noch im höheren Alter die Fähigkeit, abgestorbene oder stark geschädigte Kronenteile durch die Bildung sekundärer Triebe im unteren Kronenbereich zu ersetzen. Auch stark vorgeschädigte Eichen können somit ihre Assimilationsmasse wieder vergrößern.

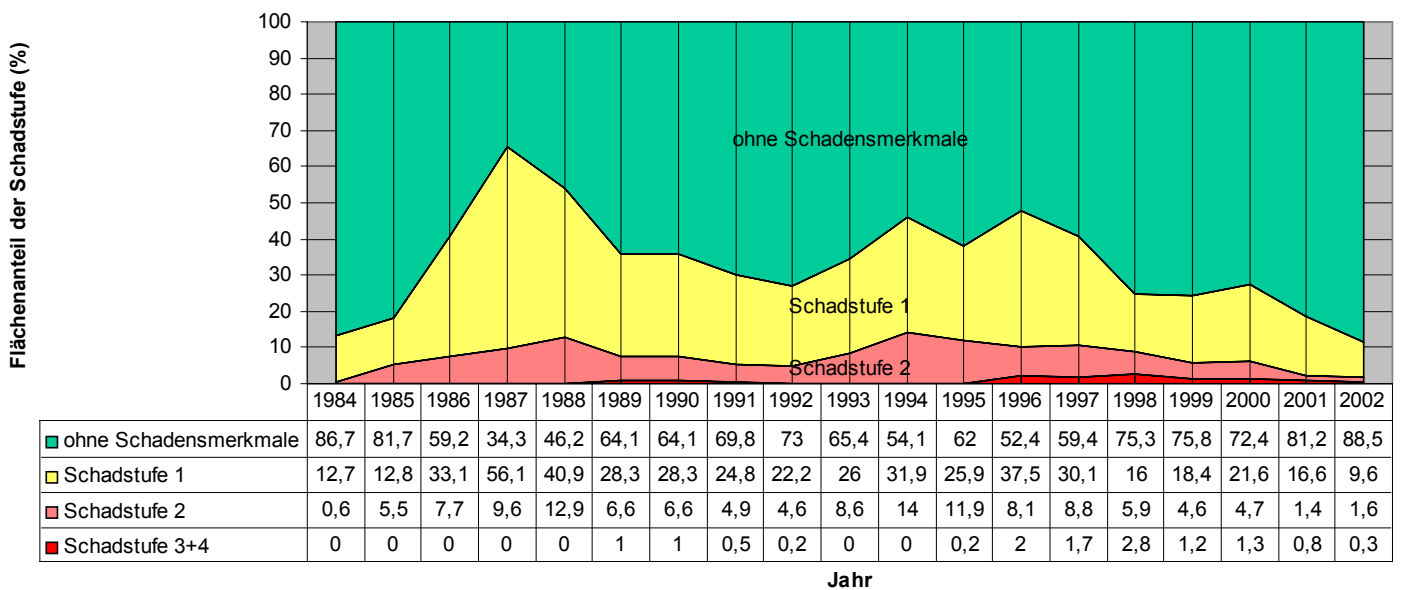
Flächenmäßig zwar weniger bedeutend, vom wirtschaftlichen und ökologischen Schaden jedoch gravierend ist das "Eichensterben". Dabei sterben in älteren Eichenbeständen einzelne Bäume, häufig bislang vitale und großkronige Eichen, nach Aufreißen der Rinde und Schleimfluß innerhalb von 2-3 Jahren ab. Die Ursachen des Eichensterbens sind nicht vollständig geklärt; häufig ist mindestens sekundär der Eichenprachtkäfer beteiligt, der durch querlaufende Fraßgänge seiner Larven die Nährstoff- und Wasserleitung unterbindet.

**Waldschadenserhebung 1984-2002  
Eiche insgesamt**



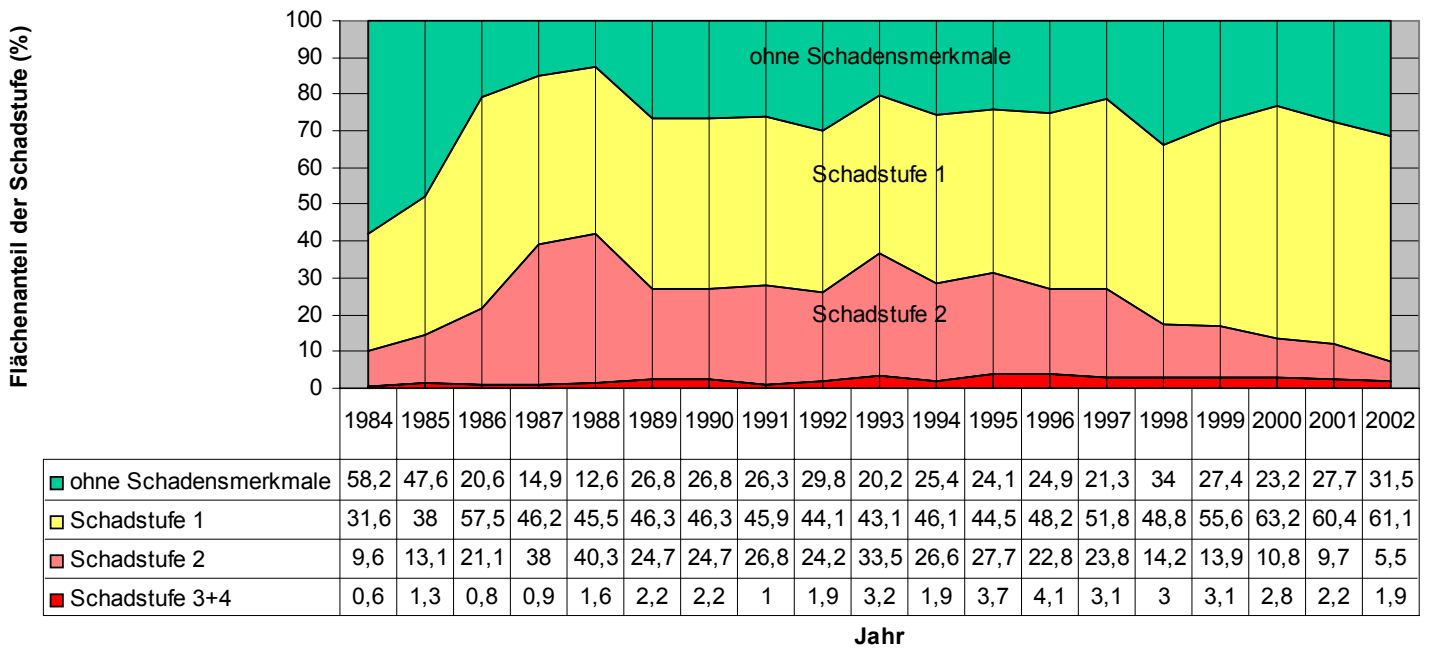
*Abb.9: Entwicklung der Waldschäden der Eiche seit 1984*

**Waldschadenserhebung 1984-2002  
Eiche bis 60 Jahre**



*Abb.10: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Eiche bis 60 Jahre*

### Waldschadenserhebung 1984-2002 Eiche über 60 Jahre



*Abb.11: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Eiche über 60 Jahre*



## Fichte

Die Fichte ist die Baumart, bei der ein Zusammenhang zwischen Schadstoffimmissionen, Bodenversauerung und Kronenschäden am besten untersucht und dokumentiert wurde. Im Saarland wurden schon in den 60er Jahren Rauchschadenszonen ausgeschieden, die den Anbau der Fichte einschränkten.

Die ersten Waldschadensuntersuchungen Anfang der 80er Jahre konzentrierten sich im Wirkungsbild zunächst auf die Fichte. Später verlagerte sich der Schadensschwerpunkt auf das Laubholz, insbesondere auf die älteren Bäume. Diese Entwicklung hängt v.a. von der Altersstruktur der Fichte im Saarland ab: Als nicht standortheimische Baumart erreicht die Fichte im Saarland nicht ihre natürliche Altersgrenze. Da jedoch die Schäden mit zunehmendem Alter i.d.R. ansteigen, werden die hohen Schadprozentage der natürlichen Verbreitungsgebiete der Fichte nicht erreicht. Mit den Sturmwürfen des Jahres 1990 wurde die Altersstruktur der Fichte zusätzlich verändert. Den Stürmen fielen hauptsächlich die älteren und die standörtlich labilsten Bestände zum Opfer.

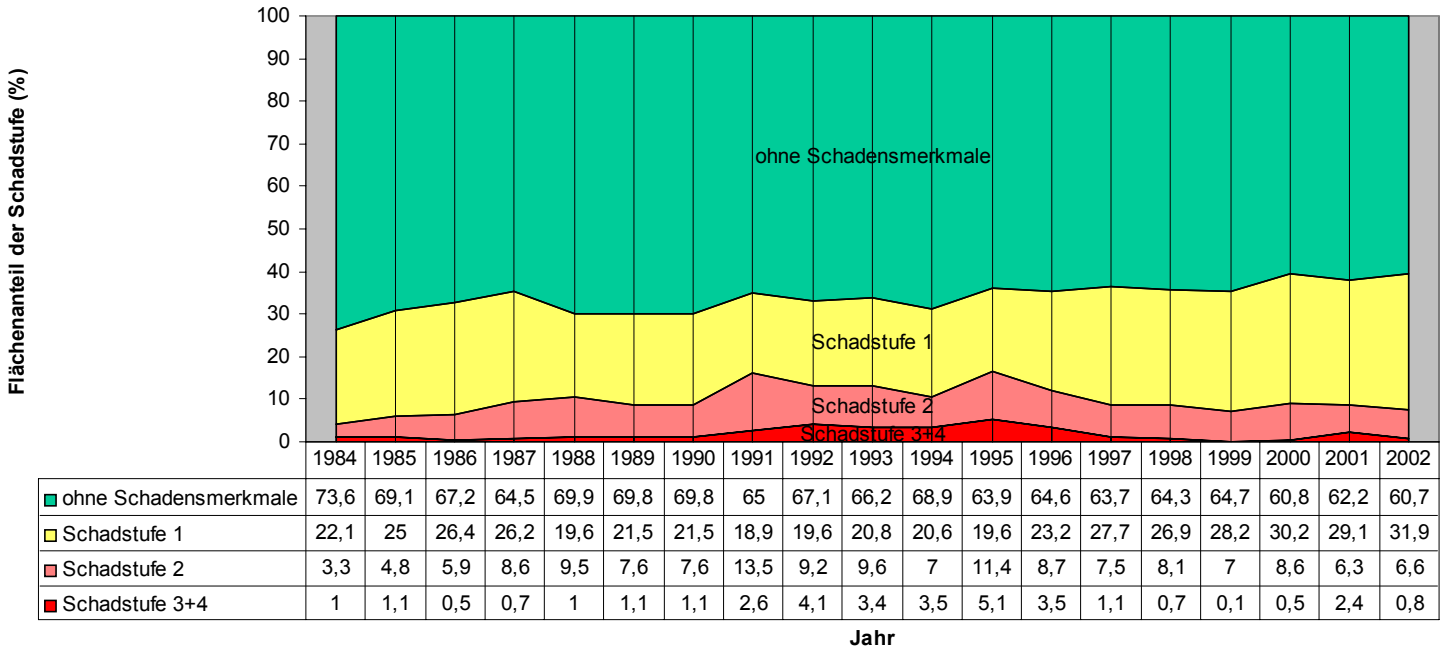
Bei den nach den Sturmwürfen verbliebenen Fichten verstärkten sich zunächst die Kronenschäden durch Folgewirkungen wie Borkenkäferbefall, Schäden durch plötzliche Freistellung (Untersonnung) und Wasserstreß durch Wurzelabrisse. 1995 erreichten die deutlichen Schäden mit 17 % ihr Maximum.

### Schäden auf dem Niveau der letzten Jahre

Mit geringen Schwankungen bleiben die Schäden bei der Fichte auf dem Niveau der letzten Jahre. Von 2001 auf 2002 ist wieder ein leichter Rückgang der deutlichen Schäden zu verzeichnen, sie liegen jetzt in Altbeständen bei 20% (-4 %-Punkte), jüngeren bei unverändert bei 3%, insgesamt bei 7 % (-1 %-Punkt).

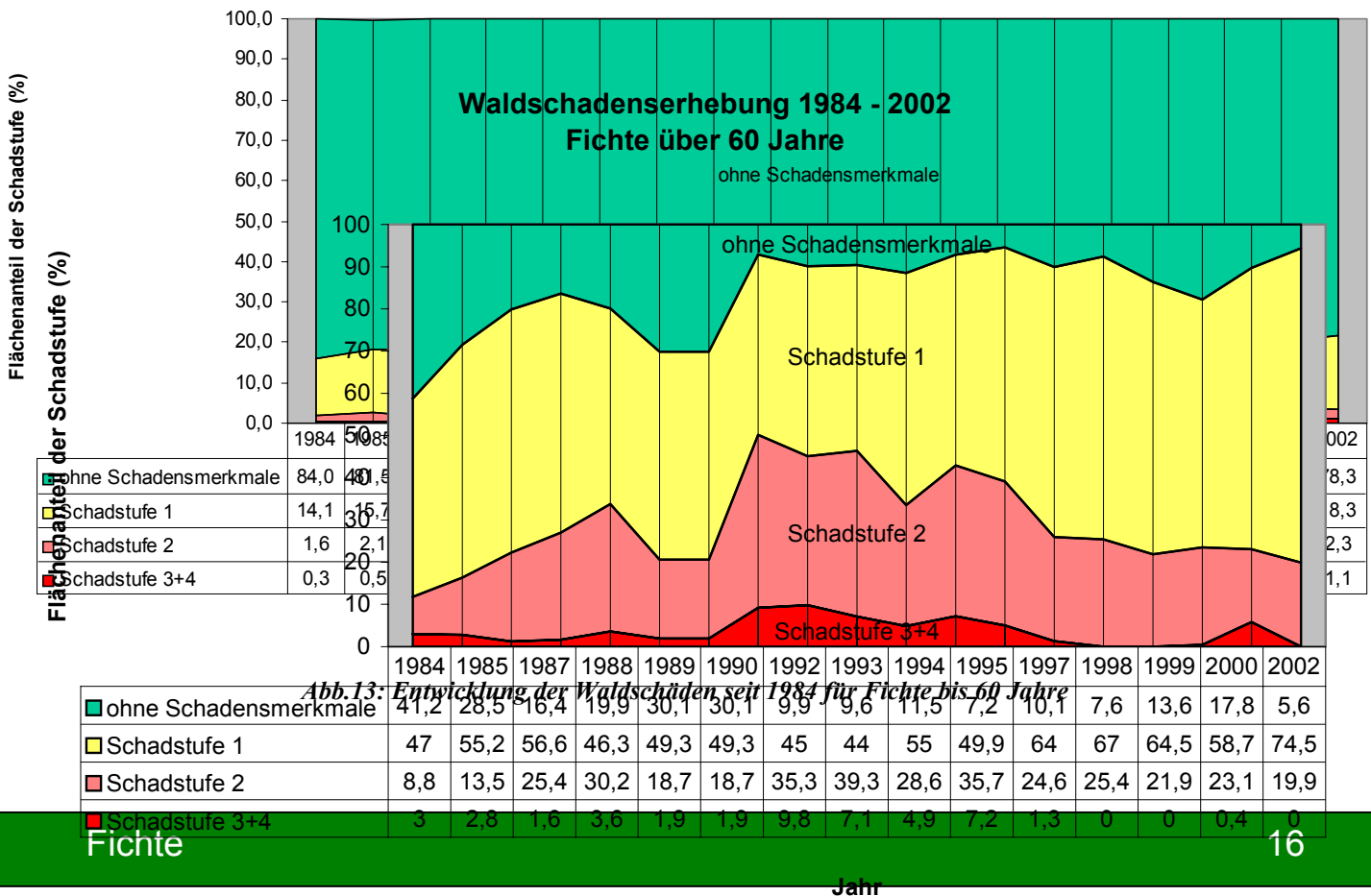
Allerdings kommt es v.a. bei den älteren Fichten zu einer Ausweitung der schwachen Schäden (Schadstufe 1), und zwar nicht nur durch eine Verschiebung von der Schadstufe 2 zu 1, sondern auch durch eine Verringerung der Bäume ohne Schadsymptome auf 6% (-5%-Punkte). Günstiger sieht es in unter 60jährigen Beständen mit einem Anteil von 78% gesunder Bäume aus. Im Mittel aller Altersstufen liegt der Anteil ungeschädigter Fichten bei 61%.

**Waldschadenserhebung 1984 - 2002  
Fichte insgesamt**



*Abb.12: Entwicklung der Waldschäden der Fichte seit 1984*

**Waldschadenserhebung 1984 - 2002  
Fichte bis 60 Jahre**



*Abb.13: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Fichte bis 60 Jahre*

*Abb.14: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Fichte über 60 Jahre*

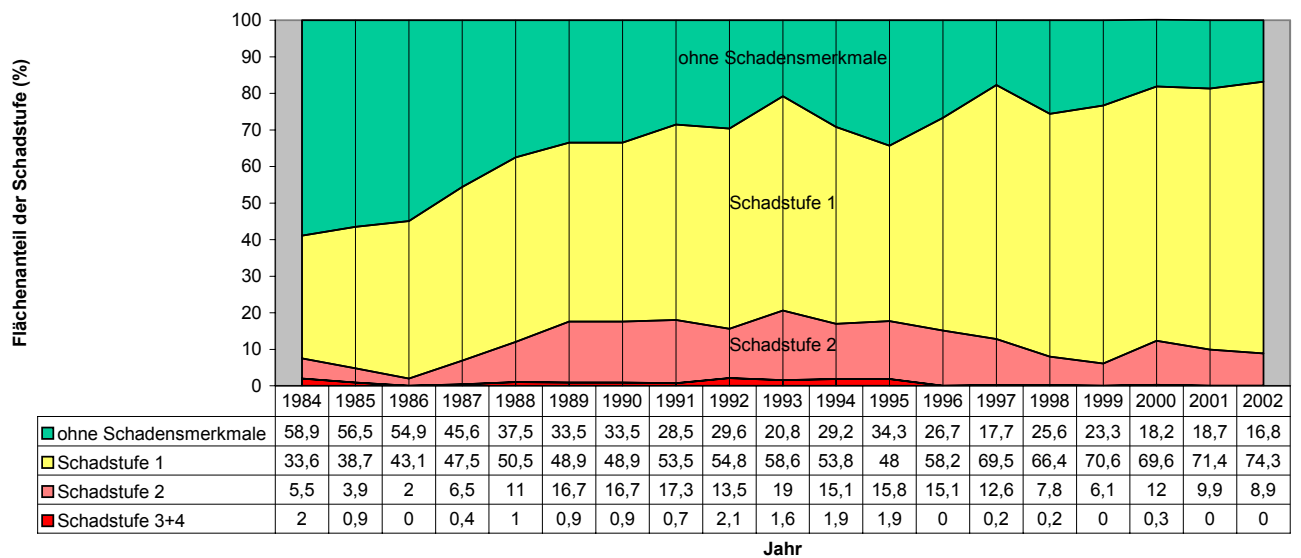
## Kiefer

Von allen Hauptbaumarten hat die Kiefer mit 74 % den höchsten Stand von leichten, eher unspezifischen Schäden (Schadstufe 1); der Anteil deutlicher Schäden bleibt nach dem Schadensanstieg des Jahres 2000 mit 9 % auf dem Niveau von 2001. Der Anteil von Bäumen ohne Schadsymptome reduzierte sich im Gesamtergebnis um 2 %-Punkte auf 16%.

Wesentliche Veränderungen gegenüber 2001 ergaben sich v.a. in der weiteren Zunahme der Schadstufe 1 in unter 60jährigen Beständen (+15 %-Punkte).

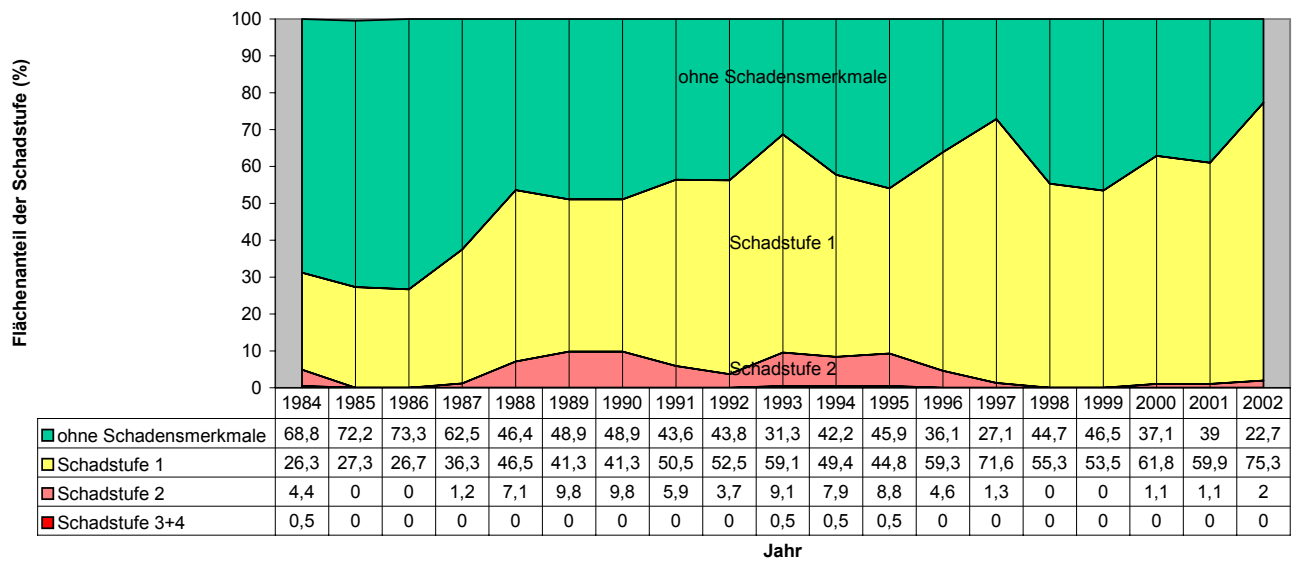
Zu derartigen größeren Sprüngen bei der Kiefer kommt es auch deswegen, weil bei der Vitalitätsansprache die Zahl der Nadeljahrgänge eine wichtige Rolle spielt. Gesunde jüngere Kiefern haben im Sommer normalerweise volle 4, ältere Kiefern volle 3 Nadeljahrgänge. Auftretende aktuelle Nadelverluste betreffen häufig größere Teile eines Nadeljahrgangs gleichzeitig.

**Waldschadenserhebung 1984 - 2002  
Kiefer insgesamt**



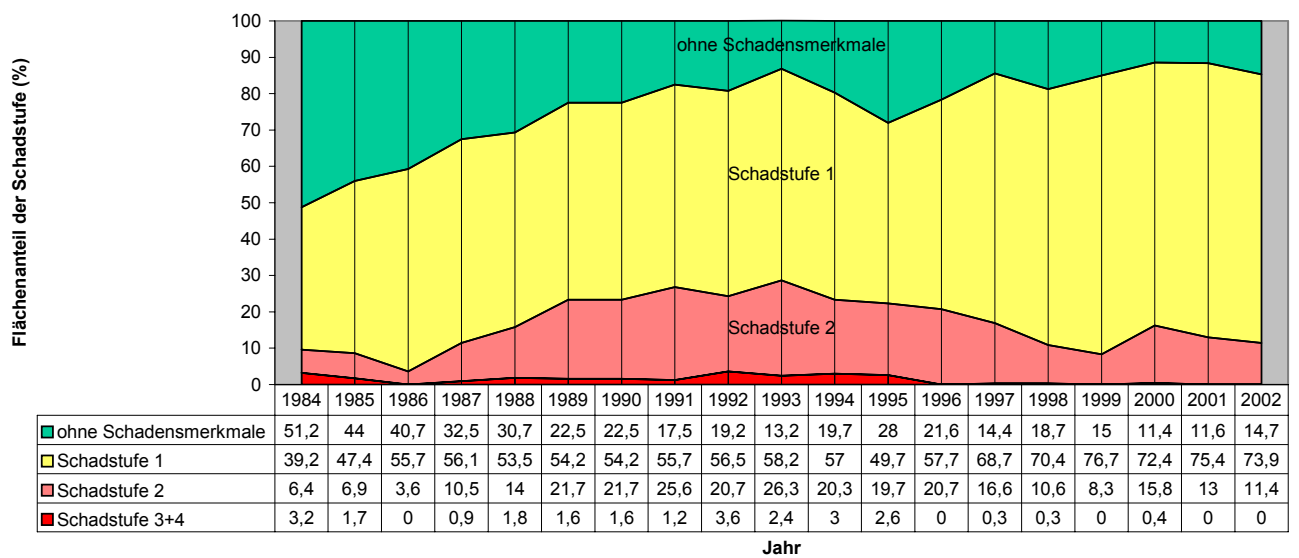
*Abb.15: Entwicklung der Waldschäden der Kiefer seit 1984*

**Waldschadenserhebung 1984 - 2002  
Kiefer bis 60 Jahre**



*Abb.16: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Kiefer bis 60 Jahre*

**Waldschadenserhebung 1984 - 2002  
Kiefer über 60 Jahre**



*Abb.17: Entwicklung der Waldschäden seit 1984 für Kiefer über 60 Jahre*

## Der Einfluss der Witterung

Die Waldschadenserhebung erfasst Schadensmerkmale unabhängig von ihrer Ursache. Die Vitalitätsmerkmale hängen von einer Vielzahl einzelner Faktoren ab, die im Komplex wirken und in ihrer Wirkung nicht im einzelnen zu trennen sind: biotische und abiotische Schäden, Schäden in Folge direkter oder indirekter Wirkungen von Schadstoffeinträgen. Auch der Witterungsverlauf spielt eine bedeutende Rolle: Bäume reagieren sehr rasch auf Witterungsextreme, v.a. auf Trockenheit. Die Anfälligkeit gegenüber Trockenstress kann dabei z.B. durch vorangegangene Wurzelschäden erhöht sein. Umgekehrt können sich längere Phasen mit guter Wasserversorgung positiv auswirken. Eine Einschätzung des Einflusses der Witterung ist daher für die Betrachtung der allgemeinen Schadentwicklung wichtig.

Die Niederschlagsentwicklung der letzten Jahre hat das Waldwachstum begünstigt. Seit einer Folge von Jahren mit unterdurchschnittlichem Jahresniederschlag 1989-1992 liegen die Jahresniederschlagswerte seit 1993 im langjährigen Jahresdurchschnitt oder darüber, ausgenommen das Jahr 1996. Das Jahr 2001 lag mit 1133 mm deutlich über dem Durchschnitt.

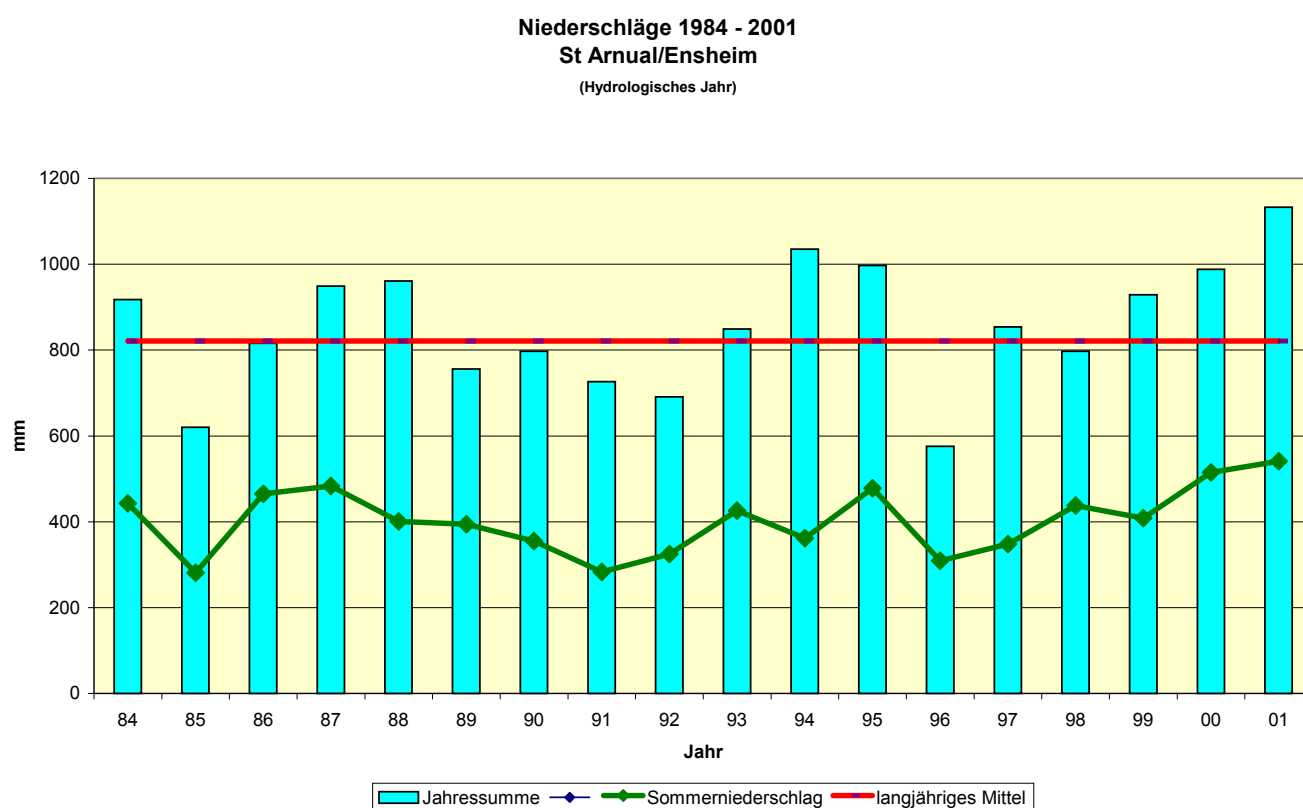


Abb.18 Niederschlagssumme Jahresniederschlag 1984-2001



Neben der Jahressumme spielt bei Beurteilung der Wasserversorgung die Niederschlagsentwicklung im Monatsgang eine große Rolle. Niederschlagsdefizite v.a. in der Vegetationsperiode mit Verringerung der Bodenfeuchte können kurzfristig zu Trockenstress führen.

Im Monatsgang treten insbesondere seit Anfang 1999 die niederschlagsarmen Perioden seltener und in geringerer Dauer als in den Vorjahren auf.

Frühjahr und Frühsommer 2002 waren im Saarland allerdings wesentlich zu trocken. Im April fielen 38%, im Mai 42% und im Juni gar 76% weniger Regen als im langjährigen Mittel. Erst im Juli und August wurden normale Werte erreicht. Insbesondere bei der Buche traten äußere Schadsymptome auf, die deutlich auf Trockenstress in dieser Periode hinweisen (vorzeitiger Blattabwurf, Kleinblättrigkeit, eingerollte Blätter, Blattvergilbungen).

Monatsniederschlag St. Johann/Ensheim

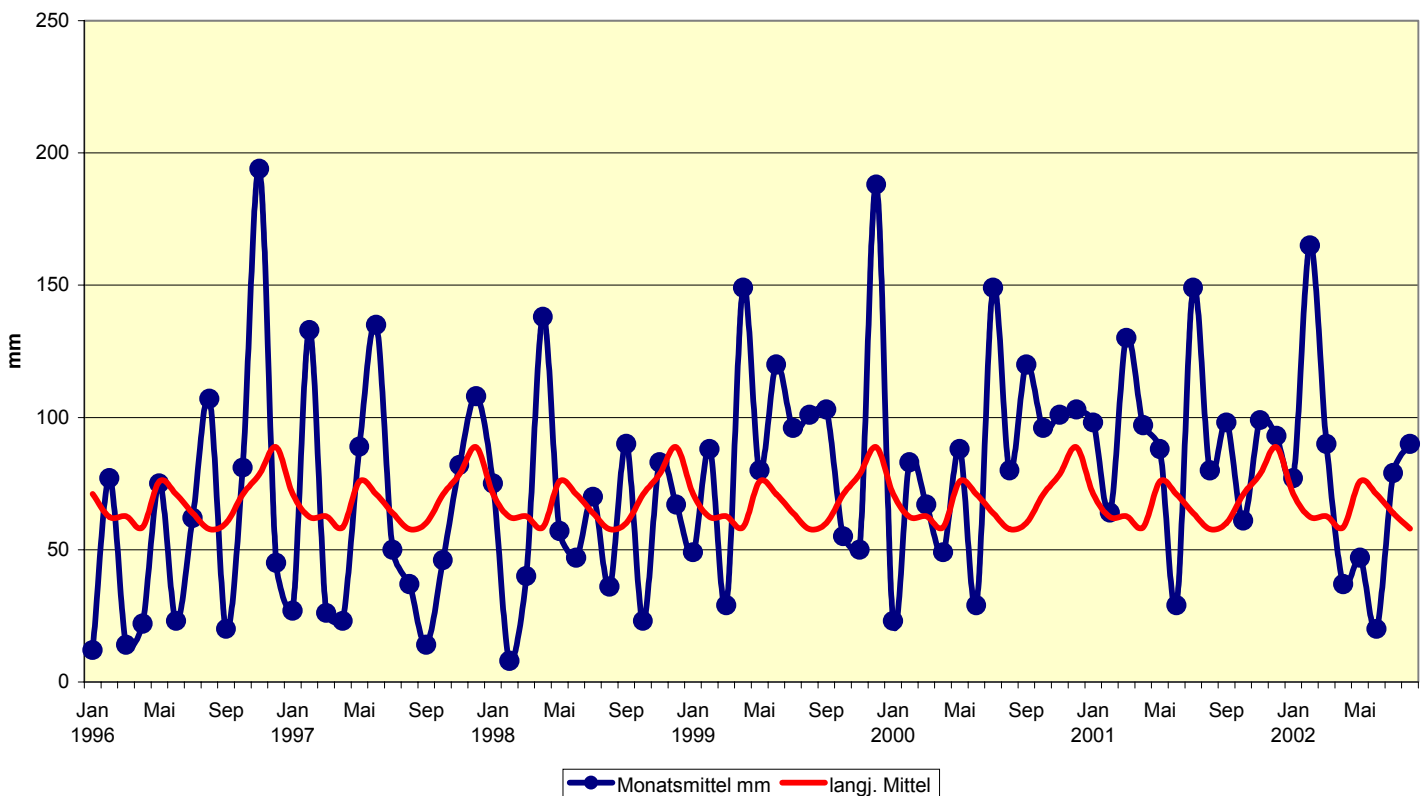


Abb.19: Monatsniederschlag 1996 - Juni 2002

Verfahren und Durchführung der Waldschadenserhebung

Die Waldschadenserhebung erfolgt nach bundesweit einheitlichen Kriterien durch Ansprache des Gesundheitszustandes von Einzelbäumen nach äußeren Merkmalen, insbesondere nach dem Belaubungszustand.

**Stichprobe** 96 Stichprobenpunkte im 2x4-km-Raster mit jeweils 24 zufällig ausgewählten ständigen Einzelbäumen = 2304 Probebäume

**Aufnahmezeit** Ende Juli bis Mitte August

**Schadens-  
einschätzung** Bundeseinheitlich nach äußeren Merkmalen (Nadel- bzw. Blattverlust) sowie Vergilbung am Einzelbaum

**Schadein-  
stufung** Schadstufe 0 = ohne äußere Schadmerkmale –10% Blatt-Nadelverlust.  
Schadstufe 1 = schwach geschädigt 10-25% Blatt-Nadelverlust  
Schadstufe 2 = mittelstark geschädigt 26-60% Blatt-Nadelverlust  
Schadstufe 3 = stark geschädigt 61-99% Blatt-Nadelverlust  
Schadstufe 4 = abgestorben

Darüber hinaus werden auftretende Vergilbungen von mehr als 25% der Blatt-Nadelmasse in der Schadeinstufung berücksichtigt.  
(Die besonders aussagefähigen Schadstufen 2-4 werden als "deutliche Schäden" zusammengefasst.)

**Zusatzun-  
tersuchung** Einschätzung des Befalls biotischer Schadorganismen:

- Borkenkäfer
- Buchenspringrüssler
- Kieferngroßschädlinge
- Eichenwickler und Frostspanner
- sonstige Insekten und Schadpilze

**Durchführung** SaarForst Landesbetrieb

## Ersatz von Probebäumen

Die Waldschadenserhebung ist eine Stichprobenerhebung mit einer festen Zahl an Aufnahmepunkten und Probebäumen. Scheiden Stichprobenbäume aus dem Aufnahmekollektiv aus, z.B. durch Nutzung oder auch Absterben, werden statt dessen nächststehende Ersatzbäume aufgenommen. Es stellt sich die Frage, inwieweit die langjährige Waldschadensstatistik etwa dadurch beeinflusst wird, daß abgestorbene oder aufgrund mangelnder Vitalität vorzeitig genutzte Bäume durch andere, eventuell vitalere ersetzt werden.

Tab.3 zeigt den Anteil ausgeschiedener und ersetzter Probebäume am Aufnahmekollektiv (2304 Probebäume) seit 1991. Es wird deutlich, daß in normalen Jahren der Anteil der ersetzten Bäume bei jährlich unter 2 bis 3% liegt. Der hohe Wert von 18,2% des Jahres 1991 ist die Folge der Sturmwürfe 1990 und verschiebt den Mittelwert auf 3,5%. Im Jahr 2002 wurden 2,7 % der Probebäume ersetzt.

Jahr	Ersatzbäume in %
1991	18,2
1992	2,5
1993	3,0
1994	1,4
1995	4,4
1996	1,4
1997	1,4
1998	1,3
1999	1,9
2000	1,9
2001	1,8
2002	2,7
1991-2002	41,9
Mittel	3,5

*Tabelle 3: Anteil ausgeschiedener und ersetzter Probebäume in Prozent des Aufnahmekollektivs 1991-2002*

Der Anteil der ersetzten Ersatzbäume liegt damit unter dem jährlichen Stichprobenfehler und kann allein von der Größenordnung ein Jahresergebnis nur sehr geringfügig beeinflussen.

Abb. 20 zeigt für den Zeitraum von 12 Erhebungsjahren die Verteilung der Ersatz- und Entnahmebäume auf die Schadstufen 1-4 im Vergleich.

### Ersatz- und Entnahmebäume nach Schadstufen

WSE1991 - 2002

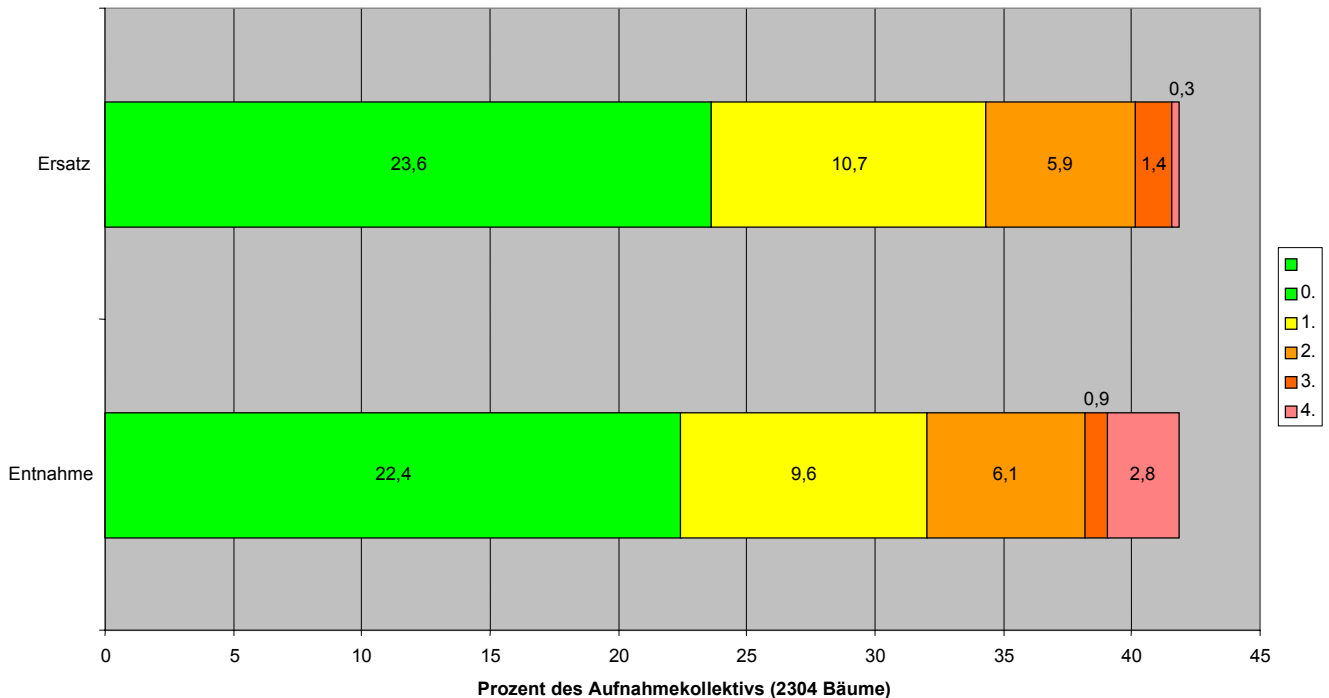


Abb. 20: Verteilung von Ersatz- und Entnahmebäumen nach Schadstufen seit 1991

Ausgeschiedene Bäume und die Ersatzbäume verteilen sich sehr ähnlich auf die Schadstufen: Der Anteil gesunder Bäume liegt bei den Ersatzbäumen für den 12-Jahreszeitraum nur um 1,2 % höher als bei den ausgeschiedenen Bäumen, auch die Werte für die Schadstufen 1 bis 3 liegen eng beisammen. Nur der Anteil der abgestorbenen Bäume (Schadstufe 4) liegt bei den Entnahmebäumen mit 2,8% wesentlich höher als bei den Ersatzbäumen (0,3 %), d.h. für tote Bäume, die aus dem Aufnahmekollektiv ausschieden, wurden i.d.R. keine toten Ersatzbäume ausgewählt.

In der Auswirkung könnte nun grundsätzlich in der Waldschadensstatistik der Anteil der toten Bäume um maximal 2,8%-Punkte höher liegen, wären keine Ersatzbäume gewählt und die abgestorbenen Bäume in der Statistik mitgeführt worden.

Die Berücksichtigung der im gesamten Beobachtungszeitraum abgestorbenen Bäume führte jedoch zu methodisch falschen Ergebnissen, weil Wald von Natur aus dynamischen Prozessen unterliegt und die Baumanzahl vom Jungwald über alle Entwicklungsphasen bis zum Altbestand auch durch konkurrenzbedingte natürliche Absterbeprozesse kontinuierlich abnimmt. Natürliche Prozesse lassen sich bei vorliegenden Größenordnungen nicht von durch äußere Schadfaktoren verursachten Absterbeprozesse trennen.

Waldschadenserhebung 1984 bis 2002 Saarland  
 Vergleich der prozentualen Schäden  
 Angaben in % der Baumartenflächen

Baumart	Jahr	bis 60 Jahre				über 60 Jahre				Alle Alter					Summe
		0	1	2	3+4	0	1	2	3+4	0	1	2	3+4	2+3+4	
Fichte	1984	84	14,1	1,6	0,3	41,2	47	8,8	3	73,6	22,1	3,3	1	4,3	26,4
	1985	81,5	15,7	2,1	0,5	28,5	55,2	13,5	2,8	69,1	25	4,8	1,1	5,9	30,9
	1986	81,9	16,7	1,2	0,2	20,1	57,6	21,1	1,2	67,2	26,4	5,9	0,5	6,4	32,8
	1987	79,5	16,8	3,4	0,3	16,4	56,6	25,4	1,6	64,5	26,2	8,6	0,7	9,3	35,5
	1988	85,4	11,3	3,1	0,2	19,9	46,3	30,2	3,6	69,9	19,6	9,5	1	10,5	30,1
	1989	85,8	10,3	3,1	0,8	30,1	49,3	18,7	1,9	69,8	21,5	7,6	1,1	8,7	30,2
	1990														
	1991	81,2	12,3	5,7	0,8	7,1	42,7	41	9,2	65	18,9	13,5	2,6	16,1	35
	1992	78,4	14,6	4,1	2,9	9,9	45	35,3	9,8	67,1	19,6	9,2	4,1	13,3	32,9
	1993	77,1	16,3	3,8	2,8	9,6	44	39,3	7,1	66,2	20,8	9,6	3,4	13	33,8
	1994	80,6	13,6	2,6	3,2	11,5	55	28,6	4,9	68,9	20,6	7	3,5	10,5	31,1
	1995	76,3	13	6,1	4,6	7,2	49,9	35,7	7,2	63,9	19,6	11,4	5,1	16,5	36,1
	1996	77,5	16,2	3,2	3,1	5,4	55,5	34,1	5	64,6	23,2	8,7	3,5	12,2	35,4
	1997	75,6	19,6	3,8	1	10,1	64	24,6	1,3	63,7	27,7	7,5	1,1	8,6	36,3
	1998	76,9	18	4,2	0,9	7,6	67	25,4		64,3	26,9	8,1	0,7	8,8	35,7
	1999	76	20,2	3,7	0,1	13,6	64,5	21,9		64,7	28,2	7	0,1	7,1	35,3
	2000	72,6	22,4	4,5	0,5	17,8	58,7	23,1	0,4	60,8	30,2	8,6	0,5	9,1	39,2
2001	79,9	16,3	2,6	1,2	10,3	66,6	17,3	5,8	62,2	29,1	6,3	2,4	8,7	37,8	
2002	78,3	18,3	2,3	1,1	5,6	74,5	19,9		60,7	31,9	6,6	0,8	7,4	39,3	
Douglasie	1984	95	2,5	2,5	--					95	2,5	2,5	--	2,5	5
	1985	89,4	6,2	2,2	2,2					89,4	6,2	2,2	2,2	4,4	10,6
	1986	91,7	8,3	--	--					91,7	8,3	--	--	--	8,3
	1987	100	--	--	--					100	--	--	--	--	--
	1988	97,2	--	2,8	--					97,2	--	2,8	--	2,8	2,8
	1989	94,4	2,8	2,8	--					94,4	2,8	2,8	--	2,8	5,6
	1990	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1991	100	--	--	--	49,3	50,7	--	--	92,2	7,8	--	--	--	7,8
	1992	97,4	2,6	--	--	49,9	54,1	--	--	88,8	11,2	--	--	--	11,2
	1993	93,2	5,7	1,1	--	44,5	55,5	--	--	85,1	14	0,9	--	0,9	14,9
	1994	86,2	11,4	2,4		44,5	55,5	--	--	79,3	18,7	2	--	2	20,7
	1995	84,6	13	2,4		21,5	68,4	9,6	--	74,8	21,7	3,5	--	3,5	25,2
	1996	75,1	9,5	15,4	--	67,8	32,2	--	--	73,9	13,1	13	--	13	26,1
	1997	47,9	38,2	12,5	1,4	36,7	26,6	37,7	--	46	36,4	16,4	1,2	17,6	54
	1998	41,2	35,8	21,7	1,3	33	30,3	36,7		44,5	33,6	20,8	1,1	21,9	55,5
	1999	36,2	36,9	20,7	6,2	35,6	42,9	21,5		36,2	37,8	20,8	5,2	26	59,7
	2000	36,8	36,6	24,4	2,2	27,6	50,9	21,5		35,4	38,8	23,9	1,9	25,8	64,6
2001	35,8	36,5	26,8	0,9	11,3	67,2	21,5		32	41,2	26	0,8	26,8	68	
2002	39,7	34,8	24,6	0,9	16,4	62,1	21,5		34,3	40,8	24,1	0,8	24,9	65,7	
Kiefer	1984	68,8	26,3	4,4	0,5	51,2	39,2	6,4	3,2	58,9	33,6	5,5	2	7,5	41,1
	1985	72,2	27,3	--	--	44	47,4	6,9	1,7	56,5	38,7	3,9	0,9	4,8	43,5
	1986	73,3	26,7	--	--	40,7	55,7	3,6	--	54,9	43,1	2	--	2	45,1
	1987	62,5	36,3	1,2	--	32,5	56,1	10,5	0,9	45,6	47,5	6,5	0,4	6,9	54,4
	1988	46,4	46,5	7,1	--	30,7	53,5	14	1,8	37,5	50,5	11	1	12	62,5
	1989	48,9	41,3	9,8	--	22,5	54,2	21,7	1,6	33,5	48,9	16,7	0,9	17,6	66,5
	1990	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1991	43,6	50,5	5,9	--	17,5	55,7	25,6	1,2	28,5	53,5	17,3	0,7	18	71,5
	1992	43,8	52,5	3,7	--	19,2	56,5	20,7	3,6	29,6	54,8	13,5	2,1	15,6	70,4
	1993	31,3	59,1	9,1	0,5	13,2	58,2	26,3	2,4	20,8	58,6	19	1,6	20,6	79,2
	1994	42,2	49,4	7,9	0,5	19,7	57	20,3	3	29,2	53,8	15,1	1,9	17	70,8
	1995	45,9	44,8	8,8	0,5	28	49,7	19,7	2,6	34,3	48	15,8	1,9	17,7	65,7
	1996	36,1	59,3	4,6	--	21,6	57,7	20,7	--	26,7	58,2	15,1	--	15,1	73,3
	1997	27,1	71,6	1,3	--	14,4	68,7	16,6	0,3	17,7	69,5	12,6	0,2	12,8	82,3
	1998	44,7	55,3			18,7	70,4	10,6	0,3	25,6	66,4	7,8	0,2	8	74,4
	1999	46,5	53,5			15	76,7	8,3		23,3	70,6	6,1		6,1	76,7
	2000	37,1	61,8	1,1		11,4	72,4	15,8	0,4	18,2	69,6	12	0,3	12,3	81,8
2001	39	59,9	1,1		11,6	75,4	13		18,7	71,4	9,9		9,9	81,3	
2002	22,7	75,3	2		14,7	73,9	11,4		16,8	74,3	8,9		8,9	83,2	
Sonstige Nadelbäume	1984	91	4,5	4,5	--	80	20	--	--	90,3	5,5	4,2	--	4,2	9,7
	1985	90,9	4,6	4,5	--	83,3	16,7	--	--	90,5	5,3	4,2	--	4,2	9,5
	1986	86,4	9	4,6	--	68,8	18,8	12,4	--	85,3	9,6	5,1	--	5,1	14,7
	1987	59,1	40,9	--	--	41	29,5	17,5	12	58	40,2	1	0,8	1,8	42
	1988	90,5	9,5	--	--	52,9	11,8	35,3	--	88,1	9,7	2,2	--	2,2	11,9
	1989	81,3	15,6	3,1	--	55,5	33,3	5,6	5,6	77,2	18,4	3,5	0,9	4,4	22,8
	1990	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1991	83,2	14,1	--	2,7	47,3	41,6	8,1	3	73,9	21,3	2,1	2,7	4,8	26,1
	1992	56,9	25,7	7,6	9,8	54,3	25,6	9,9	10,2	56,2	25,6	8,2	10	18,2	43,8
	1993	55,7	27,4	7,6	9,4	42,1	38,1	10	9,8	51,9	30,3	8,3	9,5	17,8	48,1
	1994	47,9	33,8	8,4	9,9	44,2	38,5	8,9	8,4	46,9	35,1	8,5	9,5	18	53,1
	1995	53,2	23,4	14,1	9,3	28,2	45,4	23,5	2,9	46,8	29,1	16,5	7,6	24,1	53,2
	1996	44,1	40,3	12	3,6	38,3	45,4	16,3	--	42,5	41,7	13,2	2,6	15,8	57,5
	1997	29,3	58,1	11,9	0,7	26,3	60,9	12,8	--	28,6	58,8	12,1	0,5	12,6	71,4
	1998	30,5	56,8	12,7		36,1	52,6	11,3		32	55,7	12,3		12,3	68
	1999	32,4	62	5,6		35,9	58,6	2,5	3	33,3	61,1	4,8	0,8	5,6	66,7
	2000	29,9	67,6	2,5		44,5	44,9	10,6		33,4	62,2	4,4		4,4	66,6
2001	22,6	69,4	8		47,9	48,5	3,6		28,7	64,4	6,9		6,9	71,3	
2002	21,5	69,8	8,7		29,4	57,3	13,3		24,7	64,7	10,6		10,6	75,3	

Waldschadenserhebung 1984 bis 2002 Saarland  
Vergleich der prozentualen Schäden  
Angaben in % der Baumartenflächen

Baumart	Jahr	bis 60 Jahre				über 60 Jahre				Alle Alter					Summe 1-4
		0	1	2	3+4	0	1	2	3+4	0	1	2	3+4	2+3+4	
Buche	1984	76,5	20,6	2,1	0,8	45,7	37,7	12,4	4,2	58,4	30,7	8,1	2,8	10,9	41,6
	1985	72,5	22,9	2,9	1,7	31,4	46,4	17,9	4,3	48,4	36,7	11,7	3,2	14,9	51,9
	1986	78,6	20,8	0,6	--	33,5	39,7	22,6	4,2	52,2	31,9	13,5	2,4	15,9	47,8
	1987	56	36,8	6,9	0,3	23,9	43,9	26,9	5,3	37,2	40,9	18,7	3,2	21,9	62,8
	1988	55,9	33,9	9,7	0,5	23	43,4	30,2	3,4	36,6	39,5	21,7	2,2	23,9	63,4
	1989	75,5	22,3	2,2	--	28,1	30,9	37,9	3,1	46,6	27,5	24	1,9	25,9	53,4
	1990	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1991	80,1	17,6	2,3	--	26,3	30,4	33,4	9,9	47,9	25,3	20,9	5,9	26,8	52,1
	1992	81,7	16,1	2,2	--	20,4	23,9	44,4	11,3	45,1	20,8	27,4	6,7	34,1	54,9
	1993	85,9	10,2	3,4	0,5	15,6	27,6	45,2	11,5	43,9	20,6	28,4	7,1	35,5	56,1
	1994	91,1	8	0,4	0,5	23,7	26,1	39,6	10,6	50,9	18,8	23,8	6,5	30,3	49,1
	1995	88,7	6,9	3,9	0,5	24,1	14,3	43,1	18,5	50,2	11,3	27,2	11,3	38,5	49,8
	1996	83,7	13,5	2,8	--	13,6	24,5	44	17,9	42,1	20	27,3	10,6	37,9	57,9
	1997	81,7	18,3	--	--	12	33,4	40,1	14,5	39,7	27,3	24,2	8,8	33	60,3
	1998	89,5	10,5			14,1	35,4	41,4	9,1	43,6	25,7	25,2	5,5	30,7	56,4
	1999	97,7	2,3			15	38	37,7	9,3	47,5	23,9	22,9	5,7	28,6	52,5
2000	96,4	3,1	0,5		13,6	40,1	36,9	9,4	46,3	25,5	22,5	5,7	28,2	53,7	
2001	97,4	2,6			21,1	40,9	30,5	7,5	50,7	26	18,7	4,6	23,3	49,3	
2002	95,7	4,3			16,8	40	36,8	6,4	47,2	26,2	22,6	4	26,6	52,8	
Eiche	1984	86,7	12,7	0,6	--	58,2	31,6	9,6	0,6	67,3	25,6	6,7	0,4	7,1	52,7
	1985	81,7	12,8	5,5	--	47,6	38	13,1	1,3	58,5	30	10,7	0,8	11,5	41,5
	1986	59,2	33,1	7,7	--	20,6	57,5	21,1	0,8	32,9	49,7	16,8	0,6	17,4	67,1
	1987	34,3	56,1	9,6	--	14,9	46,2	38	0,9	21	49,3	29	0,7	29,7	79
	1988	46,2	40,9	12,9	--	12,6	45,5	40,3	1,6	23,3	44	31,6	1,1	32,7	76,7
	1989	64,1	28,3	6,6	1	26,8	46,3	24,7	2,2	42,6	38,7	17	1,7	18,7	57,4
	1990	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1991	69,8	24,8	4,9	0,5	26,3	45,9	26,8	1	47,2	35,7	16,3	0,8	17,1	52,8
	1992	73	22,2	4,6	0,2	29,8	44,1	24,2	1,9	50,7	33,5	14,7	1,1	15,8	49,3
	1993	65,4	26	8,6	--	20,2	43,1	33,5	3,2	40,2	35,6	22,4	1,8	24,2	59,8
	1994	54,1	31,9	14	--	25,4	46,1	26,6	1,9	38,1	39,8	21	1,1	22,1	61,9
	1995	62	25,9	11,9	0,2	24,1	44,5	27,7	3,7	41,2	36,1	20,6	2,1	22,7	58,8
	1996	52,4	37,5	8,1	2	24,9	48,2	22,8	4,1	37,4	43,3	16,2	3,1	19,3	62,6
	1997	59,4	30,1	8,8	1,7	21,3	51,8	23,8	3,1	37,5	42,6	17,5	2,4	19,9	62,5
	1998	75,3	16	5,9	2,8	34	48,8	14,2	3	50,9	35,4	10,8	2,9	13,7	49,1
	1999	75,8	18,4	4,6	1,2	27,4	55,6	13,9	3,1	47,2	40,3	10,1	2,4	12,5	52,8
2000	72,4	21,6	4,7	1,3	23,2	63,2	10,8	2,8	43,3	46,2	8,3	2,2	10,5	56,7	
2001	81,2	16,6	1,4	0,8	27,7	60,4	9,7	2,2	49,6	42,4	6,3	1,7	8	50,4	
2002	88,5	9,6	1,6	0,3	31,5	61,1	5,5	1,9	54,6	40,2	3,9	1,3	5,2	45,4	
Sonstige Laubbäume	1984	86,8	10,2	--	3	47,9	39,1	8,7	4,3	81,4	14,2	1,2	1,9	3,1	18,6
	1985	84,9	11,3	1,9	1,9	48	47	5	--	79,8	16,3	2,3	1,6	3,9	20,2
	1986	88,4	7,9	2,1	1,6	72,3	22,1	5,6	--	86,2	9,9	2,6	1,3	3,9	13,8
	1987	50	37,5	6,3	6,2	52,2	26,2	21,6	--	50,3	36	8,4	5,3	13,7	49,7
	1988	56,9	33,9	4,6	4,6	25	37,5	25	12,5	52,5	34,4	7,4	5,7	13,1	47,5
	1989	76,1	19,1	3,5	1,3	55,5	27,8	16,7	--	74,7	19,7	4,4	1,2	5,6	25,3
	1990	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1991	79,5	15,7	4,8	--	51,4	31,5	17,1	--	76,7	17,3	6	--	6	23,3
	1992	80,6	16,3	3,1	--	57,9	27,2	14,9	--	77,9	17,6	4,5	--	4,5	22,1
	1993	78,9	16,3	4,8	--	51,1	22	26,9	--	75,4	17	7,6	--	7,6	24,6
	1994	81,6	14,8	3,2	0,4	54,8	22,6	18,5	4,1	78,2	15,8	5,1	0,9	6	21,8
	1995	77,4	15,2	7,2	0,2	38,9	17	42,4	1,7	72,8	15,4	11,4	0,4	11,8	27,2
	1996	68	18,3	13,1	0,6	30,2	35,4	34,4	--	63,4	20,4	15,7	0,5	16,2	36,6
	1997	66,4	20,6	8,9	4,1	28,5	45,7	25,8	--	61	24,2	11,3	3,5	14,8	39
	1998	75,1	20,4	2,8	1,7	29	65,8	5,2		66,5	28,9	3,2	1,4	4,6	33,5
	1999	64,1	27,1	7,2	1,6	44,9	48,7	6,4		60,5	31,1	7,1	1,3	8,4	39,5
2000	78,7	16,2	3,2	1,9	60,6	29,3	9,5	0,6	75,2	18,8	4,4	1,6	6	24,8	
2001	83,1	15,8	1,1		56,7	38,2	4,5	0,6	78	20,1	1,8	0,1	1,9	22	
2002	85,9	13,6	0,4		55,9	40	4,1		78,6	20,1	1,3		1,3	21,4	
alle Baumarten	1984	83,7	13,9	1,7	0,7	49,6	37,1	10,5	2,8	68,9	24	5,5	1,6	7,1	31,1
	1985	80,8	15,4	2,8	1	37,6	44,8	14,7	2,9	62,1	28,2	7,9	1,8	9,7	37,9
	1986	80,1	17,6	2	0,3	29,2	48,1	20,4	2,3	58,1	30,8	9,9	1,2	11,1	41,9
	1987	64,3	29,9	4,8	1	21,4	46,4	29,1	3,1	45,7	37,1	15,3	1,9	17,2	54,3
	1988	70	23,3	5,9	0,8	20	44,6	32,4	3	48,3	32,5	17,4	1,8	19,2	51,7
	1989	76,2	19,1	4,1	0,6	28,4	42,3	26,9	2,4	56,2	28,8	13,6	1,4	15	43,8
	1990	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1991	76,8	18,5	4,2	0,5	25	40,9	29,1	5	56	27,5	14,2	2,3	16,5	44
	1992	74,8	19,6	3,9	1,7	25,8	37,3	30,5	6,4	55,5	26,6	14,3	3,6	17,9	44,5
	1993	72,3	20,6	5,4	1,7	19,4	38,9	35,3	6,4	50,9	28	17,5	3,6	21,1	49,1
	1994	72,3	20,5	5,4	1,8	25,2	40,2	29,5	5,1	53,1	28,5	15,2	3,2	18,4	46,9
	1995	72,3	17,7	7,8	2,2	24	34,8	32,6	8,6	52,4	24,7	18	4,9	22,9	47,6
	1996	66,5	24,6	7,2	1,7	20,2	41,5	30,5	7,8	47,4	31,6	16,8	4,2	21	52,6
	1997	64,9	27,6	6	1,5	17	49,3	27,8	5,9	44,1	37,1	15,4	3,4	18,8	55,9
	1998	71,9	22,3	4,6	1,2	23,3	50,1	22,6	4	50,3	34,6	12,6	2,5	15,1	49,7
	1999	71,1	23,7	4,4	0,8	21,9	53,6	20,4	4,2	49,3	37	11,5	2,2	13,7	50,7
2000	71,4	23,9	3,9	0,8	20,9	54,3	21,4	3,4	48,7	37,6	11,7	2	13,7	51,3	
2001	75,5	21,2	2,8	0,5	23,7	55,7	16,9	3,7	51,8	37	9,2	2	11,2	48,2	
2002	77,2	19,4	3	0,4	23,3	57	17,1	2,6	51,7	37,2	9,7	1,4	11,1	48,3	

## Forstliche Dauerbeobachtungsflächen

Waldstandorte sind durch anthropogen bedingte Stoffeinträge stark belastet. Vor allem über die Niederschläge werden erhebliche Schadstoffmengen von außen eingetragen und sind ein wesentlicher Teil der Wirkungskette, die für das Auftreten der sogenannten "neuartigen Waldschäden" verantwortlich gemacht wird. In den Vordergrund rückt dabei mehr und mehr die Verschlechterung der Waldstandorte, was sich in der Folge auch auf eine Neubewertung von Nachhaltigkeitsprinzipien in Bezug auf eine forstliche Nutzung auswirkt.

In Zusammenarbeit mit der Universität des Saarlandes (AG-Forst) richtete die Landesforstverwaltung des Saarlandes im Jahr 1989 an ausgewählten Laubwaldstandorten 8 Dauerbeobachtungsflächen ein, um die Veränderung der Stoffhaushalte in den Beständen zu untersuchen, zu bewerten und daraus geeignete Maßnahmen abzuleiten. Dieses Untersuchungsprogramm zur Erfassung des Waldzustandes stellt die zweite Stufe (Level II) des Forstlichen Umweltmonitorings dar, das nach einheitlichen Methoden EU-weit durchgeführt wird.

Im Rahmen dieses Programms werden monatlich aus Sammlereinrichtungen (Abb. 21) sowohl Proben der Stoffeinträge mit den Niederschlägen als auch der Stoffausträge mit den Bodenlösungen in verschiedenen Abschnitten auf den Untersuchungsflächen entnommen und analysiert. Die dabei zu beobachtenden Prozesse verlaufen in Abhängigkeit zu den regionalen Belastungssituationen, den verschiedenen Waldböden und den Bestockungstypen sehr unterschiedlich.

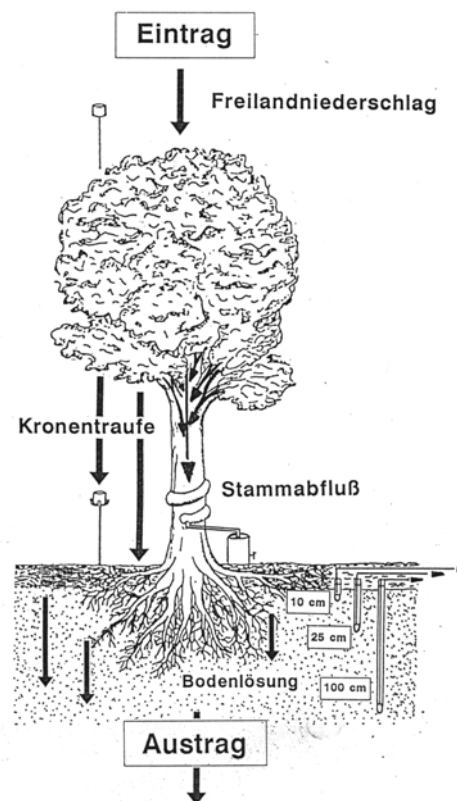


Abb. 21 : Prinzip der Sammeleinheiten auf den saarländischen Dauerbeobachtungsflächen

Gesicherte Aussagekraft erhalten diese Untersuchungen (siehe Flußdiagramm, Abb.22) nur dann, wenn sie kontinuierlich durchgeführt werden: Erst langjährige Zeitreihen dokumentieren die Dynamik und die Prozesse der Waldzustandsveränderung.

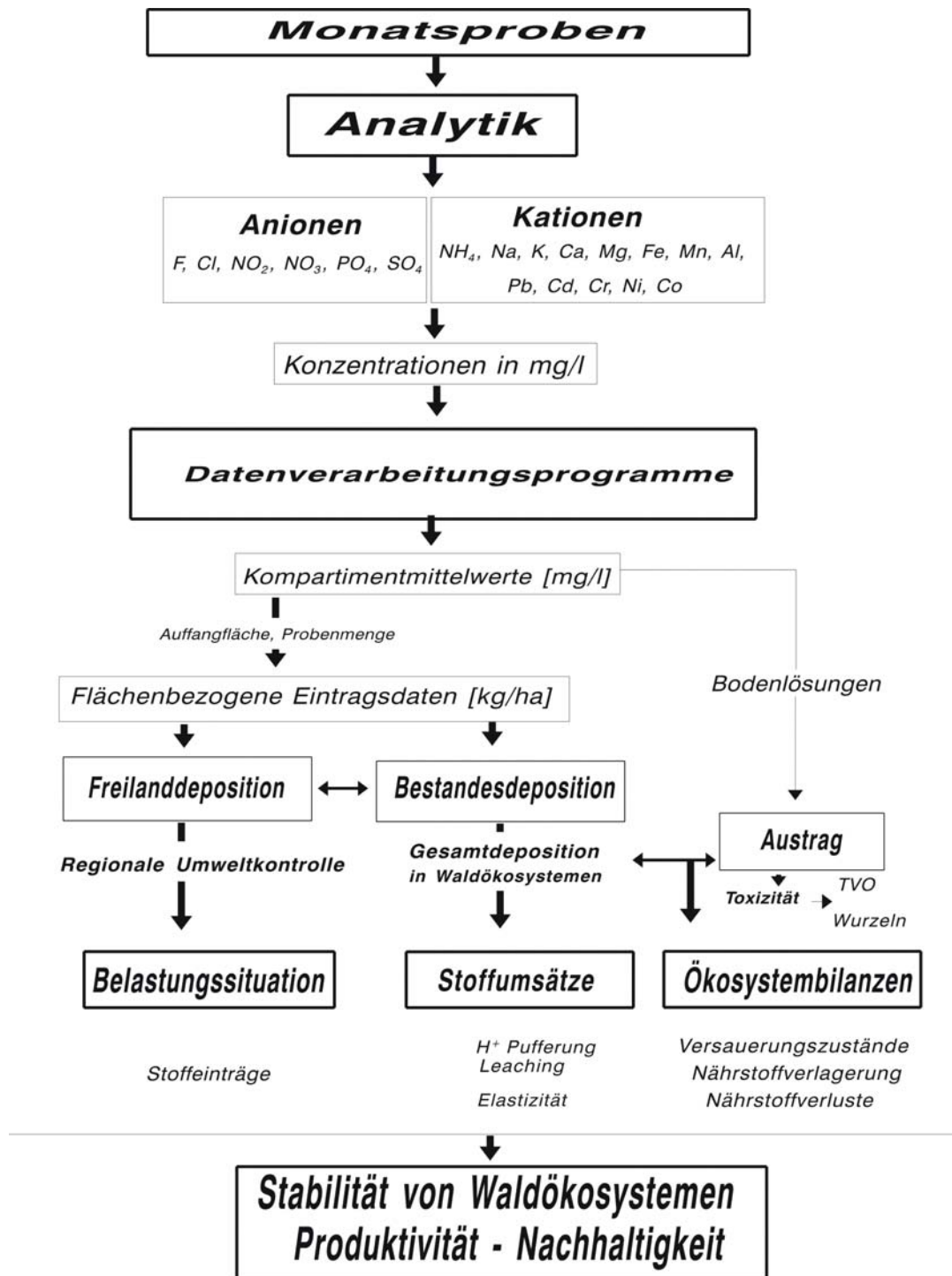


Abb. 22 : Flußschema der Level II Untersuchungsmethodik



## Belastungssituation der saarländischen Wälder

- **Schwefel**

Lange Zeit zählten Schwefelverbindungen zu den Einträgen, durch die Wälder am stärksten geschädigt wurden. Aufgrund von Luftreinhaltemaßnahmen hat sich die Schwefelbelastung in der letzten Jahren deutlich gebessert. Die Depositionsraten der Eingangsbelastung (Freilandniederschlag), dargestellt als  $\text{SO}_4\text{-S}$  der Niederschläge, zeigen an allen Messstationen (Abb.23) seit 1990 einen deutlichen Rückgang, der sich auch in 2001 fortsetzt.

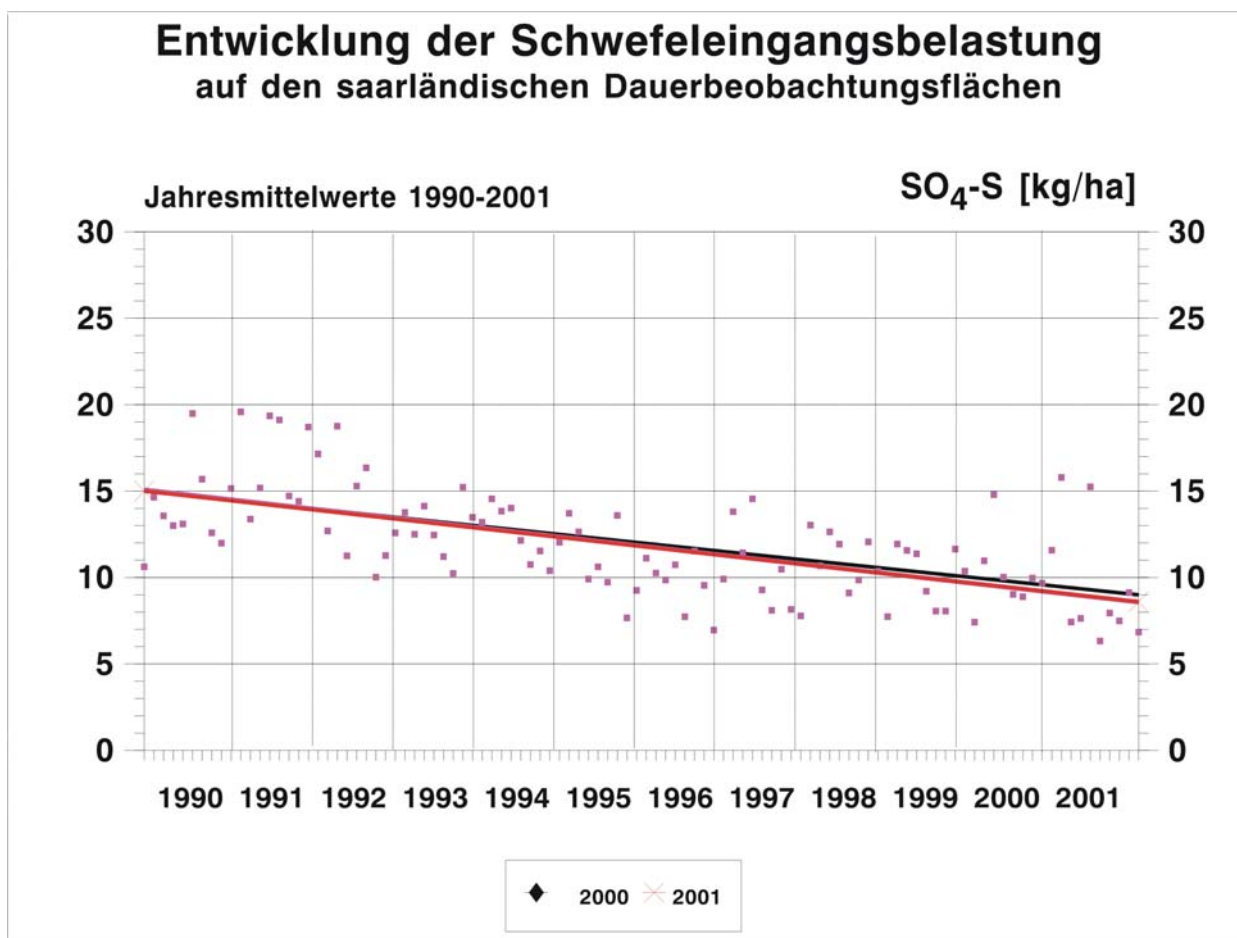
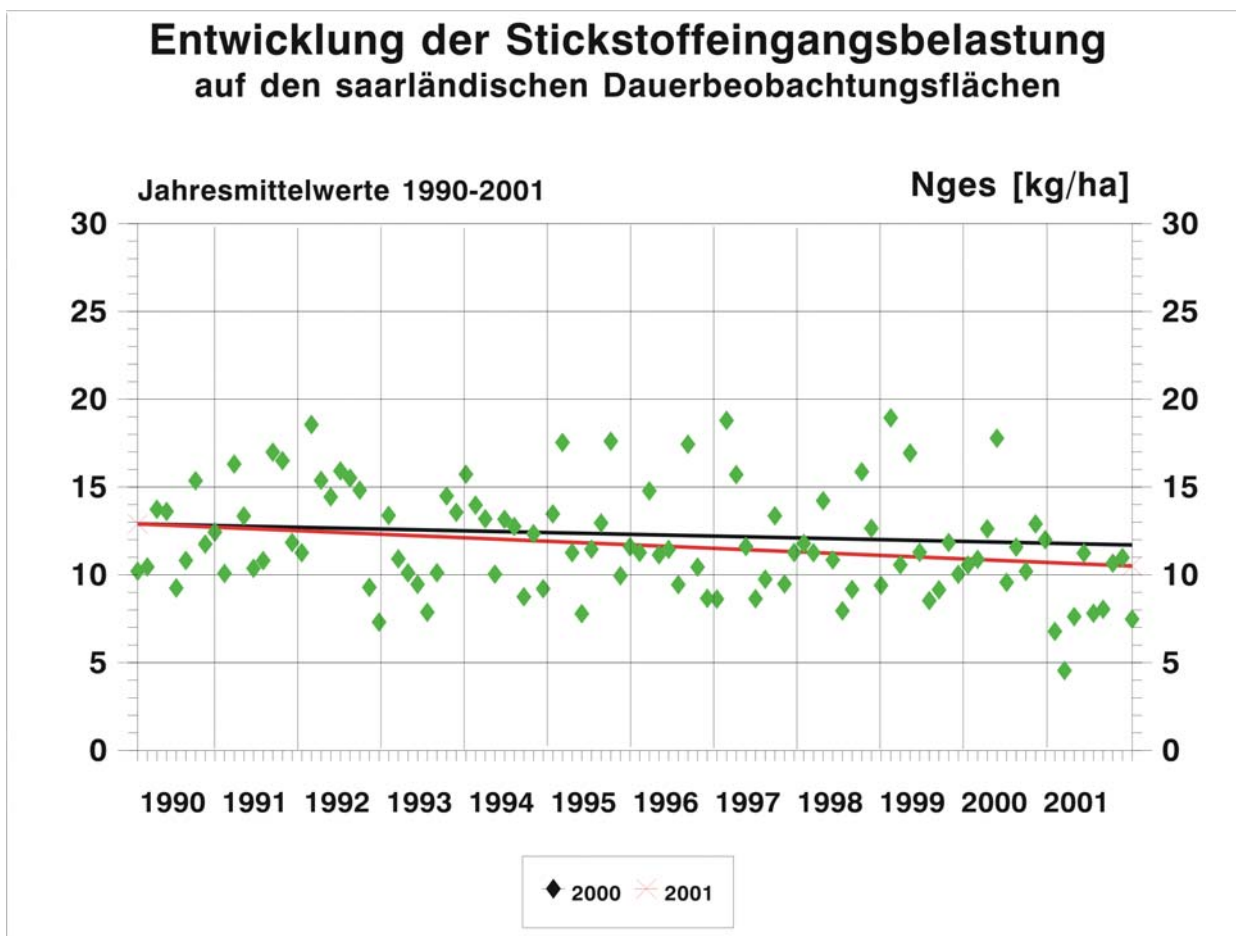


Abb.23 : Entwicklung der Schwefeleinträge

- **Gesamtstickstoff (Nitratstickstoff + Ammoniumstickstoff)**

Während die schädigende Wirkung von Schwefelverbindungen auf Waldbestände seit langem bekannt ist, gewinnt in den letzten Jahrzehnten in diesem Zusammenhang eine weitere Eintragskomponente mehr und mehr an Bedeutung. Es handelt sich dabei um Stickstoffverbindungen ( $\text{NO}_x$  - Emissionsquelle Kraftfahrzeuge,  $\text{NH}_3$  – Emissionsquelle Landwirtschaft), die im Übermaß in die Waldbestände eingetragen werden. Stickstoffimmissionen verstärken zum einen die Bodenversauerung, zum anderen kommt es zu einem direkten Düngeneffekt, d.h. Förderung des Waldwachstums. Zur Wahrung des Nährstoffgleichgewichtes müssen dann Nährelemente (Basen: Ca, Mg, K) verstärkt über die Wurzeln nachgeliefert werden.

Für das Jahr 2001 (Abb. 24) zeigt die Eingangsbelastung für Gesamtstickstoff erstmals einen leichten Abnahmetrend. Dennoch liegen die Mengen, die in saarländische Wälder eingetragen werden, immer noch weit über der Grenze, die als systemverträglich angesehen werden kann, da es durch den Filtereffekt der Baumkronen bei Laubwaldbeständen zu einer 1,5-2-fachen, unter Nadelholz sogar bis zu einer 4-fachen Erhöhung der Eingangsbelastung kommt.



*Abb.: 24 Entwicklung der Gesamtstickstoffeinträge*

## ***Bodenversauerung***

Viele Waldböden im humiden Klimabereich sind von Natur aus sauer. Dies wird durch die Stoffeinträge unserer Zeit ganz erheblich intensiviert. Der Prozess der sich dabei einstellenden Bodenentwicklung (Versauerung) ist stark abhängig von der sog. Pufferkapazität des Bodens (Fähigkeit zur Säureneutralisation), die aufgrund der vielfältigen Ausgangsgesteine im Saarland sehr stark schwankt. Die pH-Werte der Bodenlösungen, die in einem dynamischen Gleichgewicht mit der Bodenfestphase stehen, spiegeln in den Zeitreihen der Untersuchungsflächen die Reaktionen der Standorte auf die vorherrschenden Umweltbedingungen wider. Die Reaktionen der Wälder auf sich ändernde Umweltbedingungen (Veränderung der Eingangsbelastung) werden so anhand der Elementkonzentrationen mess- und bewertbar.

Aus den dabei entstehenden Zeitreihen sind eindeutige Aussagen über die Dynamik der Bodenversauerung und der damit verbundenen Standortentwicklung möglich. Gleichzeitig lassen sie Rückschlüsse auf die Wirksamkeit von standortstabilisierenden Maßnahmen seitens der forstlichen Bewirtschaftung zu.

## ***Bodenlösungen und Stoffflüsse***

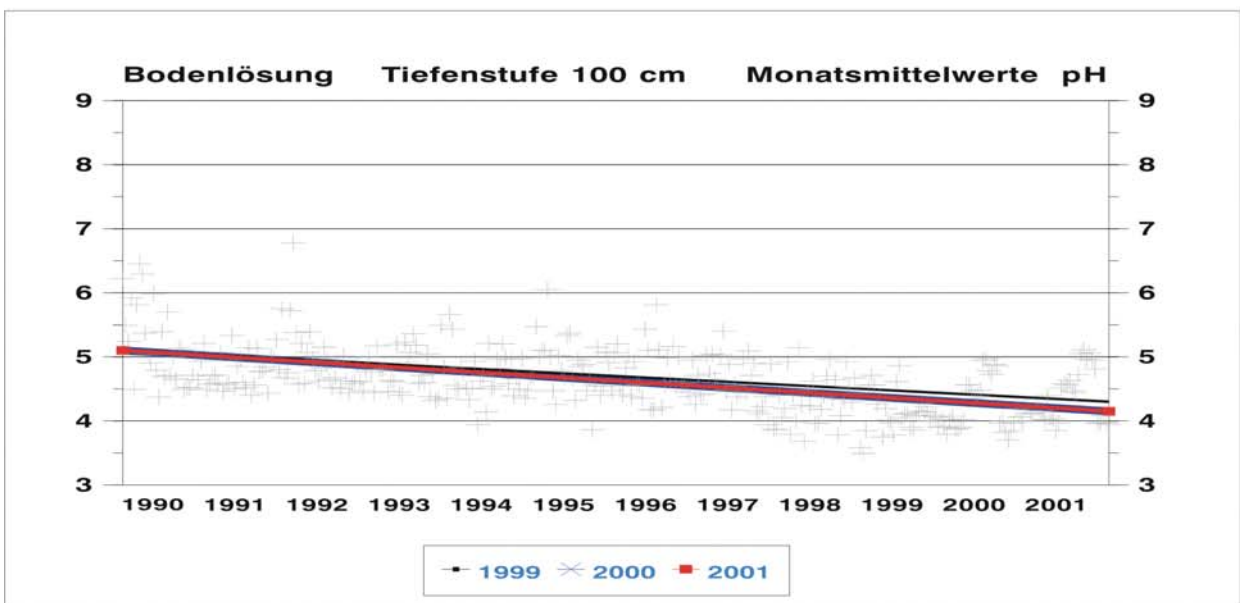
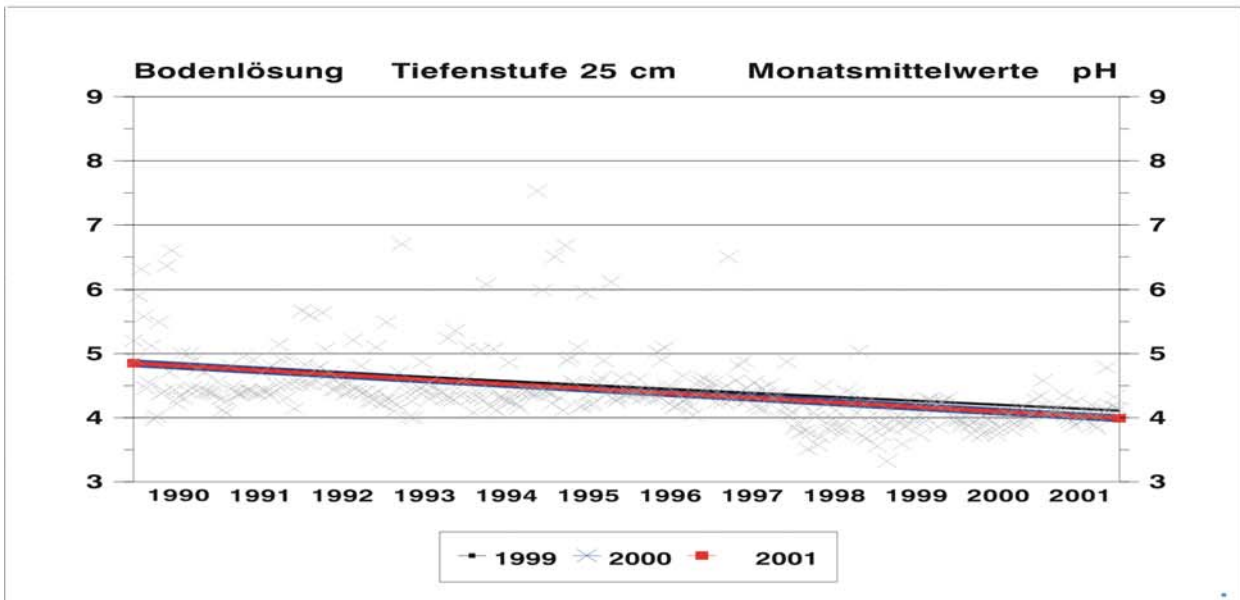
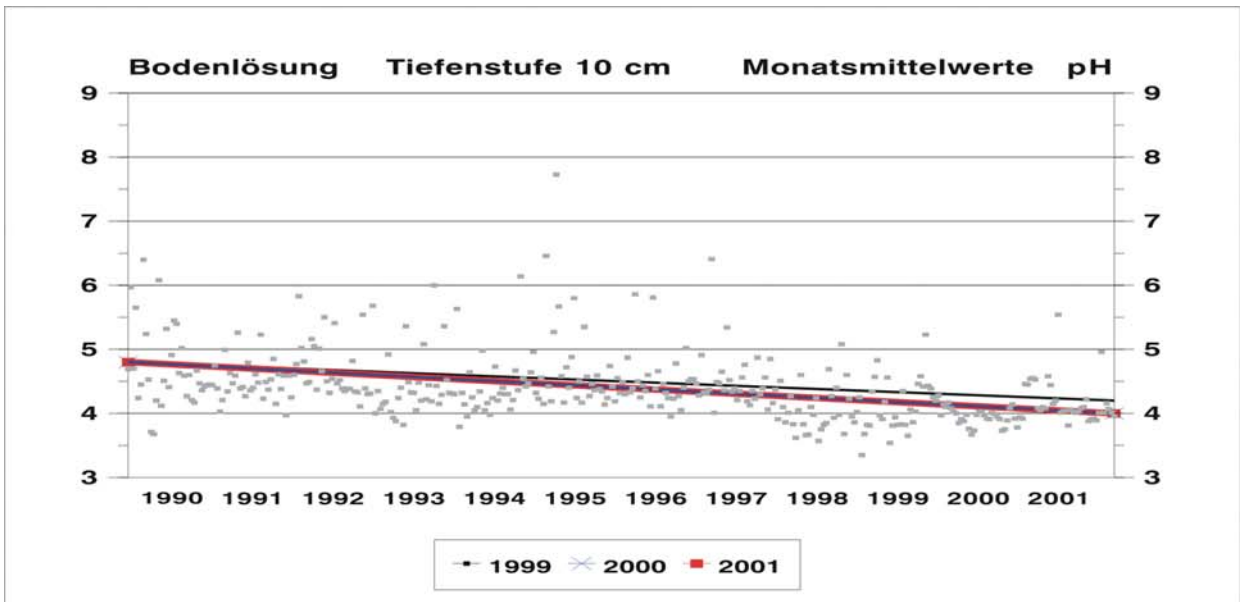
Die Bodenlösungen auf den saarländischen Dauerbeobachtungsflächen werden in drei Tiefenstufen (10, 25 und 100 cm) monatlich gewonnen und ermöglichen die Erstellung von Nähr- und Schadstoffbilanzen. Die gemessenen Austräge aus den untersuchten Waldbeständen stellen gleichzeitig die Eingangsbelastung für nachgeschaltete Gewässer dar.

### **• *pH-Werte der Bodenlösungen***

Der pH-Wert in der Bodenlösung ist ein Maß für den Säurezustand und somit eine ökologische Zustandsgröße zur Beurteilung der Pufferkapazität und Versauerungstendenz des Bodens. Zusammen mit der zeitlichen Entwicklung der Basengehalte (Ca, Mg und K) der Bodenlösungen ist eine Beurteilung der aktuellen und zu erwartenden Versauerungsdynamik möglich. Abnehmende pH-Werte zeigen, dass die Säurebelastung die standortspezifische Pufferungsrate überschreitet.

Im Vergleich zu dem vorausgegangenen Jahr hat sich der pH-Wert der Bodenlösungen nicht verschlechtert. In der Übersichtsdarstellung (Abb.25) sind die pH-Werte aller karbonatfreien Untersuchungsflächen dargestellt.

Daraus kann allerdings nicht geschlossen werden, dass die Entwicklung der Bodenversauerung zum Stillstand gekommen ist. Auf den meisten Dauerbeobachtungsflächen haben die Bodenlösungen den sog. Aluminium-Pufferbereich (pH 4,2-3,8) erreicht, dessen Säureneutralisationsvermögen in Abhängigkeit der Belastungssituation den pH-Wert über einen entsprechenden Zeitraum in diesem Niveau halten werden.



*Abb. 25 Entwicklung der pH-Werte auf den saarländischen Dauerbeobachtungsflächen*

- Nährstoffgehalte und Azidität der Bodenlösungen**

Als Reaktion auf die fortschreitende Versauerung werden im Boden essentielle Nährstoffe (Ca, Mg und K) mobilisiert und ausgewaschen. Dies führt zu einer Verarmung der Standorte und zu einer Dominanz der Fe-, Mn-, Al-Ionen in den Bodenlösungen. Mit Ausnahme der Dauerbeobachtungsflächen in Ormesheim und Altheim (Muschelkalkstandorte) ist der Basenrückgang anhand der Lösungsinhalte in allen Tiefenstufen auf den Messstationen in unterschiedlicher Intensität feststellbar.

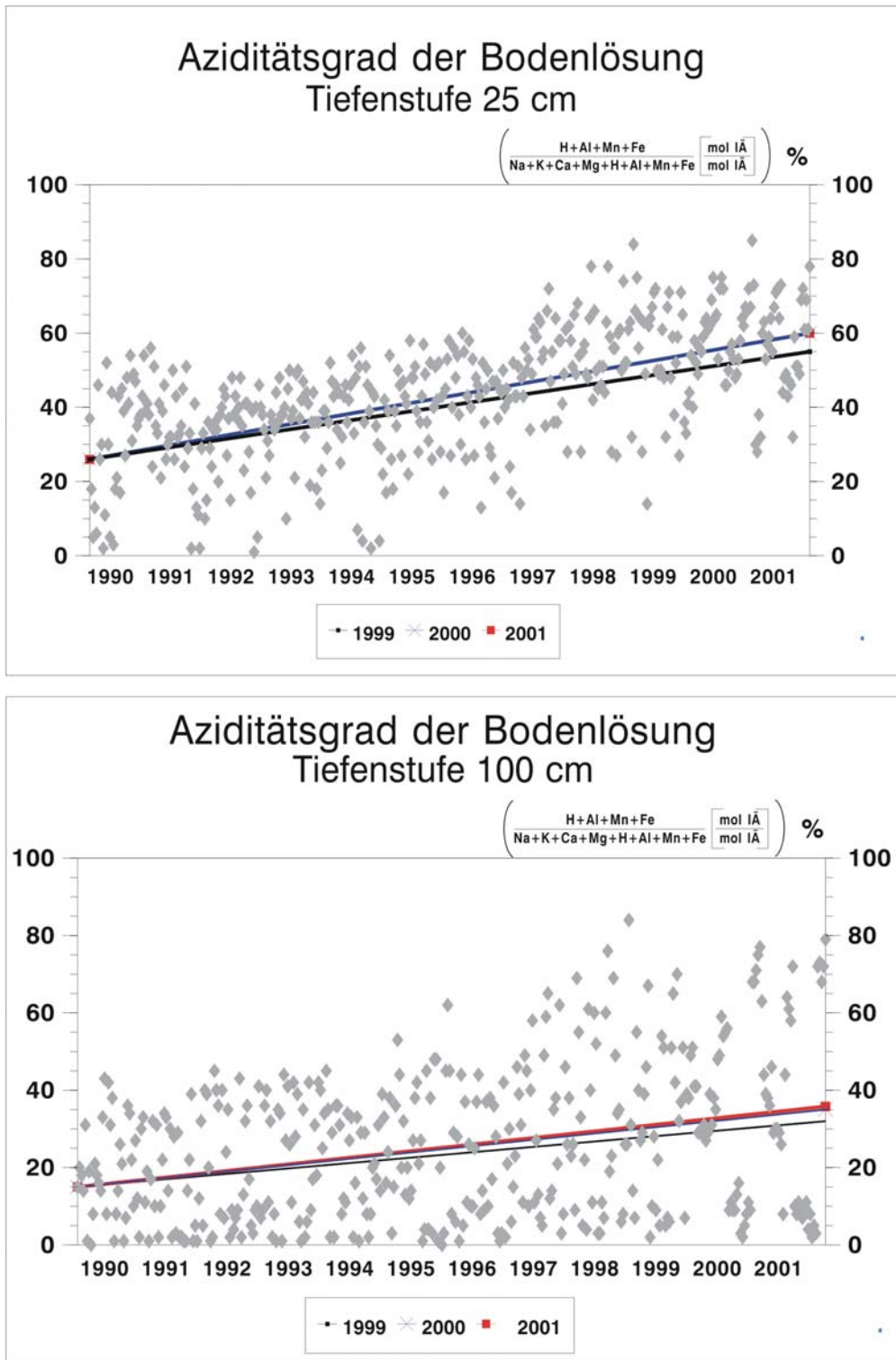


Abb.26: Entwicklung der Basenverluste auf den saarländischen Dauerbeobachtungsflächen

Über das Verhältnis der Basen (Ca, Mg, K, Na) zu den sog. Kationensäuren (H<sup>+</sup>, Fe, Mn, Al) in den Bodenlösungen ist der Aziditätsgrad definiert. Im Vergleich zu den entsprechenden Untersuchungsergebnissen des Jahres 2000 (Abb. 26) zeigt sich, dass im Oberboden (Tiefenstufe 25 cm) der Anteil an Kationensäuren nicht weiter zugenommen hat.

Die Messungen belegen aber auch, dass 1990 der Anteil an Ca, Mg und K in den Bodenlösungen noch bei ca. 70% lag, während in den beiden letzten Jahren im Mittel nur noch 40% vorhanden waren. Stellenweise gingen diese Gehalte an Basen bis auf 20 % zurück.

Im Unterboden (Tiefenstufe 100 cm) ist anhand der Elementgehalte der Bodenlösungen hingegen feststellbar, dass sich die Nährstoffverluste im Waldboden aufgrund der ablaufenden Prozesse tendenziell noch weiter verstärkt haben.

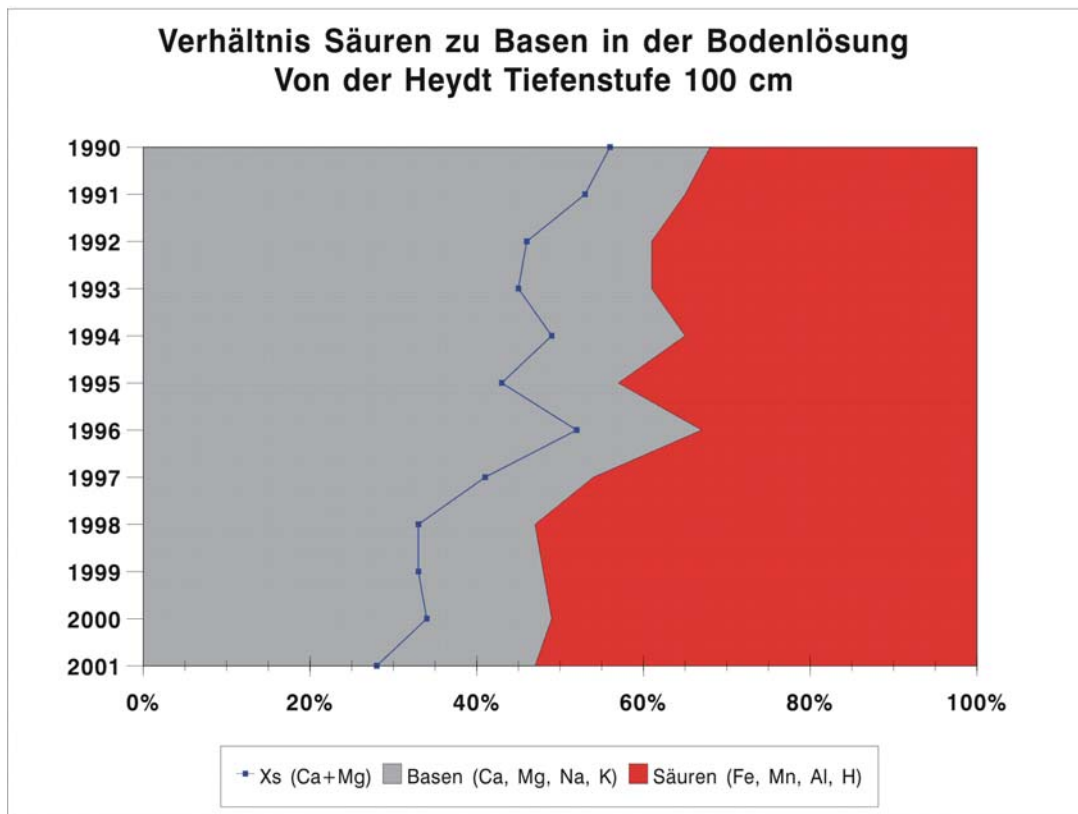
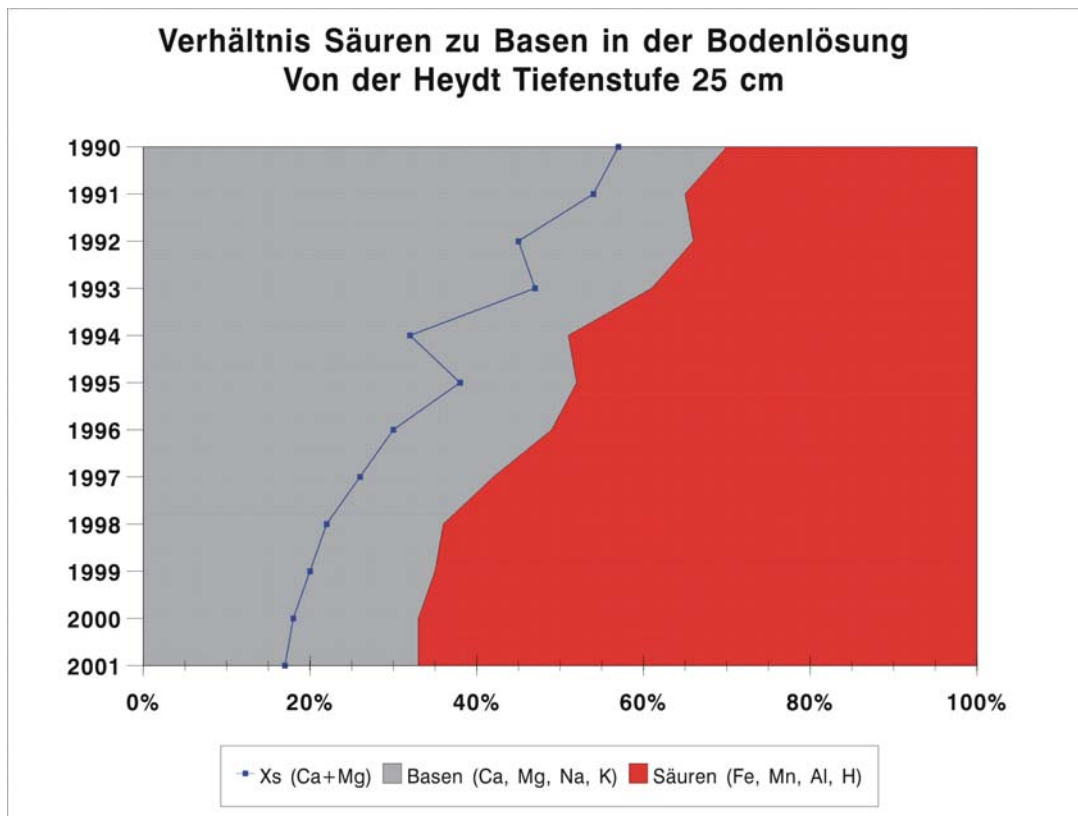
Für die Bestände bedeutet dieser Rückgang der Basen eine Nährstoffverarmung, die auf besonders labilen, d.h. von Natur aus armen oder auch bereits stark versauerten Böden zu Mangelercheinungen und Nährstoffungleichgewichten mit entsprechenden Auswirkungen (Schäden) auf die Bestockungen führen kann.

Einzelflächenbezogen lässt sich diese Entwicklung (Abb. 27) auch im Jahresgang erkennen. Aus dem Verlauf der Azidität der Bodenlösung - Tiefenstufe 25 cm - der saarländischen Level II- Fläche Von der Heydt ist zu ersehen, dass es sogar zu einer temporären Verbesserung (Rückgang der Kationensäuren) der Basengehalte kommen kann, die auf entsprechende Pufferreaktionen des Bodens zurückgehen.

So zeigte sich 1996 im Unterboden eine deutliche Abnahme der Kationensäuren, die die Wurzeln der Bestockungen nachhaltig schädigen können und gleichzeitig für nachgeschaltete Gewässer hoch belastend sind. Bis 1998 stieg der Säuregehalt dann wieder um 30% und hielt sich bis 2001 in etwa in diesem Niveau.

Aus der 2001 festgestellten Situation bezüglich des Säuren- und Basengehaltes der Bodenlösungen darf daher nicht geschlossen werden, dass sich der Zustand der Waldböden stabilisiert hat. Durch bodeninterne Säureschübe kann jederzeit der Prozess der Basenverluste reaktiviert werden, wobei die dabei ablaufende Dynamik der Bodenversauerung nicht prognostizierbar ist.

Aus den Zeitreihen der Säure-Basengehalten in den Bodenlösungen ist sehr deutlich zu erkennen, wie instabil die Waldböden unter dem Einfluss der Stoffeinträge geworden sind. Gleichzeitig wird deutlich, dass sich nur über kontinuierliche Zeitreihen Waldzustandsveränderungen erkennen und bewerten lassen.



*Abb. 27: Entwicklung der Basenverluste am Beispiel der Level II-Fläche Von der Heydt*

## Wald und Wasser

Waldböden nehmen neben der Standortfunktion für die Vegetation auch eine Filterfunktion wahr. Durch die Bodenpassage werden die Qualität des Grundwassers und in Folge die Qualität der offenen Gewässer in entscheidendem Maße beeinflusst. Aufgrund ihrer Filtereigenschaften waren Waldböden lange Zeit in der Lage, versickerndes Niederschlagswasser zu reinigen und schadstofffrei wieder in den Wasserkreislauf einzuspeisen. Sie stellten somit einen wichtigen Garant für die Qualität der Trinkwasserneubildung unter Waldstandorten dar.

Durch die Versauerungsprozesse werden im Waldboden Aluminium-, Eisen-, Mangan- und Schwermetallionen freigesetzt und mit den Sickerwässern ausgetragen. Die Versauerung wirkt sich somit nicht nur direkt auf die Waldstandorte, sondern indirekt auch auf die nachgeschalteten Gewässersysteme aus. Oberflächengewässer mit ihrer Lebewelt, die Grundwässer und die Qualität des Trinkwassers sind daher in hohem Maße gefährdet. Insbesondere im Frühjahr bei einsetzender Schneeschmelze können die nachgeschalteten Systeme extrem stark belastet werden.

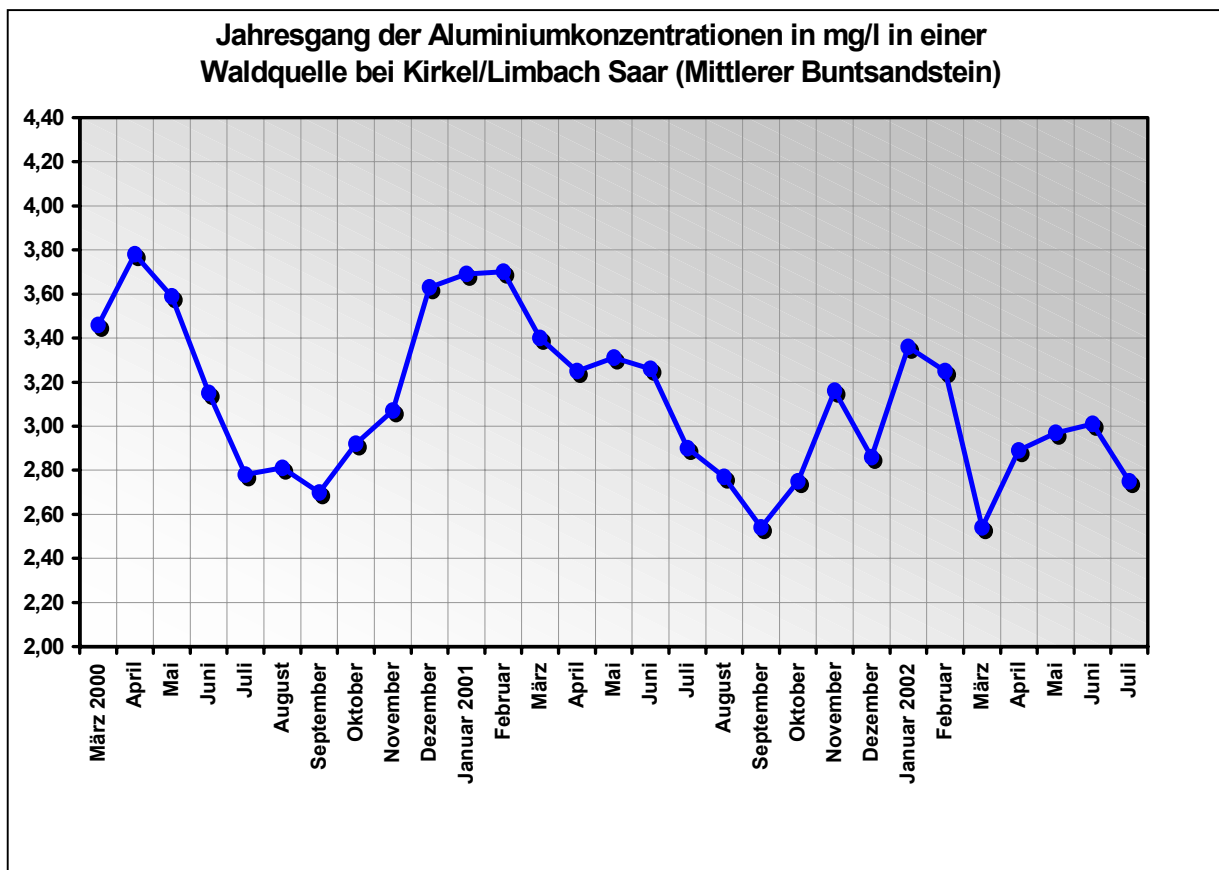
Im Frühjahr 1994 kam es in einem Weiher in Neunkirchen/Furpach zu einem plötzlichen Fischsterben, bei dem der gesamte Besatz des Gewässers verendete. In den oberirdischen Zuläufen des Furpacher Weihers (Gutsweiher) wurden dabei pH-Werte von 4,1 bis 3,6 und Al-Konzentrationen zwischen 1,8 und 6,0 mg/l gemessen, wobei bereits Al-Gehalte von 0,2 mg/l bei pH-Werten um 5 als fischtoxisch angesehen werden.

Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung für Aluminium liegt bei 0,2 mg/l.

Ursache für diese hohen Säure- und Aluminiumgehalte war die damals festgestellte Waldbodenversauerung des angrenzenden Wassereinzugsgebietes. Nach den Starkregenfällen im Februar dieses Jahres wurden in den Zuläufen des Guts Weihers und des benachbarten Biellers Weihers wieder extrem tiefe pH-Werte (4,3-3,8) und hohe fischtoxische Al-Frachten gemessen. Der pH-Wert des Biellers Weihers sank sehr schnell bis auf pH 4 ab, ein erneutes Fischsterben konnte nur durch eine sofortige Kalkung des Gewässers verhindert werden.

Untersuchungen von saarländischen Quellen, die von der Physischen Geographie im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie seit mehreren Jahren durchgeführt werden, lassen auch an anderer Stelle (Abb. 28) erkennen, dass die Sickerwässer aus Waldböden ein hohes Risikopotential in sich tragen





*Abb. 28: Aluminium - Konzentrationen in einer saarländischen Waldquelle*

Die Aluminium-Werte einer Quelle bei Kirkel, die als natürlicher Grundwasseraustritt in einem Waldgebiet seit Frühjahr 2000 kontinuierlich beprobt wird, schwanken zwischen 3,8 und 2,5 auf und liegen somit in einem Bereich, der sowohl für Fische als auch für Menschen (AL-Grenzwert der Trinkwasserverordnung = 0,2 mg/l) toxisch ist.

Durch die anhaltende Waldbodenversauerung werden Belastungen für das Grundwasser geschaffen, die langfristig gesehen Auswirkungen auf die Trinkwassergewinnung unter bewaldeten Wassereinzugsgebieten haben werden.

# Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung

## Forstliche Gegenmaßnahmen

Die bundesdeutschen Waldgesetze ordnen dem Wald die verschiedensten Schutzfunktionen bezüglich Luft, Wassergewinnung, Klima und Lärmschutz zu. Die Waldbestände müssen so bewirtschaftet werden, dass alle Waldfunktionen dauernd nachhaltig erhalten werden, dabei auch die Wuchskraft der Böden und ein ausreichender Lebensraum für eine standorttypische Fauna und Flora sichergestellt wird. Gleichzeitig wirken auf die Waldbestände vielfältige Belastungen ein, die gerade die Schutzfunktionen in zunehmendem Maße in Frage stellen. Diese Belastungen sind grundsätzlich anthropogen bedingt, z.T. durch Zerschneidung geschlossener Waldkomplexe durch Verkehr, Siedlung und Industrie, Emissionen aus Industrie, Haushalten, Verkehr, Landwirtschaft sowie durch die Gewinnung von Trinkwasser unter Wald. All diese Komponenten wirken nicht nur auf den Wald insgesamt, sondern auf direktem oder auf indirektem Weg auch auf die Waldböden ein. Die Waldökosystemforschung der letzten Jahrzehnte hat eindeutig bewiesen, dass für die Walderhaltung den Waldböden eine Schlüsselfunktion zukommt. Der Schutz des Waldbodens hat somit aus forstlicher Sicht höchste Priorität.

## Kalkung

Eine in der Forstwirtschaft häufig angewandte Methode zum Schutz des Waldbodens ist die Kompensationskalkung. Hierbei wird in der Regel gemahlener dolomitischer Kalk (0-2,0 mm) flächig auf die Waldböden ausgebracht, um die versauernd wirkenden Stoffeinträge zu neutralisieren. Langjährige Erfahrungen dazu liegen vor allem aus den z.T. stark von der Waldbodenversauerung betroffenen skandinavischen Ländern, aber auch aus Deutschland vor. Wirksamkeit und Verträglichkeit gegenüber anderen Bereichen des Waldökosystems hängen v.a. von den angewandten Methoden und der örtlicher Planung ab.

Durch die Anhebung des pH-Wertes aufgrund der puffernden Wirkung des Kalkes werden die eingetragenen Säuren abgefangen und einer weiteren Zerstörung des Waldbodens d.h. einer weiteren Auswaschung von Ca und Mg entgegengewirkt. Die Lebensbedingungen insbesondere für die z.B. wühlenden und grabenden Bodenorganismen verbessern sich, die versauerungsbedingte Bodenverdichtung geht zurück. Die Löslichkeit bestimmter Schadstoffe wie z.B. die von Schwermetallen nimmt mit sinkendem pH-Wert zu. Durch eine Kalkung kann der pH-Wert soweit angehoben werden, dass eine Auswaschung dieser Stoffe in Grund- und Oberflächengewässer verhindert werden kann, gleichzeitig verbessert sich die Nährstoffversorgung für Ca und Mg in der Bodenlösung der Waldböden.

Die Kalkung stellt eine Art Symptombekämpfung dar, die den Verursachern der Waldbodenversauerung nicht entgegenwirkt. Sie kann zerstörte Bodenteilchen nicht wiederherstellen, jedoch deren weitere Zerstörung verhindern.

Andererseits stellt die Kalkung einen abrupten Eingriff in den Stoffhaushalt der Böden dar. Säureliebende Bodenorganismen können zumindest zeitweise zurückgedrängt werden. Diese kommen an den meisten Standorten jedoch nicht natürlich vor, sondern sind das Ergebnis einer jahrzehntelangen Bodenversauerung.

Durch den ausgebrachten Kalk kann es aufgrund des erhöhten Nährstoffangebotes im Oberboden zu einer vorübergehenden dichteren Bewurzelung kommen. Langfristig gesehen kann auch der Unterboden durch die sich verbessernde Nährstoffsituation wieder von den Wurzeln erschlossen werden.

Die Elementverteilung in der Bodenlösung verschiebt sich nach einer Kalkung zugunsten der Nährstoffe Ca und Mg. Dies hat zur Folge, dass in stark versauerten Böden an den Bodenteilchen gebundene Aluminiumionen gegen Ca und Mg eingetauscht und in Lösung gehen können. Ebenso kann es durch die verstärkte Biodiversität nach Kalkungen zu einem Ansteigen der stickstoffumsetzenden Bakterien und damit zur Auswaschung von Nitrat kommen. Sowohl Nitrat als auch Aluminium können so aus den gekalkten Beständen ausgewaschen werden. Diese Auswaschungen sind jedoch, wenn sie auftreten, zeitlich begrenzt. Ohne Kalkung kann sich der pH-Wert des Bodens andererseits soweit absenken, dass Bodenbestandteile fortgesetzt zerstört werden. Es kommt zu einem permanentem Aluminiumaustrag, der in bestimmten Situationen, z.B. nach der Schneeschmelze, besonders schädliche Extreme erreichen kann.

Allerdings sind Kalkungsmaßnahmen mit hohen Kosten verbunden und müssen in einem zeitlichen Rahmen von 10-20 Jahren wiederholt werden, um einen ausreichenden nachhaltigen Schutz zu gewährleisten.

Kalkungen stellen nach wie vor bei besonders versauerten und gefährdeten Standorten die einzige Möglichkeit dar, unmittelbar der Auswaschung von Schadstoffen bis zu einer Besserung der Stoffeintragungssituation entgegenzuwirken.

Die fortschreitende Bodenversauerung bedingt eine Basenverarmung (Auswaschung von Ca, Mg, K, Na) mit Auswirkungen auf die Stoffkreisläufe innerhalb eines Waldökosystems (Abb. 29).

## Absicherung nachhaltiger Holznutzung durch Nährstoffbilanzen

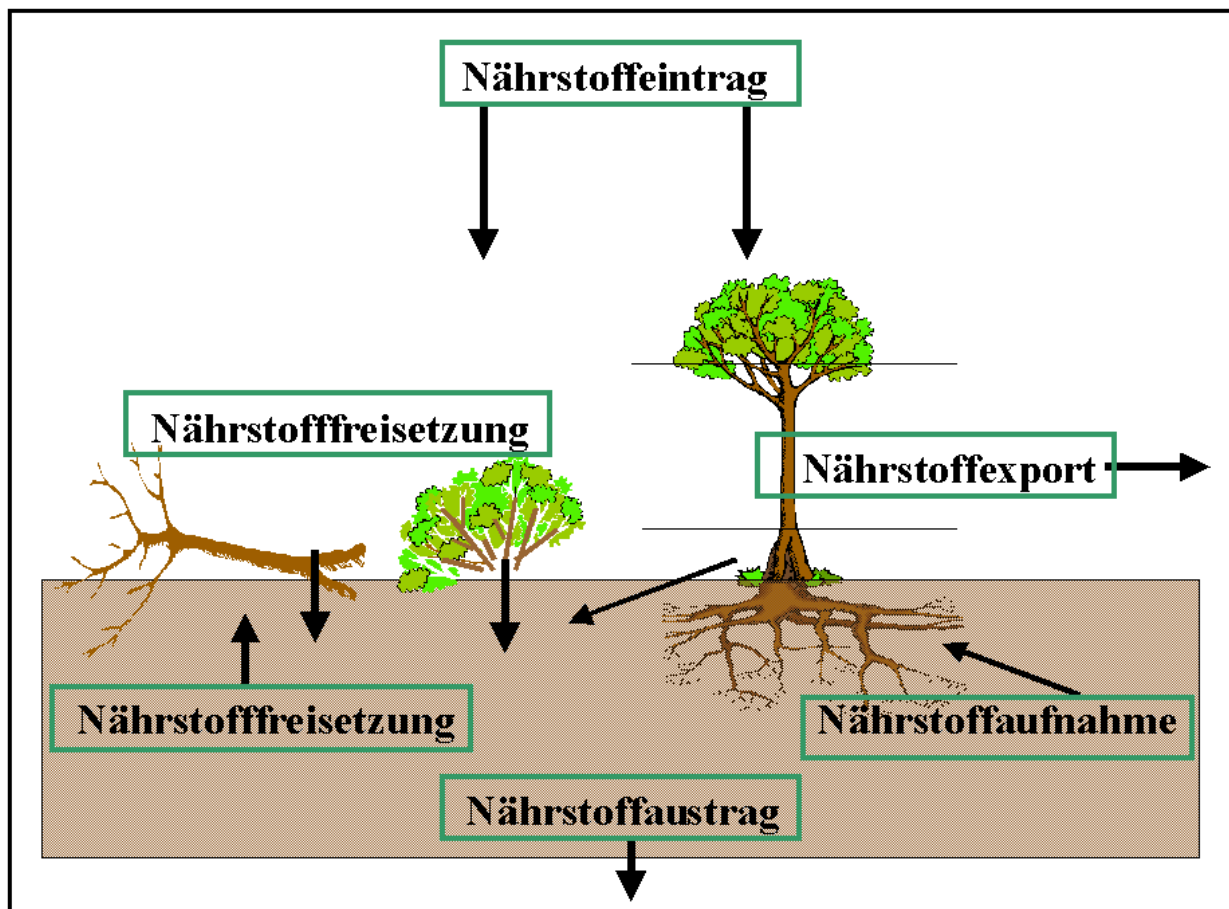


Abb. 29: Stoffkreisläufe in Waldökosystemen

Die forstliche Nutzung der Wälder muss der versauerungsbedingt immer knapperen Nährstoffversorgung Rechnung tragen. Die Bewertung von Nährstoffbilanzen werden dabei als Steuerungsinstrument neben Kalkungsmaßnahmen eine immer wichtigere Rolle spielen. Letztendlich kann eine nachhaltige Waldbewirtschaftung mit der Nutzung des nachwachsenden Rohstoffes Holz nur dann gewährleistet sein, wenn dem Waldstandort durch Holznutzung nur so viele Nährstoffe entzogen werden wie es der Basenkreislauf zulässt.

### Holznutzung im belasteten Wald

Die Arbeitsgruppe Forst erarbeitet z.Zt. zusammen mit dem SaarForst Landesbetrieb im Auftrag des saarländischen Umweltministeriums derartige Nährstoffbilanzen exemplarisch für die verschiedenen Waldstandorte des Level II-Netzes. Ziel ist es, unter Einbeziehung der oben abgebildeten Nährstoff- und Nutzungskreisläufe sowie Nutzungsstrategien ein flächenhaftes forstliches Informationssystem als Basis für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zu entwickeln.

Als Verrechnungsgrundlage müssen hierbei standortchemische Eigenschaften und Nährstoffkreisläufe in die Nachhaltigkeitsbetrachtung miteinbezogen und zwei Prozesseinheiten miteinander verrechnet werden.

Bei diesen Nährstoffbilanzen wird auf der einen Seite die Basenzuführung (Ca, Mg, Na, K) über den Eintrag mit den Niederschlägen in den Waldboden und die bodeninterne Freisetzung dieser Stoffe über die Verwitterung berechnet. Dem gegenüber steht auf der Verlustseite die Verarmung des Waldbodens an Basen durch die versauerungsbedingte Auswaschung. Zusätzlich werden dem Boden Basen durch die Festlegung im laufenden Holzzuwachs entzogen. In jüngeren, vorratsaufbauenden Waldbeständen ist dies eine bedeutende Größe.

Der Nährstoffeintrag (Abb.29) (Basen: Ca, Mg, K) lässt sich über die Zeitreihen der Stoffeinträge auf den Dauerbeobachtungsflächen errechnen.

Über den Prozess der chemischen Bodenverwitterung (Abb. 29 - Nährstofffreisetzung im Boden) werden bodenintern weitere Ca-, Mg- und K-Anteile in den Basenkreislauf eingespeist. Die Höhe der Freisetzung hängt einerseits vom Mineralbestand des Bodens ab, andererseits bestimmen Faktoren wie Klima und Niederschlagsverteilung die Höhe dieser Nährstofffreisetzung (Basenzufuhr).

Durch die Versauerungsvorgänge werden Basen (Ca, Mg, K, Na) aus dem Waldboden ausgewaschen (Nährstoffauswaschung, Abb. 29). Diese Mengen können über den Vergleich der Stoffeinträge über die Niederschläge mit den entsprechenden Konzentrationen in den Bodenlösungen (Austräge) auf den Dauerbeobachtungsflächen aus den Zeitreihen hergeleitet werden.

Bei der Nährstoffaufnahme (Abb. 29) werden über die Wurzeln Ca, Mg und K dem Boden entzogen und im Baum eingebaut. Über die chemischen Analysen von Holz und Rinde in Verbindung mit entsprechenden waldkundlichen Wachstumsdaten können die festgelegten Basenmengen errechnet werden.

Der Nährstoffexport (Abb. 29) stellt die Mengen an Ca, Mg, K und Na dar, die mit den forstlich genutzten Holzmengen (incl. Rinde) vollständig dem System entzogen werden. In unbewirtschafteten Wäldern werden nach Absterben und Zersetzung (Mineralisation) der Bäume die festgelegten Nährstoffe dem Boden wieder vollständig zugeführt.

In der Regel wird heute nicht alles Derbholz bei der Holzernte genutzt. Aus den Teilen (Holzmengen) der eingeschlagenen Bäume, die der Fläche verbleiben, lässt sich die Nährstoffrückführung in den Boden bestimmen. Durch Variation dieser ergibt sich dadurch eine Regelungsgröße. Im Staatswald wird bis auf weiteres auf die Nutzung von Holz unter 10cm Durchmesser verzichtet.

In Abbildung 30 ist am Beispiel der saarländischen Level II-Fläche in Von der Heydt die Basenbilanz (Nährstoffbilanz) für ein Jahrzehnt (ohne forstliche Nutzung) dargestellt. Die Bilanz für den Standort ist ohne menschliche Eingriffe negativ (-4,90 keq/ha/Jahrzehnt), da die Summe der Basenentzüge aus dem Boden über der Basenzufuhr in den Boden liegt, d.h. der Standort verarmt in seinem jetzigen Entwicklungsstadium an den essentiellen Nährstoffen Ca, Mg, K. Der Holzzuwachs spielt dabei eine bedeutende Rolle.

### Basenbilanz des Bodens auf der saarländischen Level II-Fläche Von der Heydt

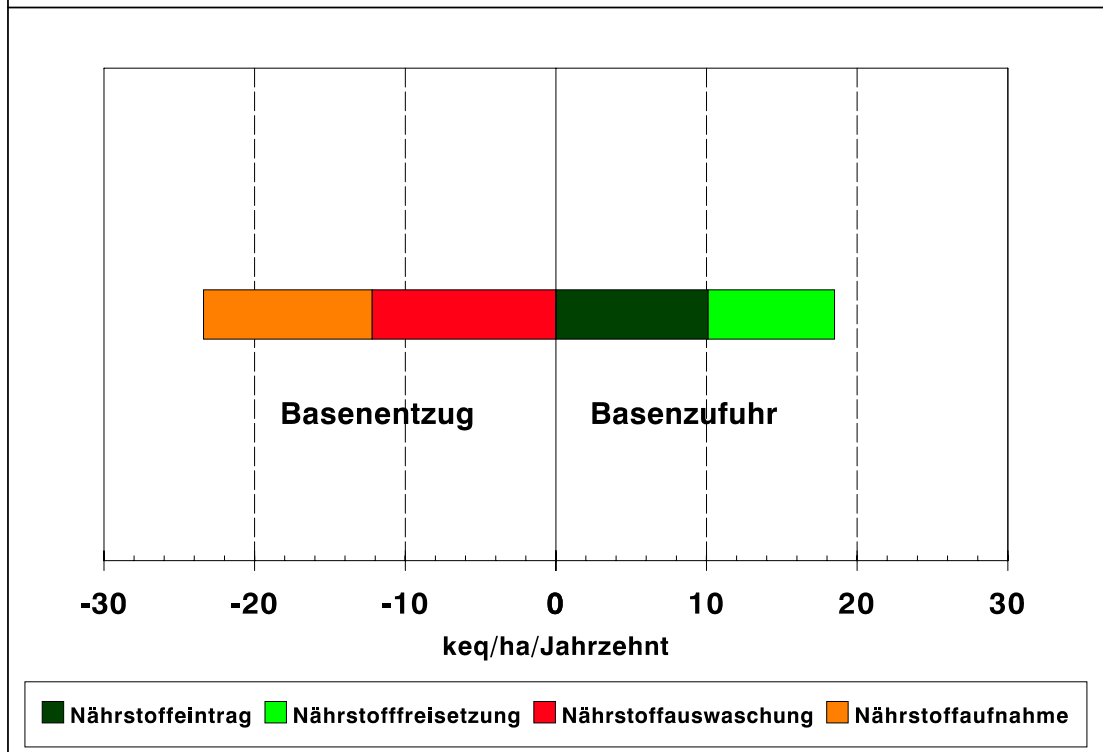


Abb. 30: Basenbilanz des Bodens in von der Heydt ohne Nutzung

### Basenbilanz des Bodens bei reiner Stammholznutzung saarländische Level II-Fläche Von der Heydt

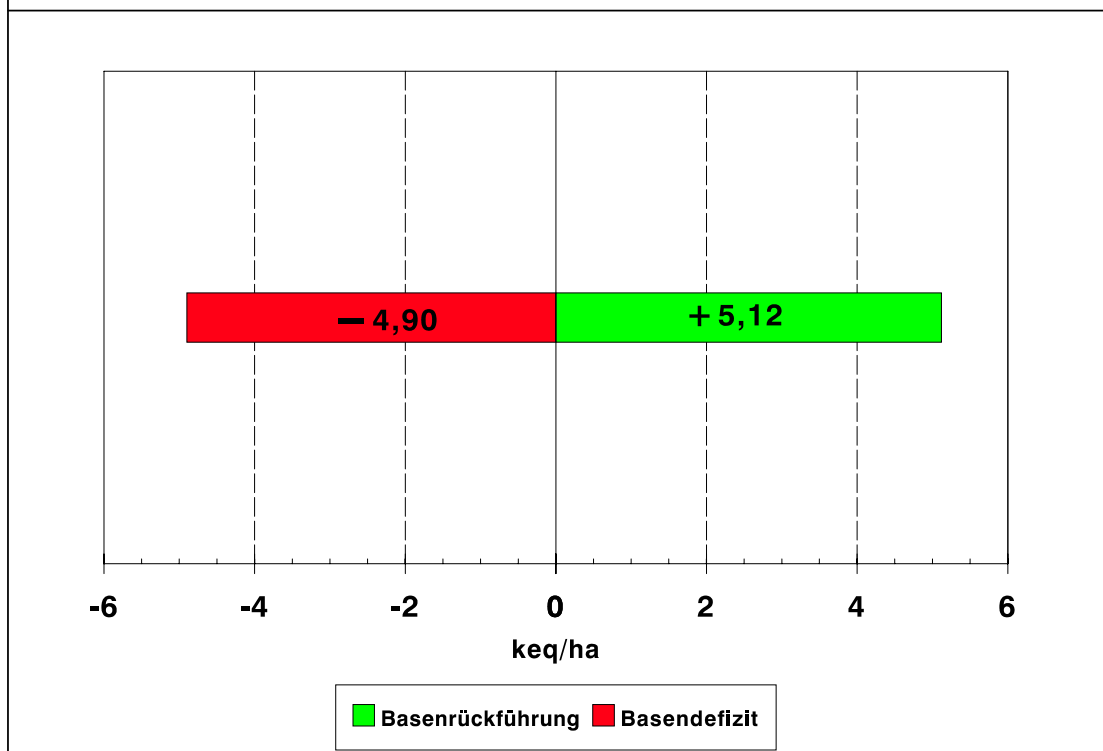


Abb. 31: Basenbilanz des Bodens in von der Heydt bei reiner Stammholznutzung

Durch die Abschätzung der im Rahmen von Durchforstungen anfallenden Holz- und Rindenmengen, der Variation von zu verwertendem und im Wald verbleibenden Holz mit der Basenbilanz des Waldbodens lassen sich verschiedene forstliche Nutzungsszenarien und damit Nutzungsbilanzen erstellen. Dadurch wird es möglich, die Auswirkungen auf den Basenkreislauf des Bodens hinsichtlich einer nachhaltigen Bewirtschaftung zu bewerten.

Bei einer reinen Stammholznutzung, die in Abbildung 31 dargestellt ist, würden an nicht aufgearbeiteten Holz und Stockholz in einem Jahrzehnt ausreichende Holzmengen und damit Basen (Ca, Mg, K, Na) auf der Fläche verbleiben (5,12 keq/ha/ Jahrzehnt), um das Defizit aus dem Basenkreislauf (- 4,90 keq/ha/ Jahrzehnt), abzudecken.

Bewirtschaftung und Basenrückführung widersprechen sich nicht. So könnten z. B. bei einer Erst- oder Zweitdurchforstung zum Ausgleich der Basenbilanz des Bodens oder als zusätzlichen Puffer bestimmte Mengen des anfallenden Industrieholzes auf der Fläche verbleiben. Dadurch würde es möglich, auf solchen Böden in späteren Entwicklungsstufen wertvolleres Stammholz zu nutzen und somit über die Bewirtschaftung die Nachhaltigkeit des Bodens zu steuern.

Es zeichnet sich anhand der bislang vorliegenden Ergebnisse ab, dass sich Standorte mit negativen Basenbilanzen über entsprechende forstliche Eingriffe und die damit verbundenen Basenrückführungen steuern und somit in gewissem Umfang auch stabilisieren lassen.

Auf Grundlage derartiger Basenbilanzen sollen in den folgenden Arbeitsabschnitten anwendungsorientierte Bewertungs- und Übertragungsmodelle vorbereitet und standortspezifisch überprüft werden, um daraus langfristig ein ausreichend flächenscharfes "dynamisches" Standortinformationssystem (Darstellung als standortspezifische Karten) zu entwickeln, das als Eingangsparameter neben bodenkundlichen Grundlagenparameter und chemischen Prozessen auch Bestandesdaten in Abhängigkeit von der Waldökosystemdynamik berücksichtigt.

