Waldzustandsbericht 2005

der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Landes forst Verwaltung

Herausgeber:
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Autoren:
Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung, Freiburg)
Dr. Klaus v. Wilpert (FVA Baden-Württemberg)
Dr. Hansjochen Schröter (FVA Baden-Württemberg)

Bestellung an:
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg
Tel.: 0761/4018-0
Fax: 0761/4018-333
Email: fva-bw@forst.bwl.de
Internet: http://www.fva-bw.de

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 3

2 Einflüsse auf den Waldzustand ... 5

2.1 Klimatische Einflüsse ... 6

2.2 Die Waldschutzsituation ... 9

2.3 Stoffeinträge ... 12

3 Das Forstliche Umweltmonitoring ... 17

4 Methodik und Durchführung der Terrestrischen Waldschadensinventur ... 20

4.1 Methodik der Terrestrischen Waldschadensinventur ... 20

4.2 Durchführung der Terrestrischen Waldschadensinventur 2005 ... 23

5 Ergebnisse der Waldschadensinventur 2005 ... 25

5.1 Ergebnisse der Gesamtwaldfläche Baden-Württembergs ... 25

5.2 Ergebnisse der Baumarten ... 34

5.3 Ergebnisse der Regionen ... 38

6 Auswirkungen der Trockenheit 2003 auf den Waldzustand ... 42

7 Schlussfolgerung ... 51

8 Glossar ... 54

1 EINLEITUNG

Wälder sind neben ihrer Funktion als Produktionsstätten für den konkurrenzlos umweltschonenden Rohstoff Holz wesentliche Ausgleichsräume für diverse Elemente des Landschaftshaushalts. Die Gesellschaft erwartet von Wäldern die Bereitstellung von hochwertigem Trinkwasser und die Verhinderung bzw. Abmilderung von Hochwasserereignissen durch ihr Wasserrückhaltevermögen. Wälder filtern Stäube und Luftschadstoffe aus und sind ein ausgleichender Faktor im Landschaftsklima. Sie sind der Lebensraum vielfältiger, naturnaher Lebensgemeinschaften oftmals seltener und schützenswerter Pflanzen und Tiere. Nicht zuletzt sind sie bevorzugter Erholungsraum für Bürger aus urbanen Ballungsräumen. Die gleichmäßige Sicherung und Entwicklung dieser unterschiedlichen, sich gegenseitig nicht immer konfliktfrei bedingenden Systemfunktionen ist eine anspruchsvolle Optimierungsaufgabe. Die harmonisierte Bereitstellung und Entwicklung aller Waldfunktionen bedeutet gegenüber einer alleine auf den Holzertrag ausgerichteten Waldbewirtschaftung einen erhöhten Aufwand. Dies gilt insbesondere deshalb, weil durch menschengemachte Umweltveränderungen (Luftverschmutzung, Stoffeinträge, Klimawandel) die Randbedingungen für Gesundheit und Existenz des Waldes sowie für seine Funktionen deutlich verändert sind. Klima- und Standortsveränderungen verschärfen und / oder bringen neue Stressbelastungen für den Wald mit sich. Dies wirkt sich in erhöhten Risiken für Vitalität und Gesundheit von Wäldern aus. Gleichzeitig aber hat sich durch Stickstoffeinträge und eine klimabedingt um ca. 10 Tage verlängerte Vegetationsperiode das durchschnittliche Wachstumsniveau erhöht. Dieser Gegensatz belegt eindrücklich, dass das über Jahrhunderte erworbene Erfahrungswissen im Umgang mit Wäldern zunehmend verloren geht und ein auf die Optimierung und Sicherung der o.g. Funktionen ausgerichtetes Ökosystem–Management sich zunehmend auf gemessenes „Ersatzwissen“ stützen muss. Dies gilt sowohl für die Messung der äußeren Randbedingungen wie Stoffeinträge und Witterungs- bzw. Klimaentwicklung wie auch für Gesundheit, Vitalität und Wachstum von Wäldern.

Nachdem wesentliche natürliche Regel- und Puffermechanismen durch Umweltveränderungen belastet und teilweise außer Kraft gesetzt sind, kann man sich nicht mehr uneingeschränkt auf das Regelvermögen der Natur verlassen. Die Messnetze der Forstlichen Umweltüberwachung sind ein umfassendes Instrument der Ökosystemsteuerung, das rechtzeitig Fehlentwicklungen erkennbar und Gegenmaßnahmen möglich macht. Sie bestehen aus der Terrestrischen Waldschadensinventur, den Dauerbeobachtungsflächen, der Bodenzustandserfassung, der Ernährungsinventur und den Stoffflussmessflächen bzw. Waldklimastationen. Die Waldschadensinventur ist der Kernbereich dieses integrierten Umweltüberwachungskonzepts, da sie die Zielgröße Baumzustand erfasst. Die anderen Messnetzkompartimente dienen der Erfassung und Einschätzung von Einflussgrößen. Anhand der Daten aus dem Forstlichen Umweltmonitoring können zukünftige Ökosystementwicklungen abgeschätzt und deren mögliche Ursachen abgeleitet werden. Damit stellt das Forstliche Umweltmonitoring die Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Nutzung der Wälder im weitesten Sinn dar. Die methodische Harmonisierung des thematisch umfassenden Umweltüberwachungskonzepts ist europaweit vorbildlich und erlaubt breit angelegte, interdisziplinäre Auswertungen, die weit über forstwirtschaftlich motivierte Fragestellungen hinausgehen und wesentliche Landschaftsinformationen verfügbar machen. In Baden-Württemberg repräsentiert das Messnetz die Waldfläche, d.h. ca. 39% der Landesoberfläche. Es ist institutionell verankert und bietet damit auch die Voraussetzungen, sich künftigen Herausforderungen zu stellen. Hierzu zählen aktuelle Fragestellungen wie die Biodiversität oder die Kohlenstoffspeicherung in Wäldern bzw. Waldböden. Sie lassen sich auf der Basis der Messreihen des Forstlichen Monitorings quantitativ, einschließlich statistischer Fehlermargen bearbeiten. Damit können die sich aus internationalen Konventionen (z. B. Kyoto–Protokoll) abgeleiteten

Berichtspflichten auf einer inhaltlich und methodisch hervorragend ausgestatteten Datenbasis erfüllt werden. Von der Waldzustandserhebung gingen die wesentlichen Impulse zur Luftreinhaltepolitik und zur Definition und Steuerung der Bodenschutzkalkungen im Wald aus. Dies sind nachweislich der Ergebnisse aus den Messnetzen wirksame Instrumente zur langfristigen Erhaltung des Waldes in unserer Region.

In der Waldzustandserfassung wird der Nadel-/ Blattverlust als unspezifischer Vitalitätsweiser verwendet. Durch diesen wird die Summenwirkung aller Stressoren von chronischen Belastungen durch Schadstoffe bis hin zu Witterungsextremen erfasst. Differenzialdiagnostische Interpretationen des Schadensverlaufs erfordern zusätzliche Informationen zu Bodenzustand, Witterungsverlauf oder Ernährungslage der Wälder etc., die in anderen Ebenen der Forstlichen Umweltüberwachungsmessnetze erhoben werden. Die in diesem Bericht verwendete Schadensdefinition geht von einer überzufälligen Schädigung bei höheren Nadel-/ Blattverlusten als 25% eines vollbenadelten Referenzbaumes aus. Da im Jahr 2005 aufgrund der Folgewirkungen des extremen Trockensommers 2003 ein gegenüber 2004 nochmals verschlechterter Kronenzustand beobachtet wurde, stehen die Ergebnisse der Waldzustandserfassung und deren Interpretation anhand von Daten aus der Bodenzustandserfassung, der Intensivmessflächen des Depositionsmessnetzes und der Stoffhaushaltsfallstudien im Zentrum dieses Berichtes.

2 EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND

Auf die Wälder wirken eine Vielzahl von Umweltfaktoren, die zu einer permanenten Veränderung des Waldzustandes führen. Die unterschiedlichen Faktoren sind teils natürlichen Ursprungs, teils durch den Menschen bedingt und variieren stark in ihrer räumlichen wie zeitlichen Ausprägung. Die Wirkungswege der Einflussfaktoren sind sehr unterschiedlich. Sie können einerseits direkt auf den Baum, z.B. durch direkte Schädigung der Blattorgane durch Luftschadstoffe wirken, anderseits können sie indirekt wie z.B. durch Bodenversauerung Einfluss auf den Waldzustand nehmen. Im Wesentlichen lassen sich drei Gruppen von Einflussfaktoren zusammenfassen:

- **Stoffeinträge**
- **Witterung**
- **Biotische Schädigung**

Die einzelnen Einflussfaktoren stehen zudem in Wechselbeziehung zueinander und können sich in ihrer Wirkung verstärken oder aber auch abschwächen. So führt ein extremer Witterungsverlauf mit lang anhaltender Trockenperiode zu einer massiven Schwächung der Bäume und gleichzeitig zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Käferbefall (Abb. 1).

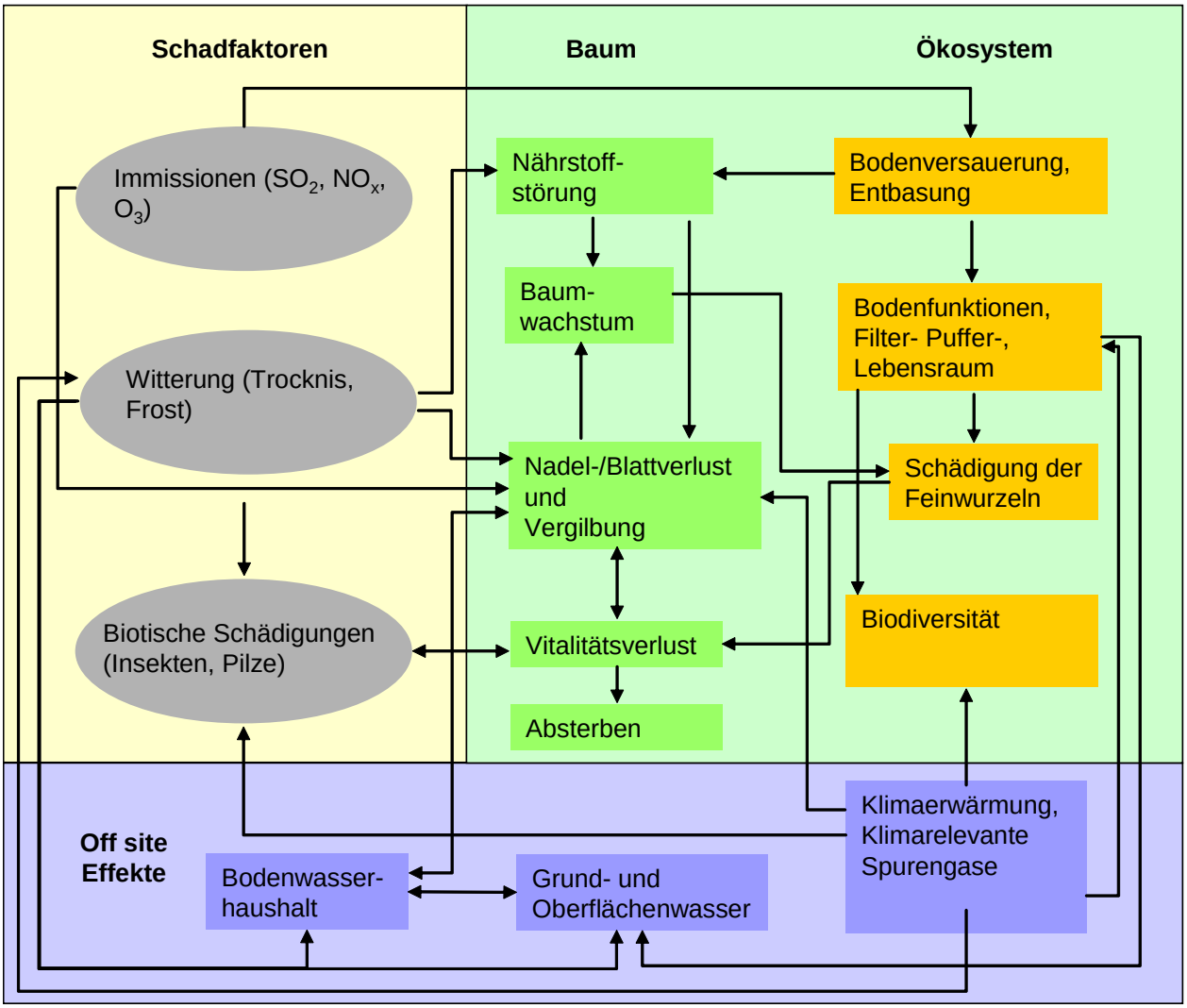


Abb. 1: Wirkungsgefüge

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

Entscheidend ist, dass in Baden-Württemberg bis auf Ozon keine akuten Schäden direkt durch Immissionswirkungen zu erwarten sind, sondern ein chronisches Schadgeschehen vorherrscht. Das bedeutet, dass Säure- und Stickstoffeinträge über Bodenversauerung und Nährelementungleichgewichte die Konstitution von Bäumen chronisch destabilisieren. Folgewirkungen sind auf vielen Standorten eine Reduktion der Tiefendurchwurzelung, Schädigung der für die Bodenstruktur und Bodenbelüftung verantwortlichen Bodenlebewesen und letztendlich verstärkte Nadel-/Blattverluste. Schadensverstärkend wirken Witterungsextreme wie das Trockenjahr 2003 und Schadorganismen, die oftmals Sekundärfolger nach Extremereignissen sind.

Thema der Waldzustandserfassung ist jedoch nicht nur die Vitalität von Wäldern, sondern mittelbar auch die Wirkung von Waldschäden auf benachbarte Ökosphären. Hier sind insbesondere verstärkte Schadstoffausträge in die Hydrosphäre aus geschädigten Waldökosystemen bzw. Rückkopplungen mit der globalen Klimaentwicklung zu nennen. Diese Ökosystemschäden sind sicherlich so gravierend wie Beeinträchtigungen der Vitalität und des Wachstums von Wäldern selbst.

2.1 Klimatische Einflüsse

Witterungssituation 2004/2005

Das Jahr 2004 war in Baden-Württemberg gemessen am vieljährigen Mittel zu warm und zu trocken. Außer im März und Dezember überschritten die Temperaturen in jedem Monat das langjährige Mittel, welches als internationale klimatologische Referenzperiode aus den Werten der Jahre 1961 bis 1990 berechnet wird. Auch im bisherigen Verlauf des Jahres 2005 stiegen die monatlichen Durchschnittstemperaturen meist über den jeweiligen Referenzwert. Das Anfang 2003 begonnene Niederschlagsdefizit setzte sich in Baden-Württemberg bis in den Sommer 2004 fort. Erst im August fiel im Landesdurchschnitt wieder mehr Niederschlag. Während der September wieder deutlich zu trocken war, kam es im Oktober zu sehr starken Regenperioden. Die in kurzer Zeit aufkommenden Wassermassen flossen teilweise oberirdisch ab, ohne dass der Boden seine Wasserspeicher entsprechend auffüllen konnte. Erst im Frühjahr 2005

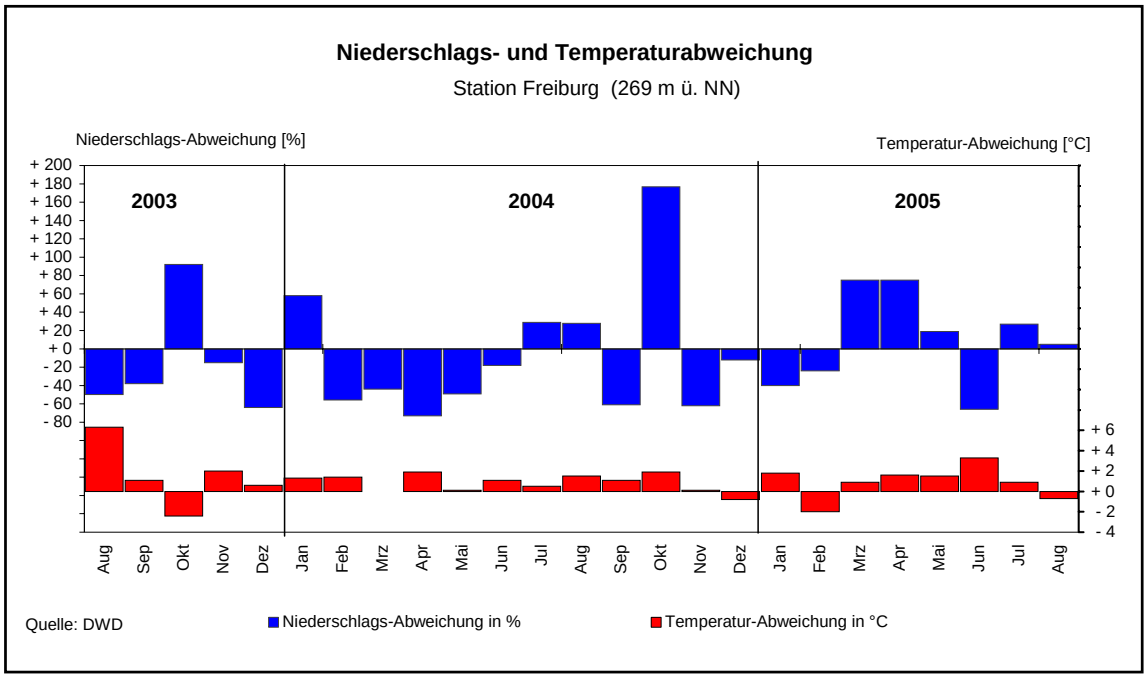


Abb. 2: Niederschlags- und Temperaturabweichung

führten lang anhaltende Niederschlagsmengen zu einer weitgehenden Regeneration der Wasserspeicher im Boden (Abb. 2).

Langfristige Klimaänderung

Die globale Erwärmung der Lufttemperatur ist eine der größten und gleichzeitig eine schwer steuerbare Herausforderung der Menschheit. Nach Angaben der UN-Organisation für Klimafragen (Intergovermental Panel on Climate Change) hat sich die bodennahe Lufttemperatur in den letzten 100 Jahren um etwa 0,6° Celsius erhöht. Verschiedene Klimamodelle führender Klimaforscher gehen von einem globalen Temperaturanstieg von 1 bis 3,5° Celsius bis ins Jahr 2100 aus. Diese vorhergesagte Änderung würde jeden Klimawandel der letzten 10.000 Jahre übertreffen. Die Folgen eines solchen Wandels werden für die Umwelt beträchtlichen Ausmaßes sein. Durch Veränderungen der Temperatur-, aber auch der Niederschlagshöhe bzw. durch eine jahreszeitliche Verschiebung der Niederschläge sind Ökosysteme neuen klimatischen Belastungen ausgesetzt, die zu einer Verschiebung der Vegetationszonen und zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung führen wird. Eine Destabilisierung des Klimas wirkt sich meist direkt auf den Vitalitätszustand der Waldbäume aus. Zudem ist noch weitgehend unklar, inwieweit sich das Zusammenspiel zwischen abiotischen und biotischen Einflussfaktoren auf das Ökosystem verändern wird. Als erste Anzeichen eines Klimawandels werden die in immer kürzeren Abständen eintretenden extremen Witterungsereignisse, wie Überschwemmungen, Hitze- und Dürreperioden oder Stürme angesehen.

Der Klimawandel wird wesentlich durch den Menschen verursacht. Der stark erhöhte Ausstoß von klimarelevanten Spurengasen seit Beginn der Industrialisierung führt dazu, dass Wärmestrahlung innerhalb der Atmosphäre absorbiert wird und nicht nach außen entweichen kann („Treibhauseffekt“). Treibhausgase entstehen v. a. bei der Nutzung fossiler Energieträger, der landwirtschaftlichen Produktion und bei industriellen Prozessen. So ist die Kohlendioxidkonzentration in den letzten 250 Jahren in der Atmosphäre um über 31% angestiegen (Abb. 3).

In Abbildung 4 ist der Klimaverlauf der Stationen Stuttgart (mittlerer Neckar), Freiburg (Breisgau), Münsingen (Schwäbische Alb) und Villingen (Baar) des Deutschen Wetterdienstes für den Zeitraum von 1952 bis 2004 dargestellt. Die Jahresmittelwerte des Niederschlags weichen im Vergleich zum langjährigen Mittel sowohl in die eine als auch in die andere Richtung sehr stark ab. Ein einheitlicher Trend der Niederschlagsmengen ist nicht zu erkennen. Ein anderes Bild zeigt sich bei den Jahresmitteltemperaturen.

Die Temperaturwerte aller vier Stationen verzeichnen seit etwa Mitte der 70er Jahre im Durchschnitt einen eindeutigen Anstieg der Werte gegenüber dem langjährigen Mittel. Der Trend der Temperaturentwicklung deutet klar auf eine Erwärmung in der Beobachtungszeit hin.

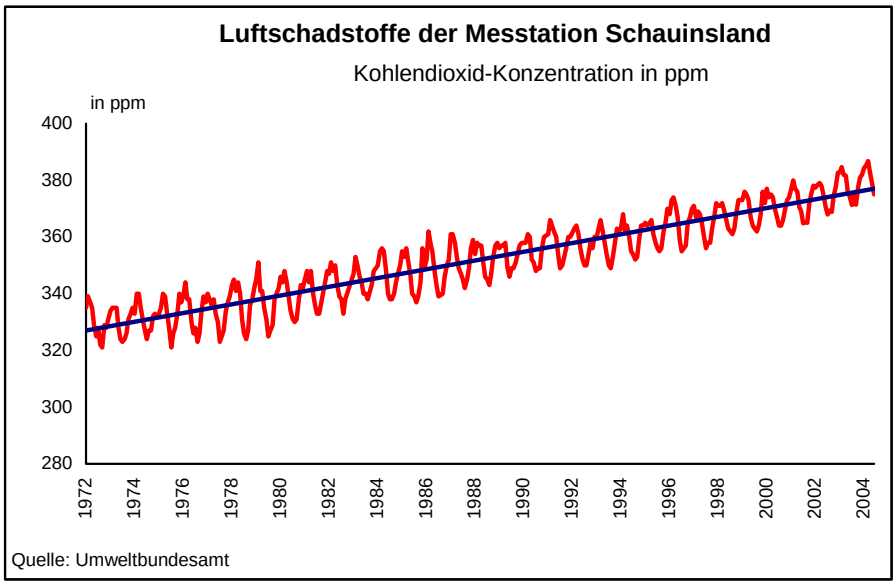


Abb. 3: Entwicklung der Kohlendioxid-Konzentration

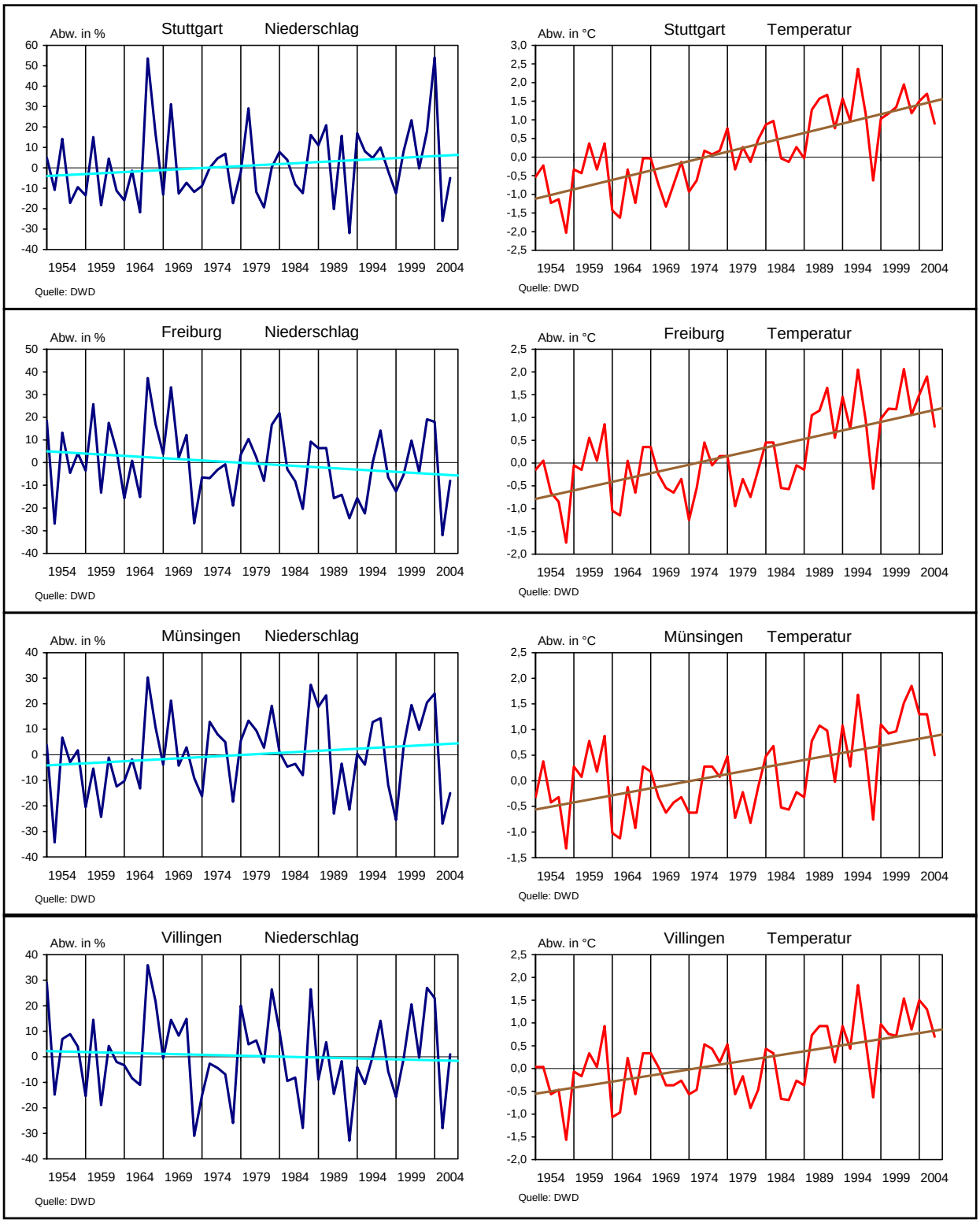


Abb. 4: Jahresmittelwerte für Niederschlag und Temperatur

2.2 Die Waldschutzsituation

Die allgemeine Waldschutzsituation in Baden-Württemberg ist ein Jahr nach der extrem warmen und trockenen Witterung des Jahres 2003 und sogar bis ins aktuelle Jahr hinein weiter angespannt. Im Jahr 2004 fielen knapp 3,7 Mio. Festmeter Holz als zufällige Nutzung an. Dies entspricht einem Anteil am Gesamtholzeinschlag Baden-Württembergs von 43%. Die zufällige Nutzung, d.h. die nicht planmäßige, sondern durch Naturereignisse bedingte Zwangsnutzung erfolgt einmal aus biotischen (v. a. Borkenkäfer) und abiotischen (v. a. Sturm und Dürre) Gründen. Insgesamt 59% der zufälligen Nutzung sind aus biotischen und 41% aus abiotischen Ursachen angefallen. Damit ist der Anteil der zufälligen Nutzung im Vergleich zu 2003 leicht angestiegen (Abb. 5).

Abiotische Schäden

Die Sturmholzmenge ist in Baden-Württemberg gegenüber dem Vorjahr etwas zurückgegangen. Am stärksten wirkten sich die Winterstürme im Januar und Februar 2004 aus, bei denen sich regional als Schwerpunkte die Hochlagen des Schwarzwaldes, die Ostalb und der Odenwald abzeichneten. Es waren vorwiegend Schäden an Einzelbäumen bzw. Baumgruppen betroffen. Insgesamt fielen im Jahr 2005 rund 680.000 Festmeter Sturmholz an.

Die Auswirkungen der extrem heißen und trockenen Witterung 2003 zeigen sich im Verlauf des Jahres 2004 durch deutlich erhöhte Dürreschäden. Die Dürrholzmenge verdreifachte sich im Vergleich zum Vorjahr und stieg auf insgesamt über 760.000 Festmeter an. Regionale Schwerpunkte lagen im Schwäbisch-Fränkischen Wald, in Franken, auf der Ostalb sowie im Mittleren Schwarzwald.

Im bisherigen Verlauf des Jahres 2005 ist insgesamt eine Abnahme der zufälligen Nutzungen zu verzeichnen. Dies ist insbesondere durch den deutlich verringerten Anfall von Dürrholz begründet. Im August 2005 verringerte sich die bisher angefallene Dürrholzmenge auf ein Drittel des Augustwertes 2004. Zudem fiel bis August 2005 weniger Sturmholz in Baden-Württemberg an, als dies zum gleichen Zeitpunkt im Jahr 2004 der Fall war.

Im Sommer 2005 verursachten starke Unwetter, die von heftigen Hagelschauern begleitet waren regional z. T. erhebliche Schäden. So führte ein Hagelsturm am 29.7.2005 mit Korngrößen bis zu 4 cm Durchmesser in Bereichen des Südschwarzwaldes zu beträchtlichen Schäden. Im Münstertal fielen bei einem Wirbelsturm über 50.000 Festmeter Sturmholz an.

Biotische Schäden

Der Anteil der biotischen Schäden an der zufälligen Nutzung ist im Wesentlichen durch das massenhafte Auftreten der Fichtenborkenkäfer Buchdrucker und Kupferstecher geprägt, die in den letzten Jahren in Baden-Württemberg zu erheblichen Schäden geführt haben. Zunächst konnte sich eine Massenvermehrung der in der Rinde von Fichten brütenden Käfer aufgrund der enormen Sturmholzmenge nach dem Winterorkan „Lothar“ (1999) ausbilden. Nachdem sich die Gradation im Jahr 2002 langsam abgeschwächt hatte, führte die extreme Witterungssituati-

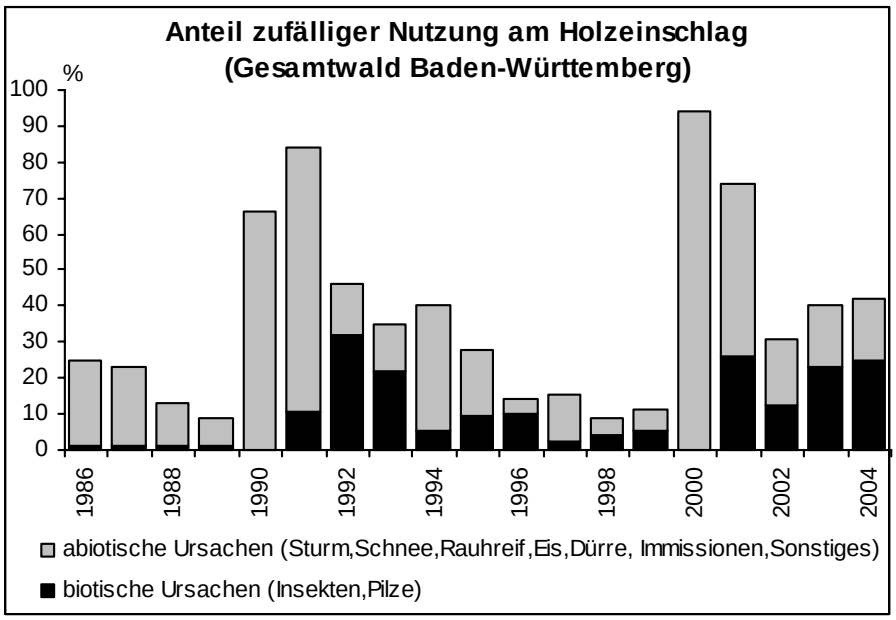


Abb. 5: Anteil der zufälligen Nutzung am Holzeinschlag

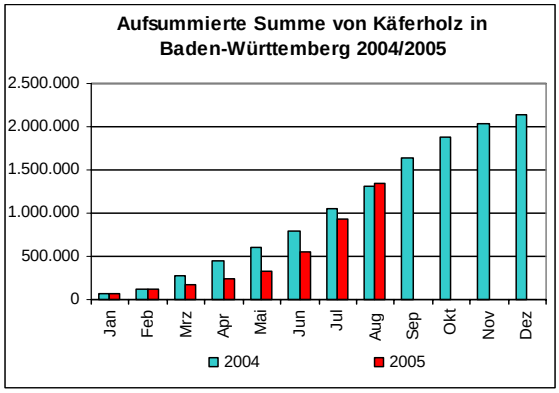


Abb. 6: Käferholz 2004/2005

on des Jahres 2003 mit außerordentlich hohen Temperaturen und wenig Niederschlag landesweit zu einer explosionsartigen Massenvermehrung vor allem der Kupferstecher. Die durch Trockenstress erheblich geschwächten Fichten konnten den Angriffen der Borkenkäfer nur unzureichend Widerstand durch entsprechenden Harzfluss entgegensetzen, so dass es zu einer raschen Ausbreitung des Befalls dieser Schadinsekten kam.

Im Jahr 2004 wurden insgesamt über 2,1 Mio. Festmeter Käferholz in Baden-Württemberg eingeschlagen. In letzter Zeit wurde lediglich im Jahr 2001, bedingt durch den Orkan „Lothar“, eine größere Schadholzmenge durch Käfer verursacht.

Im Jahr 2005 ist in Baden-Württemberg bezüglich der Käferholzmenge trotz der durchwachsenen Witterung noch keine Entspannung eingetreten. Bis August 2005 fiel landesweit sogar etwas mehr Käferholz an als zum gleichen Zeitpunkt des Vorjahres (Abb. 6). Dies ist angesichts der im Spätjahr 2004 und in der ersten Jahreshälfte 2004 überproportionalen Niederschläge unerwartet. Eine denkbare Erklärung ist, dass trocknisbedingte Wurzelschäden die Wasseraufnahme der Bäume trotz hoher Niederschläge behindern und damit der natürliche Abwehrmechanismus, nämlich ausreichend Harzfluss gegen Borkenkäfer nur eingeschränkt funktioniert.

Regional betrachtet ergeben sich große Unterschiede des Käferbefalls in Baden-Württemberg. Insbesondere Regionen, die von der Trockenheit 2003 besonders betroffen waren, haben weiterhin mit massivem Befall zu kämpfen. Dies trifft v. a. für das nordöstliche Neckarland zu. Die Region Neckar-Franken ist weiterhin die mit am stärksten betroffenste Region Baden-Württembergs. In einzelnen Land-

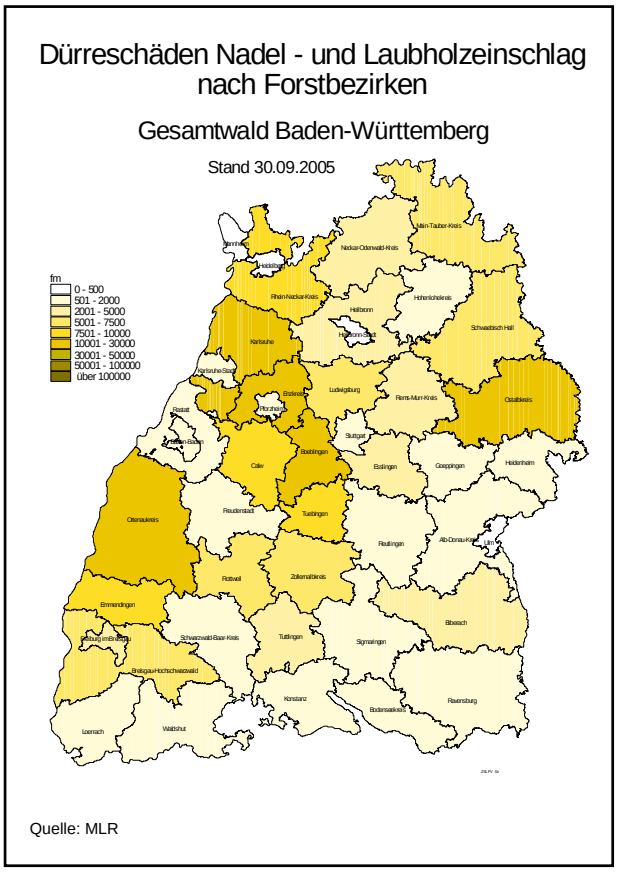


Abb. 7: Dürreschäden Nadel- und Laubholz

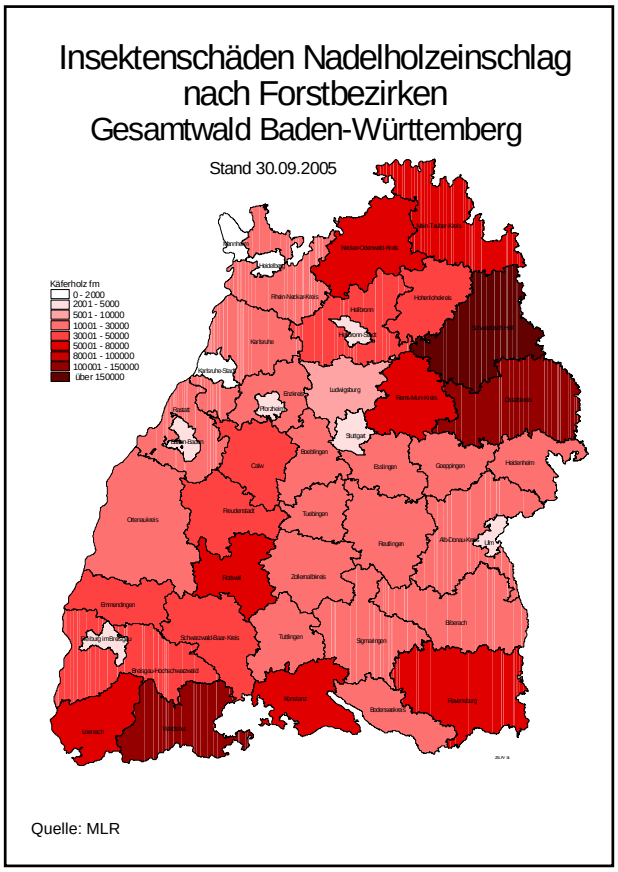


Abb. 8: Insektenschäden Nadelholzeinschlag

kreisen der Region liegt der Anteil der zufälligen Nutzung bei über 80%. Weiterhin sind das Allgäu und das Hochrheingebiet stark betroffen (Abb. 7 und 8).

Ein besonderes Ereignis des Jahres 2005 ist das regional umfangreiche Vorkommen der Fichtenquirlschildlaus. Vorzugsweise in wärmeren Hanglagen des mittleren und südlichen Schwarzwaldes sowie im Rheintal befiel diese Lausart mittelalte und alte Bestände und führte zu deutlich sichtbaren Schadsymptomen. Innerhalb weniger Wochen verfärbten sich die Nadeln im Sommer rotbraun und die Wipfel begannen zum Teil abzusterben. Der Befall muss aber nicht immer zwingend letale Folgen für die Fichten haben. Kronenschäden bis zu einem Drittel der Kronenlänge können vom Baum selbst ausgeheilt werden. Auch das massive Auftreten der Fichtenquirlschildlaus ist ebenfalls auf die extrem trockene und heiße Witterungssituation 2003/2004 zurückzuführen, die einerseits zu einer Schwächung der Fichten geführt und andererseits die Entwicklung der Läuse massiv gefördert hat.

An der Eiche wurden im Laufe des Jahres 2005 erhebliche Schäden durch den Blattfraß verschiedener Schmetterlingsraupen beobachtet. Nahezu landesweit wurden im Frühsommer Eichenbestände und Eichen-Mischbestände von Raupen des Kleinen und des Großen Frostspanners sowie des Eichenwicklers befressen. Vielerorts kam es zu Kahlfraß ganzer Bestände. Durch einen erneuten Austrieb der Eichenbestände hat ein einmaliger Kahlfraß nicht zwingend letale Folgen für die Eichen. Ihr Zustand wird jedoch zunehmend gefährdeter, wenn es im Verlauf des Sommers durch andere Schmetterlingsraupen wie z.B. Schwammspinner oder Eichenprozessionsspinner zu einem erneuten Befall kommt. Im Sommer 2005 wurde in Baden-Württemberg ein erhöhter Befall von Schwammspinner- und Eichenprozessionsspinnerraupen festgestellt. Letztere spielen auch für den Menschen eine nicht zu unterschätzende Rolle. Die so genannten Brennhaare des Eichenprozessionsspinners können schmerzliche allergische Reaktionen beim Menschen auslösen. Auf einer Fläche von 371 Hektar mussten Schwammspinner und Eichenprozessionsspinner in Baden-Württemberg mit Insektiziden bekämpft werden. In den laubholzreichen Hardtwäldern Nordbadens werden die Fraßschäden der Schmetterlingsraupen durch Wurzelfraß der Waldmaikäfer-Engerlinge verstärkt.

Die Schwächung der Eichen durch verstärkten Blattfraß von Schmetterlingsraupen sowie Folgeschädigungen resultieren ebenfalls aus der extremen Trockenheit 2003. Diese macht die Eichen insgesamt anfällig für Sekundärschädlinge. Insbesondere provoziert Trockenheit die Gefahr eines verstärkten Auftretens des Eichenprachtkäfers, der vorwiegend geschwächte Eichen befällt und diese zum Absterben bringt (Abb. 9). Ähnliche Sekundärschädlinge an der Buche sind der Kleine Buchenborkenkäfer und der Buchenprachtkäfer, deren Vorkommen im Jahr 2004 ebenfalls angestiegen ist. Da viele Buchenbestände als Folge der Trockenheit 2003 nach wie vor geschwächt sind, ist weiterhin eine Ausweitung der Schadensfläche durch diese Käferarten gegeben.

Abb. 9: Kahlfraß an Eichen

2.3 Stoffeinträge

Luftschadstoffe belasten die Waldökosysteme auf vielfältige Weise. Neben direkten Wirkungen über die Blattorgane der Bäume treten vor allem indirekte Wirkungen über den Waldboden auf. Eine direkte Schädigung der Blattorgane durch Luftschadstoffe kommt in der Regel nur bei sehr hohen Schadstoffkonzentrationen vor. Dagegen führen auch nicht akut schädigende Stoffeinträge, die das natürliche Puffervermögen von Wäldern übersteigen mittel- und langfristig zu einer chronischen Destabilisierung. Aufgrund ihrer großen Blatt- bzw. Nadeloberfläche kämmen Wälder Schadstoffe aus der Luft heraus und sind daher stärker durch Luftschadstoffe belastet wie beispielsweise benachbarte Freilandflächen.

In Baden-Württemberg werden gasförmige Luftschadstoffe landesweit vom Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit (UMEG) erfasst. Die Messstationen finden sich übers ganze Land verteilt. Drei der Stationen befinden sich als so genannte Hintergrundstationen im Wald: Kälbelescheuer (Südschwarzwald), Edelmannshof (Schwäbische Alb) und Wilhelmsfeld (Odenwald). Die Depositionen im Niederschlag werden an 24 Messstationen im Wald von der FVA Baden-Württemberg erfasst (Depositionsmessnetz).

Gasförmige Immissionen

Die erfolgreiche Reduzierung der **Schwefeldioxidkonzentration** ist unmittelbar als Folge der öffentlich geführten Umweltdiskussion Anfang der 80er Jahre anzusehen. Durch die Einführung von Rauchgasentschwefelungsanlagen und der Verwendung schwefelärmeren Brennstoffen wie z.B. Gas und leichtes Heizöl konnte der Schwefeldioxidausstoß seit Ende der 80er Jahre etwa um den Faktor 10 gesenkt werden (Abb. 10). Höhere Schwefeldioxidkonzentrationen in der Luft können zu akuten Schädigungen der Blattorgane an Bäumen führen. Die landesweit aktuell gemessenen Jahresmittel der Schwefeldioxidkonzentration liegen insgesamt deutlich unter den Werten, die zu einer sichtbaren Schädigung bei Waldbäumen führen können.

Bodennahes **Ozon** entsteht unter Einwirkung von Sonnenlicht aus der Reaktion von Stickoxiden und

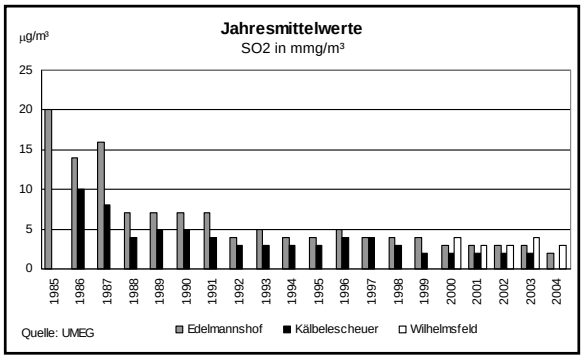


Abb. 10: Jahresmittelwerte Schwefeldioxid

flüchtigen Kohlenwasserstoffen. Die Ozonkonzentration in der Luft unterliegt stark jahreszeitlichen Schwankungen. Während in Wintermonaten nur wenige Tage den Ozonschwellenwert überschreiten, kommt es in den Sommermonaten z. T. zu erheblichen Ozonbelastungen. Nach dem äußerst sonnenreichen Sommer 2003 ist in den Sommermonaten 2004 wieder ein Abfall der Ozonbelastung mit maximal 17 Tagen der Schwellenwertüberschreitung zu

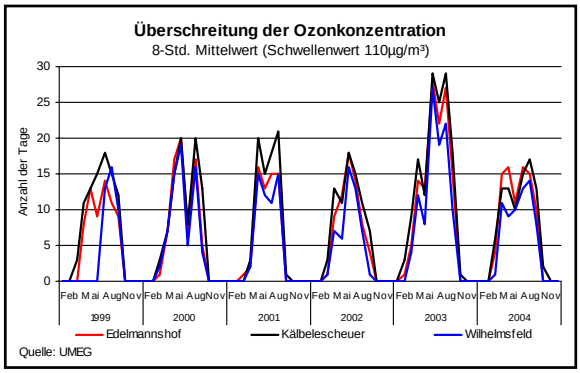


Abb. 11: Ozonüberschreitung (110 µg/m³)

beobachten (Abb. 11).

Ozon verursacht an Waldbäumen eine Schädigung des Zellapparates. Durch die Spaltöffnungen dringt das außerordentlich reaktive Gas in das Blattinnere ein und schädigt dort die Zellen des Palisadenparenchyms. Dadurch wird die Photosyntheseleistung eingeschränkt und die Versorgung anderer Zellen unterbrochen. Auf Versuchsflächen der FVA Baden-Württemberg konnten erstmals im Jahr 2003 akute Schädigungen durch Ozon an Blättern im größeren Umfang beobachtet werden.

Depositionen im Niederschlag

In Baden-Württemberg werden an insgesamt 24 Messstationen Stoffeinträge vergleichend unter einem Fichtenbestand und einer benachbarten Freilandfläche gemessen (Depositionsmessnetz). Die Messorte befinden sich vorwiegend auf nichtkarbonatischen Standorten, da dort die standortspezifische Pufferrate durch die aktuellen Säureeinträge großflächig überschritten wird. Aus Standardisierungsgründen werden die Depositionsmessstellen auf Fichtenflächen beschränkt. An den Messstellen des Depositionsmessnetzes werden sowohl Säure- als auch Stickstoffeinträge gemessen.

Ein erheblicher Teil der mit dem Niederschlag eingetragenen Säuren wird bereits im Kronenraum der Wälder aufgenommen (z.B. direkte Aufnahme von Ammonium) oder durch Freisetzung von Basen abgepuffert und entzieht sich somit der direkten Messung. Dieser Anteil wird als Kronenpufferung bezeichnet. Er wird durch Modellrechnungen ermittelt und der direkt gemessenen Säuremenge zugeschlagen. Die im Kronenraum aufgenommenen Säureäquivalente müssen zur Aufrechterhaltung der Elektroneutralität durch die Abgabe von Kationen gepuffert werden („Leaching“). Die abgegebenen Kationen werden unter Freisetzung von Protonen im Wurzelraum wieder ersetzt. Die Gesamtsäureeinträge sind in den Waldbeständen im Durchschnitt ca. zwei- bis dreimal so hoch wie im Freiland. Das bedeutet, dass Wälder mit ihrer großen Kronenoberfläche Stäube und Aerosole aus der Luft herausfiltern und damit aktiv zur Luftreinhaltung beitragen. Lediglich in den Windschattlagen des Schwarzwaldes treten vereinzelt im Waldbestand und im benachbarten Freiland vergleichbare Säureeinträge auf (Bsp. Station Löffingen).

Gesamtsäureeinträge

Die Säureeinträge im Niederschlag setzen sich aus Sulfat (SO_4), Nitrat (NO_3), Chlorid (Cl) und Ammonium (NH_4) zusammen. Während die Sulfat- und Nitratdepositionen überwiegend aus der Verbrennung fossiler Energieträger und Chlorid vornehmlich aus der Verbrennung von Kunststoffen stammt, werden die anthropogenen Ammoniumeinträge zu einem erheblichen Teil durch Tierhaltung, aber auch durch Emissionen aus Kläranlagen und der chemischen Industrie verursacht.

Die Gesamtsäureeinträge in die Wälder Baden-Württembergs waren 2004 niedriger als im Vorjahr, sie überschreiten in der Regel aber immer noch mit Werten zwischen 0,3 und 1,5 $kmol_c$/ha/Jahr die Aufnahmefähigkeit und das Puffervermögen von Waldökosystemen. Regional lassen sich drei Bereiche unterschiedlicher Depositionsintensität in Baden-Württemberg unterscheiden. Im Windschatten des Schwarzwaldes werden mit maximal 0,8

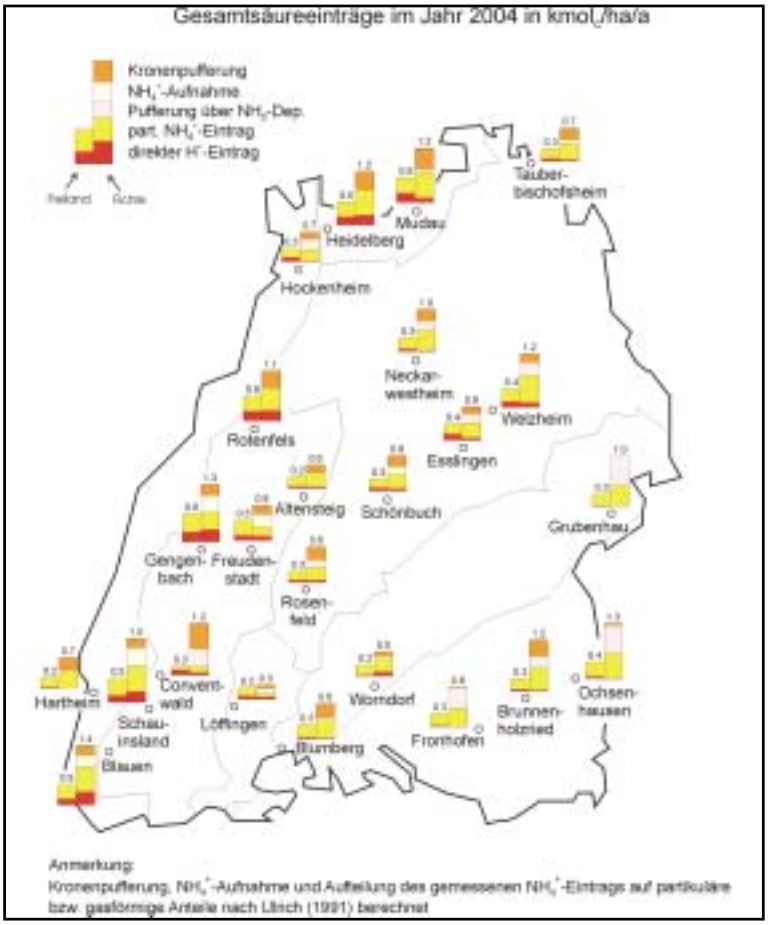


Abb. 12: Gesamtsäureeinträge Freiland und Fichten-Bestand

$kmol_c$/ha/Jahr die niedrigsten Gesamtsäureeinträge gemessen, entlang des Schwarzwald-Westkamms dagegen mit Werten zwischen 1,1 und 1,5 $kmol_c$/ha/Jahr die höchsten. Die übrige Landesfläche ist mit Säureeinträgen zwischen 0,7 und 1,3 $kmol_c$/ha/Jahr wenig differenziert (Abb. 12).

Stickstoffeinträge

Auch die Stickstoffeinträge im Niederschlag, die sich im Wesentlichen aus Nitrat (NO_3) und Ammonium (NH_4) zusammensetzen, lagen im Jahr 2004 etwas niedriger als im Vorjahr. Die Stickstoffeinträge in die Wälder übersteigen mit Werten zwischen 13 und 33 kg/ha/Jahr auf einem Großteil der Landesfläche die Stickstoffmengen, die im Biomassezuwachs fixiert werden können. Nur in den Leelagen des Schwarzwaldes wurden Stickstoffeinträge gemessen, die mit 5 bis 19 kg/ha/Jahr im Bereich der biologischen Aufnahmekapazität von wüchsigen Wäldern liegen.

Bei der stofflichen Zusammensetzung der Stickstoffeinträge lassen sich für Baden-Württemberg zwei Bereiche unterscheiden. Im Westen des Landes überwiegt der hauptsächlich dem Individualverkehr zurechenbare Nitratanteil, während im Ostteil der durch Landwirtschaft bedingte Ammoniumanteil überwiegt. Im Landesdurchschnitt liegt der Anteil an Ammonium etwas niedriger als der Nitratanteil (Abb. 13).

Die Höhe der Stickstoffeinträge in die Wälder Baden-Württembergs liegt in der Größenordnung einer extensiven landwirtschaftlichen Düngung. Dies ist für Wälder und ihre typische Bodenvegetation problematisch, da diese evolutionsbiologisch nicht an Stickstoffüberfluss angepasst sind. Die Folge ist eine Verschiebung der Artenzusammensetzung in der Bodenvegetation in Richtung stickstoffliebender Arten und eine Verdrängung oftmals seltener und naturschützerisch interessanter Waldarten. In der Waldernährung sind Nährstoffungleichgewichte (z.B. eine Verschärfung von Kaliummangelerscheinungen) die Folge zunehmender Stickstoffsättigung.

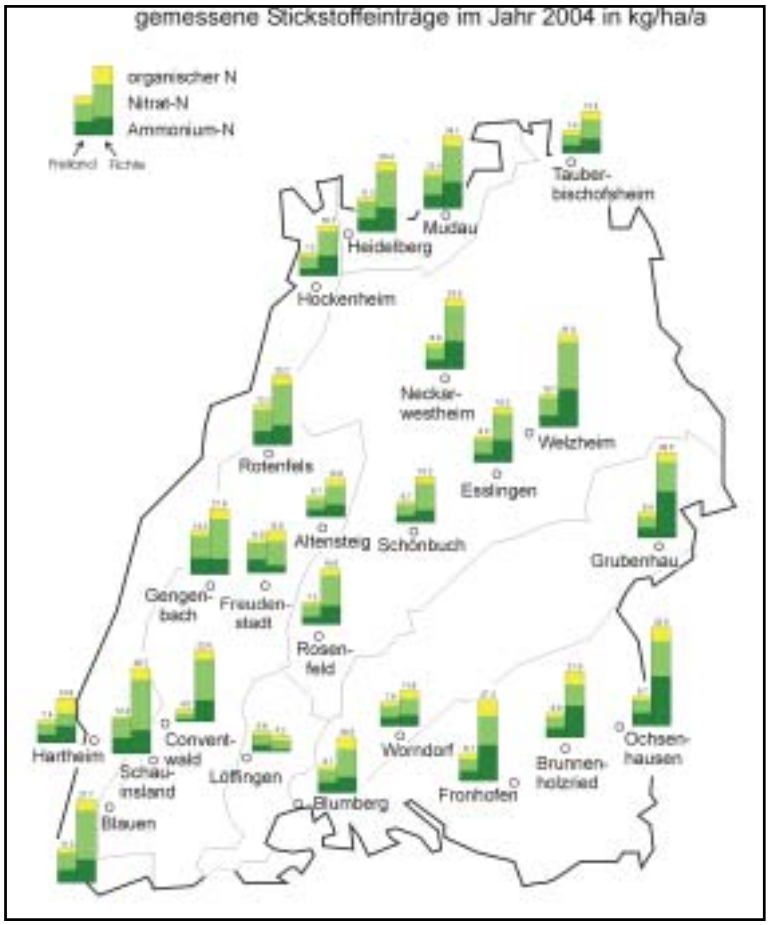


Abb. 13: Stickstoffeinträge Freiland und Fichten-Bestand

Überschreitung kritischer Belastungsschwellen, Reduktionsziele

Eine Bewertung der ökosystemaren Wirkung von Stoffeinträgen ist möglich, wenn kritische Belastungsgrenzen für potentiell schädigende Stoffe bekannt sind. Diese geben an, welche Stoffeinträge von Ökosystemen „ertragen“ werden können, ohne dass langfristig Schäden oder unerwünschte Funktionsstörungen zu befürchten sind. Diese Toleranzschwelle wird durch natürliche Kompensationsmechanismen und durch die Aufnahmekapazität von Wäldern für Stoffe definiert. Für die beiden Hauptkomponenten der Depositionsbelastung, die Säure- und eutrophierenden Stickstoffeinträge, bestehen folgende Kompensationsmechanismen. Säureeinträge werden in anthropogen nicht geschädigten Waldböden durch Silikatverwitterung und/oder Kalklösung neutralisiert. Da dies in den meisten Böden sehr langsame Prozesse sind, werden sie bei höheren Säureeinträgen übersteuert und die Böden versauern. Die

Säuremenge, die gerade noch auf natürlichem Weg neutralisiert werden kann, die also nicht zu fortschreitender Bodenversauerung führt, wird als kritische Belastungsschwelle (Critical Load) für Säureeinträge angesehen. Da sowohl Schwefel- als auch Stickstoffeinträge versauernd wirken können, wird diese Betrachtung auf beide Komponenten angewandt. Stickstoffeinträge verursachen für Waldbäume Nährelementengpässe und –ungleichgewichte, da Stickstoff in der Pflanzenaufnahme in Konkurrenz zu anderen Nährelementen steht. Außerdem verursachen eutrophierende Stickstoffeinträge Verschiebungen in der typischen, an stickstoffarme Verhältnisse angepassten Vergetationsausstattung von Wäldern in Richtung stickstoffliebender Florenelemente. Letztere stellen eine zunehmende Konkurrenz zu seltenen, oftmals naturschutzrelevanten Pflanzen und Pflanzengesellschaften dar. Die Critical Load für eutrophierenden Stickstoff wird dort angesetzt, wo noch keine nachhaltige Verschiebung der Pflanzengesellschaften in Richtung nitrophiler Gesellschaften zu erwarten ist. Beide Aspekte der Critical Load sind streng von der individuellen Ausstattung von Böden und Waldgesellschaften abhängig (z.B. vom Ausgangsgestein, der Bodenentwicklung, der Zusammensetzung der Vegetation etc.). Deshalb wurden individuell für alle Probepunkte der TWI aus dem Material der Bodenzustandserfassung Critical Loads bestimmt und mit räumlich auf das gleiche Rasternetz interpolierten Depositionsdaten verglichen. In Abbildung 14 wird die Entwicklung der Überschreitung der Critical Load für Säureeinträge und eutrophierenden Stickstoff für den Zeitraum 1990 – 1999 dargestellt. Diese Überschreitung wurde so auf die Schwefel- und Stickstoffkomponente der Deposition aufgeteilt, dass die Annäherung an eine ökosystemverträgliche Depositionsbelastung durch Luftreinhaltemaßnahmen möglichst gleichmäßig auf beide Komponenten verteilt wird und so keine der beiden Komponenten mit hohem technischem Aufwand überproportional reduziert würde. Damit ist diese Auswertung als Leitlinie einer mittelfristigen Luftrein-

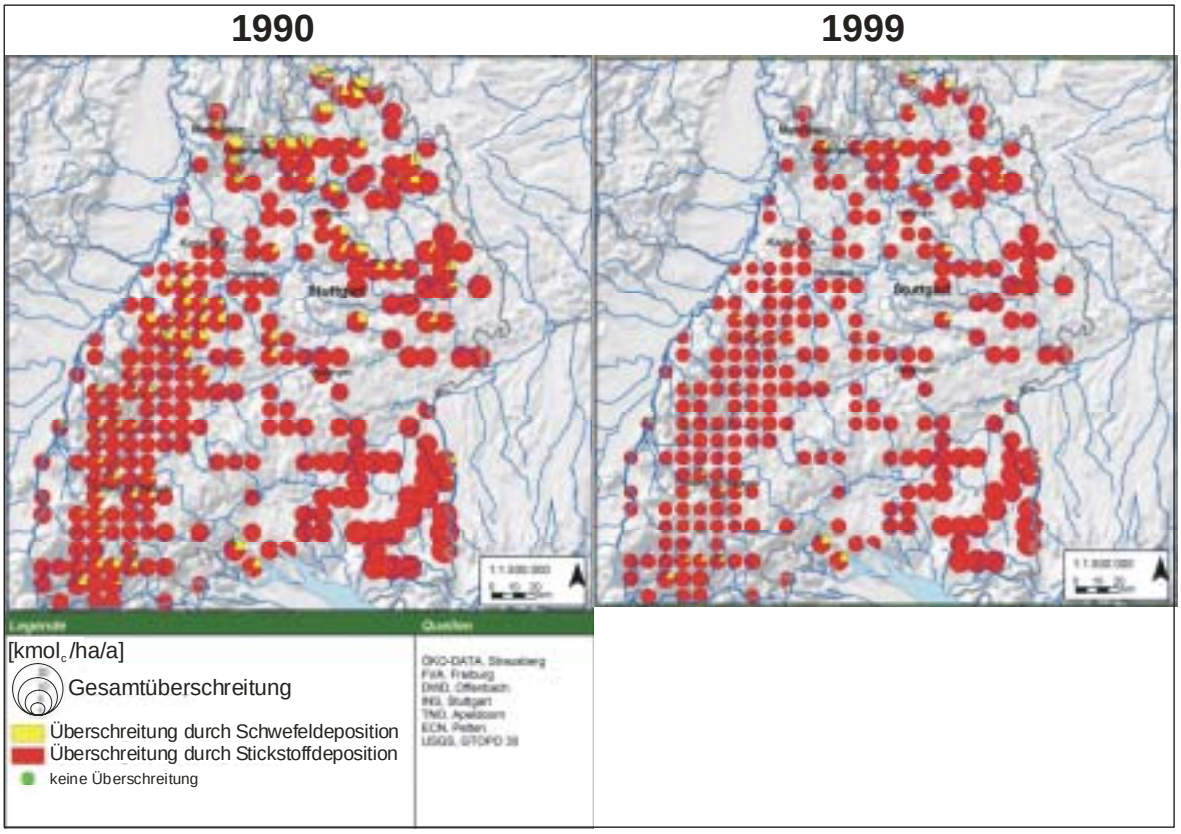


Abb. 14: Überschreitung der Kritischen Belastungsschwelle (Critical Loads) für Säure und eutrophierenden Stickstoff durch Schwefel- und Stickstoffgesamtdeposition an den Messnetzpunkten der BZE (gleichzeitig TWI) für 1990 und 1999 im Vergleich

haltepolitik zu verstehen, die regionale Emissionsminderungsziele erkennen lässt.

Die Darstellung zeigt, dass in Baden-Württemberg im Jahr 1990 die Überschreitung der Critical Load überwiegend zwischen 2 und 5 $kmol_c$/ha/Jahr lag und 10 Jahre später mit Werten zwischen 1 und 3 $kmol_c$ /ha/Jahr sich in etwa halbiert hat. Das räumliche Muster zeigt zu beiden Zeitpunkten im Schwarzwald relativ gleichmäßig eher etwas unterdurchschnittliche Belastungshöhen sowie die höchsten Werte in Oberschwaben und im östlichen Neckarland. An beiden Zeitpunkten überwiegt der Anteil der Stickstoffbelastung an der Critical Load Überschreitung. Diese Tendenz hat zugenommen. Während 1990 in den Abwindfahnen der Ballungszentren Heidelberg / Mannheim und Kehl / Strassburg noch merkliche Anteile (max 40%) der Belastung auf Schwefel zurückgingen, sind diese bis 1999 auf marginale Restbelastungen reduziert worden. Die verbleibende Überschreitung der Critical Load in Höhe von überwiegend 1 – 2 $kmol_c$/ha/Jahr geht beinahe ausschließlich auf Stickstoff zurück. Das bedeutet, dass eine durchschnittliche Reduktion der Stickstoffeinträge von 14 – 28 kg/ha/Jahr in den kommenden Jahren geleistet werden muss um langfristig ökosystemverträgliche Stoffbelastungen anzunähern. In relativ eng begrenzten Brennpunkten in Oberschwaben und Hohenlohe liegen die Stickstoffbelastungen höher, ergibt sich also ein entsprechend höherer Emissionsminderungsbedarf. Die Reduktion der Schwefelbelastung bis zur bzw. unter die ökosystemare Toleranzschwelle ist eindeutiges Verdienst einer konsequenten Luftreinhaltepolitik.

3 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Die Waldökosysteme unterliegen durch das Einwirken unterschiedlichster Umweltfaktoren einer permanenten Veränderung. Durch die Messnetze des Forstlichen Umweltmonitorings stehen umfassende Instrumente der Ökosystemüberwachung europaweit zur Verfügung, die rechtzeitig Fehlentwicklungen aufzeigen und gezielt Gegenmaßnahmen ermöglichen. Als Schlüsselindikator für den Zustand der Waldökosysteme wird die Vitalität der Waldbäume im Rahmen der Waldzustandsinventur auf allen Messnetzen des Umweltmonitoringsystems in Baden-Württemberg erhoben. Die thematischen Schwerpunkte des Forstlichen Umweltmonitorings sind in Übersicht 1 dargestellt.

Übersicht 1: Schwerpunkte des Umweltmonitorings

Waldzustand	Biotische und abiotische Schäden, Nadel-/Blattverluste, Vergilbung
Ernährung	Versorgung der Bäume mit Nährelementen und deren Relation zueinander
Bodenzustand	Chemischer und physikalischer Bodenzustand
Produktivität	Einzelbaum- und Bestandeswachstum
Deposition	Eintrag von N, Säure und basischen Stoffen
Sickerwasser	Dynamische Speicher- und Auswaschungsprozesse, damit Folgewirkungen für die Hydrosphäre
Witterung	Temperatur und Niederschlag im Bestand und korrespondierenden Freilandflächen

Auslöser für die Installierung des Forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland waren massive Schädigungen an Tannen im Schwarzwald mit starker Vergilbung der Nadeln und erheblichen Nadelverlusten der betroffenen Bäume. Bereits 1978 wurden erste Versuchsflächen zur langfristigen Untersuchung der Waldschäden in Baden-Württemberg angelegt. Nachdem vergleichbare Schadsymptome auch an anderen Baumarten sowie in anderen Regionen beobachtet wurden, erfolgte 1983 die erste landesweite Waldschadensinventur. Wenig später wurde das Forstliche Umweltmonitoring um die Komponenten Waldernährung und chemischer Bodenzustand erweitert, um die Auswirkungen neuartiger Umweltveränderungen auf das komplexe Wirkungsgefüge von Waldökosystemen besser analysieren zu können und notwendige Handlungsempfehlungen abzuleiten. Seit Mitte der 90er Jahre wurden fallstudienartige Intensivmessflächen installiert, auf denen neben einer jährlichen Erhebung des Kronenzustandes hauptsächlich Messungen zu Meteorologie, Säure- und Stickstoffeinträgen sowie zum Stoffhaushalt des Bodens durchgeführt werden. Mit ihrer hohen Messintensität dienen diese Flächen der Erfassung und Bewertung neuartiger Ökosystemprozesse sowie von Extremereignissen wie z.B. dem Trockenjahr 2003.

Rasterstichproben

Rasterstichproben sind Punkte eines über ganz Baden-Württemberg gelegten Stichprobennetzes. Die Abstände zwischen den Punkten variieren je nach Stichprobenumfang zwischen 16, 8 und 4 Kilometern. Auf diesem systematisch angelegten Netz dient jeder Koordinatenschnittpunkt, der in ein Waldgebiet fällt als Stichprobenpunkt für die Aufnahme, unabhängig von Baumalter, Bestandesstruktur oder sonstigen Kriterien. Die Aufnahmen der Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI), der Immissionsökologischen Waldzustandserhebung (IWE) und der Bodenzustandserhebung (BZE) werden auf dem gleichen Netz durchgeführt.

Versuchsflächen

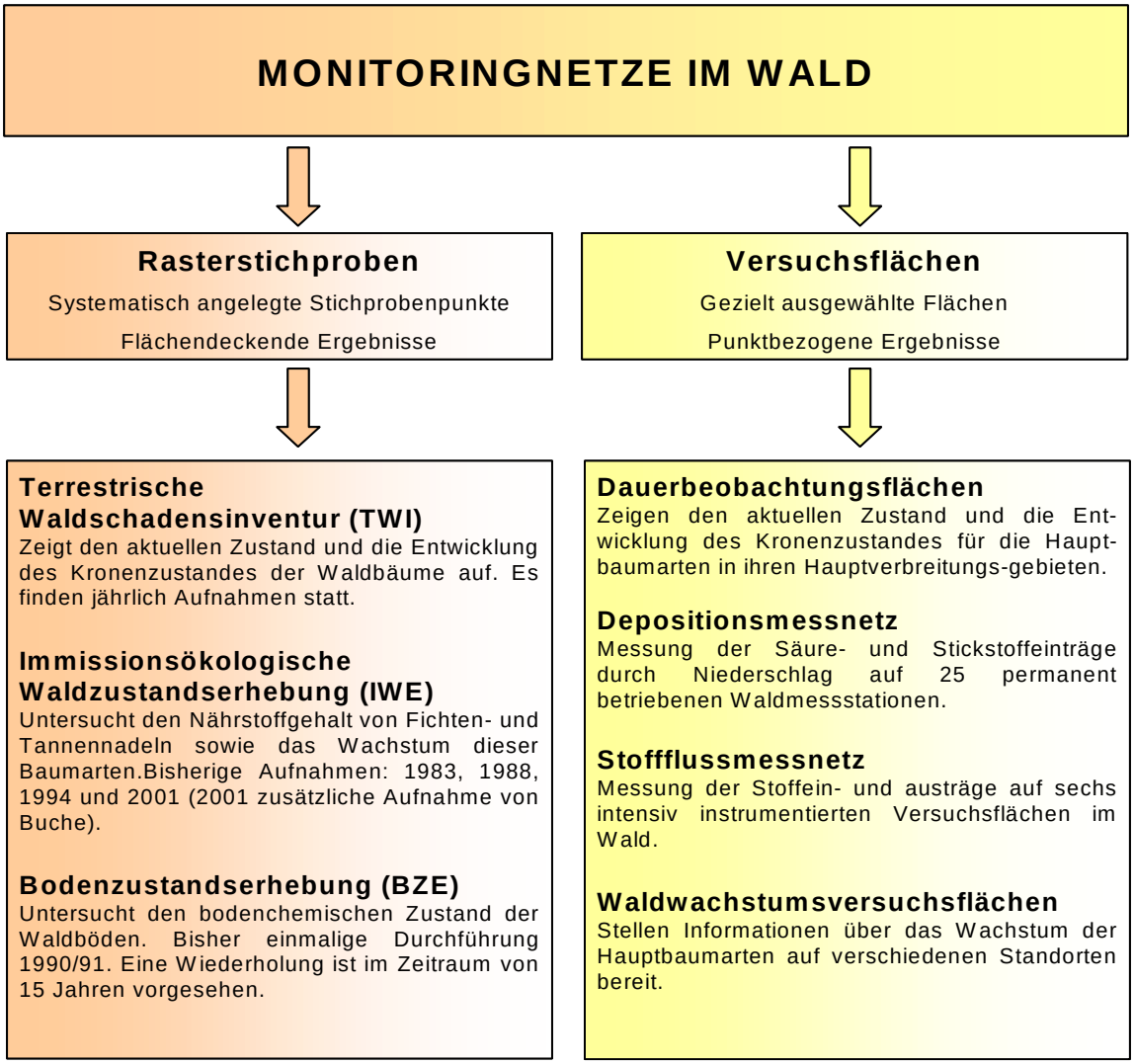
Im Gegensatz zu den Rasterstichproben ist die Lage der forstlichen Versuchsflächen gezielt ausgewählt worden. Sie repräsentieren die wesentlichen Naturräume und Hauptbaumarten für Baden-Württemberg, ohne jedoch in einem strengen Muster angeordnet zu sein. Je nach Untersuchungsschwerpunkt war die Lage, der Standort oder die Baumartenzusammensetzung ausschlaggebendes Kriterium für die Auswahl der Flächen. Hierzu zählen die Dauerbeobachtungsflächen, die Versuchsflächen des Depositions- und Stoffflussmessnetzes sowie waldwachstumskundliche Flächen (Abb. 15).

Zusätzliche Datenquellen

Gezielte Informationen der Unteren Forstbehörden über konkrete Gefährdungen des Waldes und singuläre Schadereignisse, beispielsweise durch biotische Schaderreger oder Schäden durch Witterungseinflüsse ergänzen das Forstliche Umweltmonitoring.

Zusätzlich werden Daten externer Institutionen zur Beurteilung der Umwelteinflüsse auf das Waldökosystem ausgewertet. Dazu gehören unter anderem die Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und die Immissionsstationen des Zentrums für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit in Baden-Württemberg (UMEG) und des Umweltbundesamtes (UBA). Drei der UMEG-Messstationen befinden sich als so genannte Hintergrundmessstationen im Wald und liefern so Messda-

Übersicht 2: Monitoringnetze im Wald



ten über die Schadstoffkonzentration der Luft innerhalb des umliegenden Waldes.

Internationale Einbindung der Aufnahmenetze

Das Monitoringnetz Baden-Württemberg ist sowohl in nationale wie auch internationale Programme eingebunden. Von den Rasterstichproben liegen insgesamt 50 Aufnahmepunkte Baden-Württembergs auf dem europäischen 16x16 km-Netz. Diese sind Bestandteil des Europäischen Forstlichen Umweltmonitoring-Programms „Level I“ und werden zur Beurteilung des europäischen sowie deutschen Waldzustandes herangezogen. Das Level I Netz umfasst die jährliche Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) sowie die bisher erst einmal durchgeführte Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald. Von den Versuchsflächen Baden-Württembergs sind insgesamt 10 Intensivmessflächen der Baumart Fichte in das Europäische Monitoring-Programm „Level II“ eingebunden. Die EU-weiten Messnetzkomponenten werden von der EU-Kommission kofinanziert. Somit stehen die Ergebnisse der landesweiten Erhebung Baden-Württembergs auch für weitere Auswertungen auf nationaler und internationaler Ebene zur Verfügung.

Bedeutung der Umweltmessnetze im Wald

Die Befunde des Forstlichen Umweltmonitorings gaben in der Vergangenheit wesentliche Impulse zur Luftreinhaltepolitik. Sie bildeten die wissenschaftlich abgesicherte Grundlage zur Einleitung von Kompensationsmaßnahmen im Wald (z.B. Bodenschutzkalkung). Außerdem gaben sie den Anstoß für eine konsequente Umsetzung von Waldumbaumaßnahmen in Richtung standortsgerechter Laubbaumarten. Im Sinne einer Erfolgskontrolle ist durch die Monitoringdaten eine Bewertung des „Ökologischen Gewinns“, z.B. in Form verminderter Nitratausträge, insbesondere auf der Basis der Level II - Fallstudien möglich. Das Forstliche Umweltmonitoring hat sich damit als unverzichtbare Informationsquelle zur nachhaltigen Sicherung der Waldökosystemfunktionen erwiesen.

Die flächenbezogenen Aussagen des Rastermessnetzes und die punktuellen Prozesskenntnisse aus den Level II – Fallstudien / Dauerbeobachtungsflächen ergänzen sich komplementär. Das Rastermessnetz ist eine unverzichtbare Grundlage für die Ableitung landschaftsbezogener und regionaler Aussagen. Dies ist für die Identifikation von Schäden und die praktische Steuerung von Ökosystemen besonders wichtig, da forstliche Planung zwingend im Landschaftsbezug stattfindet. Auf der Ebene der Level II – Fallstudien und Dauerbeobachtungsflächen werden neue Ökosystemprozesse beobachtet, die z. B. durch Säure- und Stickstoffeinträge sowie durch Witterungsextreme ausgelöst und / oder verstärkt werden.

Diese streng genommen nur im Bereich der räumlich eng begrenzten Versuchsflächen gültigen Ergebnisse können anhand von Schlüsselinformationen aus den Rastermessnetzen auf den für praktische Planungen relevanten Landschaftsmaßstab übertragen werden.

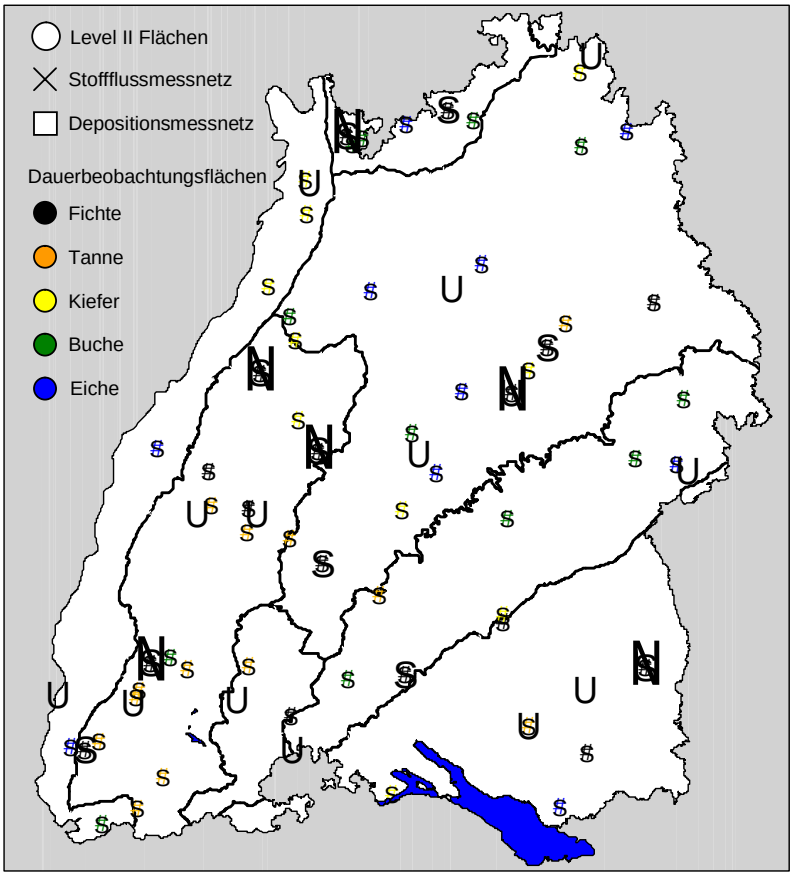


Abb. 15: Räumliche Lage der Versuchsflächen

4 METHODIK UND DURCHFÜHRUNG DER TERRESTRISCHEN WALDSCHADENSINVENTUR

4.1 Methodik der Terrestrischen Waldschadensinventur

Der aktuelle Waldzustand wird in Baden-Württemberg seit 1983 jährlich durch die Terrestrische Waldschadensinventur (TWI) erhoben. Das international abgestimmte Verfahren beruht auf der Beurteilung des Kronenzustandes als Kriterium für die Vitalität von Waldbäumen. Die Vitalität von Bäumen steht in enger Beziehung zur Dichte und Farbe der Belaubung bzw. Benadelung. Ein vitaler, unbedrängter Baum verfügt über eine volle, dichte und grüne Krone. In der Baumkrone erkennbare Symptome eines Vitalitätsverlusts sind frühzeitiger Nadel-/Blattverlust, Verfärbung der Nadeln bzw. Blätter, Verkürzung der Jahrestriebe sowie Störungen in der Verzweigungsstruktur.

Die Beurteilung des Kronenzustandes ist ein einfaches und nachvollziehbares Schätzverfahren. Es liefert aktuelle Informationen über Vitalitätszustand von Waldbäumen und es können darüber hinaus sowohl langfristige als auch periodische Schwankungen um diesen Trend abgeleitet werden. Durch die vom Boden aus durchgeführte visuelle Beurteilung der Kronen ist eine sichere Kroneneinschätzung mit vertretbarem Aufwand möglich. Somit kann eine zeitnahe Beschreibung des aktuellen Waldzustandes im Sinne eines Frühwarnsystems erfolgen.

Aufnahmeparameter

Für jede aufgenommene Baumkrone wird ein Nadel-/Blattverlust (NBV) in Bezug auf eine voll belaubte Baumkrone des Erhebungsgebietes (Referenzbaum) geschätzt. Die Aufnahme erfolgt in 5%-Stufen von 0 bis 100, die zu fünf NBV-Schadstufen zusammengefasst werden.

Analog zum Nadel-/Blattverlust wird die Vergilbung der Baumkrone eingeschätzt. Die Vergilbung ist als prozentualer Anteil eindeutig gelb verfärbter Blattorgane definiert. Die ermittelten Werte werden wiederum zu vier Vergilbungs-Schadstufen zusammengefasst.

Im Rahmen einer differentialdiagnostischen Untersuchung werden ferner alle visuell erkennbaren Merkmale des Baumes erfasst, die am Schadgeschehen beteiligt sein können. Hierunter fallen unter anderem die Intensität der Fruchtbildung, die Ausbildung von Wasserreisern sowie alle Schadmerkmale, die durch Insekten bzw. abiotische Stressfaktoren (z.B. Trockenstress) verursacht wurden.

Während der Waldschadensaufnahme 2005 wurde in Baden-Württemberg ein Pilotprojekt zur differenzialdiagnostischen Ansprache von Schadursache durchgeführt. Hierbei wurde ein auf europäischer Ebene entwickeltes Aufnahmeverfahren zur Beschreibung von Schadsymptomen bzw. zur Feststellung von Schadursachen getestet.

Übersicht 3: Schadstufen

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

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

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

Schadstufen

Der Waldzustand wird durch fünf so genannte Kombinationsschadstufen beschrieben, welche aus Schadstufen der Nadel-/Blattverluste und der Vergilbung ermittelt werden. Hierbei gelten Bäume der Schadstufe 0 als ungeschädigt, da sie nur sehr geringe bis keine Verluste der Nadel-/Blattmasse und zudem nur leichte Vergilbungserscheinungen aufweisen. Die Schadstufe 1 wird mit schwach geschädigt beschrieben. Sie wird auch als Warnstufe bezeichnet, da nach Angaben des Forschungsbeirats Waldschäden/Luftverunreinigung Schwankungen des Nadel-/Blattverlustes und der Gelbverfärbung, die in die Kombinationsschadstufe 1 fallen als natürlich und standortsbedingt angesehen werden. Die Schadstufe 2 steht für Bäume, die mittelstark, die Schadstufe 3 für solche, die stark geschädigt sind. Bäume der Schadstufe 2 bis 4 werden als „deutlich geschädigt" zusammengefasst (Übersicht 3).

Aufnahmeverfahren

Die auf Grundlage des Gauß-Krüger-Koordinatensystems systematisch festgelegten Stichprobenpunkte im Wald sind dauerhaft verpflockt. Auf jedem Aufnahmepunkt werden zufällig 24 Bäume des herrschenden Bestandes (Kraft´sche Klasse 1-3) ausgewählt und markiert, so dass eine Aufnahme derselben Baumindividuen in den Folgejahren gewährleistet bleibt. Bäume, die zwischenzeitlich ausgefallen sind, beispielsweise durch forstwirtschaftliche Nutzung, Sturmwurf oder sonstigen Ausfallursachen, werden nach einem zufälligen Auswahlverfahren durch andere Bäume ersetzt. Die visuelle Einschätzung der Kronen erfolgt durch zwei Personen mit Hilfe von bundesweit abgestimmten Fotoserien zur Beurteilung von Waldbäumen.

Qualitätssicherung

In regelmäßigen Abständen finden internationale Trainingskurse zur Bewertung von Baumkronen statt. Dabei sind die Leiter der Waldschadenserhebungen der Staaten der EU-weiten Waldschadensaufnahme beteiligt und bewerten unabhängig voneinander dieselbe Stichprobe an Waldbäumen. Auf Bundesebene findet jährlich ein Abstimmungskurs aller Inventurleiter der 16 Bundesländer statt. Dieses Jahr erstmalig wurde europaweit ein so genannter Foto-Test durchgeführt, bei dem die Teilnehmer die auf Papier abgebildeten Kronenbilder einschätzen sollten. Die Übereinstimmung bei diesem Test zur Qualitätssicherung war außergewöhnlich hoch. Bei den deutschen Waldschadensinventurleitern betrug die Abweichung bei 95% der Bäume lediglich ± 5 Prozentpunkte Nadel-/Blattverlust.

In Baden-Württemberg werden alle Aufnahmetrupps vor der Inventur intensiv geschult und die ermittelten

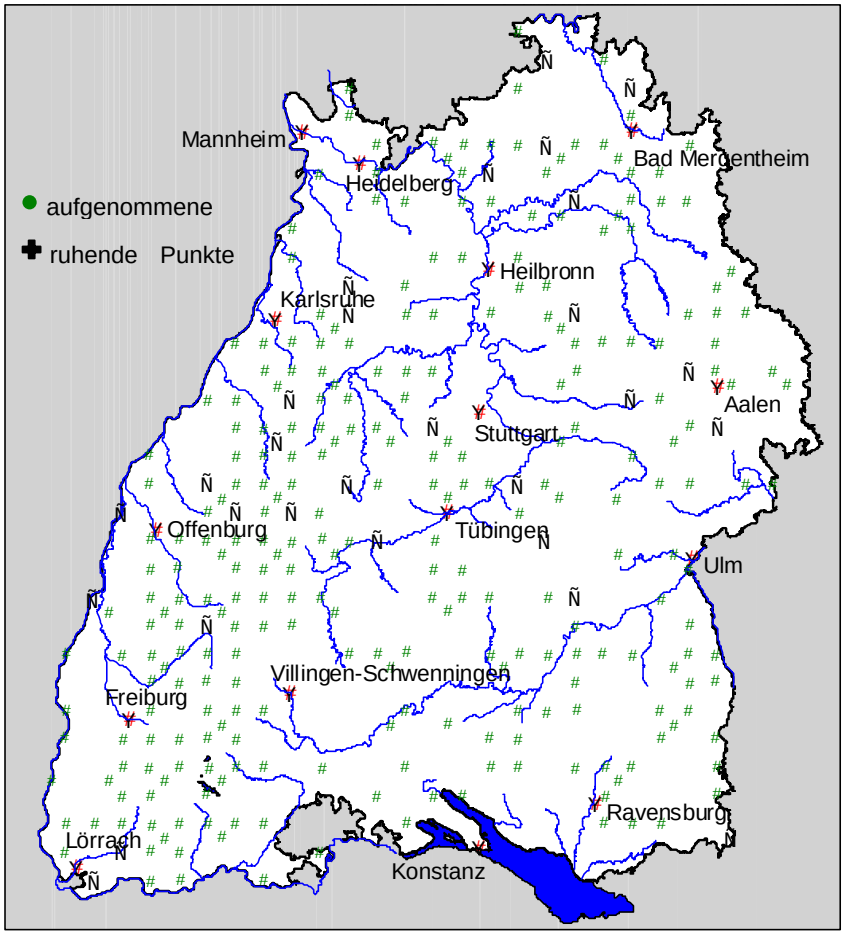


Abb. 16: Räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte

Übersicht 4: Schadstufen der Waldschadensinventur

	Fichte	Tanne	Buche
Schad-stufe 0			
Vollbelaubte, dichte Krone. Feinreis ist kaum sichtbar. Fichte und Tanne: die lichtzugewandten Kronenteile sind vollbenadelt. Die Stammachse ist im Kronenbereich nicht zu sehen. Buche: geschlossene Kronenperipherie, einzelne Lücken im Schattbereich.			
Schad-stufe 1			
Beginnende Verlichtung der Baumkrone. Einzelnes Feinreis tritt nun verstärkt auf. Fichte und Tanne: Baumkronen verlichten von innen heraus. Wipfel und Kronenperipherie sind geschlossen. Buche: die geschlossene Kronenperipherie beginnt sich aufzulösen.			
Schad-stufe 2			
Deutlich erhöhter Feinreisanteil in der Krone. Dadurch wirkt der Baum sehr transparent. Fichte und Tanne: die äußersten Triebe sind noch dicht benadelt, Stammachse ist aber zu erkennen. Buche: Seitenzweige verkürzt. Ausbildung von krallenartigen Trieben.			
Schad-stufe 3			
Stark verlichtete Krone, z.T. sind einzelne Partien abgestorben. Fichte und Tanne: nur noch die jüngsten Triebe sind benadelt, dadurch ist die Stammachse durchgehend sichtbar. Buche: Äste der Oberkrone sind abgestorben, Blätter nur noch vereinzelt vorhanden.			
Schad-stufe 4	Baum ist abgestorben. Feinreis ist noch vorhanden.		

Ergebnisse durch stichprobenartige Kontrollen nachgeprüft.

4.2 Durchführung der Terrestrischen Waldschadensinventur 2005

In Baden-Württemberg wurden 2005 erstmals die Stichprobenpunkte der unterschiedlichen Untersuchungen des Waldmonitorings zusammengelegt. Die Waldschadensinventur (TWI), die Bodenzustandserhebung (BZE) und die Immissionsökologische Waldzustandserhebung (IWE) werden zukünftig an denselben Erhebungsorten des 8x8 km-Rasters durchgeführt. Durch die Bündelung der unterschiedlichen Untersuchungen auf den gleichen Stichprobenpunkten soll zukünftig eine bessere Verknüpfung der verschiedenen Aufnahmeparameter für integrierende Auswertungen ermöglicht werden. Zudem ist die Kombination der verschiedenen Untersuchungen an identischen Messpunkten eine wichtige Voraussetzung für eine Regionalisierung der Messdaten.

Aufnahme 2005

Im Sommer 2005 erfolgte die 23. Terrestrische Waldschadensinventur in Baden-Württemberg. Die Außenaufnahmen wurden in der Zeit vom 21. Juli bis 15. August von privaten forstlichen Sachverständigen durchgeführt. Die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) war für die fachliche Leitung, Schulung und Kontrolle der Aufnahmeteams zuständig.

Bei der Waldschadensinventur 2005 konnten von den insgesamt 303 Stichprobenpunkten des 8x8 km-Rasters 28 Stichprobenpunkte nicht aufgenommen werden, da nicht genügend Bäume für eine Aufnahme zur Verfügung standen. Die Punkte konnten überwiegend nach Sturmschäden durch den Orkan „Lothar“ (Wintersturm 1999) noch nicht wieder in die Stichprobe aufgenommen werden. Somit fand an 275 Stichprobenpunkten eine Waldschadensansprache statt. Davon gehören 48 Stichprobenpunkte dem europaweiten Stichprobennetz an, auf denen jährlich eine Waldschadenserhebung stattfindet. Die letztmalige Aufnahme der übrigen Stichprobenpunkte verteilt sich nahezu über die gesamte Aufnahmeperiode mit Schwerpunkten bei den Vollaufnahmen (4x4 km-Netz) der Jahre 2001 und 1986. Über die Hälfte der Stichprobenpunkte wurde letztmalig 1988 bzw. früher aufgenommen. Aufgrund der langen Aufnahmeunterbrechung kann eine kontinuierliche Entwicklung des Kronenzustandes auf diesen Punkten nicht dargestellt werden (Abb. 17).

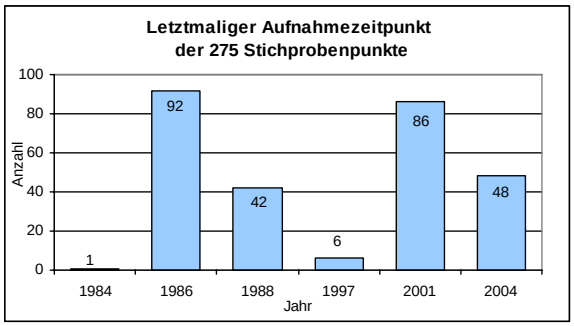


Abb. 17: Letztmalige Aufnahme der Punkte

Auf den 275 Stichprobenpunkten der Waldsschadensinventur konnten insgesamt 6.524 Bäume untersucht und ausgewertet werden. Nach dem Baumalter unterteilen sie sich nahezu im Verhältnis ein Drittel zu zwei Drittel auf die Altersgruppen bis 60 bzw. über 60 Jahre. Übersicht 5 zeigt die Verteilung der Probebäume nach Baumarten getrennt auf die einzelnen Wuchsgebiete. Mit über 2.200 Bäumen auf insgesamt 95 Stichprobenpunkten sind die Waldgebiete des Schwarzwaldes bei der Waldschadensinventur am stärksten vertreten. Der Schwarzwald ist auch für die Tanne das dominierende Wuchsgebiet. Über ¾ der Tanne im Stichprobenkollektiv der Waldschadensaufnahme finden sich im Schwarzwald. Die Laubbaumarten Buche und Eiche sind am stärksten im Wuchsgebiet Neckarland vertreten.

Aufgrund der Stichprobendichte und der Anzahl der aufgenommenen Bäume kann für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche der Kronenzustand getrennt beschrieben werden. Zudem können für die großen Wuchsgebiete Schwarzwald, Neckarland, Schwäbische Alb und Südwestdeutsches Alpenvorland Ergebnisse der Waldschadensinventur getrennt ausgewertet werden.

Baumartenverteilung

Die Baumartenverteilung der Waldschadensaufnahme entspricht zu weiten Teilen den Verhältnissen ganz Baden-Württembergs, die aktuell durch die Bundeswaldinventur II beschrieben wurden. Den

größten Anteil der Stichprobe nimmt die Fichte ein. Mit 37% der Bäume der Waldschadenserhebung nimmt sie in etwa den gleichen Anteil ein wie im Gesamtwald Baden-Württemberg. Auch die Anteile der Buchen und Eichen sind nahezu identisch mit den Anteilen am Gesamtwald. Abweichungen gibt es zwischen dem Tannenanteil, dem Anteil sonstiger Nadelhölzer und sonstiger Laubhölzer. Der Schwarzwald als das tannenreichste Wuchsgebiet in Baden-Württemberg ist durch die großen zusammenhängenden Waldflächen in der 8x8 km-Stichprobe der Waldschadenserhebung überproportional vertreten. Die Unterschiede befinden sich jedoch in einem für den Gesamtwald Baden-Württembergs tolerierbaren Rahmen (Abb. 18).

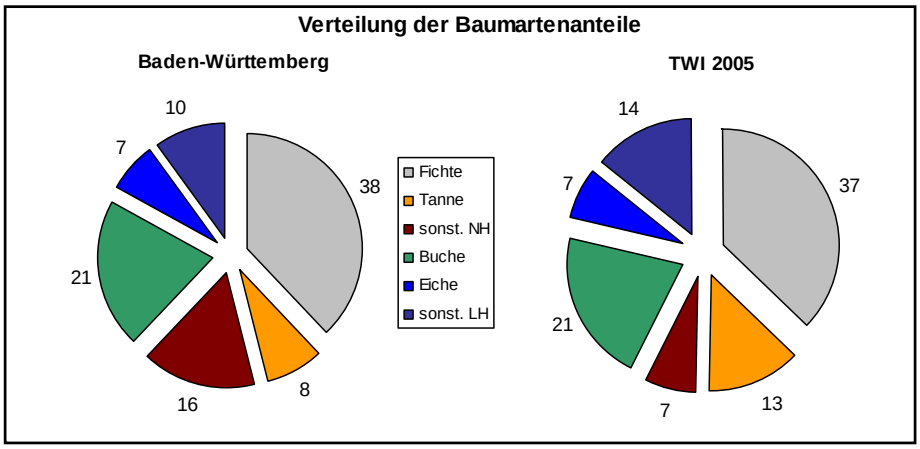


Abb. 18: Vergleich der Baumartenanteile Gesamtwald BW / TWI

Auswertungen

Landesweite, waldflächenbezogene Schadensintensitäten werden gewichtet auf die Gesamtwaldfläche Baden-Württembergs berechnet. Den Berechnungen liegen die Baumartenflächen der Bundeswaldinventur I zugrunde, um die Auswertungskontinuität der langen Zeitreihe seit 1983 zu wahren. Insbesondere nach der Trockenperiode 2003/2004 und deren gravierenden Auswirkungen auf den Waldzustand sollte auf eine erhöhte Variation in den Auswertungsergebnissen durch Änderung der Datengrundlage vermieden werden.

Übersicht 5: Anzahl untersuchter Probebäume

Anzahl untersuchter Probebäume TWI 2005		Fichte	Tanne	Douglasie	Kiefer	sNh	Buche	Eiche	SLh	Summe	Stichprobenpunkte
Wuchsgebiete	Oberrheinisches Tiefland	2	0	17	18	2	22	67	280	408	17
	Odenwald	55	10	14	12	25	98	22	28	264	11
	Schwarzwald	1055	653	18	82	14	334	30	75	2261	95
	Neckarland	238	160	17	128	28	636	334	289	1830	77
	Baar-Wutach	50	12	0	3	2	4	0	1	72	3
	Schwäbische Alb	417	6	0	16	15	144	5	68	671	28
	Südwestdeutsches Alpenvorland	610	6	19	13	9	160	21	180	1018	44
Gesamt Baden-Württemberg	bis 60 Jahre	617	68	68	55	36	403	164	699	2110	/
	über 60 Jahre	1810	779	17	217	59	995	315	222	4414	/
	Summe	**2427**	**847**	**85**	**272**	**95**	**1398**	**479**	**921**	**6524**	**275**

5 ERGEBNISSE DER WALDSCHADENSINVENTUR 2005

5.1 Ergebnisse der Gesamtwaldfläche Baden-Württembergs

Der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche (Schadstufen 2 – 4) ist im Jahr 2005 auf ein neues Rekordhoch angestiegen. Insgesamt sind 43,3% der Waldfläche Baden-Württembergs deutlich geschädigt. Damit wurde der bisher höchste Stand der Schadensfläche in der bisherigen Waldschadenserhebung in Baden-Württemberg seit 1983 erreicht (Abb. 19).

Der aktuell hohe Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg bestätigt somit den bis dahin einmaligen Höchststand der Schadfläche im Jahr 2004 (EU-Raster). Der entsprechend größere Fehlerrahmen der EU-Aufnahme mit lediglich 50 Aufnahmepunkten lässt keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Waldschadensaufnahmen 2004 und 2005 erkennen.

In den beiden letzten Jahren hat sich der Waldzustand gegenüber dem relativ konstanten Niveau des Zeitraums 1997 bis 2003 gravierend verschlechtert. Offensichtlich sind die Nachwirkungen des Extremsommers 2003 mit sehr hoher Hitze- und Trockenheitsbelastung für die Waldbäume auch noch im zweiten Folgesommer im Kronenzustand erkennbar.

EU Auswertung

Wenn man das Untersuchungsmaterial auf die 50 Stichprobenpunkte des EU-Messnetzes beschränkt, um einen direkten Vergleich mit 2004 zu ermöglichen, zeigt sich gleichfalls keine Erholung der angespannten Waldschadenssituation in Baden-Württemberg. Zwar ist bei diesem kleinen Stichprobenkollektiv im Vergleich zum Vorjahr ein schwacher Rückgang der deutlich geschädigten Waldfläche zu verzeichnen, jedoch liegt dieser innerhalb des relativ großen Stichprobenfehlers, so dass kein statistisch signifikanter Unterschied feststellbar ist.

Schadstufenverteilung

Die Verteilung der einzelnen Schadstufen belegt eingehend die gravierende Verschlechterung des Waldzustandes in den letzten Jahren. Seit dem Jahr 2002 ist eine kontinuierliche Erhöhung der mittelstark und stark geschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg zu verzeichnen, die eine stete Verringerung des Anteils der schwach und ungeschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg zur Folge hat.

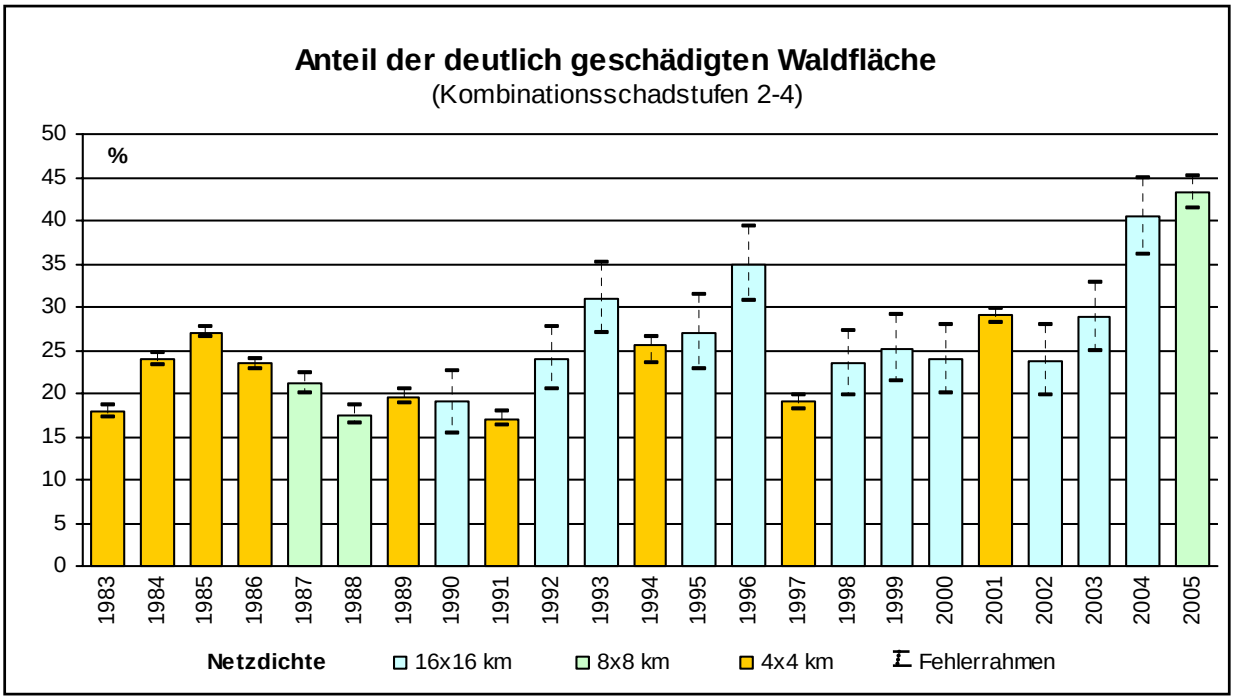
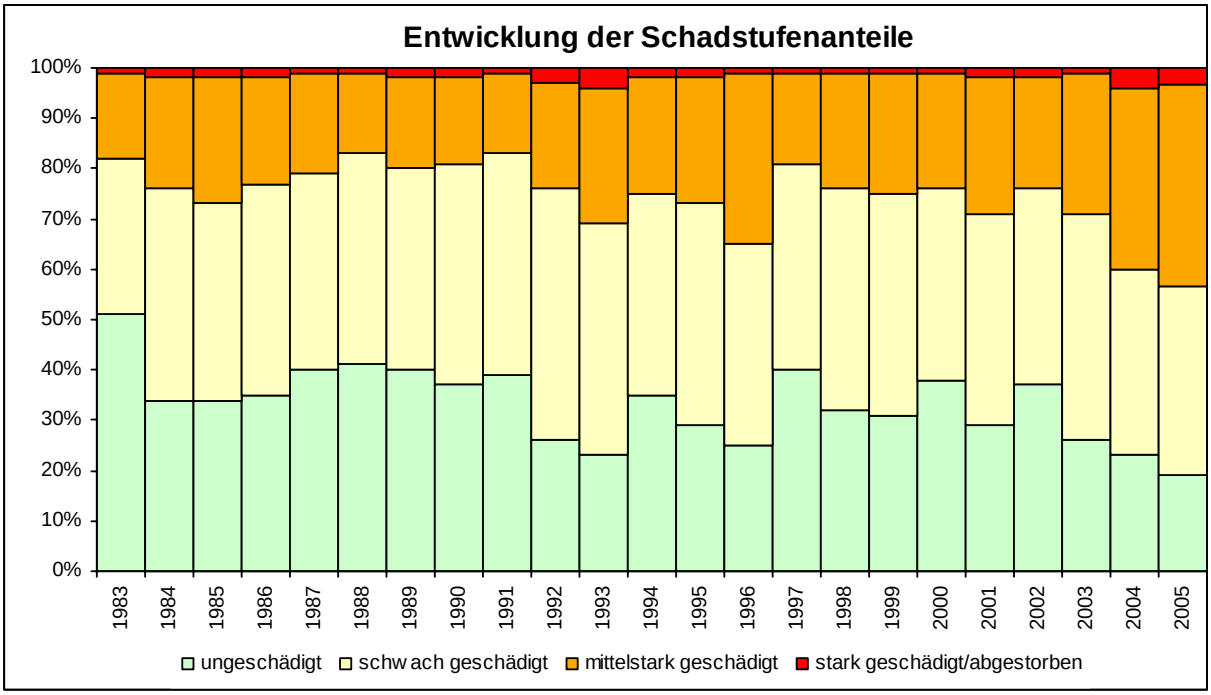


Abb. 19: Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche



	1983	1984	1985	1986	1987 1)	1988 1)	1989	1990 2)	1991	1992 2)	1993 2)	1994	1995 2)	1996 2)	1997	1998 2)	1999 2)	2000 2)	2001	2002 2)	2003 2)	2004 2)	2005 1)
Schadstufe	Anteile an der Waldfläche in Prozent																						
SST 0	51	34	34	35	40	41	40	37	39	26	23	35	29	25	40	32	31	38	29	37	26	23	19
SST 1	31	42	39	42	39	42	40	44	44	50	46	40	44	40	41	44	44	38	42	39	45	37	38
SST 2	17	22	25	21	20	16	18	17	16	21	27	23	25	34	18	23	24	23	27	22	28	36	40
SST 3/4	1	2	2	2	1	1	2	2	1	3	4	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	4	3
SST 2-4 (deutliche Schäden)	**18**	**24**	**27**	**23**	**21**	**17**	**20**	**19**	**17**	**24**	**31**	**25**	**27**	**35**	**19**	**24**	**25**	**24**	**29**	**24**	**29**	**40**	**43**
mittlerer NBV in %	/	/	20,0	19,0	18,0	17,0	17,7	17,6	17,2	21,2	23,7	20,1	21,2	23,2	17,7	19,3	20,3	18,8	21,1	18,9	21,4	25,3	26,2

1) 8 x 8 km Netz 2) 16 x 16 km Netz

Abb. 20: Entwicklung der Schadstufenanteile

In der aktuellen Aufnahme wurden lediglich 19% der Waldfläche als ungeschädigt eingestuft. Somit ist der Anteil der ungeschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg auf den geringsten Wert in der bisherigen Geschichte der Waldschadensaufnahme gefallen.

Der Anteil der schwach geschädigten Waldfläche blieb dagegen im Vergleich zur Vorjahresaufnahme relativ konstant bei 38 Prozent. Nahezu den gleichen Anteil nimmt die mittelstark geschädigte Waldfläche ein. Ihr Anteil hat sich um 4 Prozentpunkte auf nunmehr insgesamt 40% erhöht. Auffällig ist der deutliche Anstieg der mittelstark geschädigten Waldfläche innerhalb weniger Jahre. Seit 1997 hat sich die Waldfläche dieser Schadstufe mehr als verdoppelt. Im gleichen Zeitraum halbierte sich der Anteil der ungeschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg, während der Anteil der schwach geschädigten Waldfläche mit leichten Schwankungen stabil blieb. Der Anteil der stark geschädigten bzw. bereits abgestorbenen Waldfläche ist mit 3% gegenüber dem Vorjahr relativ konstant geblieben (Abb. 20).

Altersgruppen

Der Vitalitätszustand von Bäumen hängt stark von deren Lebensalter ab. Während jüngere Bäume häufig vitaler erscheinen, sind ältere Bäume oftmals mit stärkeren Schadsymptomen gekennzeichnet. Der schlechtere Kronenzustand ist nicht ausschließlich auf eine altersbedingte physiologische Schwächung des Vitalitätszustandes älterer Bestände zurückzuführen, sondern zeigt vielmehr, dass aufgrund der langfristig einwirkenden Stressfaktoren auf das Waldökosystem eine Akkumulation der Schadeinwirkungen auf die Bäume gegeben ist.

Abbildung 21 zeigt die Schadstufenverteilung gegliedert nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „über 60 Jahre“. In den jüngeren Beständen überwiegt eindeutig der Anteil der ungeschädigten bzw. schwach geschädigten Waldfläche, während sich bei älteren Beständen die Verhältnisse nahezu umkehren. Hier überwiegt der Anteil der mittelstark bzw. stark geschädigten und abgestorbenen Waldfläche deutlich. Die zuvor beschriebene deutliche Zunahme der hohen Schadintensitäten zu Lasten der niedrigeren Schadstufen ist zumindest ab dem Jahr 2002 bei beiden Altersgruppen zu erkennen.

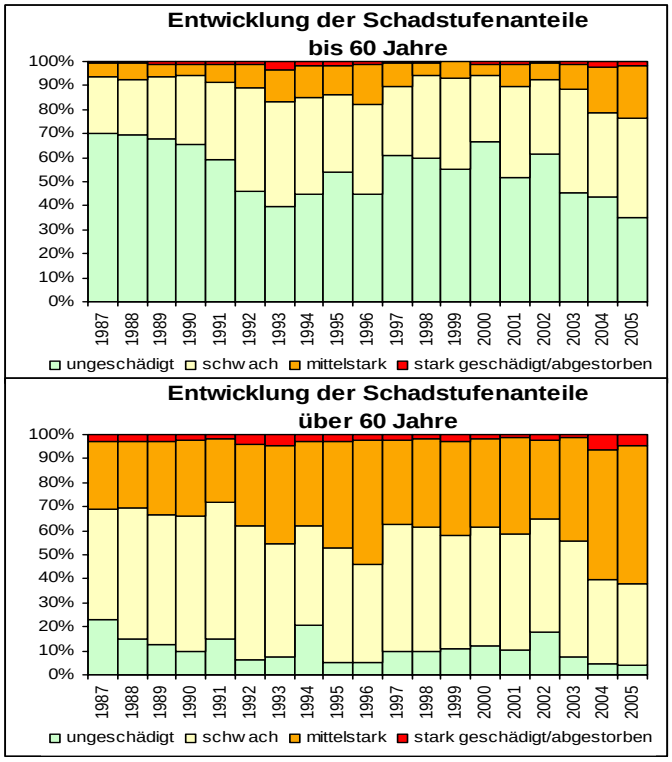


Abb. 21: Schadstufen nach Altersgruppen

Der Nadel-/Blattverlust

Der mittlere Nadel-/Blattverlust aller Untersuchungsbäume stieg in Baden-Württemberg im Jahr 2005 auf 26,2 Prozent. In der Beobachtungsperiode der Waldschadenserhebung ist dies der bisher höchste Wert.

Abbildung 22 zeigt die Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes über alle Baumarten seit 1983 in Baden-Württemberg. Bisher wurde, mit Ausnahme des Jahres 2004, in keiner Waldschadensaufnahme der mittlere Nadel-/Blattverlust von 25 Prozent überschritten.

Die unterschiedlichen Aufnahmedichten der jeweiligen Jahre (Aufnahmen im 4x4 km, 8x8 km oder16x16 km Netz) sind gekennzeichnet. Die Stichprobenfehler der einzelnen Aufnahmen hängen von der jeweiligen Stichprobendichte ab. Während im 4x4 km Netz der Stichprobenfehler mit ±0,3% sehr gering ist, ist er im 16x16 km Netz mit ±1,7% deutlich höher. Bei der Aufnahme des 8x8 km Netzes im Jahr 2005 lag der Stichprobenfehler bei ±0,7 Prozentpunkten.

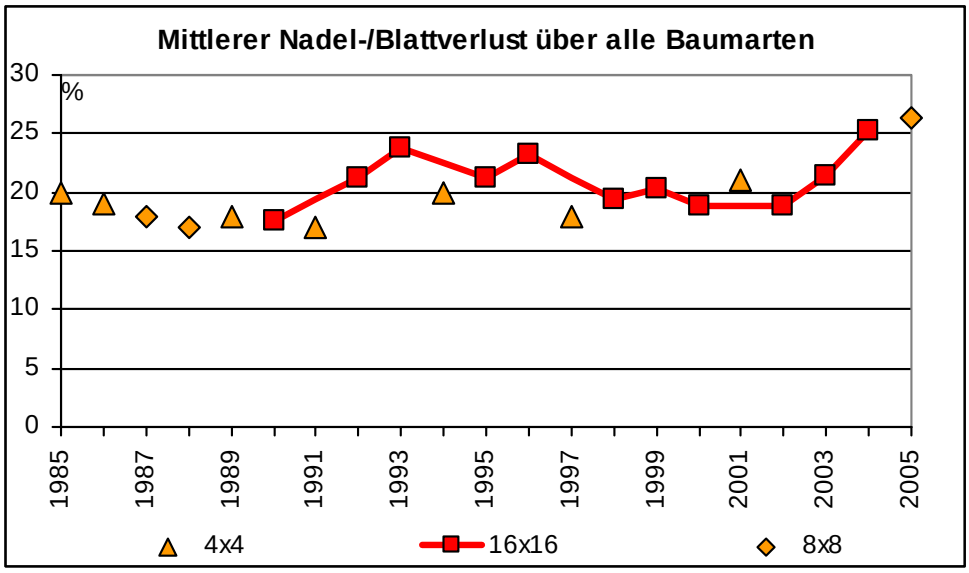


Abb. 22: Mittlerer Nadel-/Blattverlust

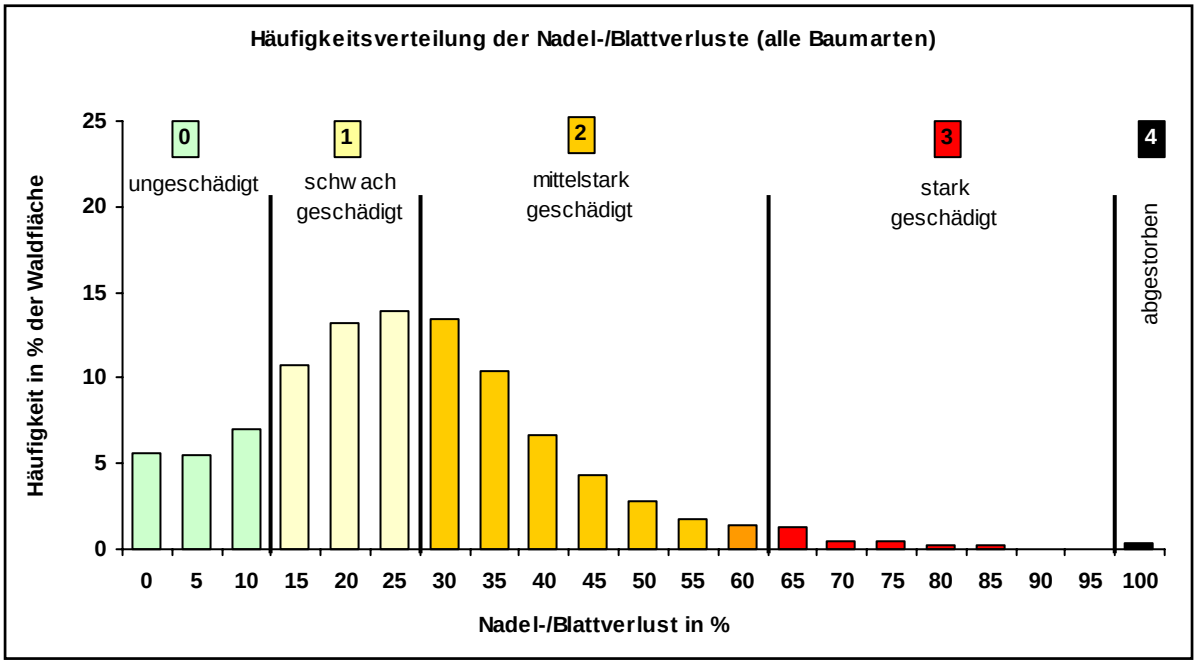


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste

Die Verteilung der Waldfläche auf die Nadel-/Blattverluststufen zeigt die Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste (Abb. 23). Über alle Baumarten hinweg sind die Nadel-/Blattverluststufen zwischen 15 und 35% am häufigsten vertreten. Über 60% der Waldfläche Baden-Württembergs fällt in diesen Bereich. Die Stufe 25% ist die absolut am häufigsten vertretene Schadstufe.

Die besser bewertete Waldfläche (Bäume zwischen 0-10% Nadel-/Blattverlust) sowie die schlechter bewertete Waldfläche (Bäume zwischen 40-100% Nadel-/Blattverlust) nehmen mit je ca. 20% nahezu einen gleich großen Anteil ein.

Da sich die größte Häufigkeit an der Schadstufengrenze zwischen schwach geschädigt (Schadstufe 1) und mittelstark geschädigt (Schadstufe 2) befindet, wirken sich kleinere Verschiebungen der Häufigkeitsverteilung in die eine oder andere Richtung relativ stark in der Schadstufenverteilung aus. In den letzten Jahren ist zunehmend eine Verschiebung der Häufigkeitsverteilung in Richtung der höheren Nadel-/Blattverluststufen zu beobachten.

EU-Auswertung

Im Vergleich der 50 EU-Stichprobenpunkte des 16x16 km Netzes mit den Werten des Vorjahres zeigt sich seit dem Jahr 2002 erstmals wieder eine Verschiebung der Häufigkeitsverteilung in Richtung der niedrigeren Schadstufen. Die größte Häufigkeit tritt bei diesem kleinen Stichprobenkollektiv im Bereich 15 bis 25% Nadel-/Blattverlust auf. Im Vergleich zum Vorjahr ist eine Abnahme der Stufen 25 und 30% zugunsten der Stufen 15 und 20% zu beobachten. Zudem hat sich der noch im Jahr 2004 relativ hohe Anteil der Verluststufen 40 bis 55% etwas abgesenkt. Allerdings liegen die Schwankungen gegenüber dem Vorjahr aufgrund der geringen Stichprobendichte des EU-Netzes innerhalb des relativ hohen Fehlerrahmens der Unterstichprobe und weisen daher keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

Die Vergilbung von Blattmasse

Die Waldfläche mit vergilbten Nadeln bzw. Blättern ist im Jahr 2005 wieder deutlich zurückgegangen. Nur noch 2% der Waldfläche weisen Bäume mit Vergilbungssymptomen auf, wobei der überwiegende Teil hiervon eine schwache Vergilbung (Vergilbungsstufe 1) zeigt (Abb. 24).

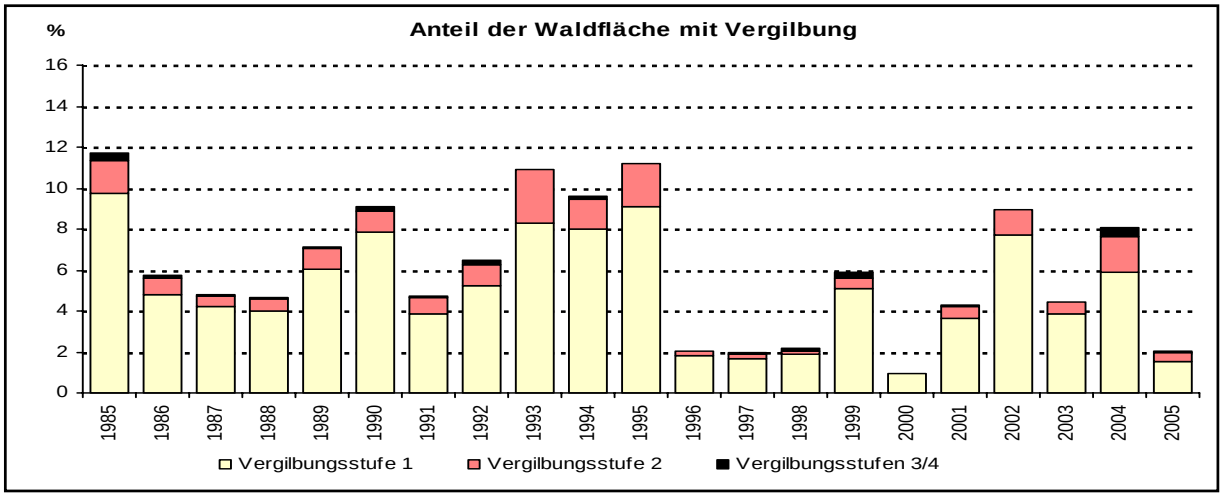


Abb. 24: Anteil der vergilbten Waldfläche in Baden-Württemberg

Vergilbungssymptome sind häufig auf Nährstoffmangelerscheinungen zurückzuführen. Insbesondere der Mangel an dem Nährelement Magnesium führt bei Bäumen zu einer Schädigung und sichtbaren Gelbfärbung der Blattorgane. Magnesium wird durch im Niederschlag enthaltene Schwefel- und Stickstoffverbindungen zusammen mit anderen Nährelementen aus dem Boden ausgewaschen und ist so für die Bäume nicht mehr in ausreichender Menge verfügbar. Solche anthropogen bedingten Versauerungsprozesse im Boden werden seit Anfang der 80er Jahre durch gezielt durchgeführte Bodenschutzkalkungen kompensiert. Der deutliche Rückgang der Vergilbung von Waldbäumen seit Beginn der Waldschadenserhebung 1983 ist nicht zuletzt hierdurch sowie durch die zwischenzeitlich durchgeführten Wiederholungskalkungen begründet.

Der relative Rückgang der Vergilbung im Jahr 2005 wird allerdings im Wesentlichen durch witterungsabhängige Faktoren bewirkt. Nach dem extremen Trockenjahr 2003 litten viele Waldbestände insbesondere auf nährstoffarmen Standorten unter akuten Nährstoffmangelerscheinungen (häufig Kalium-Mangel). Zum einen ist die Nährelementaufnahme an pflanzenverfügbares Wasser gebunden, so dass in Trockenperioden von Bäumen weniger Wasser, aber auch weniger Nährelemente aufgenommen werden können. Zum anderen beziehen Bäume auf armen Standorten ihre Nährstoffversorgung vornehmlich aus der direkten Umsetzung in der Humusschicht. Findet die Nährelementfreisetzung aus der Humusauflage aufgrund von Trockenheit wie im Jahr 2003 nur eingeschränkt statt, kann dies zu akuten Mangelerscheinungen und somit zu Vergilbung von Nadeln und Blättern führen. Nachdem sich die Niederschlagsmengen ab der zweiten Jahreshälfte 2004 wieder erhöht haben, hat sich dieser witterungsbedingte Engpass auf vielen Standorten wieder aufgelöst.

Ausgefallene Bäume

Die Waldschadensaufnahme 2005 wurde auf dem bestehenden Raster der Bodenzustandserhebung und der Immissionsökologischen Waldzustandserhebung neu organisiert, um verbesserte Randbedingungen für eine themenübergreifende, integrierende Auswertung der Daten aus den Umweltmessnetzen im Wald zu schaffen. Da über die Hälfte der Punkte letztmalig bereits 1988 oder noch früher Bestandteil der Waldschadenserhebung waren, mussten dementsprechend viele Bäume ersetzt werden. Bei den meisten der ausgefallenen Bäume konnte aufgrund der langen Zeitspanne kein gesicherter Ausfallgrund ermittelt werden.

Verglichen mit der Waldschadensaufnahme 2004 sind auf den in beiden Inventuren aufgenommenen 50 EU-Stichprobenpunkten insgesamt 48 Bäume, dies entspricht 4% des Stichprobenumfangs ausgefallen. Hierbei handelt es sich weit überwiegend um Fichten, die aufgrund von Borkenkäferbefall aus dem Bestand entfernt wurden.

Wiederholt aufgenommene Bäume

Von den 6.524 Bäumen der diesjährigen Waldschadenserhebung wurden 1.331 Bäume bereits in den Jahren 1985 und 1994 erhoben. Die Auswertung der gleichen Baumindividuen zeigt die individuelle Regenerationsmöglichkeit der einzelnen Bäume. Eine allgemeine, landesgültige Schadensinterpretation ist mit diesem Baumkollektiv dagegen nicht möglich, da es sich um die überlebensfähigsten Bäume des ursprünglichen Stichprobenumfangs handelt. Die in der Beobachtungsperiode zwischenzeitlich abgestorbenen bzw. entnommenen Stichprobenbäume können in dem Baumkollektiv der wiederholt aufgenommenen Bäume nicht enthalten sein. Die individuelle Schadstufenentwicklung der 1985, 1994 und 2005 aufgenommenen, identischen Baumindividuen ist in Abbildung 25 als Farbschema dargestellt. Die Farbgebung in den unterschiedlichen Jahren zeigt die Schadstufenentwicklung der einzelnen Bäume der Waldschadenserhebung an. Die Nadelbäume sind

Übersicht 6: Schadstufenverteilung der wiederholt aufgenommenen Bäume

Verteilung der wiederholt aufgenommenen Bäume auf die Schadstufen		Jahr			Jahr		
		1985	1994	2005	1985	1994	2005
		Prozent			Anzahl		
Schadstufe 0	Nadelholz	35%	36%	54%	125	117	56
	Laubholz	65%	64%	46%	235	211	48
	Gesamt	**27%**	**25%**	**8%**	**360**	**328**	**104**
Schadstufe 1	Nadelholz	54%	55%	58%	299	319	318
	Laubholz	46%	45%	42%	259	258	230
	Gesamt	**42%**	**43%**	**41%**	**558**	**577**	**548**
Schadstufe 2	Nadelholz	81%	77%	56%	309	307	346
	Laubholz	19%	23%	44%	73	93	274
	Gesamt	**29%**	**30%**	**47%**	**382**	**400**	**620**
Schadstufe 3	Nadelholz	97%	77%	75%	30	20	39
	Laubholz	3%	23%	25%	1	6	13
	Gesamt	**2%**	**2%**	**4%**	**31**	**26**	**52**
Schadstufe 4	Nadelholz	/	/	57%	/	/	4
	Laubholz	/	/	43%	/	/	3
	Gesamt	**/**	**/**	1%	**/**	**/**	**7**

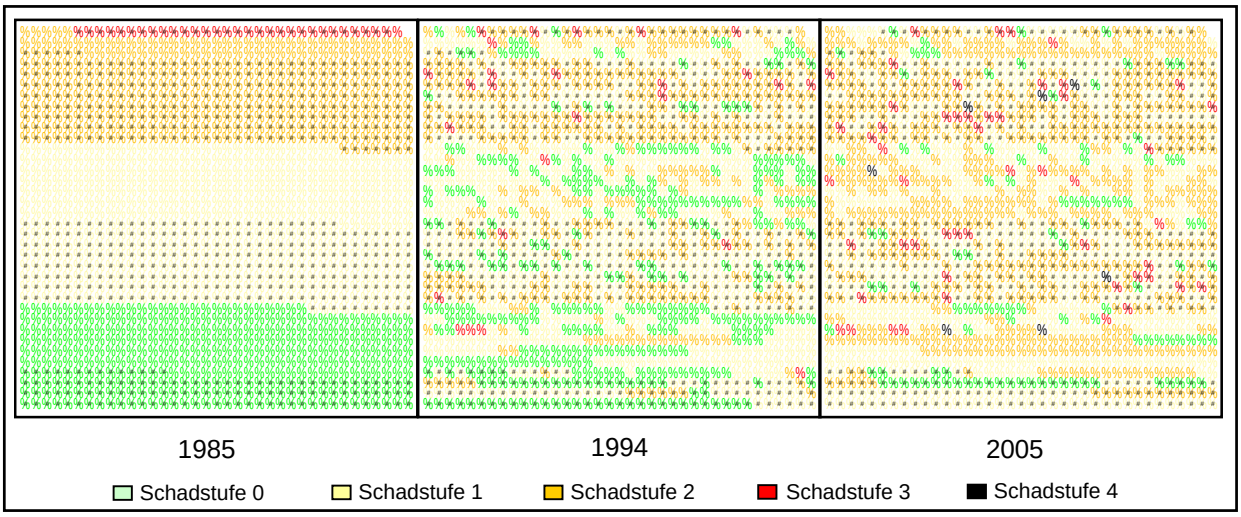


Abb. 25: Farbschema der Schadstufenentwicklung wiederholt aufgenommener Bäume (1985/1994/2005). Positionen (X-Y-Koordinaten) stehen für die selben Bäume.

mit einem Punkt kenntlich gemacht.

Bei der Waldschadensaufnahme des Jahres 1985 sind die Anteile der Schadstufen 0 und 2 mit 27 bzw. 29% nahezu gleich stark vertreten (Übersicht 6). Deutlich größer ist der Anteil der Schadstufe 1 mit insgesamt 42%. Die Schadstufe 3 ist mit 2% der Bäume nur gering vertreten. Auffallend ist der hohe Anteil an Nadelhölzern in den höheren Schadstufen. Während der Anteil der Nadelbäume in der Schadstufe 0 1985 lediglich bei 35% liegt, sind die Nadelhölzer in der Schadstufe 2 mit 81% deutlich stärker vertreten. Das erhöhte Schadniveau der Nadelbaumarten, besonders der Tanne Anfang der 80er Jahre spiegelt sich hier wider. Insbesondere die massive Vergilbung der Nadelbäume zu dieser Zeit, die zu einer Einstufung in eine höhere Schadstufe führt, ist hier zu berücksichtigen.

Neun Jahre später, 1995, hat sich der Waldzustand insgesamt in Baden-Württemberg nicht wesentlich gebessert und auch die wiederholt aufgenommenen Bäume weisen in der Gesamtansicht der Schadstufenverteilung kaum eine Änderung auf. Erst die einzelbaumweise Betrachtung deckt die Dynamik in der Entwicklung des Kronenzustandes innerhalb weniger Jahre auf. Insbesondere Bäume, die 1985 der Schadstufe 0 und 1 angehörten, sind aufgrund ihres veränderten Kronenzustandes 1994 einer anderen Schadstufe zugeordnet. Die nahezu durchgängige Verbesserung der 1985 noch als Schadstufe 2 bewerteten Bäume ist auf die deutliche Reduzierung der Vergilbungserscheinungen in diesem Zeitraum zurückzuführen (Abb. 25).

Wiederum elf Jahre später im Jahr 2005 sind Bäume der Schadstufe 2 in dem ausgewählten Baumkollektiv am meisten vertreten, während der Anteil der Schadstufe 0 auf nur noch 8% geschrumpft ist. Die Schadstufe 3 nimmt im Vergleich der drei Jahre mit 4% der Bäume den bisher größten Anteil ein. Durch das Extremereignis der Trockenperiode im Zeitraum 2003/2004 ist bei vielen Bäumen eine Verschlechterung des Kronenzustandes festzustellen. Ein Wechsel zu einer besseren Schadstufe im Vergleich zu 1994 findet dagegen nur noch selten statt. Zudem hat sich das Baumartenverhältnis in den Schadstufen deutlich verschoben. Im Jahr 2005 sind gegenüber den beiden betrachteten Voraufnahmen wesentlich mehr Laubbäume stärker geschädigt.

Durch die Betrachtung der einzelnen Baumindividuen

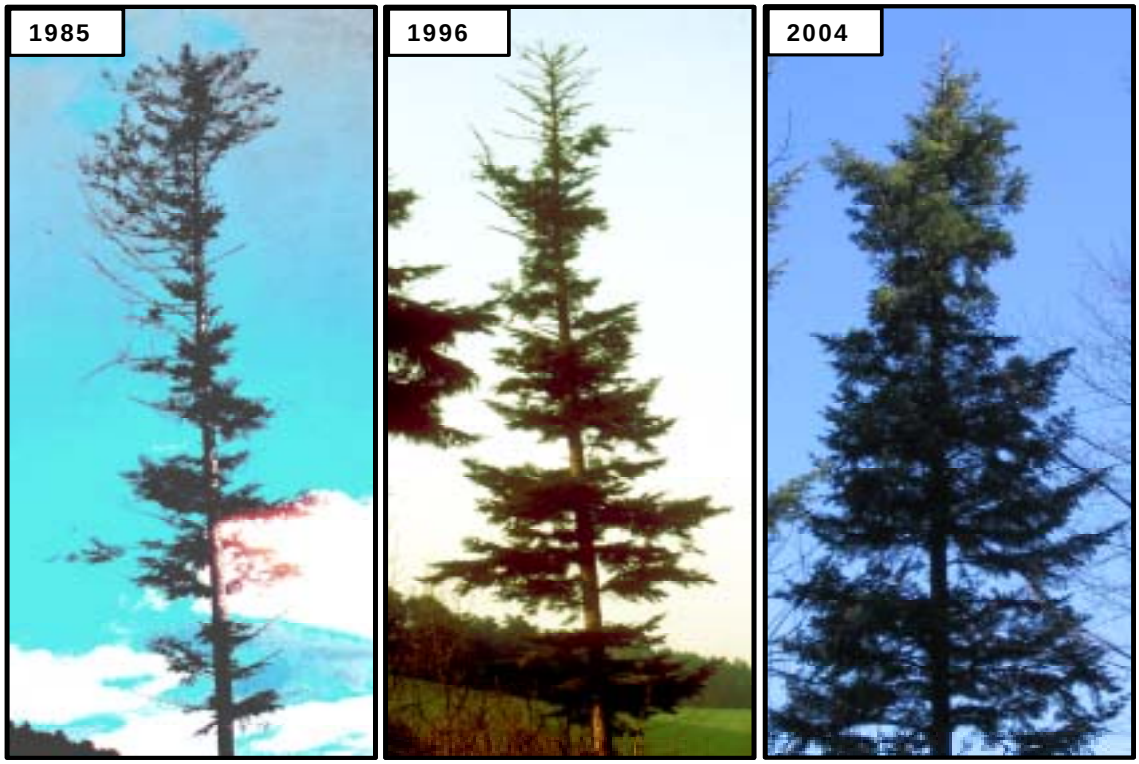


Abb. 26: Revitalisierende Tanne im Schwarzwald 1985/1996/2004

und ihres Vitalitätszustandes wird deutlich wie unterschiedlich sich Bäume im Laufe der Jahre entwickeln können. Die räumlich und zeitlich variierenden Einflussfaktoren wie Witterung, Stoffeinträge und biotische Schädlinge wirken in verschiedenster Weise auf die Bäume ein. Ein Großteil der Bäume zeigt insbesondere nach dem Trockenjahr 2003 eine deutliche Verschlechterung des Vitalitätszustandes. Daneben finden sich aber auch einzelne Bäume, die in der langfristigen Betrachtung ihren Vitalitätszustand halten bzw. auch verbessern können. Insbesondere die Tanne kann durch Bildung von Sekundärtrieben in der Krone und am Stamm die Benadelung innerhalb weniger Jahre wieder deutlich verbessern (Abb. 26).

Sonstige Kronenparameter

Der Waldzustand in Baden-Württemberg wird zwei Jahre nach dem außerordentlichen Trockenjahr 2003 weiterhin von dessen Auswirkungen bestimmt. Bei der Waldschadensaufnahme 2005 wurden noch zahlreiche Symptome, wie abgetrocknete Kronenteile, Wipfeldürre oder absterbende Triebspitzen beobachtet, die überwiegend als direkte Trockenschäden anzusehen sind. Insbesondere wurden zahlreiche Buchen mit solchen Symptomen vorgefunden, was sich auch in der Bewertung des Kronenzustandes der Baumart eindeutig niederschlägt (Abb. 27).

Abb. 27: Buchen mit abgetrockneten Trieben

Ebenfalls wurde bei der Buche ein verstärktes Hochklappen der Blattspreite von Blättern sonnenexponierter Kronenpartien beobachtet. Durch diese Verringerung der Oberfläche versucht der Baum eine

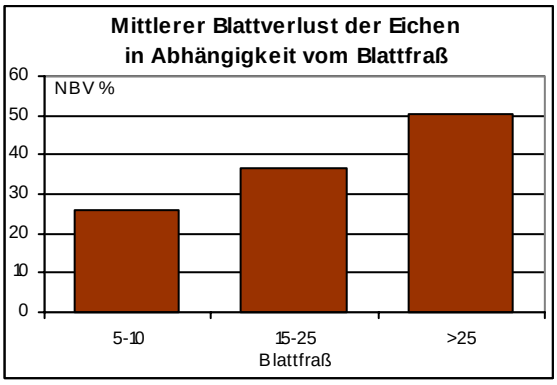


Abb. 28: Blattfraß an Eiche

erhöhte Transpiration zu verhindern, um ein Wasserdefizit besser zu überstehen. Insgesamt zeigten 40% der bei der Waldschadenserhebung aufgenommenen Buchen dieses auch als „Schiffchenbildung“ bekannte Symptom.

Ein zweiter, die Waldschadensinventur 2005 stark beeinflussender Faktor ist die außerordentlich hohe Befallsstärke von blattfressenden Raupen. Dabei kam es bereits im Frühsommer vor der Inventur nahezu in ganz Baden-Württemberg zu einem erheblichen Fraß, insbesondere von Frostspanner- und Eichenwicklerraupen. Besonders Eichenbestände waren hiervon betroffen. An vielen Orten führte dieser massive Befall zu einem Kahlfraß der Eichenbestände. Durch einen zweiten Austrieb können sich Eichen innerhalb der Vegetationsperiode zwar größtenteils wieder regenerieren, jedoch führt die zeitweise Entlaubung zu einer Schwächung der Bäume. Neben der Baumart Eiche sind hiervon auch andere Laubbaumarten wie Hainbuche oder Linde betroffen. Während der Waldschadensinventur im August 2005 wurden bei 93% der aufgenommenen Eichen Fraß der so genannten „Eichenschadgesellschaft“ festgestellt. Bei knapp 50% der Eichen war die Befallsstärke allerdings nur gering (5-10% Fraß); jeweils rund 25% der Eichen wurden mittelstark bzw. stark von den Raupen befressen. Dabei wiesen die stärker geschädigten Eichen einen deutlich höheren Nadel-/Blattverlust auf als die Bäume, bei denen wenig Fraß festgestellt wurde (Abb. 28).

Auch an der Baumart Buche wurden Schäden durch blattfressende Insekten festgestellt. Insgesamt zwei Drittel der aufgenommenen Buchen wiesen überwiegend geringen Loch- bzw. Minierfraß des Bu-

chenspringrüsslers auf. Der Einfluss dieser geringfügigen Fraßschäden auf den Kronenzustand der Buchen kann allerdings vernachlässigt werden.

An jeweils etwa 5% der aufgenommenen Fichten und Tannen wurden aktuelle Schäden durch Borkenkäfer festgestellt. Borkenkäfer bohren sich in die Rinde von Nadelhölzern ein, die mit Harzaustritt versuchen sich dem Befall zu widersetzen. Im schwerwiegenden Verlauf verfärben sich die Nadeln der Bäume und der Baum stirbt schließlich ab. Zusammen mit den bereits durch Borkenkäferbefall ausgefallenen und ersetzten Stichprobenbäumen ist auf 14% der Stichprobenpunkte Borkenkäferbefall aufgetreten.

Neben Insektenschäden wurden während den Waldschadensaufnahmen auch pilzlich verursachte Schäden beobachtet. Hier ist vor allem die Blattverfärbung durch die Buchenblattbräune zu nennen. Knapp 20% der Buchen weisen meist geringe Symptome dieser Pilzinfektion auf.

Auch die Ausbildung von Früchten kann einen Einfluss auf den Belaubungszustand von Bäumen haben. Daher werden bei der Waldschadensinventur Parameter wie Nadel-/Blattverlust, Vergilbung und Insekten bzw. Pilzschäden ebenso die Intensität der Fruktifikation erhoben. Insbesondere bei der Buche konnte mehrmals im Laufe des Gesamt-Inventurzeitraums ein Zusammenhang zwischen starker Fruchtausbildung und schlechtem Kronenzustand nachgewiesen werden. In diesem Jahr spielt die Fruktifikation bezüglich des Kronenzustands dagegen nur eine geringe Rolle. Die Bäume haben über alle Baumarten hinweg außerordentlich wenige Früchte ausgebildet. Nur 13% aller Bäume tragen dieses Jahr überhaupt Früchte, wobei davon der weit überwiegende Teil nur eine schwache Intensität aufweist. Eine überproportional starke Ausbildung von Früchten kann durch Stress (z.B. extreme Witterungsverhältnisse), als Reaktion des Baumes sich noch einmal zu reproduzieren, ausgelöst werden. Im Jahr 2004 haben die Bäume nach dem extremen Hitze- und Trockenstress wiederholt verhältnismäßig stark fruktifiziert. Die deutliche Absenkung dieser Aktivität kann somit als eine Art natürliche Erholungsphase der Bäume gewertet werden. Die erhöhte Fruktifikation im Jahr 2003 kann nicht auf die Trockenheit im gleichen Jahr zurückgeführt werden, da Bäume schon im Jahr davor Blütenknospen anlegen müssen (Abb. 29).

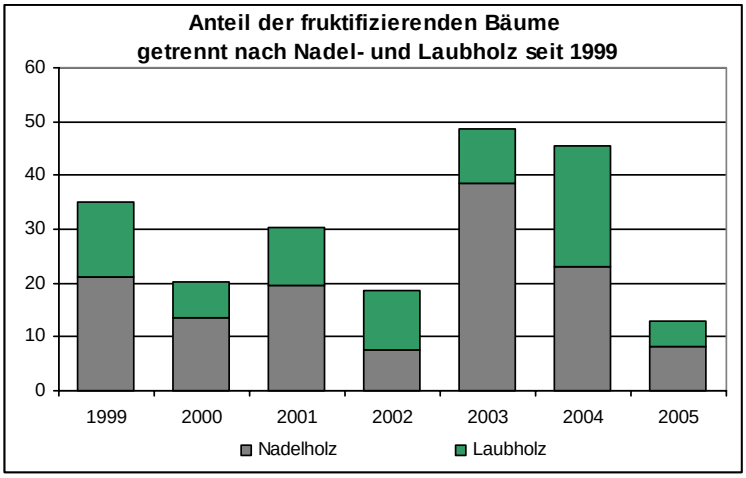


Abb. 29: Fruktifikation

5.2 Ergebnisse der Baumarten

Durch die verdichtete Aufnahme im 8x8 km Netz ist es für das Jahr 2005 möglich, Aussagen über den Vitalitätszustand einzelner Baumarten in Baden-Württemberg zu treffen. Aufgrund der Baumartenverteilung und der Stichprobenanzahl können die Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Douglasie, Buche und Eiche hinsichtlich ihres Kronenzustandes getrennt untersucht werden. Die übrigen Baumarten werden zu sonstige Nadelbäume (sNb) und sonstige Laubbäume (sLb) zusammengefasst (Abb. 30).

Der mittlere Nadel-/Blattverlust zeigt bei den einzelnen Baumarten eine erhebliche Spreitung. Nachdem sich die Unterschiede im Schadniveau zwischen den einzelnen Baumarten seit Beginn der Waldschadensinventur kontinuierlich verringert haben, klaffen die Schadniveaus der einzelnen Baumarten nun wieder weiter auseinander. Die Differenz zwischen den niedrigsten und den höchsten mittleren Nadel-/Blattverlusten beträgt nun 22 Prozent, dies ist im Vergleich zu 2001 mehr als das Doppelte.

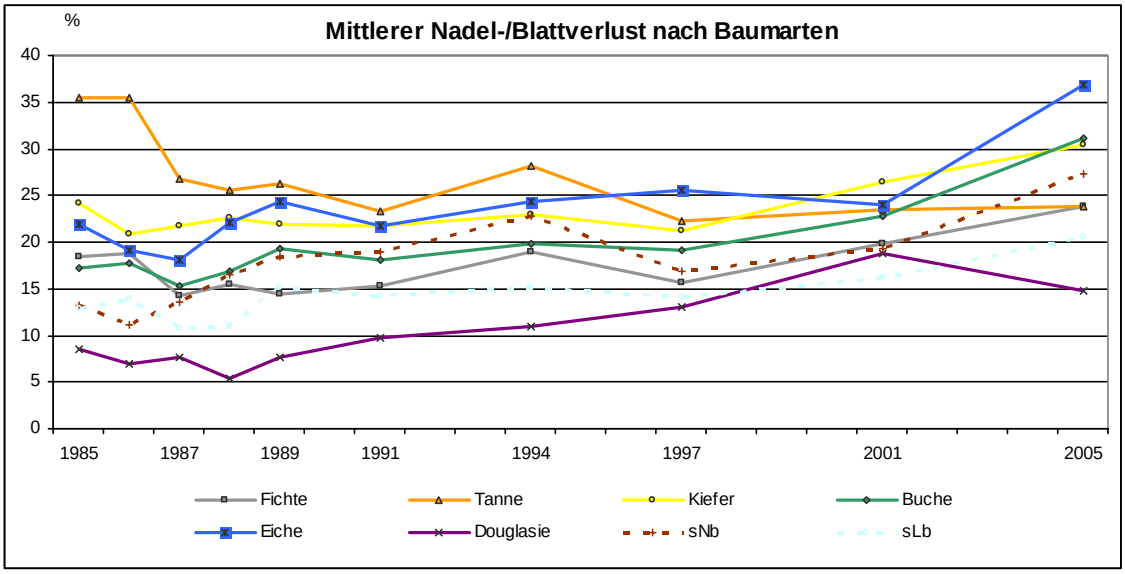


Abb. 30: mittlerer Nadel-/Blattverlust nach Baumarten in Jahren mit verdichteter Aufnahme

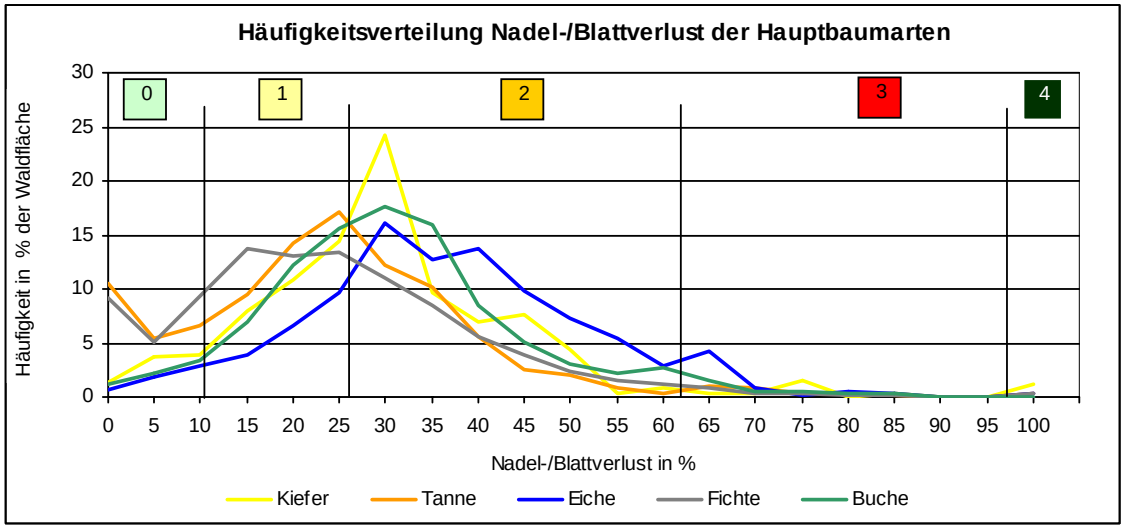


Abb. 31: Häufigkeitsverteilung des Nadel-/Blattverlustes nach Baumarten

Die stark heterogene Verteilung der Nadel-/Blattverlustwerte der einzelnen Baumarten an der Waldfläche Baden-Württembergs zeigt die Häufigkeitsverteilung in Abbildung 31. Die unterschiedlichen Schadniveaus können damit differenziert nach der Häufigkeit der Nadel-/Blattverluststufen interpretiert werden.

Auffallend ist, dass bei allen Baumarten bis auf Douglasie und Tanne das Schadniveau im Vergleich zur Aufnahme 2001 deutlich angestiegen ist. Bei **Douglasie** ist die Verringerung des Schadniveaus um 4 Prozentpunkte hauptsächlich auf das Hinzukommen von jungen Douglasienbeständen in die Stichprobe zurückzuführen.

Am stärksten geschädigt zeigt sich die Baumart **Eiche**. Der durchschnittliche Nadel-/Blattverlust liegt bei der Eiche mit 36,8% auf einem bisher noch von keiner Baumart erreichten Schadniveau. Ursächlich hierfür ist zum einen die erhebliche Schädigung durch blattfressende Raupen im Frühjahr 2005, die sich natürlich auf die Höhe des Blattverlustes im Sommer niedergeschlagen haben. Andererseits liegt der durchschnittliche Blattverlust, der nicht oder nur schwach durch Fraß geschädigten Eichen bei über 31%, also auch noch auf einem deutlich höheren Schadniveau. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Eiche, wie alle anderen Laubbäume auch, deutlich durch die Folgeschäden des Trockenjahres 2003 betroffen ist. Dies ist u. a. mit dadurch begründet, dass Eichenbestände häufig auf Extremstandorten wie Tonböden oder wechselfeuchten Standorten stocken und daher schon standortsbedingt einem erhöhten Stresspotential ausgesetzt sind.

In der Häufigkeitsverteilung des Blattverlustes an der Waldfläche wird das Ausmaß der Schädigung der Eiche im Jahr 2005 deutlich. Die jeweiligen Anteile in den besseren Blattverlustwerten sind verglichen mit allen anderen Baumarten äußerst gering. Der Häufigkeitsschwerpunkt liegt mit 30 bis 40% Blattverlust bereits deutlich in Schadstufe 2 und die Anteile in den noch höheren Blattverluststufen sind überproportional hoch (Abb. 31). Der Blick auf die Schadstufenverteilung der Baumart Eiche seit Beginn der Waldschadenserhebung betont eindrücklich den schlechten Vitalitätszustand der Eichen im Jahr 2005. Nahezu 75% der Eichenfläche in Baden-Württemberg ist demnach den Schadstufen 2 bis 4 zuzuordnen (Abb. 32).

Ein ähnliches Bild mit deutlicher Erhöhung des mittleren Blattverlustes zeichnet auch die Baumart **Buche** in Baden-Württemberg. Mit 31,2% Blattverlust liegt sie deutlich über dem durchschnittlichen Wert aller Baumarten (Abb. 31). Während der Aufnahmen konnten keine biotischen Schaderreger festgestellt werden, die den Kronenzustand der Buchen insgesamt wesentlich hätten beeinflussen können. Eine starke Fruchtausbildung, die den Kronenzustand beeinflussen, kann ebenfalls nicht beobachtet werden. Vielmehr ist anzunehmen, dass die Buchen noch stark unter dem aus dem Trockenjahr 2003 bedingten Wassermangel und dessen Folgen zu leiden haben. An vielen Buchen wurden irreversible Kronenstrukturschäden und abgetrocknete Triebspitzen festgestellt.

Die Häufigkeitsverteilung zeigt einen Schwerpunkt der Blattverlustwerte zwischen 25 bis 35%. Während

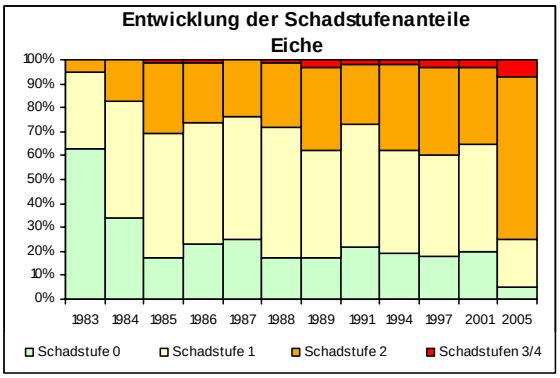


Abb. 32: Schadstufen Eiche

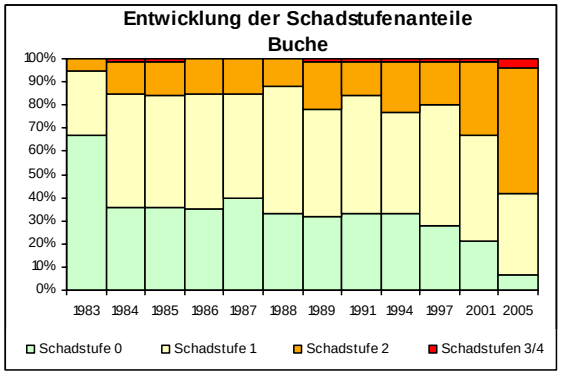


Abb. 33: Schadstufen Buche

der Anteil der besser belaubten Buchenfläche gering ist, sind im Vergleich zu den anderen Baumarten erhöhte Anteile der schlechteren Stufen zu verzeichnen (Abb. 31). Nur noch insgesamt knapp 7% der Buchenfläche ist ungeschädigt (Schadstufe 0), dafür sind 59% der Fläche als deutlich geschädigt (Schadstufe 2-4) eingestuft. Dies ist das mit Abstand schlechteste Ergebnis, welches seit Beginn der Waldschadensinventur für die Baumart Buche ermittelt wurde (Abb. 33).

Die Baumart **Kiefer** hat im Jahr 2005 in Baden-Württemberg mit 30,4% einen ähnlich hohen mittleren Nadel-/Blattverlust wie die Baumart Buche. Im Vergleich zum Jahr 2001 bedeutet dies einen Anstieg um 4% (Abb. 30). Mit Abstand der größte Anteil der Kiefernfläche hat einen Nadelverlust von 30%. Verglichen mit allen übrigen Baumarten zeigt die Kiefer hier ein absolutes Maximum. Alle anderen Nadelverluststufen sind mit deutlich geringen Anteilen vertreten. Leicht erhöhte Anteile an abgestorbenen Bäumen (Nadelverlust 100%) lassen sich durch regional beobachtete Absterbeprozesse nach der Trockenheit 2003 erklären (Abb. 31). Der Anteil der deutlich geschädigten Kiefernfläche ist in Baden-Württemberg auf 58 Prozent gestiegen. Im Vergleich zu 1997 hat sich der Schadflächenanteil somit mittlerweile verdoppelt (Abb. 34). Der relativ konstante Anteil der Schadstufe 3 und 4 der Kiefernfläche seit Beginn der Waldschadenserhebung kann als Folge des Vorkommens der Pionierbaumart auf Extremstandorten angesehen werden.

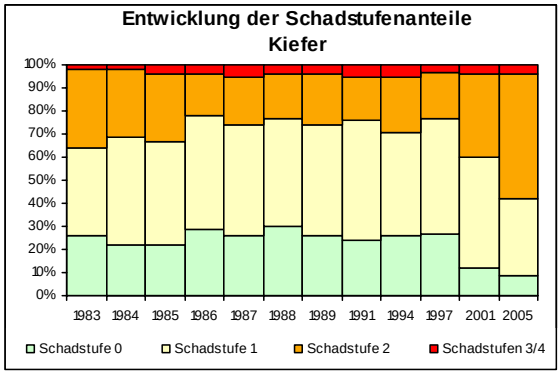


Abb. 34: Schadstufen Kiefer

Auch der Kronenzustand der **Fichten** in Baden-Württemberg hat sich weiter verschlechtert. Der mittlere Nadelverlust stieg um 4 Prozentpunkte auf nunmehr 23,9%. Damit liegt er etwas unterhalb des durchschnittlichen Verlustwertes aller Baumarten (Abb. 30). Im Vergleich zu den anderen Baumarten sind die Anteile der niedrigeren Nadelverluststufen in der Häufigkeitsverteilung stärker vertreten und der Schwerpunkt der Verteilung insgesamt früher, d.h. bei niedrigeren Nadelverluststufen (15 bis 25%) angesiedelt. Der Anteil der Fichtenfläche über 25% Nadelverlust geht kontinuierlich zurück (Abb. 31).

Das Schadniveau ist im Vergleich zu den übrigen Hauptbaumarten bei der Fichte am niedrigsten. Im Jahr 2005 sind 36% der Fichtenfläche deutlich geschädigt, d.h. 9% mehr als während der Aufnahme im Jahr 2001. Der Anteil der Schadstufen 2 – 4 hat sich seit 1997 mehr als verdoppelt (Abb. 35).

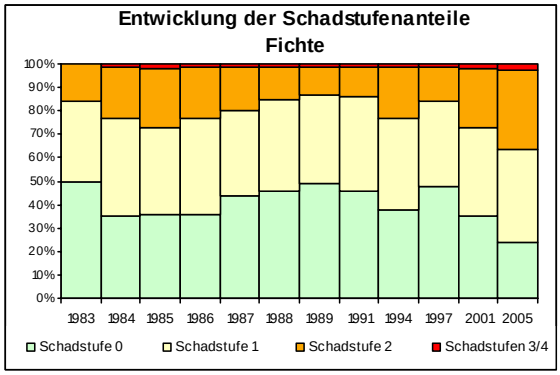


Abb. 35: Schadstufen Fichte

Während alle anderen Hauptbaumarten in Baden-Württemberg einen z. T. erheblich schlechteren Vitalitätszustand als in den vorherigen Jahren aufzeigen, kann die Baumart **Tanne** ihr Schadniveau der letzten Vollaufnahme von 2001 in etwa halten. Der durchschnittliche Nadelverlust der Tannen steigt gegenüber der Voraufnahme lediglich um 0,3 Prozentpunkte (Abb. 30).

Die Tanne hat sich somit als die lange Zeit am stärksten geschädigte Baumart im langfristigen Trend seit Beginn der Waldschadensinventur erholt. Dies liegt insbesondere an dem ausgeprägten Regenerationsvermögen von Alttannen, die sich mit Hilfe von Ersatztrieben eine neue Krone ausbilden können. Zudem ist sie augenscheinlich weniger empfindlich gegenüber extremer Trockenheit als alle anderen Hauptbaumarten. Dies ist zum einen durch die bessere Durchwurzelung der Tanne begründet. Mit ihrem tief greifenden Wurzelwerk ist es ihr möglich Wasservorräte in tieferen Bodenschichten zu erschließen. Somit ist sie besser gegen ein Niederschlagsdefizit gerüstet als beispielsweise die Fichte. Zum anderen wurde die Tanne in der Vergangenheit strikt nur in klimatisch für sie geeigneten Regionen angebaut, was ihre Konkurrenzkraft sicherlich stärkt. Die Entwicklung der Schadstufenanteile der Tanne zeigt die nahezu kontinuierliche Verringerung der deutlich geschädigten Waldfläche seit 1985. In den letzten Jahren ist in dieser positiven Entwicklung allerdings eine Stagnation zu beobachten. Bei der diesjährigen Aufnahme werden, ähnlich wie bei der Voraufnahme 2001 rund 37% der Tannenfläche als deutlich geschädigt eingestuft (Abb. 36).

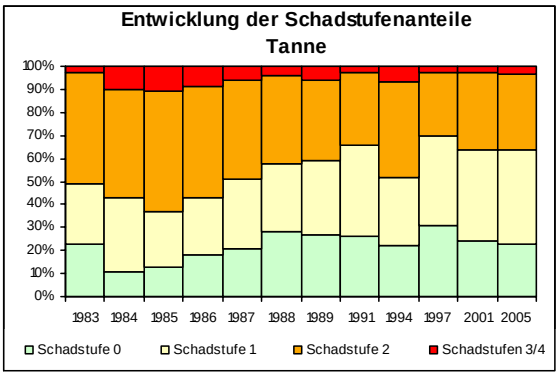


Abb. 36: Schadstufen Tanne

5.3 Ergebnisse der Regionen

Entsprechend der Auswertungen für einzelne Baumarten können durch die verdichtete Aufnahme im 8x8 km Netz Aussagen über den Kronenzustand einzelner Regionen getroffen werden. Aufgrund der Stichprobenverteilung können für die vier größten Wuchsgebiete Baden-Württembergs Ergebnisse dargestellt werden (Abb. 37):

- Schwarzwald
- Südwestdeutsches Alpenvorland
- Neckarland
- Schwäbische Alb

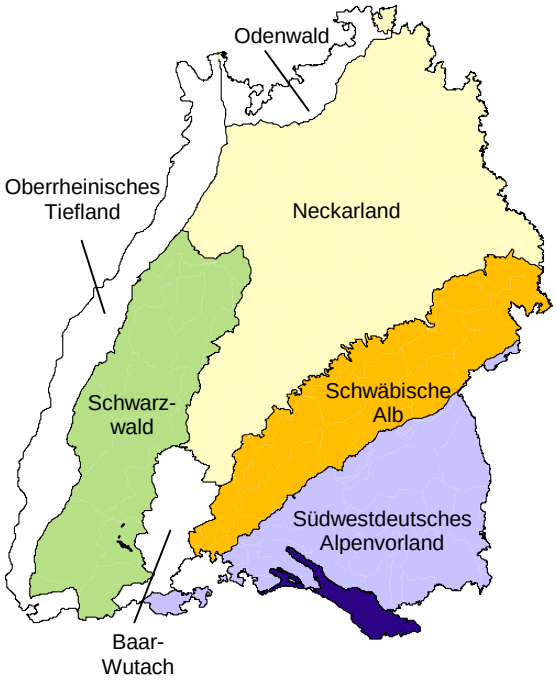


Abb. 37: Lage der Wuchsgebiete

Insgesamt lässt sich eine Annäherung des Schadniveaus in den vier Wuchsgebiete auf deutlich erhöhtem Niveau im Vergleich zur vorherigen Aufnahme erkennen. Das Schadniveau ist in allen vier Wuchsgebieten angestiegen. Während sich die Bäume im Schwarzwald im Durchschnitt nur leicht verschlechtern, sind in allen anderen Wuchsgebieten erhebliche Steigerungen des Schadniveaus zu erkennen. Entgegen der langjährigen Zeitreihe weisen im Jahr 2005 die Bäume des Neckarlandes das höchste Schadniveau auf. Die Bäume des Schwarzwaldes halten im Wesentlichen ihren hohen Schädigungsgrad, während die Bäume des Südwestdeutschen Alpenvorlandes sich deutlich verschlechtern und erstmals in der langjährigen Beobachtungsperiode an das Schadniveau der Bäume des Schwarzwaldes aufschließen. Das geringste Schadniveau findet sich bei Bäumen auf der Schwäbischen Alb. Sie weisen aber zusammen mit den Bäumen des Neckarlandes die stärkste Verschlechterung gegenüber der Voraufnahme auf (Abb. 38).

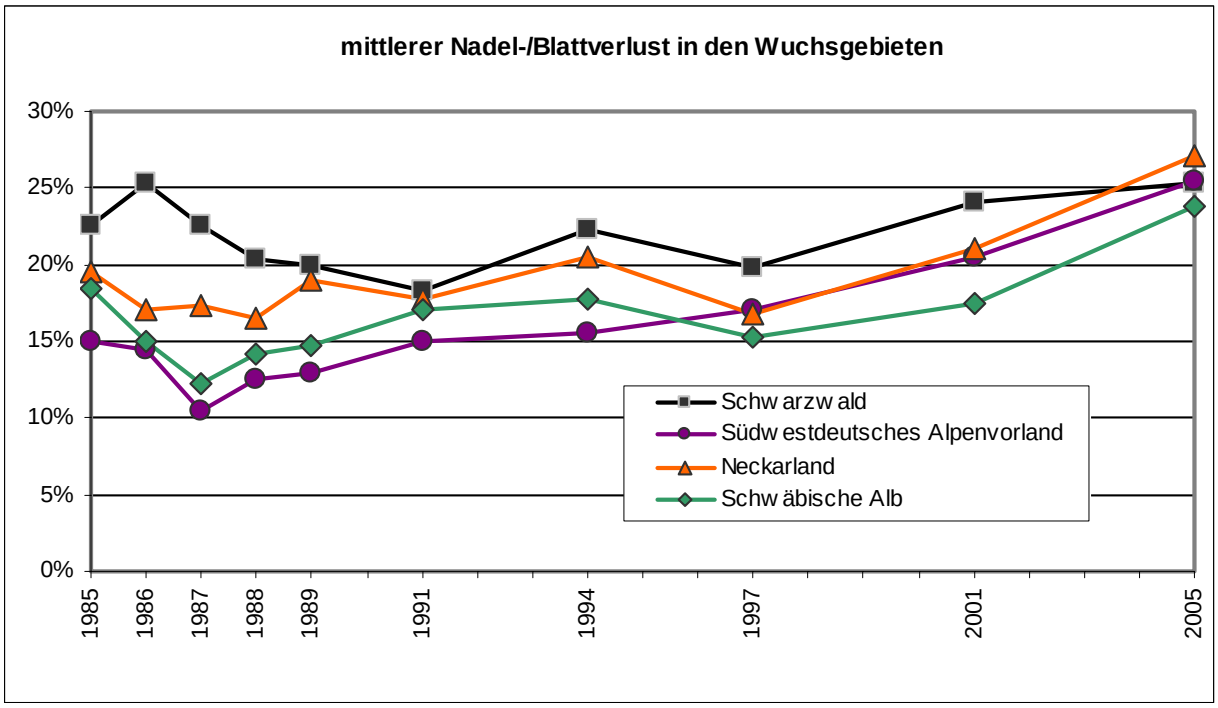


Abb. 38: mittlere Nadel-/Blattverlust in den Wuchsgebieten

Für die Wuchsgebiete Oberrheinische Tiefebene, Odenwald und Baar-Wutach können aufgrund des geringen Stichprobenumfanges keine regionalen Aussagen zum Vitalitätszustand der Bäume gemacht werden.

Abbildung 39 zeigt alle Stichprobenpunkte und deren mittleren Nadel-/Blattverlust in Abstufung von 10 Prozentpunkten. Regionen mit stärkeren Schäden ergeben sich aus der Häufung dunkler gefärbter Stichprobenpunkte. Bestände unter 60 Jahren sind auf der Abbildung durch Dreiecke gekennzeichnet. Nahezu alle Stichprobenpunkte mit einem durchschnittlichen Nadel-/Blattverlust bis 10% fallen hierunter.

Deutliche Schadensschwerpunkte lassen sich v. a. im südlichen und mittleren Schwarzwald sowie auf den Hochlagen des Buntsandstein-Schwarzwaldes erkennen. Zudem können im Nordosten des Wuchsgebiets Neckarland und im nordwestlichen Teil Oberschwabens Schadensschwerpunkte ausgemacht werden. Im Unterschied zur Vollaufnahme (4x4 km Netz) erschwert die erheblich geringere Anzahl an Aufnahmepunkten die Ausweisung von regionalen Schadgebieten.

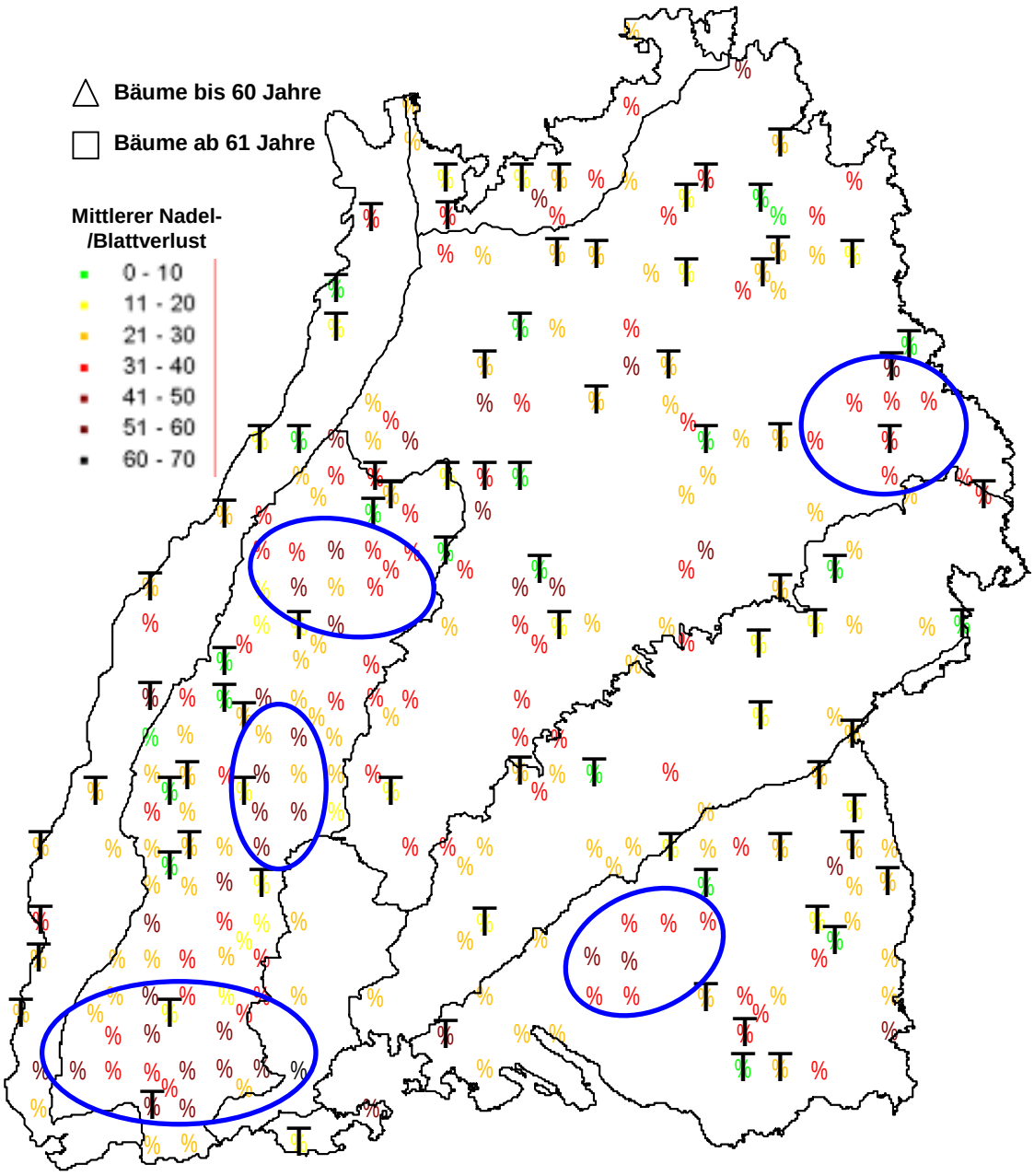


Abb. 39: mittlerer Nadel-/Blattverlust der Stichprobenpunkte

Das Neckarland

Der Vitalitätsverlust der Bäume ist im Wuchsgebiet Neckarland im Vergleich zu den Voraufnahmen dramatisch angestiegen. Mittlerweile sind 46% Prozent der Waldfläche deutlich geschädigt. Soviel wie in keinem anderen Wuchsgebiet. Im Vergleich zum Jahr 2001 bedeutet dies eine Zunahme der deutlich geschädigten Waldfläche um 19%. Dies ist im Wesentlichen auf die starke Verschlechterung der Laubbaumarten im Wuchsgebiet zurückzuführen. Die Anteile der deutlich geschädigten Buchen- und Eichenflächen haben sich mehr als verdoppelt. Insbesondere im Nordöstlichen Neckarland ist die Verschärfung der Schadintensität auf den hohen Anteil an Tonsubstraten zurückzuführen auf denen sich die Austrocknung 2003 besonders intensiv und lang anhaltend ausgewirkt hat. Durch den hohen Tonanteil im Boden steht den Bäumen in Trockenperioden deutlich weniger Wasser zur Verfügung als auf anderen Standorten. Insgesamt sind im Wuchsgebiet Neckarland 61% der Buchenfläche und 77% der Eichenfläche deutlich geschädigt. Bei Fichte und Kiefer hat der Anteil deutlich geschädigter Waldfläche ebenfalls zugenommen. Hier ist seit 1997 ein stark ansteigender Trend zu beobachten.

Der Kronenzustand der Tannen hat sich - wie auch im Landesdurchschnitt - im Neckarland kaum verschlechtert. Mit 24% deutlich geschädigter Waldfläche ist der Tannenanteil gegenüber 2001 nahezu unverändert (Abb. 40).

Der Schwarzwald

Der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche ist im Schwarzwald von 35 auf 43% angestiegen. Damit zählt der Schwarzwald nach wie vor zu den am stärksten geschädigten Gebieten Baden-Württembergs. Verglichen mit dem Jahr 2001 bedeutet dies einen Anstieg um 8 Prozentpunkte. Durch langjährige Säureeinträge und die daraus resultierende Bodenversauerung, insbesondere am Westabfall und in den Kammlagen des Schwarzwaldes, zählt das Wuchsgebiet weiterhin zu den klassischen Schadgebieten Baden-Württembergs. Bei Fichte und Buche hat der Anteil deutlich geschädigter Waldfläche gegenüber 2001 stark zugenommen. Während bei Fichte die Zunahme der geschädigten Waldfläche mit 7 Prozentpunkten noch relativ gering ausfiel,

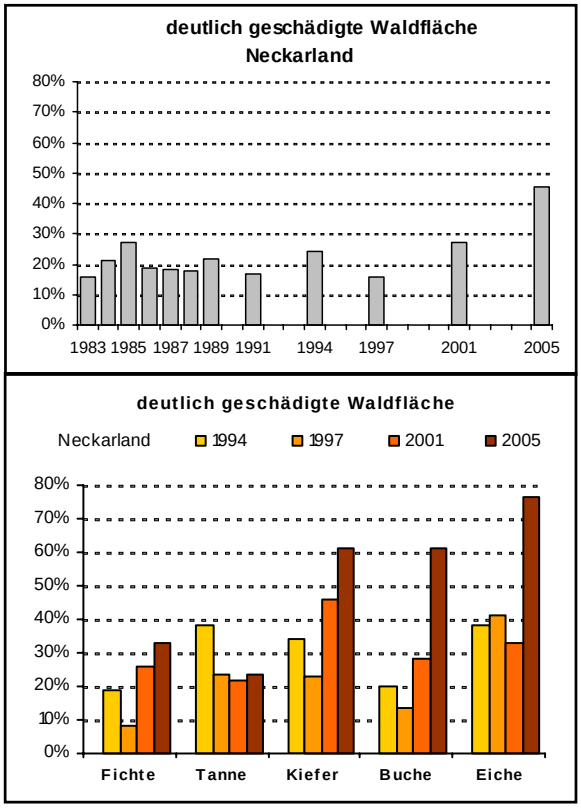


Abb. 40: Wuchsgebiet Neckarland

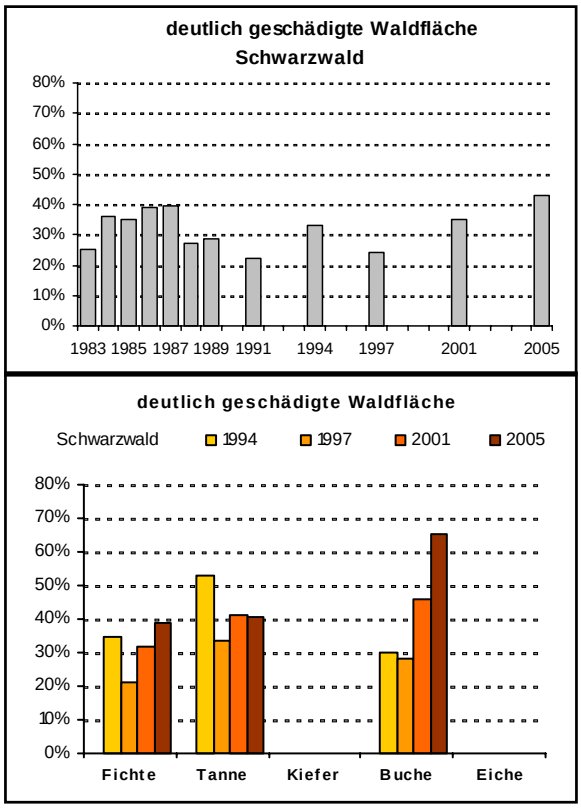


Abb. 41: Wuchsgebiet Schwarzwald

kann sie bei der Buche mit +19% -Punkten als alarmierend bezeichnet werden. Nahezu zwei Drittel der Buchenfläche im Schwarzwald ist deutlich geschädigt. Aufgrund der geringen Buchenfläche im Schwarzwald schlägt sich das schlechte Ergebnis der Buchen nicht so stark auf das Gesamtergebnis durch wie bei anderen Wuchsgebieten. Dagegen hat sich der Kronenzustand der Tannen im Schwarzwald etwas gebessert. Der Anteil an deutlich geschädigter Tannenfläche verringerte sich um einen Prozentpunkt auf nun 40% (Abb. 41).

Das Südwestdeutsche Alpenvorland

Im Wuchsgebiet Südwestdeutsches Alpenvorland ist der Anteil deutlich geschädigter Waldfläche im Vergleich zum Jahr 2001 um 7 Prozentpunkte auf nun insgesamt 38% gestiegen. Seit Ende der 80er Jahre ist die Schadfläche kontinuierlich angestiegen. Die Verschlechterung ist hauptsächlich auf den Anstieg der deutlich geschädigten Fichtenfläche zurückzuführen. Im Jahr 2005 stieg der Anteil der deutlich geschädigten Fichtenfläche mit 11 Prozentpunkte stärker als in allen anderen Wuchsgebieten an. Insbesondere im Nordwestlichen Oberschwaben ist das erhöhte Schadniveau auf die Auswirkungen der Trockenheit 2003 zurückzuführen. Das im Regenschatten von Schwarzwald und Schwäbischer Alb gelegene Areal ist im Klimagradient Oberschwabens das niederschlagärmste (Abb. 42).

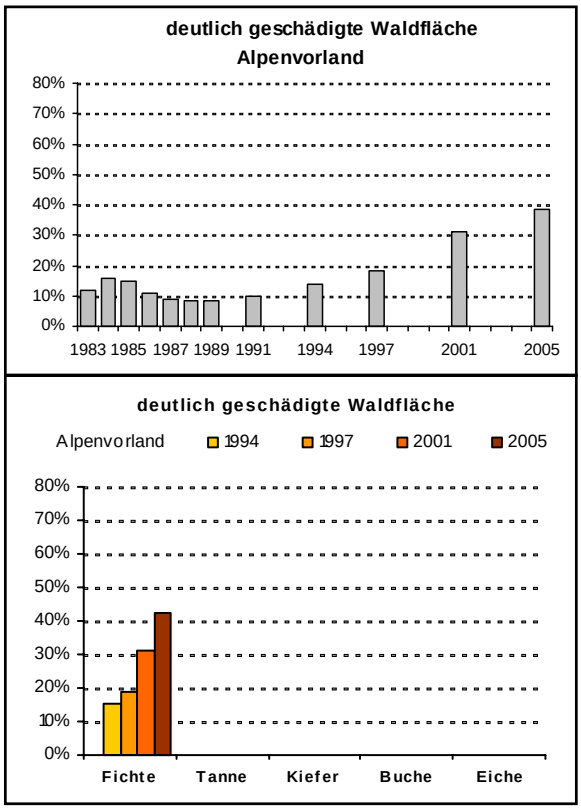


Abb. 42: Wuchsgebiet Alpenvorland

Die Schwäbische Alb

Die Schwäbische Alb ist das Wuchsgebiet mit dem geringsten Schadniveau in Baden-Württemberg. Allerdings hat sich auch hier die Schadfläche im aktuellen Jahr um 11 Prozentpunkte erhöht und ist damit erstmals in der Beobachtungsperiode auf über 30% gestiegen. Nur im Wuchsgebiet Neckarland stieg die Schadfläche im Vergleich zu 2001 steiler an (+19%).

Dies ist durch den hohen Buchenanteil des Wuchsgebietes und dessen überproportional hohen Anstieg der Schadfläche zu erklären. Der Anteil der deutlich geschädigten Buchenfläche stieg auf der Schwäbischen Alb von 26 auf 43 Prozent. Demgegenüber stieg der Anteil der deutlich geschädigten Fichtenfläche lediglich von 15 auf 24 Prozent an (Abb. 43).

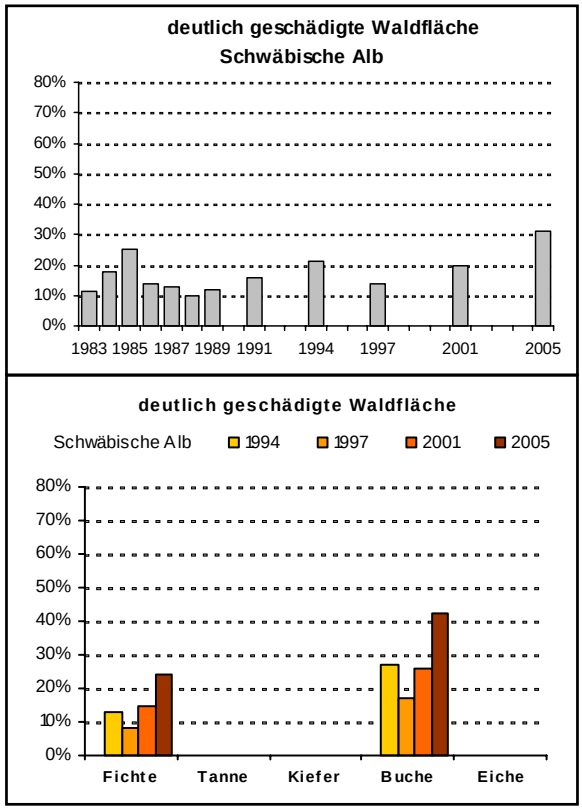


Abb. 43: Wuchsgebiet Schwäbische Alb

6 AUSWIRKUNGEN DER TROCKENHEIT 2003 AUF DEN WALDZUSTAND

Die thematische Verknüpfung von Waldzustandserfassung, Bodenzustandserfassung im flächenorientierten Rasternetz des Forstlichen Umweltmonitorings und die Intensivmessungen zu Meteorologie und Bodenwasserverfügbarkeit an den Fallstudien des Stoffflussmessnetzes erlauben eine begründete Abschätzung der Beteiligung des Trockenjahrs 2003 und seiner Folgewirkungen am aktuellen Kronenzustand der Wälder.

Das Jahr 2003 war auf die Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland bezogen das siebt trockenste Jahr seit Beginn des 20. Jahrhunderts. Die mittlere Niederschlagsmenge für den Sommer betrug in Deutschland 151,8 mm. Das sind 87,6 mm oder 36,6% weniger als in der Referenzperiode 1961-1990. Der Sommer 2003 war damit der fünft trockenste der letzten 103 Jahre. Für den Sommer 2003 (Juni - August) ergab sich eine Mitteltemperatur für Deutschland von 19,7 °C. Damit lag der Sommer 2003 um 3,4 Grad über dem Referenzwert und war der wärmste Sommer der letzten 103 Jahre. Trockenheit entsteht durch die Kombination eines Niederschlagsdefizits mit hohen Temperaturen, die hohe Verdunstungswerte erzeugen. Mit zunehmender Dauer und Intensität von Trockenperioden steigt die Wahrscheinlichkeit von langfristigen Schäden und letztendlich dem Absterben von Bäumen. Im Bericht zur Auswirkung der Trockenheit 2003 auf Waldzustand und Waldbau der Bundesforschungsanstalt für Holz und Forstwirtschaft (BFH) (Anders et al., 2004, BMVEL 533/7120/1) werden die klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und potentieller Verdunstung) des Jahres 2003 und die Differenz zwischen den klimatischen Wasserbilanzen 2003 und 1961/1990 zur Beurteilung der regionalen Differenzierung und der Intensität des Trockenjahrs 2003 herangezogen.

Die Übersicht 6 zeigt, dass in Baden-Württemberg die durchschnittliche Intensität der Trockenheit 2003 mit einem Wasserdefizit zur Referenzperiode von 388 mm deutlich am stärksten ausgeprägt war, gefolgt von Bayern und Saarland. Unter den 40 bundesweit am stärksten von einem Wasserdefizit in 2003 betroffenen Level I-Punkten waren 27 aus

Übersicht 7: Klimatische Wasserbilanz der Referenzperiode 1961 bis 1990 und des Jahres 2003 sowie die Differenz zwischen der klimatischen Wasserbilanz 2003 und der Referenzperiode 1961 bis 1990 (Wasserdefizit) der Bundesländer (zitiert aus Anders et al. 2004)

Bundesland	mittl. KWB 1961 bis 1990 [mm]	mittl. KWB 2003 [mm]	mittl. Wasserdefizit [mm]
Baden-Württemberg	**421,39**	**36,14**	**-388,41**
Bayern	**403,35**	**65,93**	**-336,75**
Berlin	-21,55	-246,11	-224,20
Brandenburg	-35,22	-260,33	-224,53
Bremen	177,63	11,06	-166,11
Hamburg	204,37	-60,31	-263,32
Hessen	237,64	-51,11	-290,05
Mecklenburg-Vorpommern	30,91	-168,82	-198,85
Niedersachsen	197,85	-35,15	-233,02
Nordrhein-Westfalen	337,34	62,43	-274,75
Rheinland-Pfalz	237,05	-23,21	-260,22
Saarland	335,31	13,32	-323,85
Sachsen	149,42	-142,18	-291,32
Sachsen-Anhalt	-24,89	-238,13	-212,99
Schleswig-Holstein	246,33	-2,53	-248,86
Thüringen	160,30	-78,66	-240,55
BRD insgesamt	**191,08**	**-69,85**	**-261,11**

Baden-Württemberg. Die kleinräumige Verteilung der Höhe des Wasserdefizits wird in Abbildung 44 dargestellt. Dabei wird eindeutig sichtbar, dass in Baden-Württemberg mit Schwerpunkt im Schwarzwald das deutschlandweit größte zusammenhängende Trockenstressgebiet mit den höchsten Intensitäten des Wasserdefizits bestand. Weitere, weniger intensiv ausgeprägte Schwerpunkte lagen im östlichen Neckarland.

An den Messflächen des Stoffflussmessnetzes (Level II) können auf der Basis von zeitlich hochauflösenden Bodenwasser- und Witterungsmessungen Wasser-

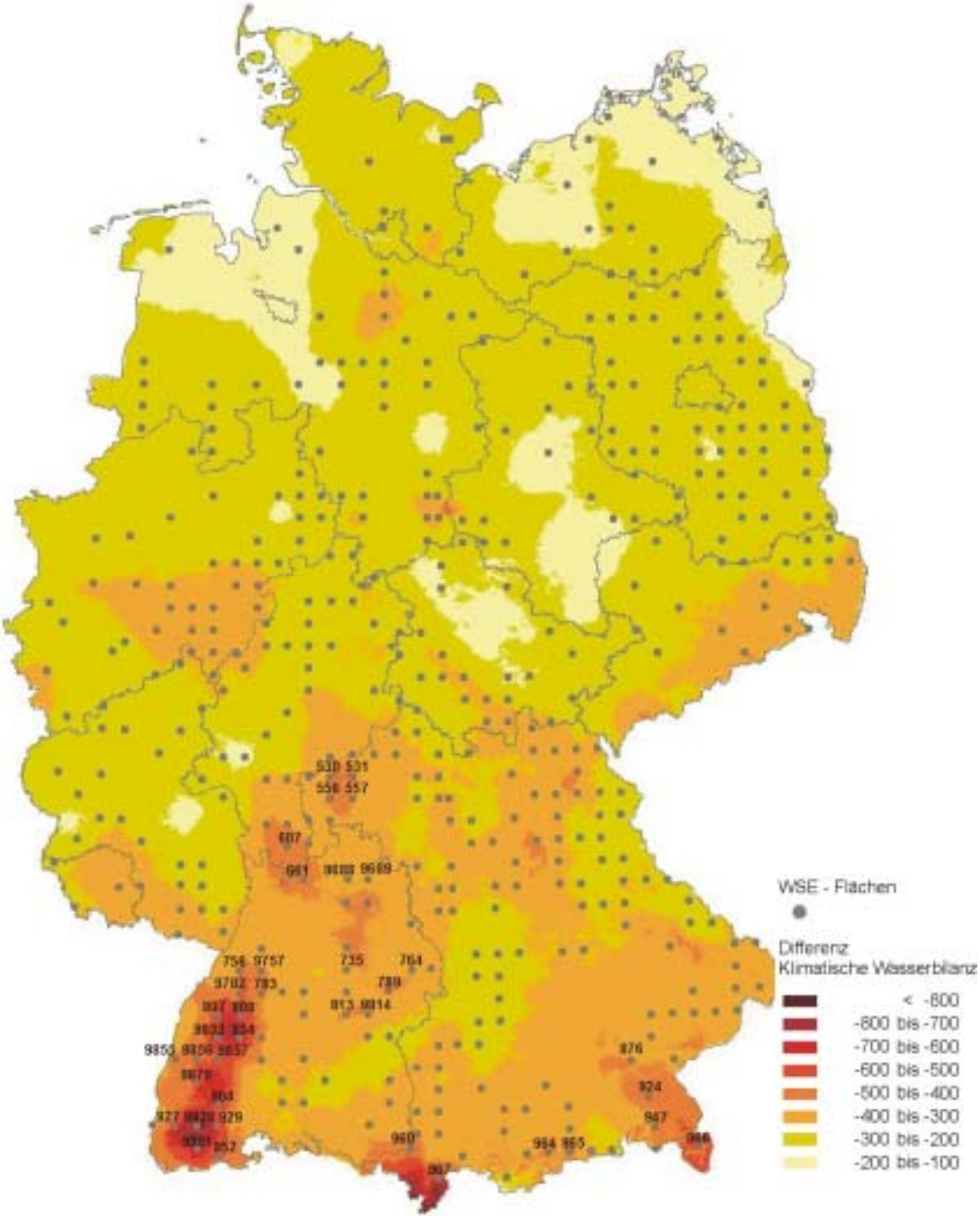


Abb. 44: Wasserdefizit für WSE-Flächen Deutschlands (berechnet aus der Differenz zwischen der klimatischen Wasserbilanz 2003 und der Referenzperiode 1961 bis 1990) und Lage der Beobachtungsflächen der Waldschadenserhebung. Nummerierte 40 Level I-Punkte mit dem bundesweit höchsten Wasserdefizit. (zitiert aus Anders et al. 2004)

haushaltsmodelle berechnet werden, die Auskunft über die Wasserspannung im Boden und damit die Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers geben. Wasserspeicherfähigkeit des Bodens und die Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers hängen entscheidend von der Bodenart ab. Diese entscheiden darüber ob und wie intensiv sich ein klimatisches Wasserdefizit auf die Konstitution und damit auch auf Kronenzustand und Zuwachs von Bäumen und letztendlich auch auf Absterbeprozesse auswirkt. In Abbildung 45 wurden diejenigen Stofflussmessflächen zusammengestellt, die ausgeprägt unterschiedliche Hauptbodenarten aufweisen. Dies sind Esslingen – Sand, ein nahezu lehmfreier Sand, Ochsenhausen mit einem homogenen Schlufflehm als Hauptbodenart und Esslingen – Ton mit einem strengen Ton. Für alle drei Standorte wurde die Saugspannung (d.h. der Kehrwert der Wasserverfügbarkeit) auf Tagesbasis für die vier Jahre von 2001 bis 2005 berechnet (Esslingen – Sand wurde erst 2002 instrumentiert). Von der Hauptbodenart Sand über Lehm zu Ton nimmt die Wasserspeicherkapazität für Bodenwasser zu. Die Pflanzenverfügbarkeit ist jedoch mit zunehmendem Tongehalt des Bodens eingeschränkt, da Ton das Bodenwasser sehr fest bindet, er weist einen hohen „Totwasseranteil“ auf. Damit ist das „Gedächtnis“ des Standorts für Extremereignisse wie das Trockenjahr auf Tonen am längsten und auf Sanden am kürzesten. So ist auch in Esslingen auf der Sand – Variante die Dauer der Trocken- und Nassphasen im Boden unter diesen drei Standorten am geringsten und der Wechsel zwischen Austrocknung und Wiederbefeuchtung am schnellsten. Hier war eine vollständige Wiederbefeuchtung des gesamten Bodenprofils nach der Sommertrocknis 2003 schon im Januar 2004 wieder erreicht (gelbes Band). Die Dauer der Saugspannungsklasse >700 hPa, in der Trockenstress bei längerer Dauer induziert wird, dauerte in dieser Variante 1-2 Monate und wurde im Oberboden durch kurzzeitige Regenereignisse abgemildert. Am Lehmstandort Ochsenhausen ist auffällig, dass die in den übrigen Jahren wassergesättigte Zone im tonigeren Unterboden (gelbe Farbe) in 2003 nahezu über ein halbes Jahr ausgetrocknet ist. Auch im Folgesommer schlug die immer noch vergleichsweise scharfe Austrocknung des Oberbodens bis in den Unterboden durch. Dies ist durch die Unterbrechung des kapillaren Wasseraufstiegs nach

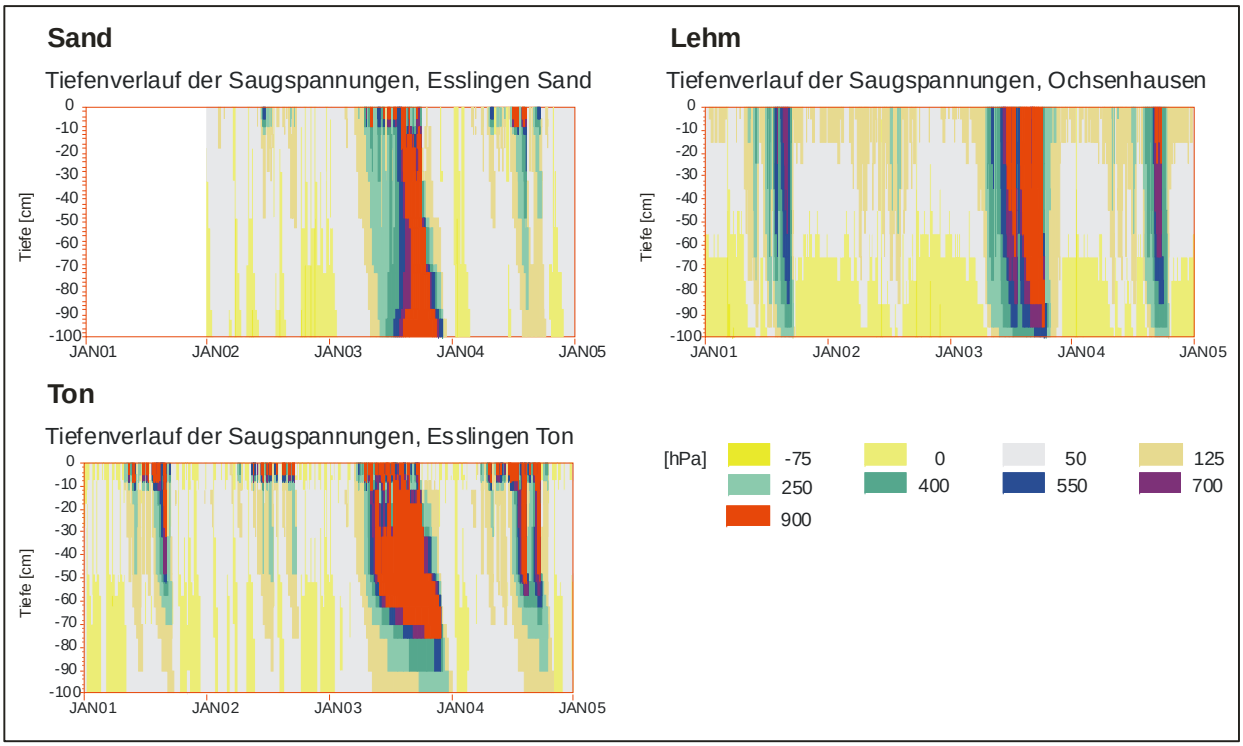


Abb. 45: Verlauf der Saugspannung (Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers) bis 1 m Tiefe für die Jahre 2001 – 2004 in Tageswerten an einem Sand- Lehm- und Tonstandort des Stoffflussmessnetzes

einer solch säkularen Austrocknung zu erklären. Das bedeuten, dass hier, anders als auf Sand, die Folgen eines überdurchschnittlichen Trockenjahrs über einen längeren Zeitraum die Wasserverfügbarkeit massiv einschränken. Am stärksten ist dieser Effekt auf dem Tonstandort ausgeprägt, an dem im Jahr 2004 eine ähnlich tief greifende Austrocknung stattfand wie 2003, nur dauerte sie 2004 nicht so lange. Die Dauer der Trockenstressperiode betrug 2003 hier etwa ein halbes Jahr.

In der folgenden Abbildung 46 wurden von den vier Standorten des Stoffflussmessnetzes in Schwarzwald und Odenwald die Saugspannungen dargestellt. Hier sind die Bodenarten relativ ähnlich. Es handelt sich in allen Fällen um mehr oder weniger steinige sandige Lehme. Die wesentlichen standortsindividuellen Charakteristika, die den Wasserhaushalt an diesen Standorten prägen sind regionalklimatische Unterschiede und unterschiedliche Durchwurzelungsintensitäten. Letztere werden teils von natürlichen Standortseigenschaften, aber auch von Deposition und Bodenversauerung bestimmt.

An den Standorten Altensteig und Heidelberg fällt auf, dass sie in nahezu jedem Sommer bis in den Trockenstress relevanten Bereich (rote Farbflächen) austrocknen. In Normaljahren ist diese Trockenphase jedoch deutlich kürzer als im Trockensommer 2003. In Altensteig erkennt man eine deutliche Nachwirkung des Trockenjahrs im Folgejahr 2004. Dies ist hier durch den tonigen Unterboden bedingt. In Altensteig ist die latente Neigung zur Austrocknung durch die Regenschattenlage an der Ostabdachung des Schwarzwaldes erklärbar, in Heidelberg durch die exponierte Geländesituation. Der am wenigsten von der Trockenheit 2003 betroffene Standort war Rotenfels. Hier wirken mehrere Faktoren zusammen. Zum einen unterbrachen hier zum Teil ergiebige Starkregen die Trockenphase. Diese Gewitterregen sind an von der Geländemorphologie bestimmte Zugstraßen gebunden und variieren kleinräumig stark. Außerdem ist dieser Standort sehr steinig und außerdem aufgrund der in der Abwindfahne des Ballungsraums Kehl / Straßburg überdurchschnittlich hohen Depositionsbelastung sehr wenig durchwurzelt. Der unter-

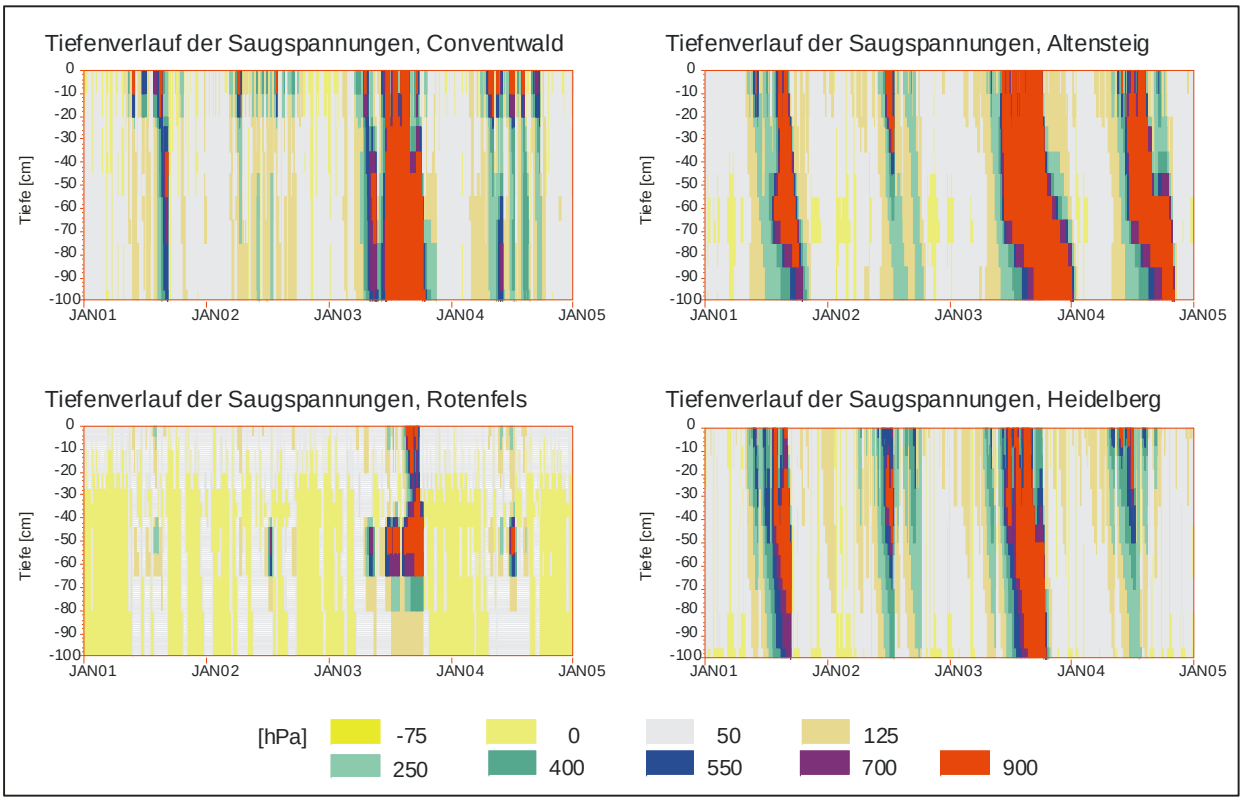


Abb. 46: Verlauf der Saugspannung (Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers) bis 1 m Tiefe für die Jahre 2001 – 2004 in Tageswerten an den Standorten des Stoffflussmessnetzes Conventwald, Altensteig, Rotenfels und Heidelberg

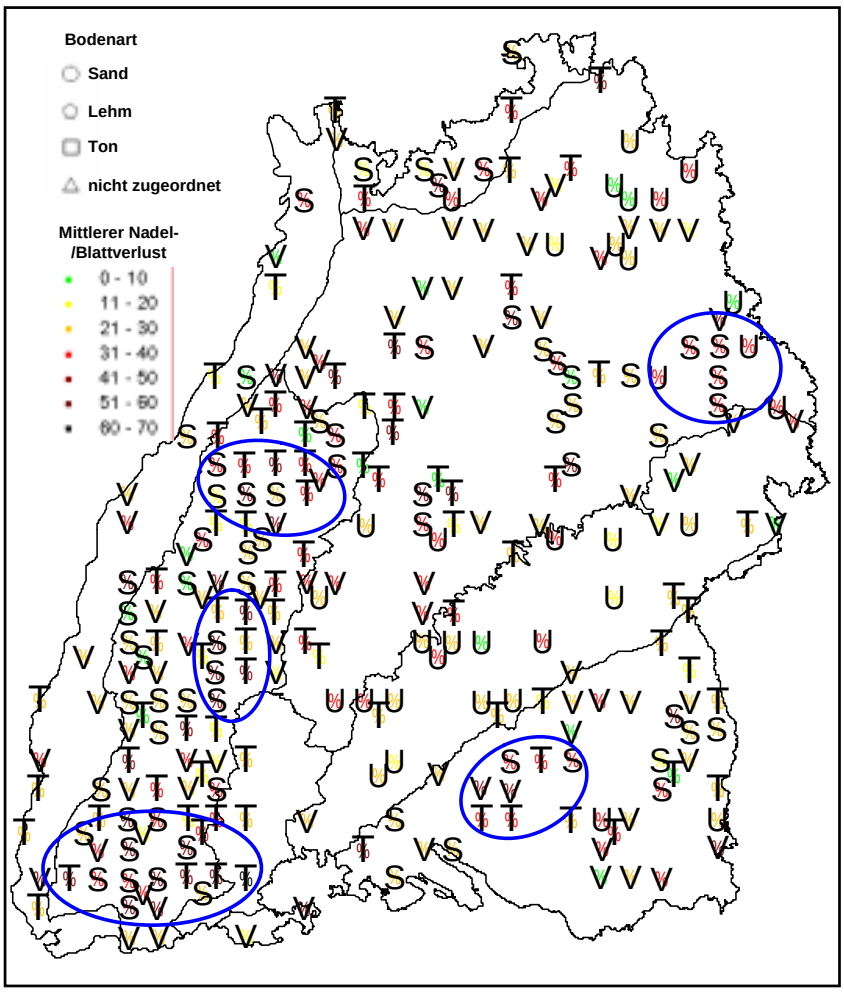


Abb. 47: Mittlerer Nadelblattverlust und Hauptbodenart der Bodenzustandserfassung auf den Punkten der Waldschadenserhebung 2005

durchschnittliche Wurzelwasserentzug äußert sich in einer vergleichsweise hohen Bodenfeuchte. Dies ist also hier eher als Warnzeichen einer Ökosystemstörung, denn als Stabilitätsaspekt zu bewerten.

An möglichst vielen Punkten der Waldschadensinventur (TWI) wurden aus den Bodenbeschreibungen der Bodenzustandserfassung Hauptbodenarten zugeordnet, um die Bedeutung des Bodenwasserspeichers für die Auswirkung des Trockenjahrs auf den Kronenzustand abschätzen zu können (Abb. 47). Diese Zuordnung konnte an 192 Standorten vorgenommen werden, an 82 Standorten (30% des Kollektivs) war dies aufgrund im Bodenprofil stark wechselnder Bodenarten nicht möglich.

Auf der Karte der Hauptbodenarten und des Kronenzustandes fällt auf, dass im Südschwarzwald und auch im Schwäbisch Fränkischen Wald die Schadensschwerpunkte mit der Verbreitung der Hauptbodenart Sand einhergehen. In den anderen Schadensschwerpunkten ist dies nicht so eindeutig erkennbar. Bei der Hauptbodenart Ton fällt eine hohe Variabilität auf. Am Material des Stoffflussmessnetzes konnte gezeigt werden, dass die Wasserverfügbarkeit auf Tonen am längsten eingeschränkt war und dies dort auch am längsten in die Folgejahre nachwirkt. Dies wird dadurch bestätigt, dass eine nennenswerter Anteil der Tonflächen Nadel-/Blattverlustwerte >30% aufweist. Oft direkt benachbart befinden sich jedoch nahezu un- oder schwach geschädigte Probepunkte auf Ton. Dies hat sicherlich den Grund, dass Tone oftmals wenig versauert und von ihrer geogenen Nährelementversorgung gut ausgestattet sind. Z. B. liegt ein hoher Anteil der Tonstandorte auf der Schwäbische Alb mit gegenüber depositionsbedingter Versauerung unempfindlichem Gesteinsuntergrund. Summarisch ist in Abbildung 48 die Verteilung der Kronenzustands- Schad-

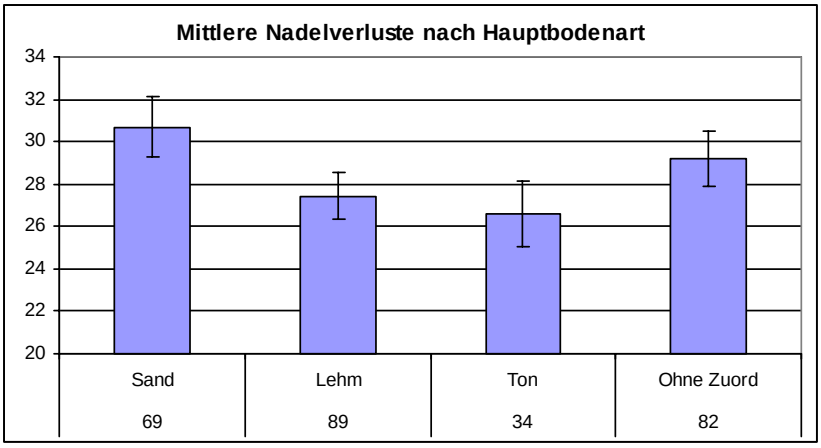


Abb. 48: Mittlere Nadelverluste (+- einfache Standardabweichung) nach Hauptbodenarten

stufen auf die Hauptbodenarten gezeigt.

Die nach Hauptbodenarten unterteilte Darstellung der Schadintensität zeigt, dass auf Sanden signifikant erhöhte Nadel- / Blattverluste gegenüber den anderen Hauptbodenarten vorlagen. Alle anderen Bodenartengruppen unterscheiden sich nicht signifikant. Bemerkenswert ist jedoch, dass über Lehm zur Hauptbodenart Ton die Schadensintensität im Mittelwert tendenziell absinkt. Allerdings ist die Varianz um den Mittelwert auf Ton am höchsten. Dies bestätigt die Interpretation zu Abbildung 47.

Auch die Fichten Dauerbeobachtungsflächen konnten nach Hauptbodenarten stratifiziert werden. Hier ist die Schadensintensität am Beginn der Beobachtungsperiode auf Sanden tendenziell niedriger, steigt aber bis 2005 auf das gleiche Niveau wie auf Lehmen an (Abb. 49). Auffällig ist der auf Lehmen höhere Anteil der Schadstufen 3 und 4. insbesondere abgestorbene Bäume treten in und nach Stressphasen wie dem Trockenjahr 2003 verstärkt auf. Dies kann ein Hinweis auf eine höhere Stressanfälligkeit von Bäumen auf durchschnittlich gut versorgten Standorten sein.

Analog zur Entwicklung des Kronenzustands im TWI - Rasternetz zeigen die Fichten- und Tannen – Dauerbeobachtungsflächen einen deutlich unterschiedlichen Trend des durchschnittlichen Nadel-/ Blattverlusts und der Schadklassenverteilung. Auf den Fichtenflächen beginnt der durchschnittliche NBV 1983 bei 20% und steigt in den Jahren 2004/2005 auf Werte um 40% an, während bei Tanne seit 1986 eine kontinuierliche Erholung von knapp 50% NBV auf ca. 30% stattgefunden hat (Abb. 50). Auch in der Verteilung der Schadstufen wird diese Entwicklung deutlich. Bei der Fichte treten nach witterungsbedingten Stressphasen Mitte der 90er Jahre und nach 2003 verstärkt abgestorbene Bäume auf. Die Tanne scheint gegenüber solch kurzzeitigen Stressphasen u. U. durch ihr tief reichendes Wurzelwerk stabiler zu sein.

Die auf den Dauerbeobachtungsflächen des Level II – Messnetzes gemessenen Zuwachsverläufe korrespondieren lose mit den Zeitreihen des Kronenzustandes. Der Durchschnittliche Durchmesserzuwachs pendelt bei den Fichten auf den Level II – Flächen um 2.5 mm und bei den Tannen um 5 mm. Bei Tanne ist ein leicht ansteigender Trend des Durchmesserzuwachses erkennbar, während bei den Fichten der Zuwachs leicht abnimmt. Informativer ist jedoch die Reaktion auf das Trockenjahr 2003. Hier zeigen die Fichten einen deutlichen Zuwachseinbruch auf ca. 50% des Vorjahres, während die Tannen nur einen unwesentlichen Zuwachsrückgang erkennen lassen und im Folgejahr den höchsten Zuwachs der gesamten Zeitreihe erreichen (Abb. 51).

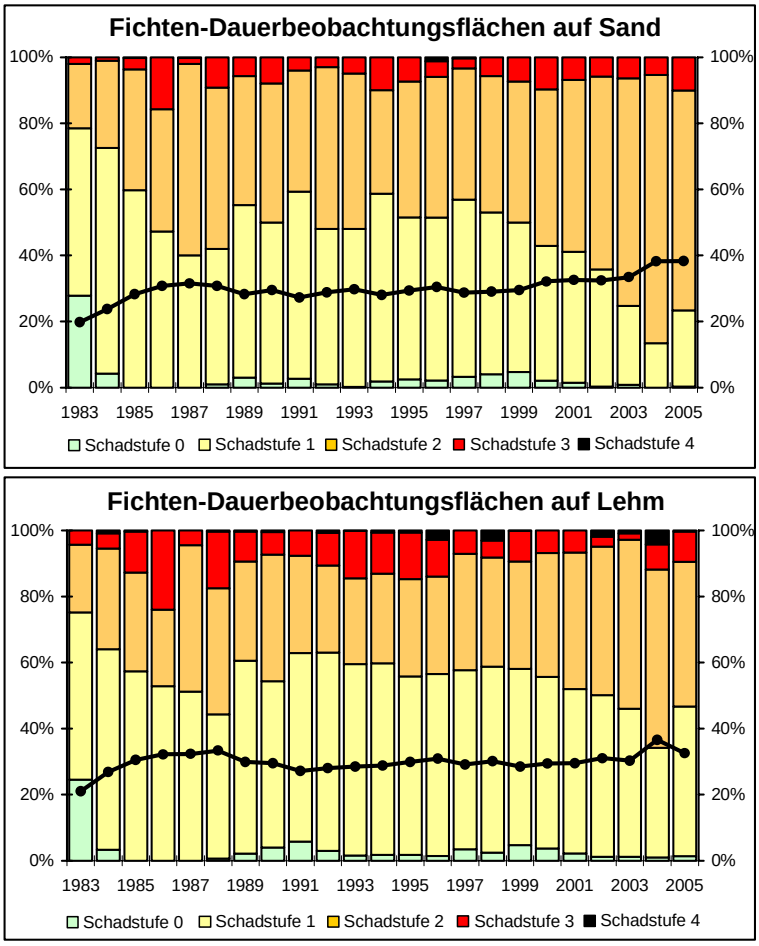


Abb. 49: Zeitreihe der Schadklassen auf Dauerbeobachtungsflächen auf Sand- (oben) und Lehmstandorten (unten)

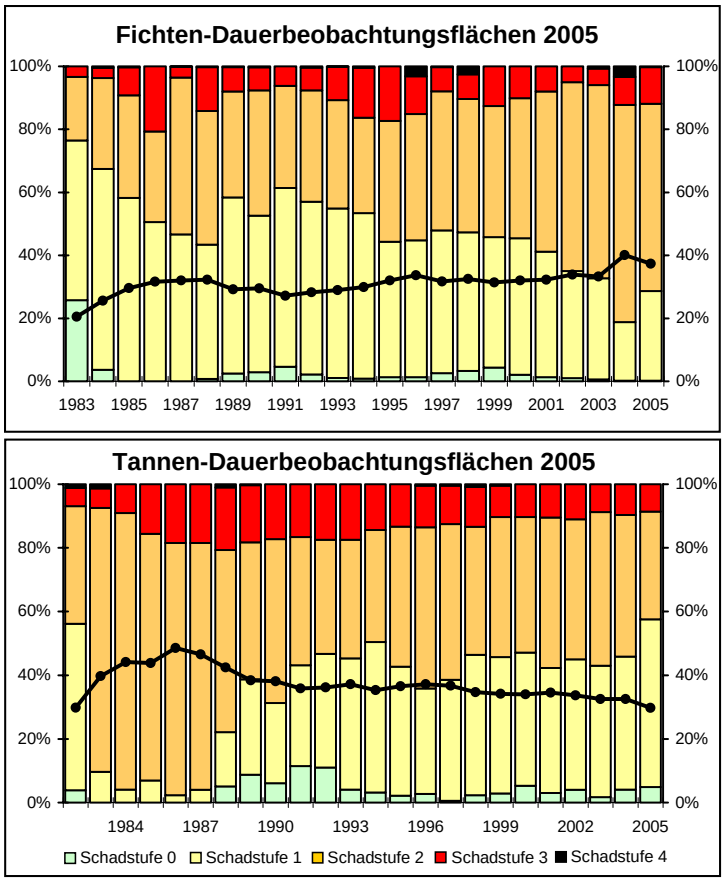


Abb. 50: Zeitreihe der Schadklassen auf Fichten- (oben) und Tannen - Dauerbeobachtungsflächen (unten)

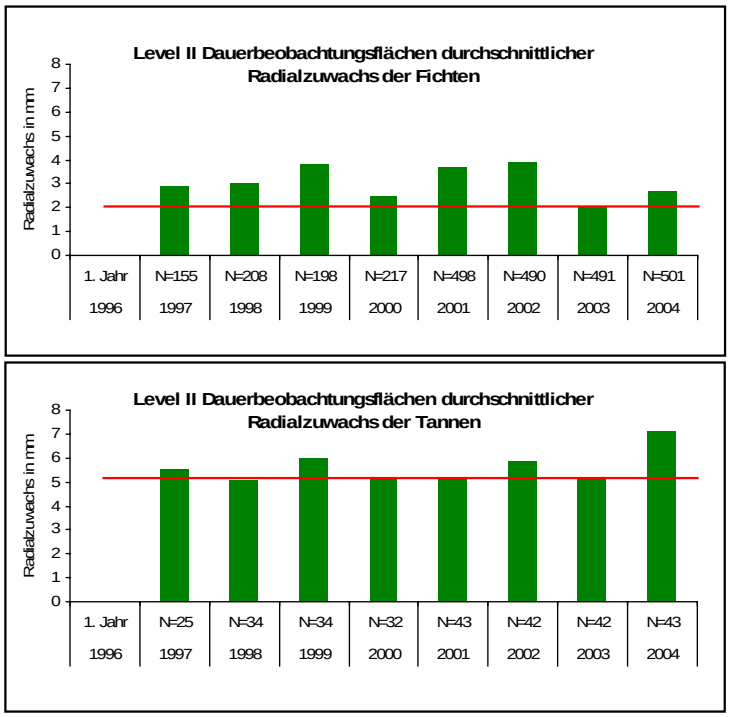


Abb. 51: Zeitreihe der Durchmesserzuwächse bei Fichten und Tannen auf Level II Dauerbeobachtungsflächen

Reaktion der Buche auf das Trockenjahr

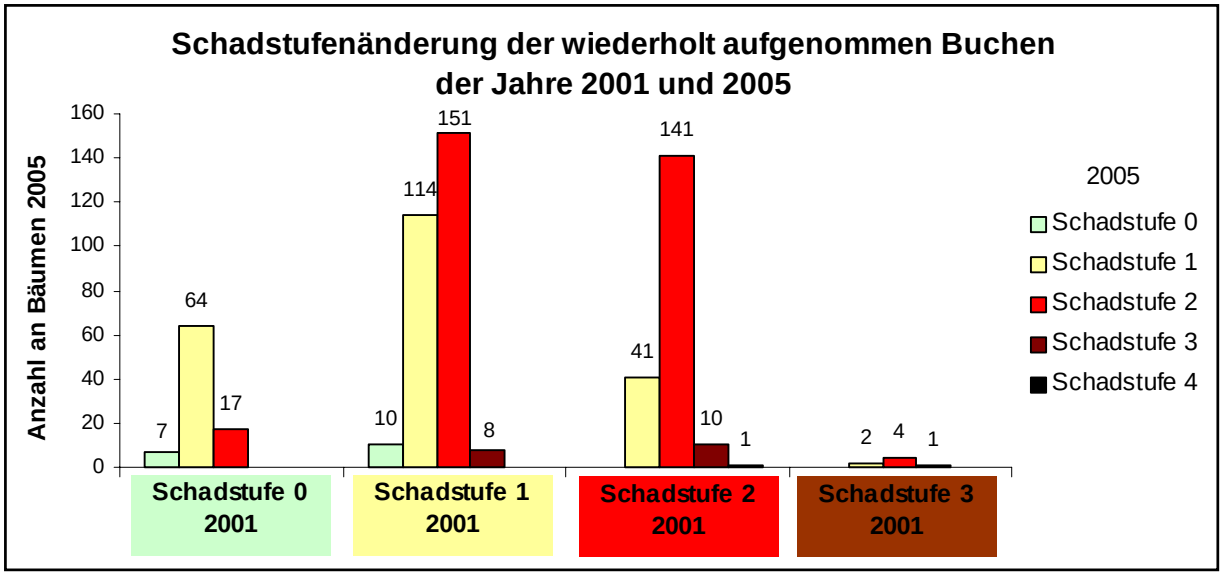
Die Ergebnisse der Waldschadensinventur zeigen die hohe Schadensintensität an Laubbäumen als Folge der extremen Trockenheit 2003. Neben Schädigen an der Eiche, die zumindest zum Teil auf den massiven Befall von blattfressenden Raupen zurückzuführen ist, sind v. a. Schädigungen an der Baumart Buche auffällig. Nahezu landesweit zeigen die Buchen einen schlechten Vitalitätszustand. Die Kronen weisen eine geringe Belaubungsdichte, abgetrocknete Triebspitzen und deutliche Schäden in der Verzweigungsstruktur auf.

Durch die beiden verdichteten Waldschadensaufnahmen der Jahre 2001 und 2005 ist es möglich den Kronenzustand der Buchen jeweils zwei Jahr vor und nach dem Extremsommer 2003 darzustellen. Insgesamt konnten bei der Waldschadensaufnahme 2005 noch 571 Buchen untersucht werden, die bereits im Jahr 2001 Bestandteil der Aufnahme waren. Während 2001 die Mehrzahl der Buchen schwach geschädigt war (Schadstufe 1), sind im Jahr 2005 die meisten Buchen mittelstark geschädigt (Schadstufe 2).

Im gesamten Stichprobenumfang der Waldschadensinventur konnte jedoch bisher keine erhöhte Absterberate geschädigter Buchen festgestellt werden

Abbildung 52 zeigt die Entwicklung der bei den Inventuren 2001 und 2005 aufgenommenen Buchen. Auf der Y-Achse sind die Buchenanteile der unterschiedlichen Schadstufen des Jahres 2001 dargestellt. Die unterschiedlich gefärbten Säulen stellen die Anzahl der Buchen der Schadstufen 0 bis 4 im Jahr 2005 dar. Die untenstehende Übersicht erläutert die Grafik tabellarisch.

Während die Anzahl der untersuchten Buchen in den Schadstufen 0 und 1 deutlich abgenommen hat, sind die Buchenanteile 2005 in den Schadstufen 2 und 3 steil angestiegen. Die Buchen, die im Jahr 2001 noch mit Schadstufe 0 bzw. 1 bewertet wurden, sind zum überwiegenden Teil im Jahr 2005 eine Schadstufe höher eingestuft worden. Eine geringere Anzahl der Buchen dieser Schadstufen werden 2005 noch gleich oder besser bewertet. Dagegen hat sich der Kronenzustand der Buchen, die 2001 mit Schadstufe 2 bewertet wurden, nicht wesentlich verändert. Insgesamt 141 der 193 Buchen verbleiben auch 2005 in dieser



2001		Anzahl an Bäumen der Kombinationsschadstufen				Summe
		Schadstufe 0	Schadstufe 1	Schadstufe 2	Schadstufe 3	
		88	283	193	7	**571**
2005	Schadstufe 0	7	10	0	0	**17**
	Schadstufe 1	64	114	41	2	**221**
	Schadstufe 2	17	151	141	4	**313**
	Schadstufe 3	0	8	10	1	**19**
	Schadstufe 4	0	0	1	0	**1**

Abb. 52: Entwicklung der wiederholt aufgenommenen Buchen (Aufnahme 2001 zu 2005)

Schadstufe. Die Schadstufe 3 ist im untersuchten Kollektiv im Jahr 2001 nur mit sieben Buchen besetzt. Sechs dieser Buchen werden bei der Waldschadensaufnahme 2005 in eine bessere Schadstufe eingestuft. Lediglich eine Buche der Schadstufe 3 wird 2005 gleich bewertet.

Die Auswirkungen der Trockenheit 2003 wirken sich stark im Kronenzustand von bisher als vital bewerteten Buchen aus. Der Anteil der ungeschädigten bzw. schwach geschädigten Buchen ist seit 2001 drastisch gesunken. Buchen der Schadstufen 0 und 1, die möglicherweise auf Grund von guten Standortsbedingungen und wenig sonstigen Stressfaktoren eine vitale Krone ausbilden konnten, reagieren offensichtlich stärker auf ein plötzlich auftretendes Wasserdefizit, als andere Buchen. Der nahezu gleich bleibende Kronenzustand der Buchen, die 2001 mit Schadstufe 2 bewertet wurden, deutet dagegen darauf hin, dass sich die Folgeschäden der Trockenheit an Buchen, die bereits längere Zeit an Stressfaktoren angepasst sind sich nicht so stark auswirkt. Das gleiche gilt für die Buchen, die 2001 in Schadstufe 3 eingestuft worden sind. Allerdings sind innerhalb der Schadstufe 2 gegenüber der Voraufnahme höhere Blattverluste überproportional vertreten.

Auf eine erhöhte Trockenstress-Sensitivität der Buche wird auch von anderen Autoren hingewiesen. So betont Rennenberg et al. beispielsweise, dass die Buche als einer der wichtigsten Waldbaumarten Süddeutschlands v. a. von der veränderten Niederschlagsverteilung mit zunehmender Sommertrockenheit betroffen sein wird. Neben direkten Effekten von Trockenheit auf den Wasserhaushalt wirken sich indirekte Effekte reduzierter Wasserverfügbarkeit, wie eine reduzierte Stickstoffaufnahme aufgrund verminderter Bodenwasserverfügbarkeit, negativ auf die Konkurrenzkraft der Buche aus (Rennenberg et al. 2004).

Wenn sich durch weitergehende Prozessstudien der Eindruck eines erhöhten Trocknisrisikos der Buche als natürliche Klimaxbaumart Süddeutschlands erhärtet, muss in der zukünftigen Baumartenplanung insofern reagiert werden, als dass die Buche nicht generell als stabilisierende Komponente beigemischt werden kann, sondern in Bereichen, in denen u. U. durch die Geländesituation und Exposition von einem erhöhtem Trocknisrisikos ausgegangen werden muss, eher zurückhaltend beurteilt werden sollte.

Ausblick

Zusammenfassend lässt sich für alle Baumarten sagen, dass durch die Verknüpfung von Kronenzustand bzw. Wachstumsdaten und Bodendaten aus den Forstlichen Umweltmessnetzen die Bedeutung des Bodenwasserhaushalts für die Ausprägung der stark trocknisbedingten Kronenzustands- und Wachstumsentwicklung nach 2003 klar erkennbar wurde. Um diesen Faktor als Instrument für die konkrete Baumartenplanung im kleinmaßstäblichen Landschaftsbezug aufzuarbeiten, müssen in zukünftigen Auswertungsprojekten aus den Messnetzdaten valide Landschaftsmodelle abgeleitet werden.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Waldzustand in Baden-Württemberg hat sich auch im Jahr zwei nach dem Trockenjahr 2003 noch nicht verbessert. Bei der Waldschadensaufnahme 2005 waren über 43 Prozent der Waldfläche Baden-Württembergs deutlich geschädigt (Schadstufe 2 bis 4). Damit wurde seit Beginn der Waldschadensaufnahme im Jahr 1983 der bisher höchste Schädigungsgrad der Wälder Baden-Württembergs erreicht. Der durchschnittliche Nadel-/Blattverlust aller Bäume stieg auf 26,3%.

Nahezu alle Baumarten weisen 2005 eine Zunahme des Schadniveaus im Vergleich zur letzten Vollerhebung 2001 auf. Die Eiche ist 2005 die am stärksten geschädigte Baumart. Die Vitalität der Eichen wurde neben den direkten Auswirkungen der Trockenheit 2003 zusätzlich durch einen landesweit starken Befall von blattfressenden Raupen belastet. Knapp 75% der Eichenfläche in Baden-Württemberg ist deutlich geschädigt. Deutlich erhöht hat sich auch das Schadniveau der Buche. Bei der Waldschadensaufnahme wurden an Buchen z. T. stark ausgeprägte Trockenstresssymptome wie abgetrocknete Triebspitzen beobachtet. Knapp 60% der Buchenflächen Baden-Württembergs sind im Jahr 2005 deutlich geschädigt. Auch der Kronenzustand der Fichten hat sich weiter verschlechtert. Mit 36% deutlich geschädigter Waldfläche ist das Schadniveau der Fichte gegenüber den anderen Hauptbaumarten zwar am niedrigsten, jedoch ist der Schadflächenanteil im Vergleich zu 2001 um 9% gestiegen. Zudem verschärft der erhebliche Befallsdruck von rindenbrütenden Borkenkäfern weiter die Gesamtsituation der Fichte in Baden-Württemberg. Während alle anderen Hauptbaumarten Baden-Württembergs nach dem Trockenjahr 2003 einen z. T. erheblich schlechteren Vitalitätszustand aufweisen, blieb bei der Tanne das Schadniveau in etwa konstant. Gegenüber dem Jahr 2001 stieg die deutlich geschädigte Tannenfläche lediglich um 0,3%. Neben der Fähigkeit der Tanne durch ihre vergleichbar tiefe Durchwurzelung noch an Wasservorräte im tieferen Unterboden zu gelangen, spielt sicherlich auch die in der Vergangenheit strikt angewandte waldbauliche Beschränkung der Tanne auf klimatisch für sie angepasste Standorte eine entscheidende Rolle.

Regional betrachtet hat sich der Schädigungsgrad der Wälder Baden-Württembergs in den unterschiedlichen Wuchsgebieten im Jahr 2005 im Vergleich zur letzten Vollaufnahme 2001 auf deutlich höherem Niveau angeglichen. Während sich der Kronenzustand des im zuvor am stärksten geschädigten Wuchsgebiets Schwarzwald lediglich leicht verschlechtert hat, ist in allen anderen Wuchsgebieten eine deutliche Steigerungen der Schadintensität zu erkennen. Die Bäume des Neckarlandes weisen im Vergleich der Regionen das höchste Schadniveau auf. Dies ist sicherlich in erster Linie auf den hohen Anteil schlecht wasserspeichernden Standorten, wie z.B. Tonböden, in diesem Wuchsgebiet zurückzuführen.

Ursachen und Gegenmaßnahmen

Der hohe Schädigungsgrad der Wälder Baden-Württembergs ist vorwiegend auf die Auswirkungen der Trockenheit 2003 zurückzuführen. Während im Trockenjahr direkt die Schadintensität nur gering anstieg, hat sich der Vitalitätszustand der Bäume in den beiden Folgejahren dramatisch verschlechtert. Die bis in den Sommer 2004 hineinreichende Hitze- und Trockenstressperiode stellt weiterhin eine erhebliche Belastung für die Bäume dar. Schädigungen der Kronenstruktur und des Feinwurzelsystems wirken als Folge der Trockenheit direkt auf den Vitalitätszustand. Aufgrund der erhöhten Stressbelastung sind die Bäume zudem wesentlich anfälliger gegenüber biotischen Schaderregern. Jede weitere Destabilisierung des Waldökosystems wie z.B. eine schleichende Bodenversauerung durch lang anhaltende Stoffeinträge erhöht zusätzlich die Anfälligkeit gegenüber auftretenden Störfaktoren. Daher muss die Widerstandsfähigkeit der Wälder durch steuernde Maßnahmen weiter gestärkt werden. Hierzu zählen insbesondere die Reduktion von anthropogen bedingten Stoffeinträgen, die Kompensationskalkung unnatür-

lich saurer Waldstandorte sowie die Förderung naturnaher Mischwälder.

Nach der erfolgreichen Senkung der Schwefelemissionen in den letzten Jahrzehnten ist es weiterhin notwendig eine Absenkung der anthropogenen Stickstoffeinträge voranzutreiben. Ziel ist es die Stickstoffeinträge in die Wälder, die im Wesentlichen aus Kraftverkehr, Landwirtschaft, Kläranlagen und chemischer Industrie stammen, auf ein ökosystemverträgliches Maß zu reduzieren. Zur Kompensation anthropogener Säureeinträge im Boden können Bodenschutzkalkungen als umwelttechnische Vorsorgemaßnahme eingesetzt werden. Der durch Magnesium angereicherte Kalk neutralisiert die aktuellen Säureeinträge und führt dem Boden gleichzeitig zuvor ausgewaschenes Magnesium wieder zu. Zur Abwendung bzw. Abschwächung einer globalen Klimaerwärmung ist es zudem zwingend erforderlich den weltweiten Ausstoß von klimarelevanten Spurengasen (v. a. Kohlendioxid) substantiell zu senken. Nach Berechungen neuester Klimastudien für Baden-Württemberg, die im Rahmen des KLIWA (Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft) gewonnen wurden, wird es zu einer deutlichen Verschiebung der Witterungsverhältnisse in den nächsten Jahrzehnten kommen. Neben erhöhten Niederschlägen und höheren Temperaturen im Winter wird die Anzahl der Sommertage (Tage mit Tmax >25°C) und die Anzahl der heißen Tage (Tage mit Tmax >30°C) in Baden-Württemberg in den nächsten Jahrzehnten deutlich zunehmen. Für die Wälder bedeutet dies erhöhten Hitzstress und daraus resultierend zumindest regional auftretende Wasserdefizite. Das Klimaschutzkonzept 2010 für Baden-Württemberg stellt die Wälder und die Waldböden als die bedeutendsten terrestrischen Kohlenstoffspeicher heraus. Die Fixierung des Treibhausgases CO_2 findet sowohl in der Biomassenproduktion der Wälder als auch in den Umsetzungsprozessen der Waldböden statt. Durch Nutzung und Weiterverarbeitung des Rohstoffes Holz wird die Speicherung von klimarelevanten Spurengasen nochmals deutlich verlängert. Zudem werden durch die Nutzung von Holz als Material und Energieträger anthropogene CO_2-Emissionen substituiert. „Wird zum Beispiel Holz anstelle von energieaufwändigen Materialien wie Stahl oder Beton gebaut, entsteht ein mehrfacher Nutzen: Der Kohlenstoff bleibt gespeichert, Emissionen werden vermieden und im Wald entsteht Raum für junge Bäume mit entsprechendem Zuwachs“ (Klimaschutzkonzept 2010 für Baden-Württemberg). Die aktuell hohe Schadenssituation der Wälder Baden-Württembergs zeigt wie stark die Wälder auf akute Witterungseinflüsse reagieren und in wie lange sich daraus resultierende Folgeerscheinungen auf den Waldzustand auswirken können. Unter den sich abzeichnenden klimatischen Veränderungen ist es notwendig auch das Forstliche Umweltmonitoring dahingehend stärker auszurichten. In Zukunft wird die Belastung der Wälder in den verschiedenen Regionen Baden-Württembergs durch veränderte Klimabedingungen stärker in den Fokus forstlicher Forschung treten.

Naturnahe Wälder sind widerstandsfähiger gegenüber schädigenden Umwelteinflüssen. Das Konzept einer naturnahen Waldwirtschaft setzt u. a. auf eine standortgerechte Baumartenwahl, eine fachgerechte Bestandespflege zur Förderung von Mischbaumarten und der Stabilität der Bestände sowie auf die Grundsätze eines integrierten Waldschutzes. Dieses gilt es auch in Zukunft konsequent weiterzuführen, um die Widerstandsfähigkeit der Wälder weiter zu stärken. Zudem sollten unter Berücksichtigung der ablaufenden Klimaprozesse als Grundlage für eine zukunftsorientierte waldbauliche Planung verstärkt Informationen über regionalisierte klimatische Wasserbilanzen herangezogen werden.

Umweltvorsorge im Wald

Das Forstliche Umweltmonitoring liefert geeignete Informationen über den Zustand und Entwicklung der Wälder und Waldböden. Darüber hinaus kann die aktuell den Waldzustand dominierende Mischung von Schadursachen identifiziert werden. Die Untersuchungsebenen der Forstlichen Umweltüberwachung, d.h. das Level I – und Level II – Programm - ergänzen sich gegenseitig und sind als funktionelle Einheit zu betrachten. Während die Rasternetze von Level I die unabdingbare Grundlage für die Gewinnung flächendeckender, repräsentativer Basisdaten und die Generierung flächenhafter Informationen (Karten)

sind, liefern die Fallstudien von Level II die für die Bewertung von aktuellen Befunden und Trends sowie für Prognosen notwendige Prozesskenntnis. Aufgrund der in kurzer Zeitabfolge wechselnden Stressfaktoren ist eine jährliche Aufnahme der unterschiedlichen Messnetze von Level I und Level II für eine zielführende Interpretation der Ergebnisse unbedingt notwendig.

Neben der Vielseitigkeit sind die vergleichsweise geringen Kosten des sehr gut abgestimmten Forstlichen Monitoringkonzeptes hervorzuheben. Auf Landesebene werden hinreichend differenzierte Ergebnisse des Umweltmonitorings, wie z.B. der Gesundheitszustand der Hauptbaumarten auf Wuchsgebietsebene benötigt, um praxisverwertbare und planungsrelevante Aussagen zu ermöglichen. Auf Level I Ebene ist hierzu ein für Baden-Württemberg hinreichender Stichprobenumfang für die Generierung von regionalen Informationen und Geländemodellen zu wählen. Das 8x8 km Netz stellt hierbei die Baseline für eine hinreichende Aufnahmedichte dar. Auf der Level II Ebene muss für die Erkennung von Prozessabläufen mit hinreichender Zeitauflösung gemessen werden.

Neben der Verschlechterung des durchschnittlichen Kronenzustandes seit 2003 und der daraus erkennbar hohen Klimasensitivität unserer Wälder ist die Tatsache besorgniserregend, dass hiervon die Hauptbaumarten unserer natürlichen Waldgesellschaften, Buche und Eiche, überproportional stark betroffen sind. Im Sinn einer Risikominimierung und zur Sicherung der Waldfunktionen in ihrer Breite muss dies Anlass sein, bei der langfristigen Baumartenwahl besonders sorgfältig vorzugehen. Dazu gehört, dass die natürlichen Klimaxbaumarten nicht automatisch und großflächig als am besten angepasste und damit risikoärmste Alternative angesehen werden können. In der Nähe der standörtlichen Grenzen dieser Baumarten sollte auf stresstolerantere Baumarten mit Pioniercharakter (Kiefer, Douglasie, Edellaubholz) ausgewichen werden. Das bedeutet, dass die Baumartenplanung sich verstärkt an kleinräumigen Unterschieden im Bodensubstrat und der Geländemorphologie orientieren muss. Wesentliche Entscheidungshilfen dafür werden in Bälde in Form kleinräumiger Geländemodelle zum Wasserhaushalt der Praxis zur Verfügung gestellt werden, deren Eingangsgrößen aus den Messdaten des Forstlichen Umweltmonitorings abgeleitet sind. Außerdem sind alle Optionen zur Stabilisierung der Wälder und ihrer Funktionen anzuwenden und zu kombinieren. Hierzu gehört die Bodenschutzkalkung auf versauerten Böden (mit dem langfristigen Ziel einer Vertiefung des Wurzelraums), Erziehung und Pflege gut strukturierter Mischbestände (mit dem Ziel einer Minderung und Streuung von Risiken) sowie eine aktive, forstschutzorientierte Waldpflege (mit dem Ziel der Minderung des Schädlingsdrucks). Dies zeigt, dass unter den sich aktuell stark verändernden Umweltbedingungen man sich weniger denn je auf die „Selbstheilungskräfte der Natur“ verlassen kann und durch aktive Waldpflege und Ökosystemsteuerung die Stabilität der Wälder und ihrer Funktionen erhalten muss. Ökologisch verträgliche Holznutzung und Umweltvorsorge im Wald sind somit keine Gegensätze, sondern sich gegenseitig ergänzende Aspekte einer integralen Strategie zur Optimierung und Stabilisierung der Multifunktionalität von Wäldern.

8 GLOSSAR

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

Anthropogen:
Durch den Menschen beeinflusst.

Biotische Schäden:
Schäden, die durch den Einfluss lebender Organismen bedingt sind.

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

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

„Critical Load“:
Schwellenwert für Schadstoffeinträge, bei dem noch keine nachweisbaren schädlichen Veränderungen der Ökosysteme zu erwarten sind.

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

Denitrifikation:
Bei Sauerstoffmangel im Boden durch anaerobe Bakterien verursachte Stickstoffverluste.

Emission:
Ausstoß z.B. von Schadstoffen in die Luft

Eutrophierung:
Nährstoffüberangebot, das negative Auswirkungen auf das Ökosystem haben kann.

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

Kombinationsschadstufen:
Zusammenfassung der Nadel-/Blattverluststufe mit der Vergilbungsstufe.

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

Makroelemente:
Chemische Elemente, die am Aufbau der Körpersubstanz von Menschen, Tieren, Pflanzen beteiligt sind und dabei den größten Massenanteil ausmachen:
Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel, Kalium, Magnesium, Calcium.
Pflanzen nehmen diese Elemente aus dem Boden auf, sie können also durch Düngung ergänzt werden.

Mittlerer Nadel-/Blattverlust:
Arithmetischer Mittelwert der in 5%-Stufen eingeschätzten Kronenverlichtung aller Einzelbäume.

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

Ökosystem:
Wirkungsgefüge zwischen Lebewesen und ihrem Lebensraum.

Referenzbaum:
Für das Erhebungsgebiet typische, voll benadelte/-belaubte Baumkrone.

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

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

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