



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
UMWELT, FORSTEN UND
VERBRAUCHERSCHUTZ



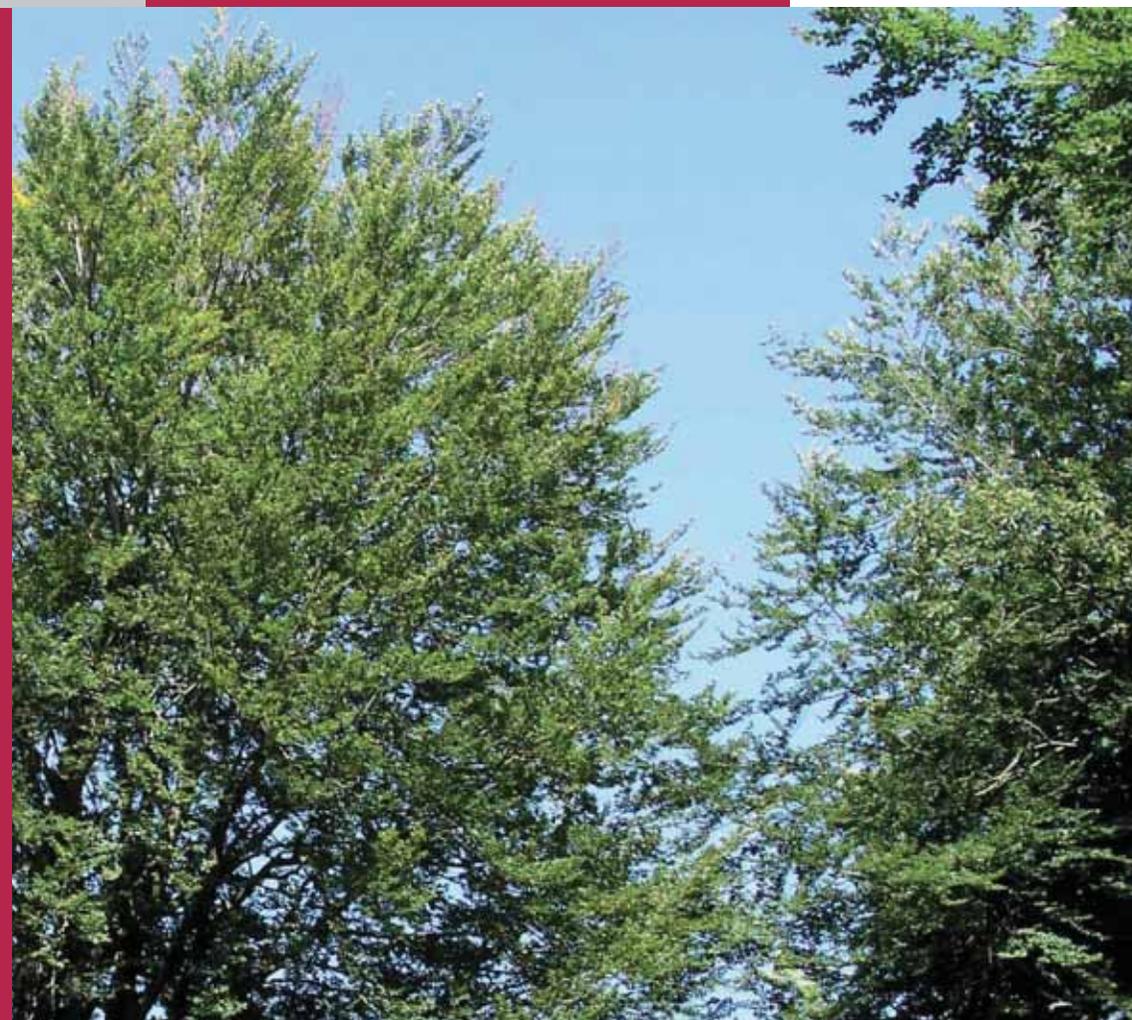
Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
UMWELT, FORSTEN UND
VERBRAUCHERSCHUTZ

WALDZUSTANDS- BERICHT 2008

Kaiser-Friedrich-Strasse 1
55116 Mainz

www.mufv.rlp.de
www.wald-rlp.de



WALDZUSTANDS- BERICHT 2008

Impressum

Herausgeber

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz
Telefon: 06131 / 16-0, Fax: 06131 / 165926
Internet: www.mufv.rlp.de
www.wald-rlp.de

Konzeption, Recherche und Redaktion

Zentralstelle der Forstverwaltung
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt
Telefon: 06306 / 911-0, Fax: 06306 / 911-200
E-Mail: zdf.fawf@wald-rlp.de
Internet: www.fawf.wald-rlp.de

Gestaltung, Grafik und Satz

Gellert und Partner Marketing-Service GmbH
Bad Kreuznach

	Seite
Vorwort	4
Waldzustand 2008 im Überblick	6
Waldzustandserhebung (WZE)	10
Einflüsse auf den Waldzustand	24
■ Entwicklung der Luftschadstoffbelastung	25
■ Witterungsverhältnisse	33
■ Schwere Hagelschäden im Pfälzerwald	35
■ Deutliche Zunahme von Sturmschäden im Wald	36
■ Allgemeine Waldschutzsituation	37
Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)	40
Anhänge	46
■ Entwicklung der Waldschäden	46
■ Probebaumkollektiv 2008	52
■ Abkommen und gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung	53

VORWORT



Der jährliche Waldzustandsbericht ist das Ergebnis mehrerer Untersuchungskomponenten im Rahmen des forstlichen Umweltmonitorings. Am bekanntesten dürfte davon die so genannte terrestrische Waldzustandserhebung sein. Bei ihr wird jährlich der Kronenzustand der in Rheinland-Pfalz häufigsten Baumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer erfasst.

Doch ebenso wichtig wie der Blick in die Kronen der Bäume ist auch der Blick in den Waldboden. Viele bodenchemische Prozesse sind entscheidend für den Gesundheitszustand des Waldes. Bodenversauerung durch säurebildende Luftschadstoffe sowie eine regelrechte einseitige „Überdüngung“ der Böden durch überhöhte Stickstoffeinträge haben nicht nur negative Auswirkungen auf die Bäume, auch das Grundwasser wird zum Beispiel beeinträchtigt.

Neben der jährlichen Waldzustandserhebung wird deshalb in einem Abstand von etwa 15-20 Jahren eine umfangreiche Bodenzustandserhebung durchgeführt. Die Außenaufnahmen der zweiten Bodenzustandserhebung fanden in den Jahren 2006-2008 statt. Die nun folgenden Auswertungen werden nicht nur ein genaues Bild über den Trend der Bodenversauerung seit der ersten Bodenzustandserhebung geben. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Stickstoffeinträge wird darüber hinaus der Frage der Stickstoffmobilität und Stickstoffsättigung in den Waldböden nachgegangen.

Auch im Hinblick auf den Klimawandel wird die Bodenzustandserhebung wichtige Erkenntnisse bringen. Erstmals wird der im Boden und in der Humusaufgabe gebundene Kohlenstoff bilanziert, denn Waldböden sind bedeutende CO₂-Speicher. Ungefähr die Hälfte des im Wald gebundenen CO₂ findet sich im Waldboden wieder. Die Daten sind eine wichtige Grundlage für die Berichtspflichten bzgl. der Reduktion von Treibhausgasemissionen der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen des Kyoto-Protokolls. Intakte Waldböden und stabile Wälder sind deshalb auch aus klimapolitischer Sicht von besonderer Bedeutung.

Erste Auswertungen der aktuellen Bodenzustandserhebung zeigen, dass sich der Zustand der Waldböden verbessert hat. Dies ist unter anderem ein Erfolg der Bodenschutzkalkung, die in Rheinland-Pfalz seit 1983 auf fast 630.000 ha kalkungsbedürftiger Waldfläche durchgeführt wurde. Dadurch konnte der Bodenversauerung entgegen gewirkt und Nährstoffkreisläufe wieder in Gang gebracht werden. Auch die naturnahe Waldbewirtschaftung mit dem Verzicht auf Kahlschläge, dem Einsatz bodenschonender Arbeitsverfahren und der Erhöhung der Laubholzanteile hat ganz entscheidend dazu beigetragen die Funktionsfähigkeit der Waldböden zu erhalten.

Margit Conrad

Margit Conrad
Staatsministerin für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz



WALDZUSTAND 2008

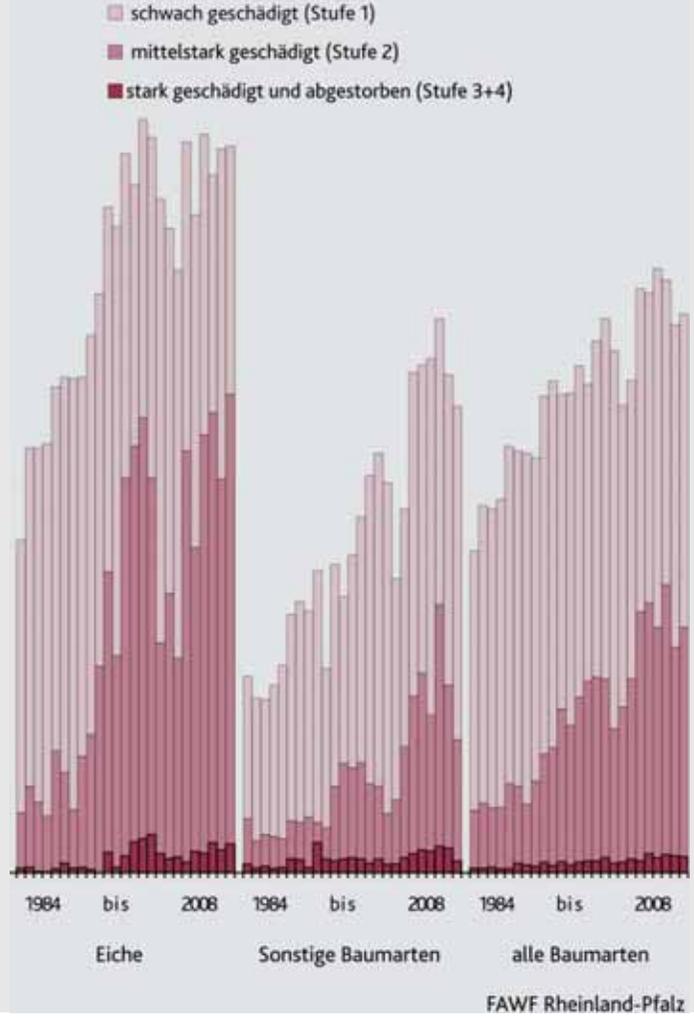
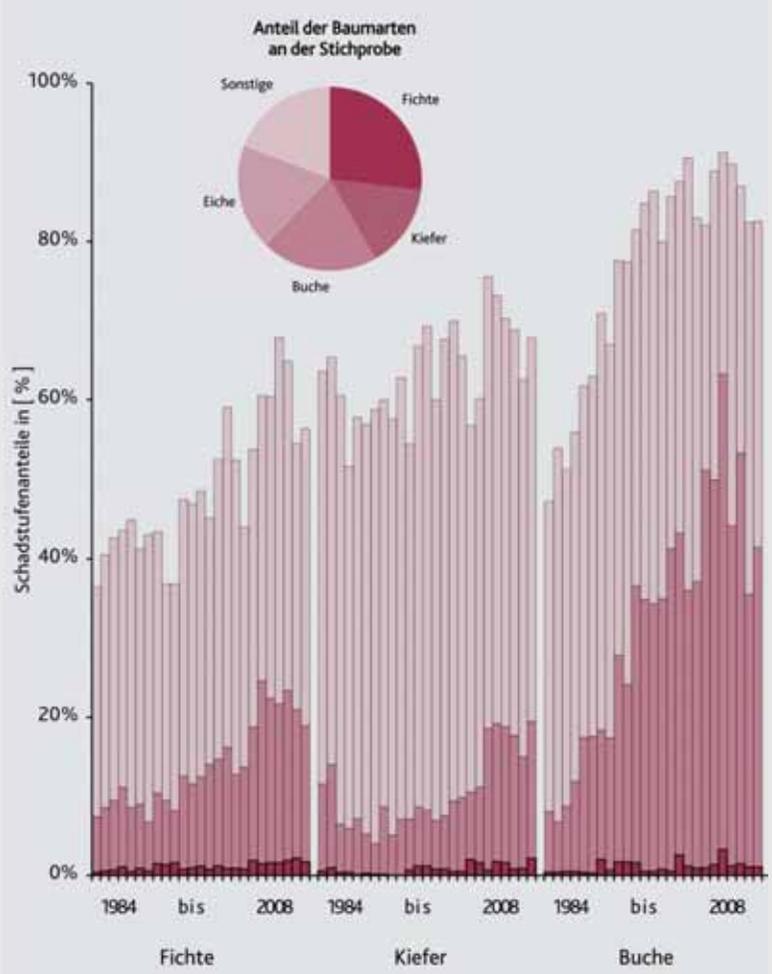
EIN ÜBERBLICK

Nach der deutlichen Verbesserung im Vorjahr hat sich der Kronenzustand der Waldbäume in Rheinland-Pfalz im Jahr 2008 wieder leicht verschlechtert. Der Anteil der Bäume mit deutlichen Kronenschäden ist um 3 Prozentpunkte auf 31 % angestiegen. Der Anteil von Bäumen ohne sichtbare Schadensmerkmale nahm um 2 Prozentpunkte auf 29 %, der Anteil schwach geschädigter Bäume um 1 Prozentpunkt auf 40 % ab. Während sich der Kronenzustand bei Eiche, Kiefer und Buche von 2007 auf 2008 verschlechtert hat, blieb der Kronenzustand bei Fichte weitgehend unverändert. Bei Lärche, Hainbuche, Ahorn, Esche und Birke hat sich der Kronenzustand merklich verbessert.

Die einzelnen Waldregionen des Landes weisen unterschiedliche Schadniveaus und Schadensentwicklungen auf. Hier spiegeln sich Unterschiede in der Baumarten- und Alterszusammensetzung, aber auch Unterschiede in den Standortbedingungen wieder. So weisen die trocken-warmen Regionen des Landes, wie die Tallagen an Rhein, Mosel und Nahe in der Zeitreihe eine ungünstigere Schadensentwicklung auf als die kühl-feuchten Regionen, wie beispielsweise der Westerwald.

Auch in 2008 entstanden erhebliche Schäden im Wald durch Extremereignisse, so durch den Orkan „Emma“ am 01. März und einen Hagelsturm im Raum Hinterweidenthal/Pfälzerwald am 02. Juni. Die aufgrund der Sturmschäden befürchtete Borkenkäfermassenvermehrung hielt sich durch die rasche Aufarbeitung des Sturmwurfes und den günstigen Witterungsverlauf in Grenzen.

Die ersten Befunde der zweiten Bodenzustandserhebung zeigen eine erhebliche Verbesserung des Waldbodenzustandes in Rheinland-Pfalz. So ist die Bodenversauerung zwischen der BZE I im Jahr 1989 und der BZE II im Jahr 2006 erheblich zurückgegangen. Die Oberböden weisen höhere pH-Werte und höhere Gehalte an den Nährstoffen Calcium und Magnesium auf. Der Schwefelgehalt im Bodenwasser ist gesunken. Diese positive Entwicklung unserer Waldböden ist im wesentlichen auf die Bodenschutzkalkung und die Reduktion des Eintrags an versauernd wirkenden Luftschadstoffen in den Waldboden zurückzuführen.





WALDZUSTANDS- ERHEBUNG (WZE)



Die jährliche Waldzustandserhebung verwendet den Kronenzustand als Indikator für die Vitalität der Waldbäume. Veränderungen des Kronenzustands sind eine Reaktion auf Belastungen durch natürliche und durch menschenverursachte Stresseinflüsse. Die Gewichtung der einzelnen Einflüsse im Schadkomplex variiert zwischen den einzelnen Baumarten und von Jahr zu Jahr. Im Jahr 2008 hat sich der Waldzustand nach der deutlichen Verbesserung im Vorjahr wieder leicht verschlechtert. In den verschiedenen Waldregionen des Landes zeigen sich sehr unterschiedliche Schadniveaus und unterschiedliche Entwicklungen des Waldzustandes.

Durchführung

Die Waldzustandserhebung erfolgt seit 1984 auf einem landesweiten Raster. Dabei wird die Vollstichprobe im 4x4 km Raster in mehrjährigen Abständen aufgenommen. In den Zwischenjahren erfolgt die Erhebung auf einer Unterstichprobe im 4x12 km Raster. Während die Unterstichprobe nur Aussagen zur Schadensentwicklung der Hauptbaumarten über das gesamte Land zulässt, kann bei der Vollstichprobe auch die Entwicklung getrennt nach Wuchsgebieten dargestellt werden. Im Jahr 2008 erfolgte die Aufnahme des Kronenzustandes nach zuletzt 2004 wieder an den Punkten der Vollstichprobe. Damit wurden in Rheinland-Pfalz an 464 Aufnahmepunkten insgesamt 11.136 Stichprobenbäume begutachtet. Seit der letzten Vollstichprobe 2004 waren an zwei Aufnahmepunkten die Waldbestände vollständig genutzt worden. Hier findet keine Erhebung statt, bis die Waldverjüngung nachgewachsen ist. Vier

26 Aufnahmepunkte sind Teil des europaweiten Level-I-Monitoringnetzes zum Waldzustand. Die auf diesen Punkten erhobenen Daten gehen in die bundesdeutsche und europäische Waldzustandserhebung ein. Weitere Informationen unter www.icp-forests.org

Aufnahmepunkte wurden neu eingemessen und erstmals erhoben. Die Außenaufnahmen erfolgten einschließlich Schulung und Kontrollaufnahmen in der Zeit vom 21. Juli bis 29. August 2008.

Waldzustand allgemein

Für die gesamte Waldfläche von Rheinland-Pfalz über alle Baumarten und Altersstufen hat sich der Zustand des rheinland-pfälzischen Waldes gegenüber dem Vorjahr leicht verschlechtert. Der Anteil deutlicher Schäden ist um 3 Prozentpunkte höher als in 2007. Die mittlere Kronenverlichtung liegt um rund 0,6 Prozentpunkte über dem Wert des Vorjahres.

Gegenüber dem Jahr der letzten Vollstichprobe 2004 zeigt sich der Waldzustand dagegen leicht verbessert, der Anteil deutlicher Schäden ist um 3 Prozentpunkte niedriger und die mittlere Kronenverlichtung um rund 1,2 Prozentpunkte signifikant zurückgegangen.

Regional und kleinräumig hat sich der Waldzustand von 2007 auf 2008 sehr unterschiedlich entwickelt. So ist die Verschlechterung des Kronenzustandes in den südlichen Landesteilen besonders deutlich, während sich der Kronenzustand

in den nördlichen Landesteilen nur wenig verändert hat. Auch die einzelnen Baumarten differieren in ihrer Entwicklung erheblich. Während sich der Kronenzustand von Kiefer, Eiche und Buche von 2007 auf 2008 merklich verschlechterte, hat sich der Zustand der Fichte nur wenig verändert und der Kronenzustand von Hainbuche, Esche und Ahorn sogar verbessert.

Als Ursache für diese heterogene Entwicklung kommt unter anderem die kleinräumig sehr unterschiedliche Wasserversorgung in Betracht. Nach einem trocken-warmen Mai und Juni fielen die Sommerniederschläge vielfach überwiegend in Form von Gewitterregen und waren räumlich sehr heterogen verteilt. Örtlich waren erhebliche Schäden durch Starkregen und Hagel zu verzeichnen. Der Kronenzustand der Kiefer dürfte durch die sich in einigen Regionen merklich ausbreitende Kiefernmitel beeinträchtigt worden sein. Bei der Eiche wurde der örtlich sehr unterschiedliche Blattfraß durch Frostspannerarten meist nicht regeneriert und schlägt auf den Kronenzustand durch. Anzunehmen ist auch, dass Wurzelschäden

durch den Wintersturm „Emma“ und durch lokale Gewitterstürme im Sommer den Zustand des Waldes mit beeinträchtigt haben.

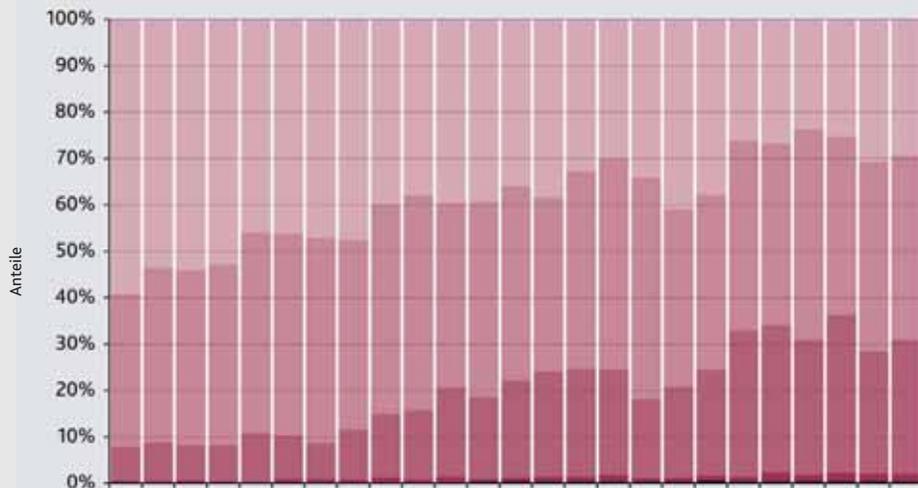
Ausführliche Informationen zum Verfahren, Analysen der Daten und eine Darstellung des Ursache-Wirkungsgeschehens sind im Internet unter www.fawf.wald-rlp.de im Abschnitt „Forstliches Umweltmonitoring und begleitende Forschung“ zu finden.

Fichte

Das Niveau der Kronenschäden bei Fichte ist gegenüber dem Vorjahr weitgehend unverändert. Der Anteil der deutlich geschädigten Probestämme ist um 2 Prozentpunkte zurückgegangen. Doch auch der Anteil der Probestämme ohne sichtbare Schädmerkmale ist um 1 Prozentpunkt geringer

- ohne sichtbare Schädmerkmale
- schwach geschädigt (Warnstufe)
- mittelstark geschädigt
- stark geschädigt
- abgestorben

Entwicklung der Schadstufenverteilung über alle Baumarten von 1984 bis 2008



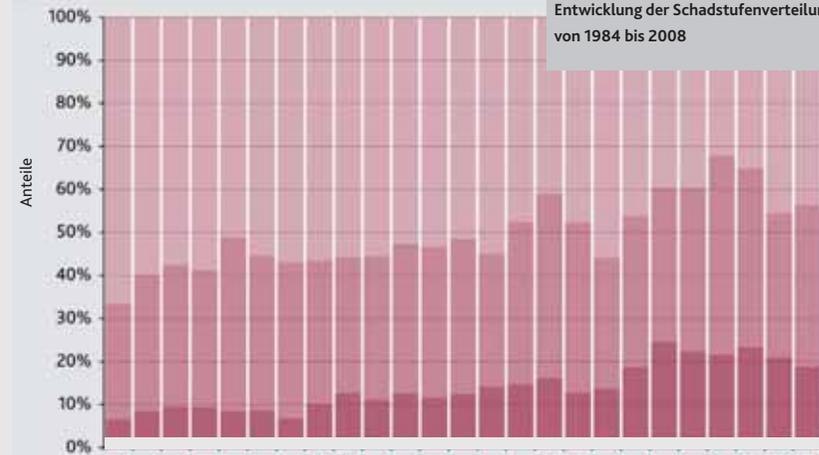
geworden. Die mittlere Kronenverlichtung ist nahezu gleich geblieben. Bei der Fichte sind die unterschiedlichen Kollektive der Vollstichprobe 2008 und der Unterstichprobe 2007 zu berücksichtigen. Der Teil der Probestämme, der in beiden Jahren begutachtet wurde, zeigt eher eine Tendenz zu höherer Kronenverlichtung.

Die Fichte leidet stärker als andere Baumarten unter Sturmereignissen. In 2008 waren 16 % der ausgeschiedenen Probestämme bei Fichten durch Sturm geworfen worden. Auch Borkenkäferschäden sind in den letzten Jahren regelmäßig bei

Fichte zu beobachten. Normalerweise sterben befallenen Bäume rasch ab und werden entnommen, so dass nur wenige Fichten mit akutem Borkenkäferbefall während der Waldschadenserhebung angetroffen werden. Bei 23 % der ausgeschiedenen Probestämme bei Fichte waren Borkenkäferschäden die Ursache des Ausschleuderns. Die komplett ausgefallenen Aufnahmepunkte waren beide mit Fichte bestockt, wobei der Fichtenbestand eines der Punkte infolge von Borkenkäferschäden unplanmäßig genutzt werden musste. Andere besondere natürliche Belastungen waren an den Fichten in 2008 nicht zu beobachten.

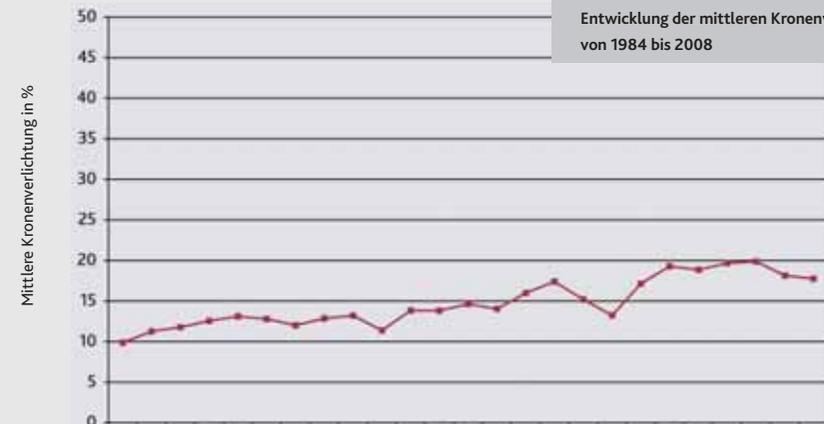
Fichte

Entwicklung der Schadstufenverteilung von 1984 bis 2008



Fichte

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung von 1984 bis 2008



Buche

Bei der Buche ist der Anteil der deutlichen Schäden um 6 Prozentpunkte angestiegen; der Anteil an Probestämmen ohne sichtbare Schadmerkmale ist unverändert. Die mittlere Kronverlichtung liegt um 1,7 Prozentpunkte höher als der Vorjahreswert; diese Veränderung ist signifikant. Das Schadniveau liegt dennoch weiterhin deutlich unter dem Maximalwert des Jahres 2004.

Im Jahr 2008 war bei der Buche nahezu kein Fruchtanhang festzustellen. Beobachtet wurden Schäden durch blattfressende Insekten, insbesondere durch Schmetterlingsraupen und Buchenspringrüssler (*Rhynchaenus fagi*). Insgesamt war das Ausmaß des Insektenbefalls mit 4,9 % der Probestämme aber zu gering, um einen Einfluss auf den Kronenzustand der Buche auszuüben. Insofern ist kein natürlicher Belastungsfaktor zu erkennen, der als Auslöser für den beobachteten

Anstieg des Schadniveaus bei Buche in Frage käme. Vergilbung war in 2008 kaum zu beobachten.

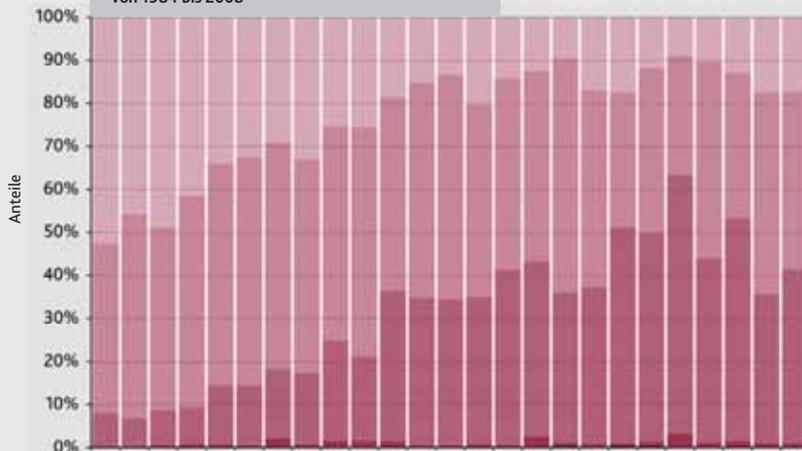
Eiche

Bei der Eiche ist das Schadniveau wieder merklich angestiegen. Der Anteil deutlich geschädigter Probestämme liegt um 10 Prozentpunkte höher als im

Vorjahr; der Anteil der Eichen ohne sichtbare Schadmerkmale ist unverändert. Die mittlere Kronverlichtung ist um 2,5 Prozentpunkte signifikant höher als im Vorjahr. Die Eiche erleidet regelmäßig mehr oder minder starke Schäden durch blattfressende Insekten. In 2008 waren an 18 % der Probestämme Fraßschäden zu beobachten. Die Eichen mit Fraßschäden haben sich in ihrem Kronenzustand stärker verschlechtert, als die von Fraßschäden verschonten Eichen.

Buche

Entwicklung der Schadstufenverteilung von 1984 bis 2008



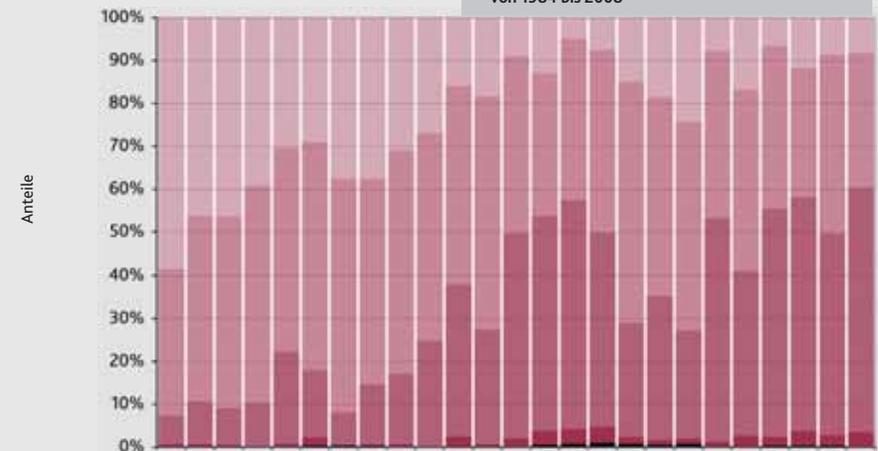
Buche

Entwicklung der mittleren Kronverlichtung von 1984 bis 2008



Eiche

Entwicklung der Schadstufenverteilung von 1984 bis 2008



Eiche

Entwicklung der mittleren Kronverlichtung von 1984 bis 2008



Kiefer

Auch bei der Kiefer ist der Anteil von Bäumen mit deutlichen Schäden etwas höher als im Vorjahr. Die mittlere Kronenverlichtung ist um 1,8 Prozentpunkte signifikant angestiegen. Damit ist in der Zeitreihe nach der Verbesserung im Jahr 2007 das Niveau der Jahre 2003 bis 2006 wieder erreicht. An 12 % der Probestämme bei Kiefer wurde Befall mit Mistel festgestellt. Starker Befall mit

der Kiefernmistel bedeutet für den betroffenen Baum eine Belastung, die sich in einem schlechteren Kronenzustand äußert. Bei 8,6 % der Kiefern war Reifefraß durch Waldgärtner zu beobachten. Durch den Reifefraß sterben einzelne einjährige Triebe ab. Bei wiederholtem mehrjährigem Befall kann es dadurch zu Defiziten in der Verzweigung kommen.

Weitere Informationen zum Einfluss des Insektenfraßes im Internet über den Pfad:
www.fawf.wald-rlp.de

- Forschung an Dauerbeobachtungsflächen
- Kronenzustand
- Einflussfaktoren
- Insekten- und Pilzbefall (im unteren Schaubild)

zentpunkte niedriger. Bei den meisten Nebenbaumarten konnte sich der Trend zur Erholung im Kronenzustand damit fortsetzen. Eine weniger günstige Entwicklung war in 2008 nur bei Douglasie und Birke zu beobachten. Bei Douglasie ist der Anteil deutlich geschädigter Probestämme um 4 Prozentpunkte angestiegen und auch das mittlere Verlustprozent ist signifikant höher. Auch bei der Birke war ein Anstieg des Schadniveaus gegenüber 2007 zu verzeichnen.

Wird die Entwicklung zwischen den beiden Jahren der Vollstichprobe 2004 und 2008 betrachtet, zeigt sich bei fast allen Nebenbaumarten ebenfalls eine Verbesserung des Kronenzustandes. Nur Douglasie und Erle weisen 2008 eine höhere Kronenverlichtung als 2004 auf, doch ist bei beiden Baumarten das Schadniveau vergleichsweise niedrig.

Ausführliche Informationen für die einzelnen Baumarten sind im Internet veröffentlicht. Zusätzlich zur Schadstufenverteilung finden Sie dort Angaben zur Verteilung der Kronenverlichtung nach 5 %-Verluststufen, zur Veränderung identischer Probestammkollektive, zur Vergilbung, zur Schadsituation nach Altersstufen und zum Ausmaß des Fruchtanhangs. Sie erreichen diese Informationen über den Pfad:
www.fawf.wald-rlp.de

- Forschungsschwerpunkte
- Forstliches Umweltmonitoring
- Waldschadenserhebung
- Befunde ab 1984

Andere Baumarten

In unseren Wäldern findet sich neben den bereits genannten noch eine Vielzahl anderer Baumarten. Die Waldzustandserhebung erfasst mit dem Kollektiv der Vollstichprobe insgesamt 34 verschiedene Baumarten. Einige finden sich nur mit einzelnen Exemplaren, einige aber auch mit mehr als 100 Probestämmen, für die eine eigene Aussage zum Kronenzustand möglich ist. Wegen des geringeren Stichprobenumfangs sind die Aussagen hier jedoch mit höheren Unsicherheiten behaftet, auch die Unterschiede zwischen den Kollektiven der Unter- und Vollstichprobe sind von höherem Gewicht.

Für fast alle der in der Gruppe der „Nebenbaumarten“ vertretenen Baumarten wurde von 2007 auf 2008 eine Verbesserung des Kronenzustandes festgestellt. Insgesamt ging der Anteil der deutlich geschädigten Probestämme bei den Nebenbaumarten um 7 Prozentpunkte zurück und die mittlere Kronenverlichtung liegt um gut 2 Pro-

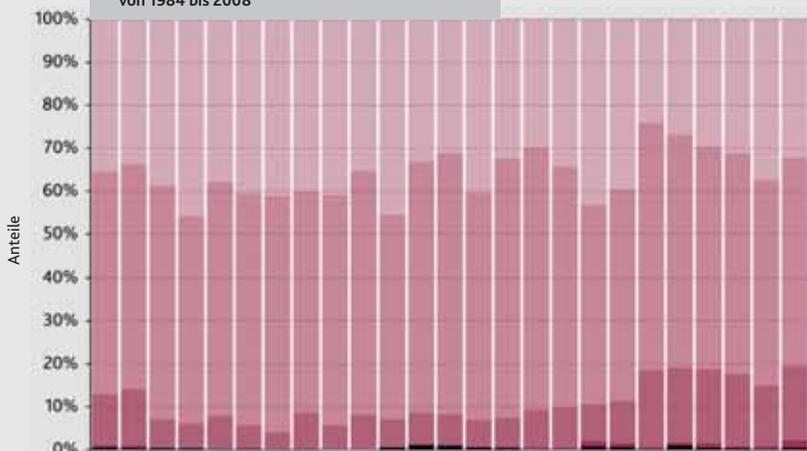
Häufigste Nebenbaumarten

Schadstufenverteilung 2008 im Vergleich zu 2004 und 2001

Baumart (bzw. Gattung)	Anzahl der Probestämme	Anteile der Schadstufen (in %)								
		0			1			2 - 4		
	2008	2001	2004	2008	2001	2004	2008	2001	2004	2008
Douglasie	455	82	59	47	15	34	42	3	7	11
Lärche	354	48	20	31	40	49	46	12	31	23
Hainbuche	294	49	13	30	38	31	51	13	56	19
Ahorn	161	80	53	68	16	37	29	3	10	3
Esche	171	63	26	43	30	54	37	7	20	14
Birke	159	50	27	26	36	33	44	14	40	30
Erle	108	74	69	58	18	25	35	8	6	7

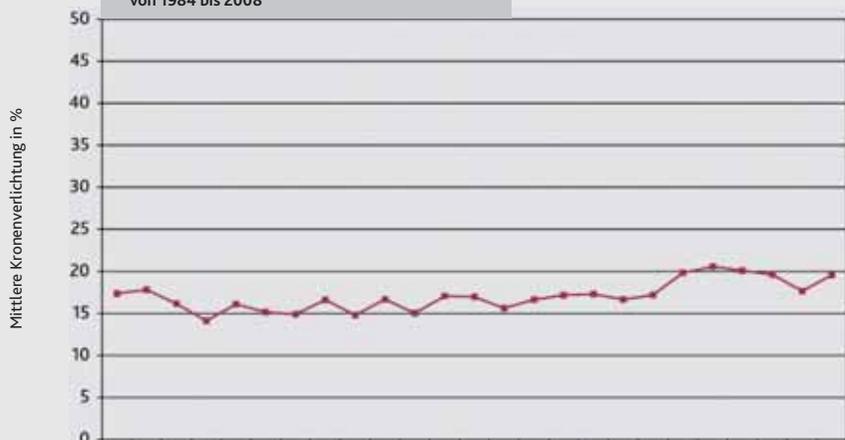
Kiefer

Entwicklung der Schadstufenverteilung von 1984 bis 2008



Kiefer

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung von 1984 bis 2008



Regionale Verteilung

Der Anteil deutlich geschädigter Probabäume variiert an den einzelnen Aufnahmepunkten erheblich. Punkte, die keine oder nur wenige deutlich geschädigte Probabäume aufweisen, liegen in direkter Nachbarschaft von solchen, an denen über die Hälfte der Probabäume deutlich geschädigt sind. Wegen der starken Unterschiede der Kronenschäden bei den verschiedenen Baumarten und Altersstufen wird das Niveau der Kronenschäden am einzelnen Aufnahmepunkt in erster Linie durch die Verteilung der Baumarten und das Alter der Probabäume am Aufnahmepunkt beeinflusst. Werden verschiedene Regionen miteinander verglichen, ist daher die Baumarten- und Alterszusammensetzung zu beachten. Weitere Bestimmungsgrößen, wie standörtliche Parameter, Witterung oder Immissions- und Depositionssituation, variieren in Rheinland-Pfalz weniger stark und überprägen den Einfluss von Baumart und Alter im Regelfall nicht.

Der am einzelnen Aufnahmepunkt festgestellte Grad der Schädigung sagt unmittelbar nur etwas über die Probabäume selbst und allenfalls über den in Artenzusammensetzung und Alter entsprechenden umgebenden Waldbestand aus. Erst die Zusammenfassung einer gewissen Anzahl an Aufnahmepunkten erlaubt eine repräsentative Aussage für das jeweilige Bezugsgebiet. Je höher dabei die Zahl der Stichprobabäume ist, um so zuverlässiger ist die gewonnene Aussage.

Wuchsgebiete

Die forstlichen Wuchsgebiete geben die größeren Waldregionen mit vergleichbaren Bodenverhältnissen und Klimabedingungen in Rheinland-Pfalz wieder.

Der Waldzustand hat sich von 2004 auf 2008 regional sehr unterschiedlich entwickelt. Während sich die Situation in den nördlichen Regionen des Landes verbesserte, ist die Kronenverlichtung in den südlichen Landesteilen weiter fortgeschritten. Eine vergleichsweise geringe Kronenverlichtung ist in der eher kühl-feuchten Region des Wester-

Informationen zur **regionalen Verteilung der Waldschäden** finden sich im Internet unter: www.fawf.wald-rlp.de über den Pfad

- Forschungsschwerpunkte
- Forstliches Umweltmonitoring
- Waldschadenserhebung
- Befunde ab 1984
- Regionale Verteilung

waldes und der nördlich angrenzenden Gebiete zu beobachten. Auch die Wälder der durch Bodengüte begünstigten, aber in der Ausdehnung kleinen, Regionen Gutland und Westrich präsentieren sich mit vergleichsweise gutem Kronenzustand. Die Regionen der großen Waldgebiete Eifel, Hunsrück und Pfälzerwald liegen mit ihrem Schadniveau recht einheitlich im Landesschnitt, den sie durch ihre große Waldfläche auch selbst prägen. Eine überdurchschnittliche Kronenverlichtung ist besonders in den warm-trockenen Regionen, den großen Flusstälern von Rhein und Mosel und dem Nordpfälzer Bergland festzustellen.

Die räumliche Verteilung der Schäden und auch die Entwicklung des Schadniveaus lässt sich teilweise mit der Baumarten- und Altersklassenverteilung der einzelnen Waldregionen erklären. Ist das Stichprobenkollektiv in einer Waldregion durch einen hohen Anteil an Buchen oder Eichen geprägt, so zeigen sich höhere Schäden, da bei diesen beiden Baumarten der Anteil der deutlichen Schäden höher als bei den anderen Baumarten ist. Ein hoher Kiefernanteil dagegen führt, dem geringeren Schadniveau der Kiefer entsprechend, zu einem unterdurchschnittlichen Schadniveau des jeweiligen Wuchsgebiets. Wegen des höheren Schadniveaus der älteren Bäume gegenüber den jüngeren, hat ein hoher Anteil an älteren Bäumen für eine Waldregion einen höheren Anteil an deutlichen Schäden zur Folge. In 2008 spiegeln sich auch die klimatischen Bedingungen in der Verteilung der Kronenschäden wider. Bei der Betrachtung der einzelnen Wuchsgebiete ist zu beachten, welchen Anteil es an der Landes-

waldfläche hat und wie viele Aufnahmepunkte in das Gebiet fallen. Für kleinere Wuchsgebiete ist das Ergebnis der WZE nicht im gleichen Maße repräsentativ, wie für die großen Wuchsgebiete.

Im **Bergischen Land** und **Sauerland** hat sich der Kronenzustand von 2004 auf 2008 deutlich verbessert. Die Fichte prägt hier mit 75 % das Probabaukollektiv und damit auch das Gesamtergebnis. In dieser Region präsentiert sich die Fichte mit einem besseren Kronenzustand als im landesweiten Schnitt und auch insgesamt weist der Wald hier ein geringeres Schadniveau auf.

Auch im **Gutland** liegt das Schadniveau im Landesvergleich durchgehend unter dem Durchschnitt und zeigt eine merkliche Verbesserung von 2004 auf 2008. Die Baumartenverteilung in der Stichprobe ist außerordentlich vielgestaltig: Eiche, Kiefer, Buche, Fichte sind gleichmäßig vertreten, aber auch Ahorn, Douglasie, Esche und Lärche sind mit nennenswerten Anteilen dabei. Die jüngeren Waldbestände kommen im Gutland häufiger vor als im Landesschnitt vertreten.

Im **Hunsrück** ist die Verbesserung des Waldzustandes von 2004 auf 2008 weniger ausgeprägt. In fast allen Jahren liegt das Schadniveau nahe dem Landesschnitt, so auch in 2008. Auch bei den einzelnen Baumarten gibt es nur vergleichsweise geringe Abweichungen vom Landesschnitt. Der Hunsrückhaupteck wird von Fichte geprägt, die mit 46 % Anteil am Stichprobenkollektiv auch Hauptbaumart im Wuchsgebiet ist. Im Bereich des Moselhunsrück sind aber auch Eiche und Hainbuche häufig vertreten. Kiefer ist vergleichsweise selten, dafür kommen Birke und Erle häufiger vor.

Im **Mittelrheintal** und im **Moseltal** hat sich der Anteil deutlicher Schäden von 2004 auf 2008 nur leicht verringert. Die Eiche stellt mit 44 % einen hohen Anteil der Probabäume. Buche und Dou-

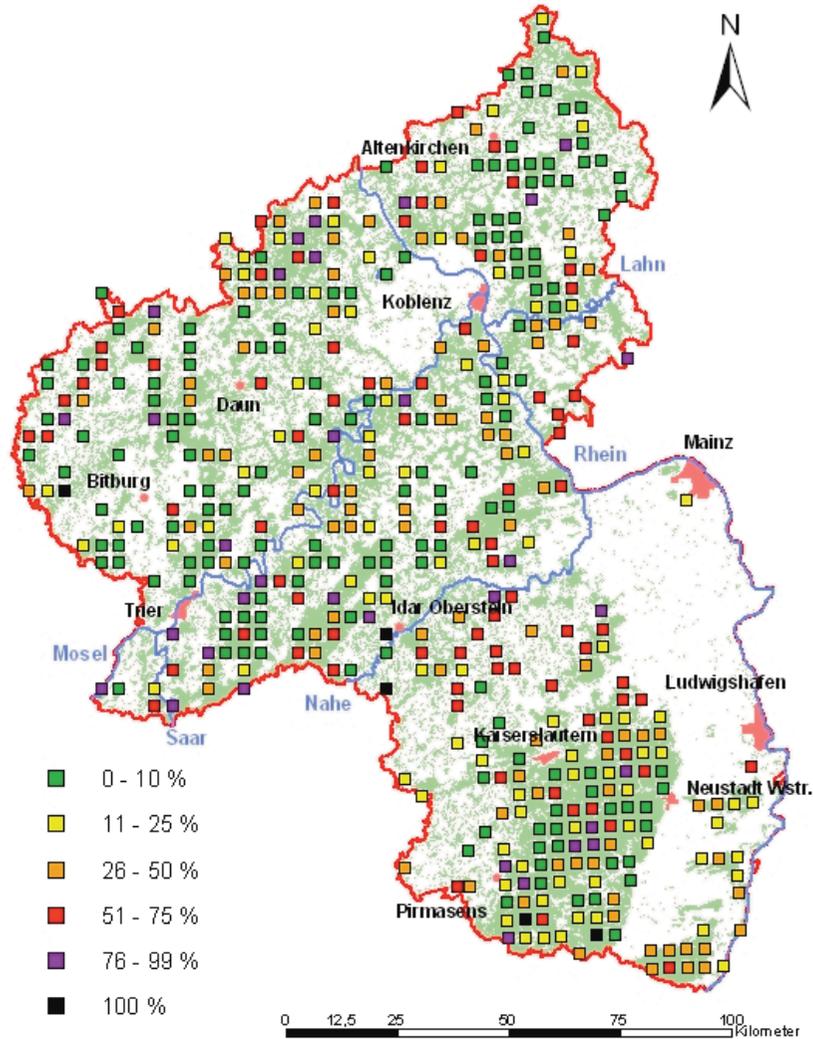
glasie aber auch Kiefer, Lärche und Hainbuche sind nicht nennenswerten Anteilen sowie viele andere Baumarten geringfügig vertreten. Entsprechend wird das Schadniveau dieser Wuchsgebiete von dem hohen Schadniveau der Eiche bestimmt, die dabei selbst nicht vom Landesschnitt abweicht.

In der **Nordwesteifel** lag das Schadniveau bis 1997 merklich unter dem Landesschnitt und ist seither auf das durchschnittliche Schadniveau in Rheinland-Pfalz angestiegen. Von 2004 auf 2008 blieb der Anteil deutlicher Schäden unverändert. Das Aufnahmekollektiv wird mit einem Anteil von 50 % von der Fichte bestimmt. Mit bedeutsamen Anteilen sind noch Buche und Eiche vertreten. Die Buche hat hier ein überdurchschnittlich hohes Schadniveau und macht den Hauptanteil der deutlichen Schäden aus.

Das **Oberrheinische Tiefland** mit der **Rhein-Main-Ebene** wies bis 2004 ein weit unter dem Landesschnitt liegendes Schadniveau auf. Von 2004 auf 2008 ist eine gravierende Verschlechterung festzustellen. Der Anstieg der Kronenverlichtung betrifft hier vor allen die Kiefer, mit einem Anteil von 50 % am Stichprobenkollektiv die prägende Baumart dieser Region. 61 % aller Kiefern-Probabäume sind hier mit Misteln befallen (landesweit 10 %). Fast alle Kiefern, die starke Kronenschäden zeigen, weisen Mistelbefall auf. Auch der Befall mit Waldgärtner wurde in der Rheinebene häufiger festgestellt als im Landesschnitt.

In der **Osteifel** hat sich nach dem Anstieg des Schadniveaus bis 2004 die Situation in 2008 wieder deutlich verbessert. Die Schadstufenverteilung weicht nicht wesentlich vom landesweiten Schnitt ab. Das Kollektiv der Probabäume wird zu einem Drittel von der Fichte und einem Viertel von der Buche gebildet; Eiche und Kiefer sind ebenfalls nennenswert vertreten.

Anteil der deutlich geschädigten Probebäume am einzelnen Aufnahmepunkt 2008



Einzelne Wuchsgebiete

Schadstufenverteilung; alle Baumarten, aller Alter

Wuchsgebiet	Anteil am Stichprobenkollektiv in (%) 2008	Anteile der Schadstufen (in %)																				
		0					1					2 - 4										
		86	91	94	97	01	04	08	86	91	94	97	01	04	08	86	91	94	97	01	04	08
Bergisches Land u. Sauerland	2,4	53	37	32	26	42	30	52	43	48	44	48	45	45	35	4	15	24	26	13	25	13
Gutland	3,9	50	44	48	54	42	30	53	43	50	43	31	41	45	28	7	6	9	15	17	25	19
Hunsrück	18,8	59	49	47	47	49	37	31	32	39	37	30	35	30	40	9	12	16	23	16	33	29
Mittelrheintal und Moseltal	5,8	58	51	31	25	24	18	17	32	39	53	45	53	42	46	10	10	16	30	23	40	37
Nordwesteifel	8,6	61	63	51	49	51	35	32	34	30	35	35	30	34	37	5	7	14	16	19	31	31
Oberrheinisches Tiefland und Rhein-Main Ebene	5,0	56	43	41	31	43	23	26	40	47	43	54	43	60	42	4	10	16	15	14	17	32
Osteifel	12,1	51	41	37	41	41	23	24	39	44	38	38	34	38	46	10	15	25	21	25	39	30
Pfälzerwald	18,5	36	38	35	35	35	19	25	53	46	45	44	42	43	44	11	16	20	21	23	38	31
Saar-Nahe-Bergland	8,4	65	52	35	31	36	23	15	28	39	29	25	43	42	35	7	9	36	44	21	35	50
Saarl.-Pfälzisches Muschelkalkgebirge u. Landstuhler Bruch	2,4	36	42	52	38	47	35	33	55	46	34	42	41	46	44	9	12	14	20	12	19	23
Taunus	2,6	50	40	11	12	16	4	29	44	46	44	38	42	25	29	6	14	45	50	42	71	42
Westerwald	11,6	70	55	39	39	47	28	44	26	34	37	37	29	40	34	4	11	24	24	24	32	22
Rheinland-Pfalz	100	54	48	39	38	41	27	29	38	41	40	38	38	39	40	8	12	21	24	21	34	31

Im **Pfälzerwald** ist der Anteil deutlicher Schäden bis 2004 kontinuierlich und überdurchschnittlich angestiegen und auf 2008 wieder merklich zurückgegangen. Kiefer und Buche haben sich hier von 2004 auf 2008 in ihrem Kronenzustand verbessern können. Doch weist die Buche, besonders aber auch die Fichte eine überdurchschnittlich hohe Kronenverlichtung auf. Hier dürfte auch der vergleichsweise hohe Anteil an älteren Waldbeständen eine Rolle spielen; die Fichten-Probe-bäume sind fast alle älter als 60 Jahre. Den Schwerpunkt im Kollektiv der Probebäume bildet die Kiefer mit 42 %, gefolgt von Buche (28 %), Eiche (9 %) und Fichte (8 %).

Im **Saarländisch-pfälzischen Muschelkalkgebirge** und dem **Landstuhler Bruch** ist die Kronenverlichtung seit Beginn der Erhebung langsam angestiegen und im Gegensatz zum landesweiten Trend ist der Anteil der deutlichen Schäden auch auf 2008 höher geworden. Das Schadniveau bleibt aber weiter unter dem Landesschnitt. In dem Kollektiv der Probebäume sind viele Baumarten recht gleichmäßig vertreten: Kiefer mit 25 %, Fichte mit 20 %, Buche mit 19 % und Birke mit 15 %, die anderen Laubbaumarten zusammen mit 19 %. Der Anteil jüngerer Waldbestände ist in dieser Region überdurchschnittlich hoch; die Altersklasse ab 120 Jahren fehlt dagegen weitgehend im Stichprobenkollektiv. Kiefer und Birke weisen hier im Vergleich zum gesamten Land ein unter dem Schnitt liegendes Schadniveau auf.

Auch im **Saar-Nahe-Bergland** ist der Anteil der deutlichen Schäden auf 2008 weiter angestiegen. Der Anteil der Laubbäume ist in dieser Region besonders hoch. Die Eiche dominiert hier mit einem Anteil von 38 % das Kollektiv der Probebäume, gefolgt von der Buche mit 23 %. Hinzu kommen

etliche andere Laubbaumarten, so dass der Anteil der Laubbäume in dieser Region besonders hoch ist. Die Nadelbäume mit Douglasie, Fichte, Lärche und etwas Kiefer machen zusammen etwa ein Viertel des Kollektivs der Probebäume aus. Fast alle Baumarten weisen im Vergleich zum Landesschnitt ein überdurchschnittliches Schadniveau auf.

Der **Taunus** zeigt ab Beginn der 90er Jahre durchgehend ein recht hohes Schadniveau. Auf 2008 konnten sich jedoch alle Baumarten in dieser Region in ihrem Kronenzustand sehr deutlich verbessern. Das Probebaumkollektiv ist hier allerdings recht gering und heterogen. Von 12 Aufnahmepunkten fallen 5 in Eichen- oder Buchenbeständen, die älter als 140 Jahre sind. Diese stark geschädigten älteren Laubbaumbestände dominieren das Aufnahmekollektiv, während die, in der Regel wenig geschädigten, jüngeren Waldbestände bis zu 40 Jahren, im Taunus nicht von der Stichprobe erfasst worden sind.

Im **Westerwald** ist das Schadniveau von 1984 bis 1994 angestiegen und blieb dann recht stabil. 2004 ist ein Maximum der Verlichtung festzustellen. Auf 2008 ging das Schadniveau wieder zurück. Die Fichte stellt mit 44 % den Hauptanteil des Probebaumkollektivs. Nennenswerte Anteile haben noch Buche und Eiche; andere Baumarten sind nur geringfügig vertreten. Das Schadniveau der Fichte ist niedriger als im landesweiten Vergleich. Auch Buche und Eiche präsentieren sich leicht besser als im Landesschnitt. Die Schadsituation stellt sich damit im Westerwald vergleichsweise günstig dar. Gegenüber 2004 verbesserte sich hier der Kronenzustand bei allen Baumarten mit Ausnahme der Eiche.

Einfluss ausgeschiedener und ersetzter Probebäume

Von den markierten Stichprobenbäumen scheiden jedes Jahr einige aus dem Beobachtungskollektiv aus. Die Waldteile, in denen die Aufnahmepunkte der WZE angelegt und die Stichprobenbäume markiert sind, werden regulär bewirtschaftet. Maßgeblich sind dabei die Ziele und Wünsche des jeweiligen Waldbesitzers. Einzelne Probebäume werden daher im Zuge von Durchforstungen gefällt. Zudem werden durch Sturmwurf, Schneebruch oder Insektenbefall betroffene Bäume entnommen. Probebäume scheiden aber auch, ohne dass sie entnommen wurden, nach Sturmwurf, einem starken Kronenbruch oder wenn sie von Nachbarbäumen vollständig überwachsen wurden, aus dem Stichprobenkollektiv aus. Ein Ersatz ausgeschiedener Probebäume ist notwendig, damit die WZE den aktuellen Zustand des Waldes widerspiegelt.

Im Jahr 2008 sind insgesamt 867 Probebäume ausgeschieden. Davon konnten 819 ersetzt werden. Zwei Aufnahmepunkte schieden komplett aus. Da Nachfolgebestände noch nicht vorhanden sind, konnten hier keine neuen Probebäume ausgewählt werden. Die Aufnahmepunkte ruhen, bis sich ein Nachfolgebestand etabliert hat. 915 Probebäume wurden in 2008 erstmals ausgewählt, markiert und bewertet. Darin enthalten sind 4 Aufnahmepunkte, die neu eingemessen und deren Probebäume vollständig neu ausgewählt wurden. Seit der letzten Erhebung der Vollstichprobe 2004 sind bis 2008 mit den 867 Probebäumen 7,8 % des Kollektivs der Vollstichprobe ausgeschieden. Das sind knapp 2 % pro Jahr. Diese Quote liegt im

Rahmen der Werte, die im Laufe der Zeitreihe als normale Ausscheidequote beobachtet wurde. Von den 1984 ursprünglich ausgewählten Probebäumen sind noch 4.950 im Stichprobenkollektiv erhalten. Das sind 48 % des ursprünglichen Gesamtkollektivs.

Die Aufnahmepunkte liegen fast alle in regulär bewirtschafteten Wäldern. Der überwiegende Teil (84 %) der ausgeschiedenen Probebäume wurde daher für die Holznutzung aufgearbeitet. Der andere Teil ist zwar noch am Aufnahmepunkt vorhanden, die Bäume können aber nicht mehr in ihrem Kronenzustand bewertet werden, da sie nicht mehr am Kronendach des Bestandes beteiligt sind. Stehende abgestorbene Probebäume verbleiben mit 100 % Nadel-/Blattverlust als bewertbare Probebäume im Aufnahmekollektiv bis das feine Reisig aus der Krone herausgebrochen ist. Danach werden sie aus dem Probebaumkollektiv ausgesondert.

Es hat sich gezeigt, dass sich die Schadstufenverteilung der Ersatzbäume von der ihrer Vorgänger zum letzten Bonitieringstermin nicht wesentlich unterscheidet. Auch ist der Einfluss des Ersatzes oder der Neuaufnahme von Probebäumen auf die Entwicklung der Schadstufenverteilung des gesamten Stichprobenkollektivs nur gering. Festzuhalten ist aber, dass stark geschädigte oder abgestorbene Bäume (Schadstufen 3 und 4) eher aus dem Stichprobenkollektiv ausscheiden. Die Ersatzbäume fallen nur selten in diese beiden Schadstufen.



EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND



Hagelschaden an Douglasie

Auf den Wald wirkt eine Vielzahl von menschenverursachten und natürlichen Stressfaktoren ein. Dieser Stresskomplex unterliegt einem ständigen Wandel. So ist die „chemische“ Belastung des Waldes durch die wirksame Verringerung des Ausstoßes von versauernd wirkenden und eutrophierenden Luftverunreinigungen sowie durch die Bodenschutzkalkung inzwischen deutlich reduziert. Demgegenüber ist die Bedeutung witterungsbedingter Stresseinwirkungen merklich angestiegen. Seit dem Beginn der Waldzustandserhebungen Anfang der 80er Jahre waren fast alle Vegetationszeiten im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten zu warm und in der Mehrzahl auch zu trocken. Auch häuften sich in den letzten Jahren Schadereignisse insbesondere durch Sturm und Hagel.

In dem auf den Wald einwirkenden Stresskomplex stellen Luftschadstoffe meist eine chronische Belastung dar, die langfristig destabilisierend wirkt. Vor allem über Bodenversauerung und Stickstoffeutrophierung werden die Waldökosysteme anfällig gegenüber kurzfristig einwirkenden Stressfaktoren wie Witterungsextreme, Insektenfraß oder starke Fruchtbildung. Zwischen den einzelnen Stressfaktoren gibt es vielfältige Wechselbeziehungen. Beispielsweise sind trocken-warme Perioden im Sommer in der Regel mit hohen Ozonbelastungen verbunden. Der Trockenstress wird durch Störungen der Schließmechanismen der Spaltöffnungen in Blättern und Nadeln, die durch Ozon verursacht werden, verstärkt. Auch hat sich gezeigt, dass auf versauerten Standorten Trockenstress infolge von Wurzelschäden besonders starke Vitalitätseinbußen nach sich ziehen kann.

Über das Forstliche Umweltmonitoring in Rheinland-Pfalz werden alle wesentlichen Einflussfaktoren auf den Waldzustand erfasst und die Reaktion der Waldökosysteme auf die komplexen Stresseinwirkungen untersucht. Nachfolgend sind die wichtigsten Befunde zusammengefasst. Eine detaillierte Darstellung der Zeitreihen zur Luftschadstoffbelastung und der natürlichen Stresseinflüsse

sowie ihrer vielfältigen Wechselbeziehungen befindet sich im Internet unter www.fawf.wald-rlp.de (Forschungsschwerpunkte - Forstliches Umweltmonitoring).

Entwicklung der Luftschadstoffbelastung

Schwefel

Die Belastung unserer Waldökosysteme durch Luftschadstoffe hat sich in den letzten Jahrzehnten erheblich verändert. Bei Schwefeldioxid (SO_2), das vor allem bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Kraftwerken, Industriefeuerungsanlagen und Heizungen freigesetzt wird, konnte die Emissionsrate in Deutschland dank durchgreifender Luftreinhaltemaßnahmen seit 1980 um mehr als 90 % reduziert werden. Dies wirkt sich auch in einer erheblichen Verringerung der Belastung der Waldökosysteme aus. So sind die Jahresmittelwerte der SO_2 -Konzentrationen an den Waldstationen des Zentralen Immissionsmessnetzes (ZIMEN) von über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Mitte der 80er Jahre auf inzwischen

Entwicklung der Schadstoffemissionen in Deutschland

Schadstoffe in Kilotonnen	1980	1990	2006	Veränderungen in % 1980 - 2006
Schwefeldioxid (SO ₂)	7514	5353	558	- 93 %
Stickoxide (NO _x)	3334	2862	1394	- 58 %
Ammoniak (NH ₃)	835	738	621	- 26 %
Flüchtige organische Verbindungen (ohne Methan) (NMVOC)	3224	3769	1349	- 58 %

Quelle: Umweltbundesamt (2008): www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm (Emissionsentwicklung 1990-2006) für 1980: UNECE 2001: www.emep.int

stets unter 5 µg/m³ gesunken. Selbst bei winterlichen Inversionswetterlagen steigen die Schwefeldioxidkonzentrationen kaum mehr an. Der Belastungsschwellenwert für Waldökosysteme und natürliche Vegetation wird seit 1988, der Schwelwert für die besonders empfindlichen Flechten seit 1994 nicht mehr überschritten. Entsprechend der merklichen Abnahme der Schwefeldioxidkon-

zentration in der Luft ist auch der Eintrag an Sulfatschwefel in den Waldböden deutlich gesunken. Während der Schwefeleintrag in Fichtenbeständen zu Beginn der Messreihen Mitte der 80er Jahre meist zwischen 40 und 70 kg je Hektar lag, gelangen aktuell meist weniger als 15 kg Schwefel je Hektar auf den Waldböden. Begleitet wird die Verringerung der Schwefeldeposition von einem Anstieg der pH-Werte im Niederschlagswasser.

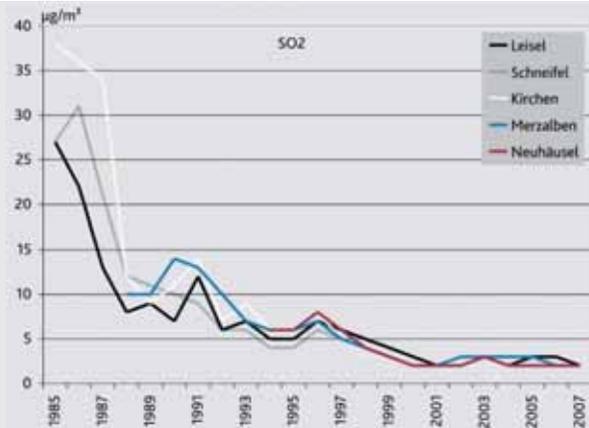


ZIMEN Waldstation Leisel mit Freilanddepositions-messanlage

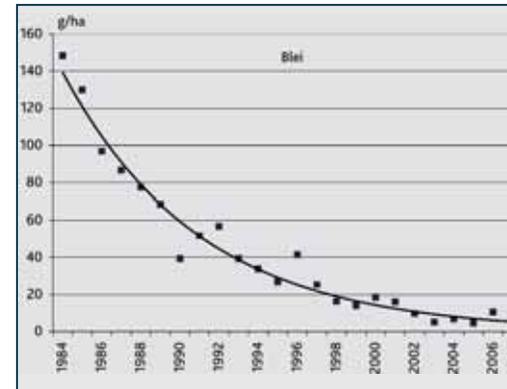
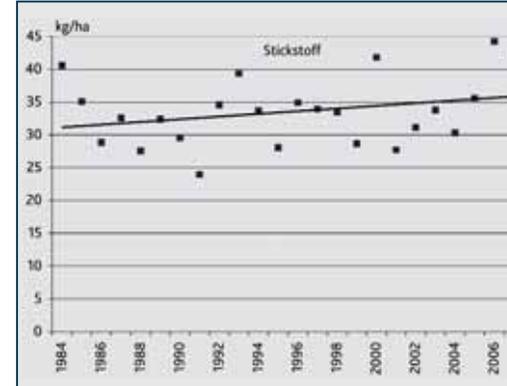
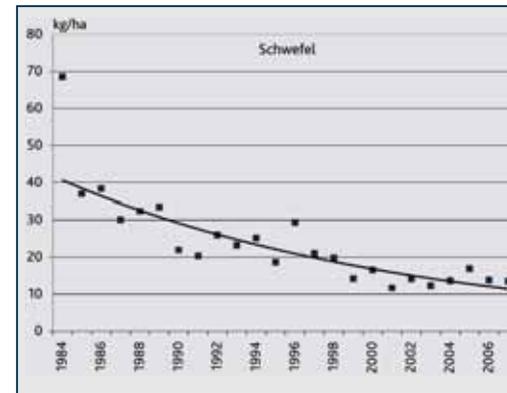
Schwermetalle

Sehr deutlich gesunken ist dank durchgreifender Emissionsminderungsmaßnahmen auch der Eintrag des für viele Bodenlebewesen giftigen Schwermetalls Blei. Merkliche Depositionsverringern zeigen an der Mehrzahl der Messorte auch die Schwermetalle Cadmium und Zink.

Jahresmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen in Waldgebieten

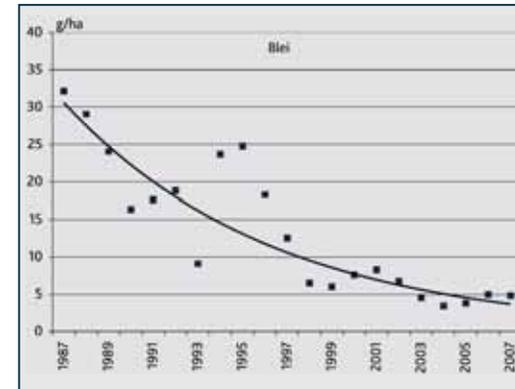
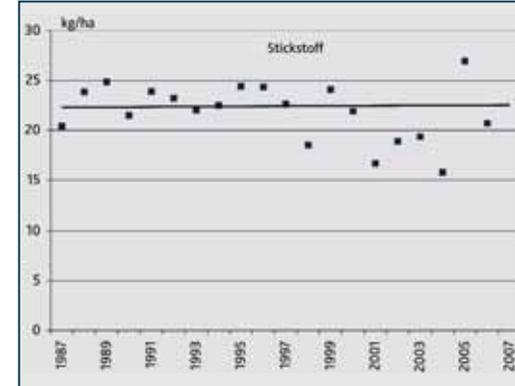
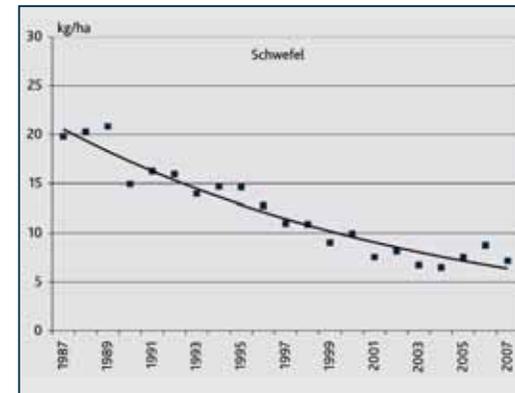


Adenau



Trend des Eintrages an Schwefel, Stickstoff und Blei (S und N: berechnete Gesamtdeposition; Pb: Deposition mit dem Waldniederschlag) in einem Fichtenbestand in der Eifel (Adenau) und einem Traubeneichen-Buchen-

Merzalben



bestand im Pfälzerwald (Merzalben). Die Rückgänge in der Schwefel- und Bleideposition sind an beiden Standorten hochsignifikant. Die Veränderungen der Stickstoffdeposition sind demgegenüber nicht signifikant.

Stickstoff

Stickstoff wird in unterschiedlichen Verbindungen freigesetzt. Hauptquelle der **Stickoxide** ist der Straßenverkehr. Reduzierter Stickstoff (**Ammoniak**) stammt dagegen überwiegend aus der Tierhaltung.

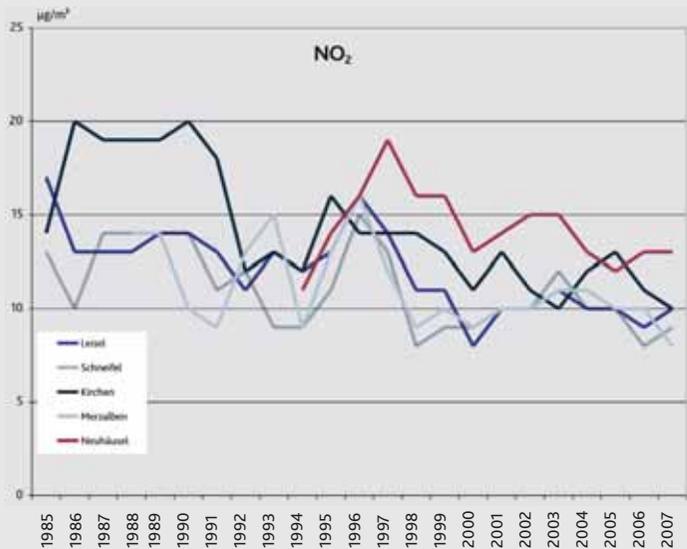
Die Emission der Stickoxide ist seit 1980 in Deutschland um 58 %, die Ammoniakemission um 26 % zurückgegangen. Auch die Stickstoffdioxidkonzentrationen in der Luft sind in den rheinland-pfälzischen Waldgebieten seit dem Beginn der Messungen 1984/85 merklich gesunken. Der Stickstoffeintrag in den Waldboden zeigt demgegenüber meist keinen gerichteten Trend. Weder die Nitrat- noch die Ammoniumstickstoff-Eintragsraten sind seit dem Beginn der Messungen merklich zurückgegangen. An allen 11 Intensivuntersuchungsflächen, für die ökosystemverträgliche Schwellenwerte (Critical Loads) für eutrophierenden Stickstoff ermittelt wurden, übersteigen die gegenwärtigen Stickstoffeintragsraten die ökologischen Belastungsgrenzen erheblich. Dem zeitlichen Verlauf der Depositionsraten

von Nitrat- und Ammoniumstickstoff entsprechend, sind bislang keine Trends zu abnehmenden Überschreibungsbeträgen zu verzeichnen.

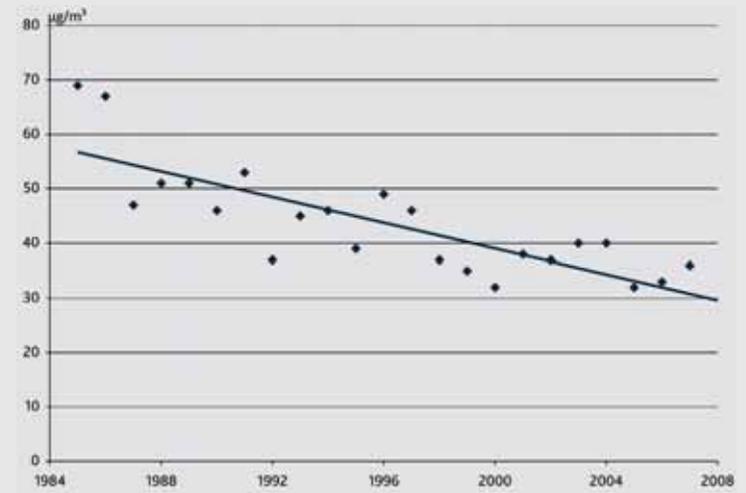
An 19 Walduntersuchungsflächen werden in Rheinland-Pfalz Stickstoffkonzentrationen im Bodenwasser gemessen. An 13 Standorten übersteigen die aktuellen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unterhalb des Wurzelraumes 2,5 mg NO₃/l. Die Ökosysteme können demnach den eingetragenen Stickstoff nicht mehr vollständig speichern.

Bei zunehmender Stickstoffsättigung steigt die Gefahr einer Nitratbelastung des Grund- und Quellwassers und mit weiterer Versauerung die Gefahr einer zunehmenden Emission des Treibhausgases Distickstoffmonoxid (Lachgas) aus dem Waldboden.

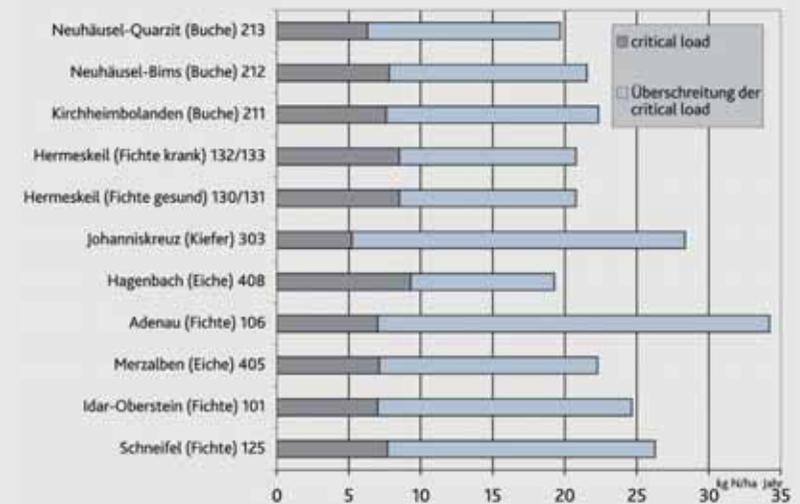
Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidkonzentrationen in Waldgebieten



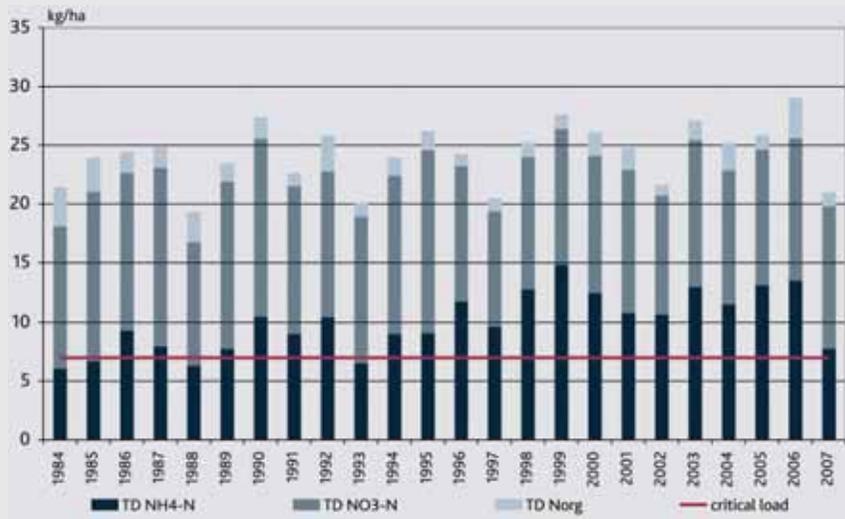
Verlauf der NO₂-Spitzenkonzentration (98%-Wert) an der ZIMEN-Waldstation Leisel



Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge* und Überschreitung der Critical Loads durch die aktuelle Gesamtstickstoffdeposition (Mittel des Zeitraumes 1992-2007)

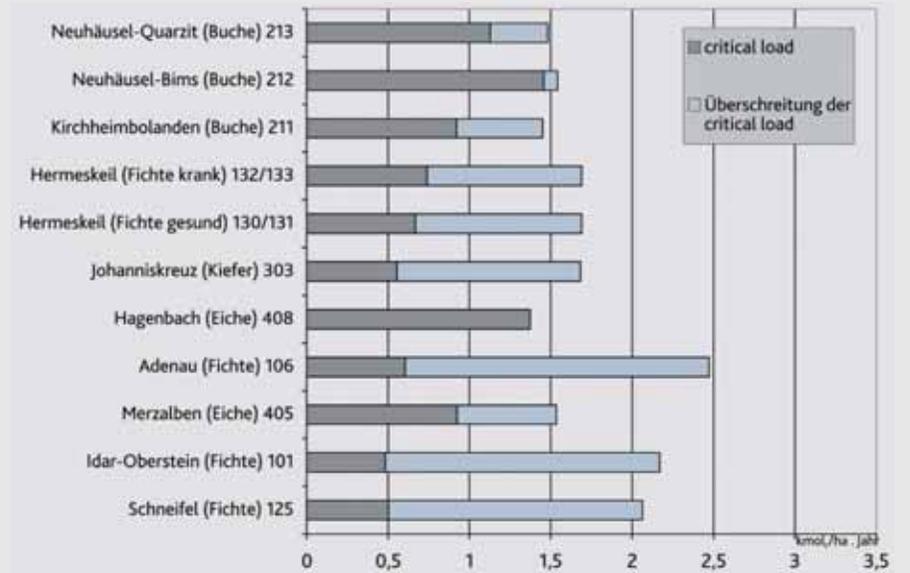


*Kalkulation: Öko-Data GmbH



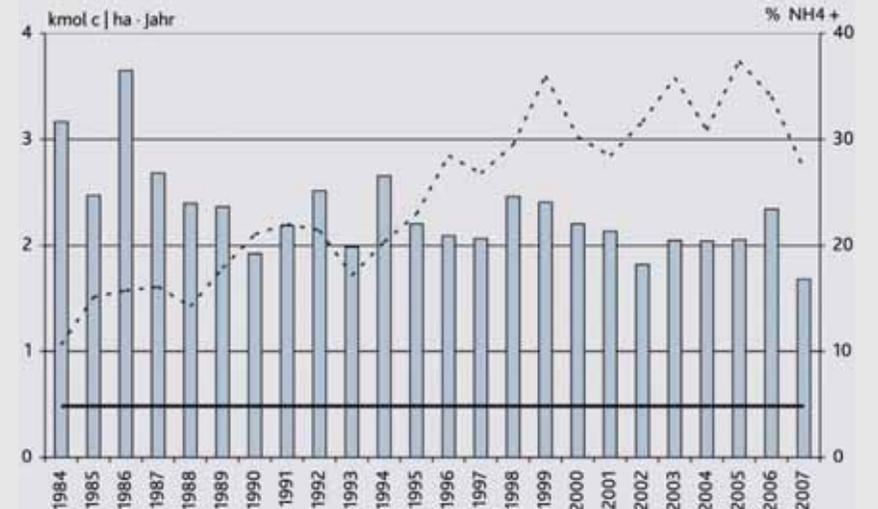
Entwicklung der Überschreitung der Critical Loads für eutrophierenden Stickstoff (durchgezogene Linie) durch den Gesamtstickstoffeintrag (Säulen) am Standort Idar-Oberstein (Fichtenbestand auf Decklehm über Quarzit, aufgeteilt in den Eintrag an Ammoniumstickstoff (NH₄-N), Nitratstickstoff (NO₃-N) und organisch gebundenen Stickstoff (Norg))

Critical Loads für Säureeinträge* und Überschreitung der Critical Loads durch die aktuelle Säuredeposition (Mittel des Zeitraumes 1992-2007)



*Kalkulation: Öko-Data GmbH

Entwicklung der Überschreitung der Critical Loads für Säure (durchgezogene Linie) durch den Säureeintrag (Säulen) am Beispiel des Standortes Idar-Oberstein (Fichtenbestand auf Decklehm über Quarzit). Zudem ist der Verlauf des prozentualen Ammoniumanteils am Säureeintrag (gestrichelte Linie, Achse an der rechten Seite) dargestellt.



Säureeinträge

Trotz der beträchtlichen Reduktion der Schwefel-einträge sind die Säureeintragsraten nur vergleichsweise wenig gesunken und übersteigen nach wie vor an der Mehrzahl der Standorte die ökosystemverträglichen Schwellenwerte. Dies ist im Wesentlichen auf die nicht reduzierten Eintragsraten der Stickstoffverbindungen zurückzuführen. Beim Ammoniumstickstoff zeigt die Eintragsrate an einigen Standorten sogar einen ansteigenden Trend. Demzufolge ist der Ammoniumanteil am Säureeintrag kontinuierlich gestiegen und der Sulfatanteil zurückgegangen.

Ozon

Als sekundäre Luftverunreinigung entsteht Ozon im Wesentlichen aus Luftsauerstoff, Stickoxiden und flüchtigen Kohlenwasserstoffen unter der Einwirkung der Sonneneinstrahlung. Ozonvorläufer-substanzen gelangen auf natürlichen und anthropogenen Quellen in die Atmosphäre. In Mitteleuropa entstammt das waldbelastende Ozon im Wesentlichen der photochemischen Ozonbildung aus durch menschliche Aktivitäten freigesetzten Vorläufersubstanzen.

Die Belastung des Waldes durch Ozon konnte bislang nicht wirksam verringert werden. Anders als beim Menschen wirken auf Pflanzen auch bereits mittlere Ozonkonzentrationen zwischen 80 und 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ schädigend. Die deutliche Verringerung der Ozonvorläufersubstanzen (insbesondere Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen - VOC) führten zwar zu einer Abnahme der Häufigkeit sehr hoher Ozonkonzentrationen, konnte aber bislang nicht die Häufigkeit mittlerer Ozonkonzentrationen verringern. Hierzu sind noch weitaus stärkere Reduktionen in der Emissionsrate der Vorläufersubstanzen erforderlich.

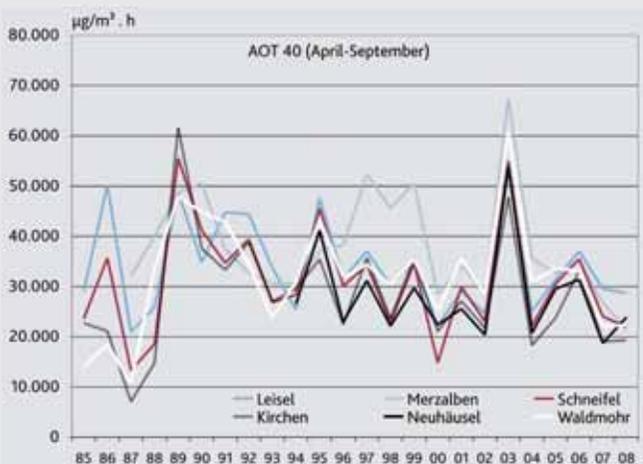
Bei nur wenig verändertem Ozonbildungspotential entscheidet der Witterungsverlauf über die Ozonkonzentration. Im Jahr 2008 war die Ozonbelastung im Vergleich zur Zeitreihe seit 1985 eher gering, überstieg aber an fünf der sechs ZIMEN-Waldstationen die Belastungsschwelle (Critical Level) für Waldökosysteme (AOT 40, April bis September: 20.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$).

Eine detaillierte Darstellung der Luftschadstoffbelastung der rheinland-pfälzischen Wälder und eine Bewertung der Befunde findet sich im Internet: www.fawf.wald-rlp.de

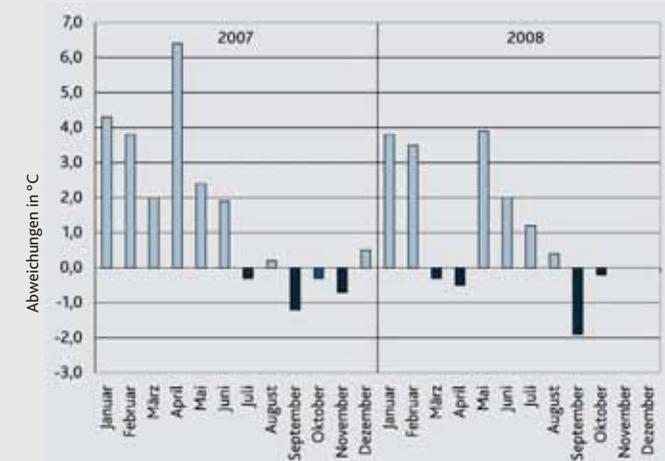
- Forschungsschwerpunkte
- Forstliches Umweltmonitoring
- Luftschadstoffbelastung des Waldes

Tagesaktuelle Luftschadstoffdaten enthält die Internetpräsentation: www.luft-rlp.de.

Verlauf der AOT 40-Werte - April bis September- an den ZIMEN-Waldstationen



Abweichungen der Monatsmittel-Temperaturen in den Jahren 2007 und 2008 an der DWD-Station Weinbiet/ Pfälzerwald vom langjährigen Mittel

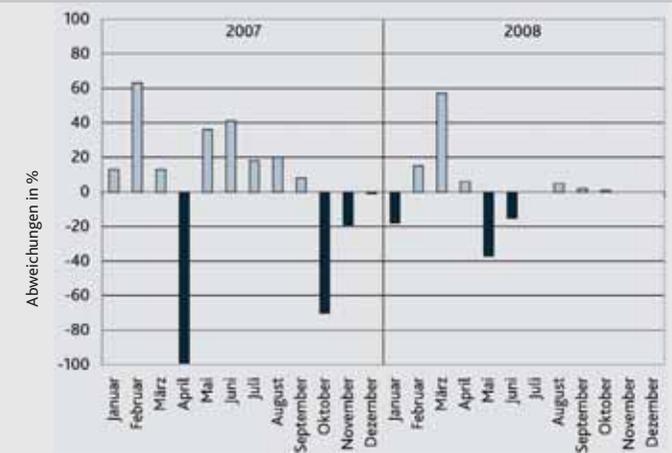


Witterungsverhältnisse

Die Witterungsbedingungen wirken in vielfältiger Weise auf den Wald ein. Zum einen können unmittelbar Schäden an den Bäumen beispielsweise durch sommerliche Trockenheit, Früh- oder Spätfrost, Nassschneefälle, Stürme oder Hagelschauer entstehen. Zum anderen beeinflusst die Witterung die Ozonstehung, den Bodenchemismus,

die Bildung von Blütenknospen, die Fruktifikation und viele andere Abläufe in den Waldökosystemen. Großen Einfluss hat die Witterung auch auf Massenvermehrungen von Schadinsekten und Pilzkrankheiten. Daher ist der Witterungsverlauf häufig mitverantwortlich für die von Jahr zu Jahr auftretenden Veränderungen im Kronenzustand der Bäume.

Abweichungen der Monatsniederschläge in den Jahren 2007 und 2008 (Flächenmittel Rheinland-Pfalz/Saarland) vom langjährigen Mittelwert



Der Vitalitätszustand der Bäume wird nicht nur von der Witterung des aktuellen Jahres, sondern auch von den Witterungsverläufen der Vorjahre beeinflusst.

Im Vorjahr waren Winter und Frühjahr bis in den Juni hinein außergewöhnlich warm. Die übrigen Monate des Jahres 2007 wiesen in etwa durchschnittliche Temperaturen auf. Nach dem extrem trockenen April 2007 war der Sommer vergleichsweise niederschlagsreich, der Herbst dagegen niederschlagsarm. Der Winter 2007/2008 war wie der Winter des Vorjahres sehr warm. Auffallend sind insbesondere die weit über dem langjährigen Mittel liegenden Januar- und Februartemperaturen. Nach durchschnittlichem März und April folgte wiederum eine sehr warme

Vegetationsperiode in diesem Jahr, der allerdings ein sehr kühler September folgte. Vor allem im Mai lag die Durchschnittstemperatur sehr deutlich über dem langjährigen Mittel.

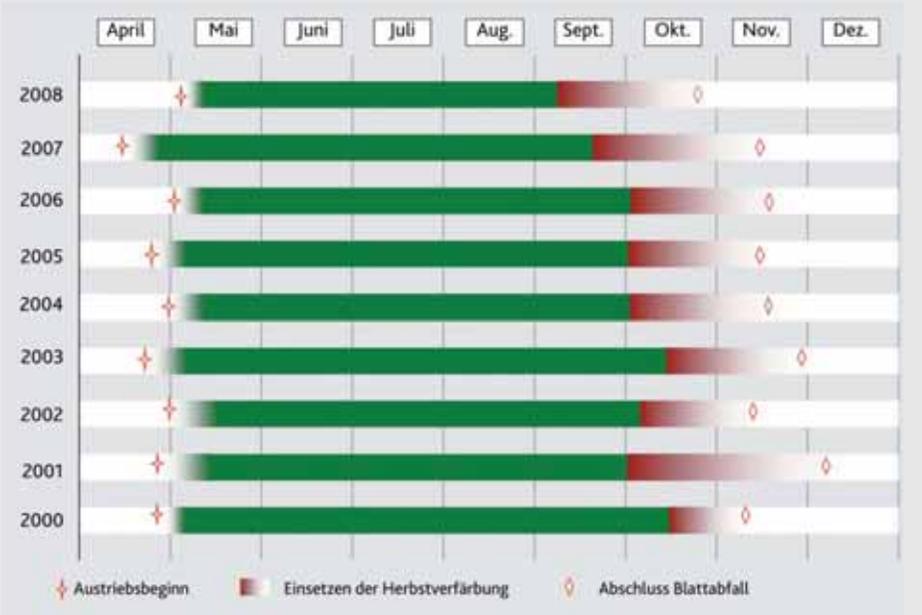
Mai und Juni waren auch vergleichsweise trocken. Juli und August brachten dann durch regelmäßige Gewitterregen ausreichend Niederschläge. Die in Begleitung der Gewitter aufgetretenen Regenergebnisse sind jedoch kleinräumig sehr ungleichmäßig. Auf trockenem Boden hat Starkregen zudem einen schnellen oberflächlichen Abfluss zur Folge. Die Wasserversorgung des Waldes war daher 2008 örtlich sehr unterschiedlich.



Durch den Hagelsturm am 02. Juni 2008 stark geschädigte Kiefernbestände nördlich L497 zwischen Münchweiler und Rodalben
Aufnahme vom 27.08.2008

Foto: G. Kopp

Phänologische Beobachtungen an Traubeneichen an der Waldmessstation Merzalben im Pfälzerwald



Schwere Hagelschäden im Pfälzerwald

Die aktuellen Klimaprojektionen gehen für die Zukunft von einer Zunahme der Häufigkeit extremer Witterungsereignisse aus. Was auf unseren Wald zukommen könnte, lässt sich aus den Schäden erahnen, die ein schwerer Hagelsturm am 02. Juni 2008 im Forstamt Hinterweidenthal angerichtet hat. Im Südwesten der Ortschaft Merzalben wurden auf einer Waldfläche von etwa 300 ha durch den Hagel Nadeln und Blätter sowie Teile der Rinde an Zweigen und Stamm abgeschlagen. Betroffen sind vornehmlich Kiefernbestände mit Beimischungen aus Buche und Traubeneiche sowie Douglasien. Nach den Erfahrungen aus früheren Hagelschäden werden stärker geschädigte Kiefern absterben. Dies kann auch über eine Infektion durch den Pilz *Spaeropsis sapinea*, der über die Wunden in die Rinde eindringt, erfolgen. Die Laubbäume werden die Schäden voraussichtlich ausheilen. Allerdings werden durch die Überwältigung der Schäden an den Stämmen Beeinträchtigungen in der Holzqualität und damit in der Verwendungsmöglichkeit des Holzes verbleiben.

Die absterbenden Kiefern werden seit Herbst eingeschlagen und vermarktet, um eine Holzentwertung durch Bläuepilze zu vermeiden. Voraussichtlich werden insgesamt bis zu 45.000 Festmeter Schadh Holz anfallen. Größere Kahlfächen werden nicht entstehen, da die Kiefer hier, wie im Pfälzerwald üblich, nicht im Reinbestand, sondern in Mischung mit Laubbäumen stockt oder zumindest einen Unterstand aus Buche aufweist. Dennoch werden im Einzelfall Pflanzungsmaßnahmen notwendig sein, wie beispielsweise die Anlage von Traubeneichenkulturen und auf kleineren Flächen auch die Einbringung von Douglasie in die Lücken des übriggebliebenen Bestandes.



Foto: B. Metzler

Auch wenn die Bäume die Hagelschäden ausheilen - hier ein Hagelschaden aus dem Jahr 1999 am Stamm einer Buche - verbleiben Beeinträchtigungen in der Holzqualität



Foto: E. Eisenbarth

Sturmwurf durch den Orkan Kyrill im Winter 2007. Aller Voraussicht nach müssen wir im Zuge des Klimawandels mit einer Zunahme der Sturmschäden rechnen

Deutliche Zunahme von Sturmschäden im Wald

Vivian und Wiebke (1990), Lothar (1999), Kyrill (2007) und zuletzt Emma (2008), dass sind die Namen der Orkane, die auch im rheinland-pfälzischen Wald große Schäden angerichtet haben. In einem Projekt der Fachhochschule Eberswalde und der Technischen Universität Dresden werden Sturmschadereignisse in Deutschlands Wäldern dokumentiert (vgl. Majunke et al., AFZ 7/2008 S. 380-381). Die Auswertung der Sturmereignisse seit dem Jahr 1920 zeigte einen deutlichen Anstieg der Häufigkeit der Sturmschäden und der angefallenen Holz mengen auf dem Areal des jetzigen Hoheitsgebiets der Bundesrepublik

Deutschland. So fiel in den beiden letzten Dekaden (seit 1988) in Deutschland deutlich mehr Sturmholz an, als insgesamt in den sieben Dekaden davor. Ein Teil dieses Anstiegs liegt sicherlich an der Zunahme älterer, sturmwurfgefährdeter Waldbestände im Betrachtungszeitraum und an den gewachsenen Holzvorräten in deutschen Wäldern. Dennoch gehen die Autoren davon aus, dass der Anstieg der Sturmholzmenge im Wesentlichen der Häufung der Wetterextreme zugeordnet werden kann und ein weiterer Anstieg der Sturmschäden zu erwarten sei. Daher gilt es, unsere Wälder und die Waldbewirtschaftung an die steigenden Sturmwurfrisiken anzupassen.



Buchenvoranbau in einem Fichtenbestand im Forstamt Birkenfeld

Allgemeine Waldschutzsituation

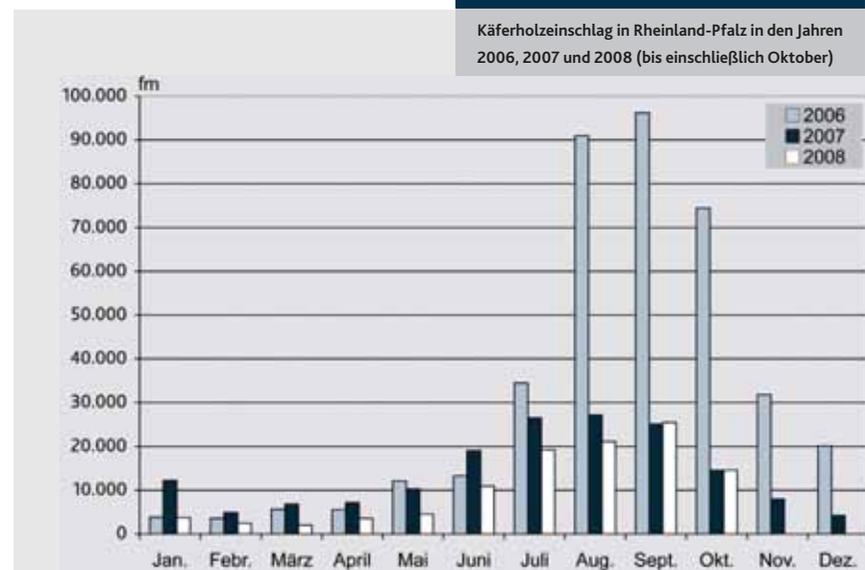
Auch blatt- und nadelfressende Schmetterlingsraupen, bast- oder wurzelfressende Käferlarven sowie wurzel-, nadel- und blätterbesiedelnde Pilze können einen erheblichen Einfluss auf die Baumvitalität und den Zustand unserer Wälder ausüben. Zudem häuften sich in den letzten Jahren Schäden durch abiotische Einwirkungen wie Sturm und Hagel.

Die Orkane Kyrill am 18.01.2007 und Emma am 01.03.2008 haben in den rheinland-pfälzischen Wäldern große Schäden angerichtet. Durch Kyrill fielen rund 2.000.000 fm und durch Emma etwa 600.000 fm Sturmholz an. Der größte Teil des Kalamitätsholzes ist inzwischen vermarktet. In Nasslagern befinden sich etwa 220.000 fm, in Trockenlagern ca. 30.000 fm und in Folienlagerung rund 15.000 fm. Die aufgrund der Sturmschäden zu befürchtende Massenvermehrung rindenbrütender Borkenkäfer hielt sich durch die rasche Aufarbeitung des Sturmwurfes und den günstigen Witterungsverlauf in den Jahren 2007 und 2008 in Grenzen. In 2007 fielen 166.000 fm und in 2008 bislang etwa 108.000 fm Käferholz an.

Der Verlauf der Flugaktivität des Buchdruckers (*Ips typographus*), als wichtigstem Fichtenborkenkäfer, wird in den Forstämtern Kaiserslautern (Pfälzerwald) und Hochwald (Hunsrück) mit Pheromonfallen überwacht. Sowohl in 2007 als auch in 2008 wurde in den wärmeren Lagen des Landes eine zweite Buchdruckergeneration fertig ausgebildet. In den kühleren Regionen wurde sie allenfalls noch angelegt aber in der Entwicklung nicht abgeschlossen. 2008 hat im August auch in den höheren Lagen der Ausflug der zweiten Generation begonnen.

Die Buchenkomplexkrankheit (Buchenrindennekrose), deren erneutes Auftreten seit dem Anfang des Jahrzehnts vor allem in der Eifel und im westlichen Hunsrück zu beobachten ist, ist weiter rückläufig. Sowohl Befallsfläche als auch Schadenmenge sind in den letzten Jahren merklich gesunken. Auch ist kein erneuter Stehendbefall durch den Laubnutzholzborkenkäfer (*Trypodendron domesticum*) aufgetreten.

Seit den 80er Jahren steigen die Populationsdichten des Waldmaikäfers (*Melolontha hippocastani*) in der Rheinebene an. Der Engerlingsfraß an den



Quelle: FIS Holz Land Produktion L-3

Wurzeln führt vor allem an jungen Bäumen zu Vitalitätseinbußen bis zum Absterben. Im Jahr 2007 war ein Flug des Südstammes im Forstamt Bienwald, im Jahr 2008 ein Flug des Nordstammes im Forstamt Pfälzer Rheinauen zu verzeichnen. Das Befallsgebiet hat sich deutlich ausgedehnt. Erheblich zugenommen haben auch die Schäden durch die Engerlinge. Im Forstamt Bienwald waren 2007 auf mehr als 600 ha Engerlingsschäden zu beobachten, wovon etwa 100 Hektar als „bestandesbedrohend“ eingewertet wurden.

In unseren Wäldern sind nach wie vor sehr deutlich die Spätfolgen des extremen Trocken- und Hitzejahres 2003 zu spüren. In den Eichenwäldern werden in allen Regionen des Landes noch erhebliche Schäden durch den Eichenprachtkäfer (*Agrius biguttatus*) festgestellt. Diese Entwicklung steht auch in Zusammenhang mit den in den Vorjahren landesweit in Eichenmischwäldern aufgetretenen Fraßschäden durch Schmetterlingsraupen. Die größten Schadflächen liegen in der Oberrheinebene. Dort haben sich auch Schäden durch Misteln (*Viscum album*) in Kiefernbeständen verstärkt. Der Mistelbefall führt vor allem im Zusammenhang mit Trockenstress zu einer erhöhten Absterberate der Kiefern. Erste Beobachtungen zeigen, dass die Mistel offenbar zunehmend auch die Kiefern im Pfälzerwald besiedelt. Deutlich ausgedehnt haben sich in den warm-trockenen Regionen des Landes auch die Befalls-herde des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea*). Wengleich auch diese Art an Eichen zu deutlichen Fraßschäden führen kann, liegt ihre Bedeutung eher im gesundheitlichen Be-

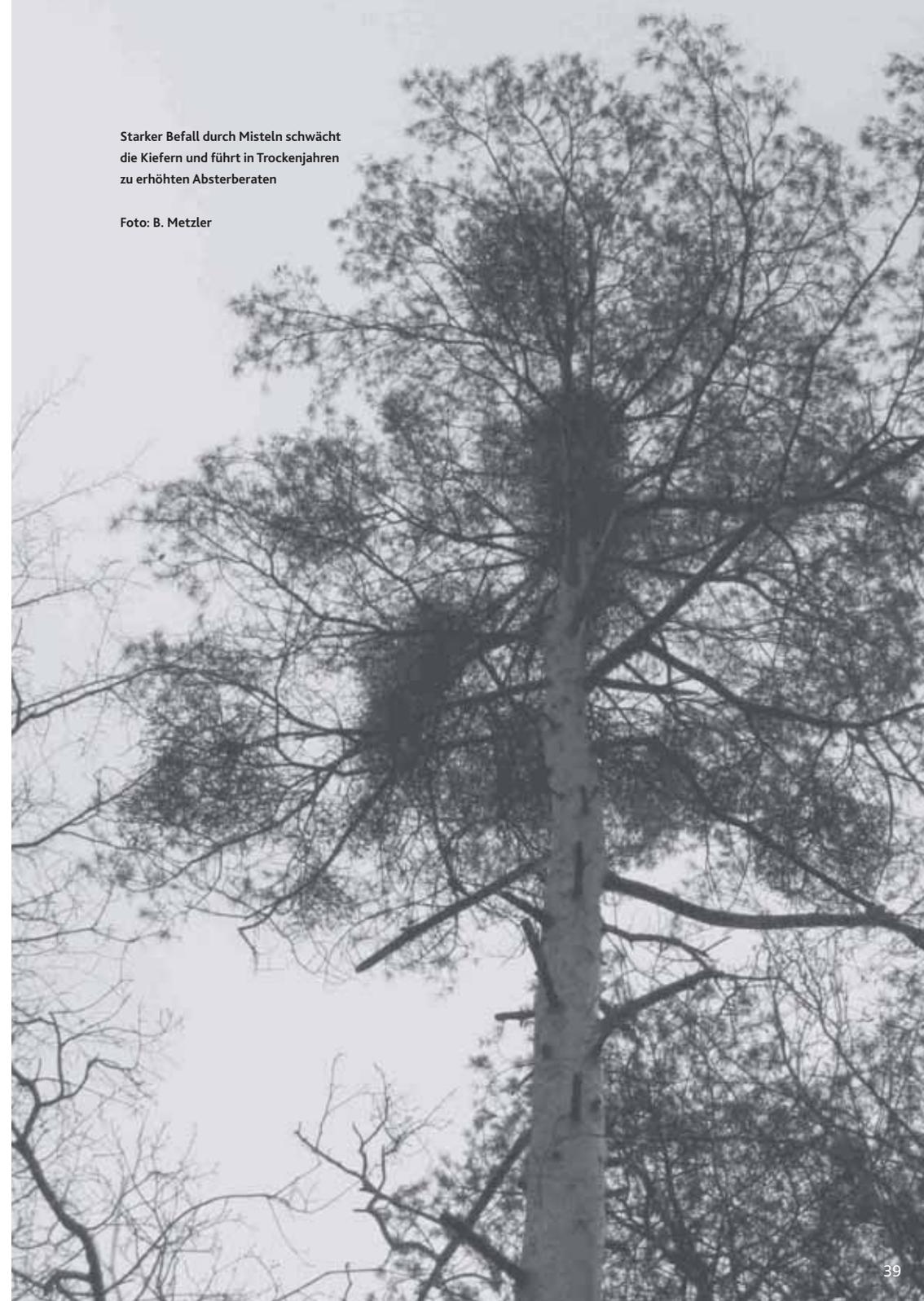
reich. Die Haare der älteren Raupen enthalten das Nesselgift Thaumetopein, das Haut- und Augenreizungen bis hin zu schweren Allergien auslösen kann. Im Jahr 2008 wurden auf ca. 150 Hektar die jungen Raupen, bevor sie die Brennhaare ausbilden, mit einem *Bacillus thuringiensis*-Präparat behandelt. Diese Maßnahme war zur Gesundheitsvorsorge an Orten mit Publikumsverkehr erforderlich, die nicht längere Zeit vor Betreten gesperrt werden können.

Seit dem Trockenjahr 2003 hat sich auch der Esskastanienrindenkrebs (*Cryphonectria parasitica*) in den Wäldern der Haardt ausgebreitet. Im Forstamt Haardt wurde 2007 auf etwa 30 Hektar der Befall als „bestandesbedrohend“ eingewertet.

Quarantäneschädlinge bzw. -schadorganismen, für die nach EU-Vorgaben besondere Bekämpfungsmaßnahmen erforderlich sind, wie der Asiatische Laubholzbockkäfer (*Anoplophora glabripennis*) (erste Funde im Nachbarland Nordrhein-Westfalen), der Kiefernholznematode (*Bursaphelenchus xylophilus*), die Japanische Esskastanien-Gallwespe (*Dryocosmus kuriphilus* und *Phytophthora ramorum*) wurden in den rheinland-pfälzischen Wäldern bislang nicht festgestellt.

Starker Befall durch Misteln schwächt die Kiefern und führt in Trockenjahren zu erhöhten Absterberaten

Foto: B. Metzler



BODENZUSTANDS- ERHEBUNG IM WALD (BZE)

Die ersten Befunde der zweiten Bodenzustandserhebung zeigen eine erhebliche Verbesserung des Waldbodenzustandes in Rheinland-Pfalz. So ist die Bodenversauerung an der Mehrzahl der Erhebungspunkte zwischen der BZE I im Jahr 1989 und der BZE II im Jahr 2006 erheblich zurückgegangen. Sowohl in der Humusaufgabe als auch in den oberen Mineralbodenhorizonten sind höhere pH-Werte und eine höhere Basensättigung festzustellen. Gestiegen sind auch die Vorräte an pflanzenverfügbarem Calcium und Magnesium im Waldboden. Im Bodenwasser sind die Sulfatschwefelgehalte gesunken. Diese positive Entwicklung unserer Waldböden ist im Wesentlichen auf die Bodenschutzkalkung und die Reduktion des Eintrags von Luftschadstoffen in den Waldboden zurückzuführen.



Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) ist Teil des bundes- und europaweit harmonisierten forstlichen Umweltmonitorings. In Rheinland-Pfalz erfolgt die BZE an den Stichprobenpunkten der Unterstichprobe der terrestrischen Waldzustandserhebung im landesweiten 4x12 km-Raster. Bei der BZE I im Jahr 1989 wurden die Untersuchungen an 143 Rasterpunkten, bei der Wiederholungsaufnahme im Jahr 2006 an 165 Rasterpunkten durchgeführt.

Das wesentlichste Ziel der BZE ist die Gewinnung von flächenrepräsentativen und bundesweit vergleichbaren Informationen über den aktuellen Zustand der Waldböden und deren Veränderungen im Laufe der Zeit. Hierzu werden umfangreiche Kennwerte insbesondere zu folgenden Themenfeldern erhoben:

- Bodenversauerung
- Stickstoffsättigung
- Kohlenstoffspeicherung
- Schwermetallanreicherung
- Belastung durch organische Schadstoffe
- Bodenwasserhaushalt
- Nährstoffpotential
- Gefahren für Grund- und Quellwasser
- Wirkung von Kalkung und Waldumbau.

Die BZE II wird in Rheinland-Pfalz in enger Koope-

ration der Landesforsten Rheinland-Pfalz (Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft, Trippstadt, Standortskartierung Koblenz) mit dem Landesamt für Geologie und Bergbau in Mainz und der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer durchgeführt. Auf Bundesebene wird die BZE vom Institut für Waldökologie und Waldinventuren des Johann Heinrich von Thünen-Instituts im Ressort des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz koordiniert. Auf europäischer Ebene ist die Erhebung in das BioSoil-Projekt im Rahmen des EU-Forest Focus-Programms eingebunden.

An den 165 Rasterpunkten der BZE II in Rheinland-Pfalz wurden insgesamt 200 Proben aus der Humusaufgabe und 1118 Proben aus dem Mineralboden gewonnen. An diesen Proben wurden insgesamt nahezu 70.000 chemische und physikalische Kenndaten erfasst. Während die Analytik weitgehend abgeschlossen ist, wird die umfassende Auswertung der komplexen Befunde noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Erste Auswertungen liegen aber bereits vor und zeigen eine deutliche Veränderung im Zustand unserer Waldböden.

Bodenversauerung zurückgegangen

Die Waldbodenversauerung ist landesweit deutlich gesunken. So lagen die pH_{CaCl_2} -Werte in der obersten Mineralbodentiefenstufe (0-5 cm) bei der BZE I (1989) noch an 11 % der beprobten Rasterpunkte im Bereich „äußerst sauer“ ($pH < 3,0$) und bei weiteren 65 % im Bereich „sehr stark sauer“ ($pH 3,0-3,8$). Bei der BZE II (2006) fielen in diese ungünstigen Stufen dagegen nur noch 2 % bzw. 47 % der Aufnahmepunkte. Ökologisch günstige pH-Werte im „mittel-sauren“ bis alkalischen Bereich ($pH > 5,0$) wurden 1989 an 8 %, 2006 dagegen an 25 % der Rasterpunkte ermittelt. Ein weiterer bedeutsamer Kennwert zur Beurteilung des Versauerungszustandes von Waldböden ist die Basensättigung. Diese gibt an, wie viel Prozent der Kationenaustauschkapazität (Bindungsplätze für Kationen im Boden) mit Calcium-, Magnesium-, Kalium- und Natriumionen belegt sind. Die Basensättigung ist ein Weiser für die Elastizität der Böden gegenüber Säurebelastungen und damit die Möglichkeit der Standorte Säurebelastungen ohne negative ökologische Konsequenz zu puffern. Der Anteil der beprobten Rasterpunkte, an denen die oberste Mineralbodentiefenstufe in die Bewertungen „sehr geringe“ und „geringe“ Elastizität eingruppiert werden mussten, hat sich von der BZE I zur BZE II mehr als halbiert (1989: 50 %, 2006: 23 %). Mehr als die Hälfte der Rasterpunkte weist im obersten Mineralboden inzwischen eine Basensättigung im mittleren bis hohen Bereich auf.

Bodenvorräte an pflanzenverfügbarem Calcium und Magnesium angestiegen

Die Vorräte der im Wurzelraum gespeicherten pflanzenverfügbaren Nährstoffe können zur Abschätzung der aktuellen und mittelfristigen Nährstoffversorgung der Bäume herangezogen werden. Als „pflanzenverfügbar“ wird bei Stickstoff der Gesamtgehalt, bei Calcium, Magnesium und Kalium der jeweilige austauschbare Gehalt in Humusauflage und Feinerde im Mineralboden bis 90 cm Tiefe angesehen.

Während sich die Stickstoff- und die Kaliumvorräte in Humusauflage und Mineralboden zwischen der BZE I und der BZE II nur wenig unterscheiden, sind die Vorräte an Calcium und Magnesium an vielen Standorten sehr deutlich angestiegen. Im Jahr 1989 lagen an nahezu der Hälfte der beprobten Rasterpunkte die Vorräte beider Nährstoffe noch in den Bewertungsstufen „sehr gering“ und „gering“. Hier unterschreitet der Bodenvorrat an diesen Elementen den in der oberirdischen Biomasse älterer Waldbestände gespeicherten Vorrat. Aktuell ist dagegen nur noch etwa ein Siebtel des landesweiten Aufnahmekollektivs in diese ungünstigen Gruppen hinsichtlich der Bereitstellung dieser wichtigen Nährelemente aus dem Boden einzuwerten.

Sulfatschwefelkonzentrationen gesunken

Aus den in einem wässrigen Extrakt des Bodens gemessenen Konzentrationen an Sulfationen lässt sich auf den Sulfatgehalt in der Bodenlösung (in den Bodenporen vorhandenes Wasser) schließen und der voraussichtlich der Auswaschung unterliegende Anteil an Sulfat abschätzen. Der Vergleich der Befunde der BZE I mit den Befunden der BZE II zeigt an der Mehrzahl der Standorte eine deutliche Abnahme der Sulfatkonzentrationen unterhalb des Hauptwurzelraumes. Die deutliche Verringerung der Emission an Schwefeldioxid und die damit verbundene Reduktion des Sulfatschwefeleintrags in die Waldökosysteme (vgl. Kap. „Entwicklung der Luftschadstoffbelastung“), schlägt sich somit nachweisbar landesweit auch in einer Verringerung der Sulfatfracht des Bodenwassers nieder. Dies ist für die Waldökosysteme von großer Bedeutung, da hohe Sulfataustragsraten mit hohen Auswaschungsverlusten an bedeutsamen Nährstoffkationen (Mg, K, Ca) oder einer zunehmenden Versauerung des Unterbodens durch Verlagerung von Säurekationen (insbesondere Al) verbunden sind.

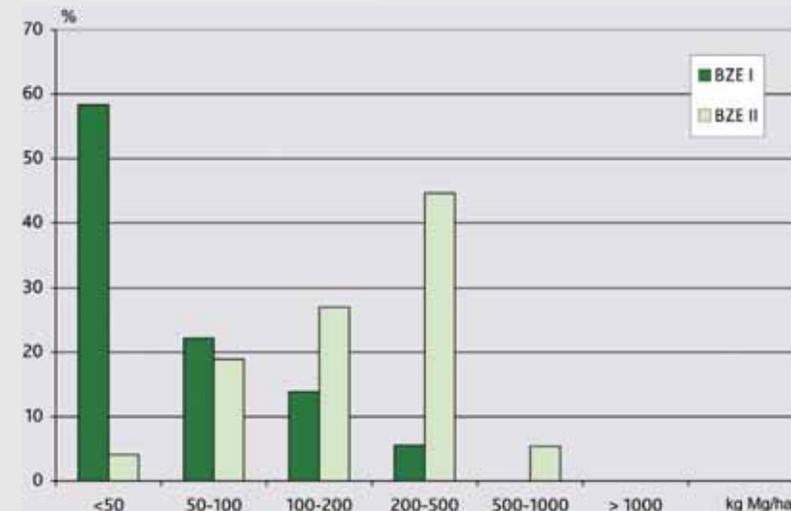
Bodenschutzkalkung wirksam

Die deutliche Verbesserung des Waldbodenzustandes seit der ersten Waldbodenzustandserhebung im Jahr 1989 ist der Erfolg des Zusammenwirkens mehrerer Maßnahmen. Zum einen konnten die Einträge versauernd wirkender Luftschadstoffe in den Wald deutlich reduziert werden (vgl. Kap. „Entwicklung der Luftschadstoffbelastung“). Hierdurch sind auch die Konzentrationen mobiler Anionen in der Bodenlösung und damit die Austragsraten an Nährstoffkationen gesunken. Weiterhin wirkt sich der ökologische Waldbau, insbesondere der Voranbau von Buche in Fichtenreinständen positiv auf den Bodenzustand aus. Die tief wurzelnde Buche ist in der Lage als Basenpumpe vor allem Calcium und Magnesium aus den unteren Bodenschichten mit den Wurzeln aufzunehmen und über die Blattstreu in den Oberboden zu verlagern. Das Land Rheinland-Pfalz investiert im Staatswald auf jährlich 850 ha 1-1,5 Mio. Euro in den langfristigen Umbau von über 33.000 ha Fichtenwäldern in Mischwälder. Im Wald anderer Besitzarten wird der Waldbau durch Fördergelder unterstützt. Ein sehr deutlicher Effekt geht von der Bodenschutzkalkung aus. In Rheinland-Pfalz summiert

sich die Kalkung von 1983 bis 2008 auf etwa 630.000 Hektar, wobei besonders versauerungsgefährdete Waldflächen bereits wiederholt gekalkt wurden. Der weitaus größte Anteil der Kalkungsmaßnahmen (ca. 550.000 Hektar) erfolgte im Zeitraum zwischen der BZE I und der BZE II.

Da in Rheinland-Pfalz in der Regel ein magnesiumreicher Dolomit zur Bodenschutzkalkung verwendet wird, zeigt sich die positive Wirkung der Bodenschutzkalkung auf den Waldboden besonders deutlich an den pflanzenverfügbaren Magnesiumvorräten im Oberboden (Humusauflage und Mineralboden bis 30 cm Tiefe). Während sich die Vorräte an den nicht gekalkten Rasterpunkten nur wenig verändert haben, sind die Magnesiumvorräte an den gekalkten Aufnahmepunkten erheblich angestiegen. Auch die Calciumvorräte sind an den gekalkten Rasterpunkten deutlich erhöht. Parallel hierzu haben sich Versauerungsindikatoren wie pH-Wert und Basensättigung erheblich verbessert.

Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Vorräte an austauschbarem Magnesium in Humusauflage und Mineralboden bis 30 cm Tiefe zwischen BZE I (1989) und BZE II (2006) an gekalkten Aufnahmepunkten



pH-Werte im Mineralboden (0-5 cm Tiefe)

BZE I (1989)



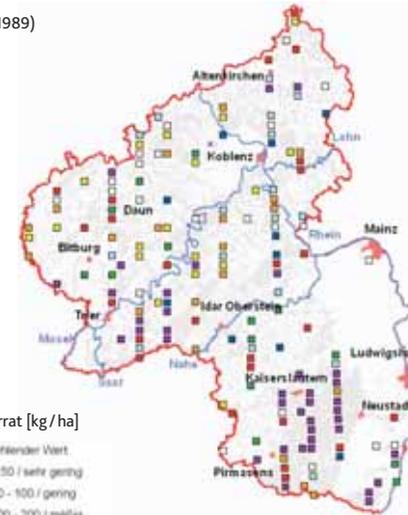
BZE II (2006)



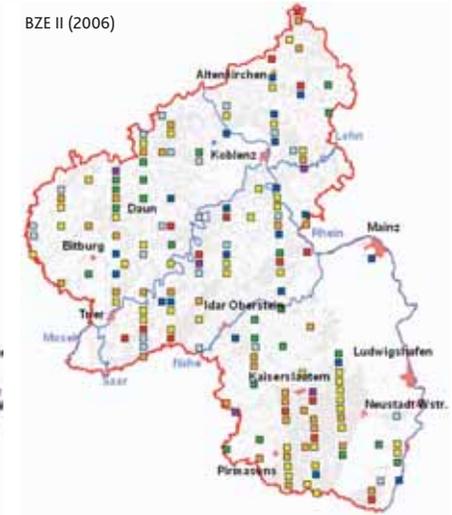
pH_{CaCl2}

Magnesiumvorräte (austauschbare Gehalte) im Waldboden (Humusaufgabe und Mineralboden bis 90 cm Tiefe)

BZE I (1989)



BZE II (2006)



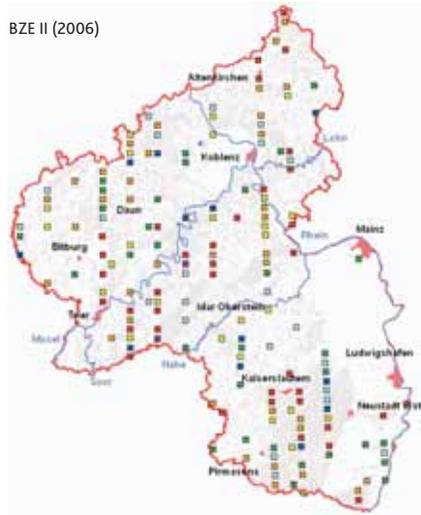
Mg-Vorrat [kg/ha]

Basensättigung im Mineralboden (0-5 cm Tiefe)

BZE I (1989)



BZE II (2006)



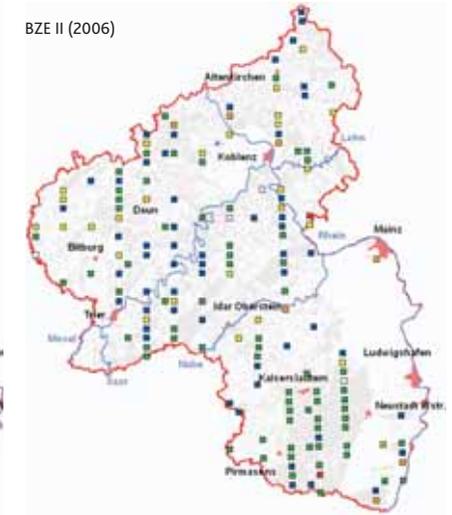
Basensättigung [%] / Elastizität

Sulfatschwefelkonzentration im wässrigen Extrakt des unteren Mineralbodens (60-200 cm Tiefe)

BZE I (1989)



BZE II (2006)



S-SO₄ [mg/l]

Anhang 1

Entwicklung der Waldschäden nach Baumarten im Vergleich der Jahre 1984 bis 2008 über alle Alter

Anteile der Schadstufen [in %]

Baumart	Jahr	Anteile der Schadstufen [in %]					
		ohne Schadensmerkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2-4	mittelstark geschädigt 2	stark geschädigt 3	abgestorben 4
Fichte	2008	44	37	19	17,2	1,1	0,6
	2007	45	34	21	18,8	1,2	1,0
	2006	35	42	23	21,5	1,0	0,9
	2005	32	46	22	20,1	0,9	0,7
	2004	40	38	22	20,8	1,1	0,5
	2003	39	36	25	23,1	0,8	0,7
	2002	46	35	19	17,0	1,2	0,7
	2001	56	30	14	12,9	0,6	0,2
	2000	47	40	13	11,9	0,6	0,3
	1999	41	43	16	15,3	0,6	0,3
	1998	47	38	15	13,5	1,0	0,3
	1997	55	31	14	13,3	0,6	0,2
	1996	51	36	13	11,3	0,8	0,4
	1995	53	35	12	10,6	0,6	0,4
	1994	52	35	13	11,8	0,6	0,2
	1993	63	29	8	6,6	1,6	0,0
	1992	63	27	10	8,1	1,4	0,0
	1991	57	33	10	8,9	1,3	0,2
	1990	57	36	7	6,2	0,6	0,0
	1989	59	32	9	8,1	0,9	0,0
	1988	55	36	9	8,1	0,5	0,0
	1987	56	33	11	10,1	0,8	0,3
	1986	57	33	10	8,8	0,5	0,2
	1985	59	32	9	8,0	0,5	0,1
	1984	64	29	7	7,0	0,2	0,2

Anteile der Schadstufen [in %]

Baumart	Jahr	Anteile der Schadstufen [in %]					
		ohne Schadensmerkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2-4	mittelstark geschädigt 2	stark geschädigt 3	abgestorben 4
Kiefer	2008	32	48	20	17,3	1,7	0,5
	2007	37	48	15	14,1	0,7	0,2
	2006	31	51	18	16,9	0,4	0,4
	2005	30	51	19	17,2	1,1	0,5
	2004	27	54	19	17,4	0,7	1,1
	2003	24	57	19	17,9	0,5	0,2
	2002	40	49	11	9,6	0,9	0,7
	2001	43	46	11	8,6	1,2	0,8
	2000	34	56	10	9,4	0,5	0,0
	1999	30	61	9	8,9	0,5	0,0
	1998	32	60	8	6,8	0,4	0,4
	1997	40	53	7	6,2	0,3	0,5
	1996	31	61	8	7,1	0,2	1,0
	1995	33	58	9	7,5	0,0	1,2
	1994	46	47	7	6,5	0,1	0,6
	1993	37	56	7	7,1	0,0	0,0
	1992	42	53	5	5,1	0,0	0,0
	1991	40	51	9	8,5	0,0	0,2
	1990	41	55	4	3,9	0,1	0,1
	1989	43	52	5	5,0	0,1	0,2
	1988	42	51	7	7,1	0,0	0,1
	1987	48	46	6	5,6	0,0	0,4
	1986	39	54	7	6,1	0,1	0,3
	1985	35	51	14	13,0	0,6	0,4
	1984	36	52	12	11,0	0,5	0,1

Anteile der Schadstufen [in %]

Baumart	Jahr	ohne Schadensmerkmale	schwach geschädigt	Summe deutlich geschädigt	mittelstark geschädigt	stark geschädigt	abgestorben
		0	1	2-4	2	3	4
Buche	2008	17	41	42	40,4	1,0	0,1
	2007	17	47	36	34,5	1,0	0,1
	2006	13	34	53	51,8	1,4	0,1
	2005	10	46	44	42,8	1,2	0,0
	2004	9	28	63	60	3,3	0,0
	2003	12	38	50	48,5	1,1	0,3
	2002	18	31	51	50,1	0,6	0,4
	2001	17	46	37	36,3	0,8	0,1
	2000	10	54	36	34,9	0,9	0,3
	1999	13	44	43	40,7	2,6	0,0
	1998	15	44	41	40,7	0,6	0,6
	1997	20	45	35	34,2	0,7	0,1
	1996	14	52	34	33,9	0,3	0,2
	1995	15	50	35	34,4	0,5	0,0
	1994	18	45	37	35,0	1,6	0,0
	1993	23	53	24	22,5	1,7	0,0
	1992	22	50	28	26,1	1,7	0,0
	1991	33	50	17	16,7	0,6	0,1
	1990	29	53	18	16,4	2,0	0,0
	1989	37	45	18	17,3	0,2	0,1
	1988	38	44	18	17,1	0,3	0,1
	1987	44	44	12	11,4	0,4	0,1
	1986	49	42	9	8,3	0,4	0,1
	1985	46	47	7	6,4	0,3	0,1
	1984	53	39	8	7,7	0,4	0,0

Anteile der Schadstufen [in %]

Baumart	Jahr	ohne Schadensmerkmale	schwach geschädigt	Summe deutlich geschädigt	mittelstark geschädigt	stark geschädigt	abgestorben
		0	1	2-4	2	3	4
Eiche	2008	8	32	60	56,8	3,4	0,2
	2007	9	41	50	46,8	2,5	0,4
	2006	12	30	58	54,3	3,4	0,4
	2005	7	38	55	53,0	2,1	0,4
	2004	17	42	41	38,4	2,5	0,2
	2003	8	39	53	52,0	1,2	0,1
	2002	24	49	27	25,1	1,2	0,8
	2001	19	46	35	33,5	1,3	0,5
	2000	15	56	29	26,6	1,6	0,8
	1999	7	43	50	45,1	3,7	1,1
	1998	5	38	57	53,2	3,5	0,8
	1997	13	33	54	50,0	3,3	0,6
	1996	9	41	50	47,7	1,9	0,2
	1995	19	54	27	26,7	0,7	0,0
	1994	16	46	38	35,4	2,5	0,1
	1993	27	47	26	26,1	0,0	0,0
	1992	32	50	18	17,1	0,4	0,0
	1991	37	48	15	14,0	0,4	0,3
	1990	38	54	8	7,4	0,2	0,4
	1989	37	50	13	11,5	1,1	0,1
	1988	39	46	15	14,9	0,4	0,1
	1987	46	47	7	7,1	0,0	0,1
	1986	46	45	9	8,7	0,2	0,0
	1985	46	43	11	10,2	0,6	0,1
	1984	58	34	8	7,0	0,6	0,0

Anteile der Schadstufen [in %]

Baumart	Jahr	ohne Schadensmerkmale	schwach geschädigt	Summe deutlich geschädigt	mittelstark geschädigt	stark geschädigt	abgestorben
		0	1	2-4	2	3	4
Sonstige	2008	41	42	17	15,3	1,2	0,3
Baumarten	2007	37	39	24	20,5	2,6	0,5
	2006	30	36	34	30,5	3,0	0,3
	2005	35	45	20	17,2	2,2	0,5
	2004	36	39	25	22,4	2,5	0,4
	2003	37	41	22	20,0	2,1	0,3
	2002	54	30	16	14,0	1,5	0,4
	2001	63	28	9	8,1	0,9	0,2
	2000	51	42	7	6,4	0,7	0,4
	1999	47	42	11	9,3	1,2	0,5
	1998	50	39	11	10,1	0,4	0,8
	1997	55	31	14	12,2	1,0	0,7
	1996	60	27	13	11,4	0,9	1,0
	1995	65	21	14	12,1	1,1	0,6
	1994	61	28	11	9,4	1,2	0,3
	1993	74	20	6	4,0	0,5	1,2
	1992	62	32	6	2,6	3,8	0,0
	1991	67	26	7	6,4	0,4	0,3
	1990	66	28	6	4,7	1,7	0,0
	1989	67	26	7	4,7	1,0	0,8
	1988	74	22	4	3,6	0,4	0,3
	1987	76	19	5	4,1	0,4	0,1
	1986	78	17	5	4,0	0,8	0,0
	1985	78	18	4	3,5	0,5	0,1
	1984	75	18	7	5,7	0,6	0,5

Anteile der Schadstufen [in %]

Baumart	Jahr	ohne Schadensmerkmale	schwach geschädigt	Summe deutlich geschädigt	mittelstark geschädigt	stark geschädigt	abgestorben
		0	1	2-4	2	3	4
Alle	2008	29	40	31	29,0	1,6	0,4
Baumarten	2007	31	41	28	26,4	1,6	0,5
	2006	25	39	36	34,1	1,8	0,5
	2005	24	45	31	29,1	1,4	0,5
	2004	27	39	34	31,7	2,0	0,4
	2003	26	41	33	31,5	1,1	0,4
	2002	38	38	24	22,8	1,1	0,6
	2001	41	38	21	19,6	0,9	0,4
	2000	34	48	18	17,0	0,8	0,4
	1999	29	46	25	22,6	1,5	0,4
	1998	33	42	25	23,2	1,1	0,4
	1997	38	38	24	22,7	1,1	0,4
	1996	36	42	22	20,9	0,8	0,5
	1995	39	42	19	17,6	0,6	0,4
	1994	39	40	21	19,3	1,2	0,2
	1993	46	40	14	12,8	0,9	0,2
	1992	46	41	13	11,7	1,5	0,0
	1991	47	41	12	10,8	0,6	0,2
	1990	47	44	9	7,7	0,9	0,1
	1989	50	40	10	9,4	0,7	0,2
	1988	50	39	11	10,1	0,3	0,1
	1987	54	37	9	8,1	0,4	0,2
	1986	54	38	8	7,5	0,4	0,1
	1985	54	37	9	8,1	0,5	0,1
	1984	58	34	8	7,5	0,5	0,2

Probebaumkollektiv 2008 gegenübergestellt zum Vergleich 1984

Art (Gattung)	2008		1984	
	Anzahl	Anteil (in %)	Anzahl	Anteil (in %)
Fichte	3.011	27,1	3.371	33,0
Buche	2.308	20,7	1.918	18,8
Eiche	2.061	18,5	1.706	16,7
Kiefer	1.620	14,5	1.628	15,9
Lärche	354	3,2	349	3,4
Douglasie	455	4,1	359	3,5
Esche	171	1,5	96	0,9
Hainbuche	294	2,6	224	2,2
Birke	159	1,4	111	1,1
Ahorn	161	1,4	62	0,6
Edelkastanie	84	0,8	53	0,5
Tanne	57	0,5	63	0,6
Erle	108	1,0	27	0,3
Kulturpappel	68	0,6	52	0,5
Eberesche	28	0,3		
Aspe	29	0,3	31	0,3
Linde	38	0,3	42	0,4
Kirsche	50	0,4	32	0,3
Roteiche	37	0,3	29	0,3
Strobe	6	0,1	19	0,2
Salweide	5	0,1		
Mehlbeere	3	0,0		
Elsbeere	5	0,1		
Robinie	11	0,1	9	0,1
Weiden	8	0,1	7	0,1
Ulme	2	0,0	9	0,1
Holzapfel	1	0,0		
Pflaume	1	0,0		
Weißdorn	1	0,0		
nicht spezifiziert			27	0,2
Insgesamt	11.136	100,0	10.224	100,0

Abkommen und gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung

Maßnahme	Jahr	Ziel
Internationale Abkommen und Richtlinien		
Montreal-Protokoll	1987	Schutz der stratosphärischen Ozonschicht
Europäische Abkommen zur Luftreinhaltung im Rahmen der UN-ECE-Verhandlungen:		
Helsinki-Protokoll	1985	1. und 2. Schwefel-Protokoll zur Reduzierung der Schwefelemissionen
Oslo-Protokoll	1994	Rückführung der Stickstoffoxidemissionen
Sofia-Protokoll	1988	Rückführung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen
Genfer-Protokoll	1991	Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon
Göteborg-Protokoll	1999	
Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie und		
1. Tochterrichtlinie für SO ₂ , NO ₂ , PM10 und Blei	1996	Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität
	1999	EU-Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft
2. Tochterrichtlinie für Benzol und CO	2000	EU-Immissionsgrenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft
3. Tochterrichtlinie über den Ozongehalt der Luft	2002	Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation
4. Tochterrichtlinie über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und PAK in der Luft	2004	Zielwerte in der Luft, die bis 2012 eingehalten werden sollen
Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa	2008	Zielwerte in der Luft, die bis 2012 eingehalten werden sollen
Thematische Strategie zu Luftreinhaltung (AFE = Clean Air For Europe)		
	2005	Verbesserter Schutz der menschlichen Gesundheit, Reduzierung der Versauerung und Eutrophierung
Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe	2002	Festsetzen von nationalen Emissionshöchstgrenzen für die Mitgliedstaaten bei den Schadstoffen SO ₂ , NO _x , NH ₃ und VOC
VOC-Richtlinie	1999	Begrenzung von Emissionen flüchtiger, organischer Verbindungen
Abfallverbrennungsrichtlinie	2000	Emissionsbegrenzung bei der Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen
Großfeuerungsanlagen-Richtlinie	2001	Begrenzung von Schadstoffemissionen von Großfeuerungsanlagen in die Luft
Emissionshandelsrichtlinie	2003	System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten
Nationale Regelungen		
Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)	2005	Neufassung vom September 2002
1. BImSchV	2003	Neufassung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen
2. BImSchV	2004	Neufassung der Verordnung über die Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen, halogenierten organischen Verbindungen
3. BImSchV	2002	Neufassung der Verordnung über den Schwefelgehalt bestimmter flüssiger Kraft- oder Brennstoffe

Maßnahme	Jahr	Ziel
10. BImSchV	2004	Neufassung der Verordnung über die Beschaffenheit der Qualitäten von Kraftstoffen
13. BImSchV	2004	Neufassung der Verordnung über Großfeuerungsanlagen
17. BImSchV	2003	Emissionsbegrenzung bei der Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen
20. BImSchV	2002	Neufassung der Verordnung zur Begrenzung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen
21. BImSchV	2002	Neufassung der Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen
22. BImSchV	2007	Neufassung der Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft
28. BImSchV	2005	Emissionsgrenzwerte bei Verbrennungsmotoren
31. BImSchV	2004	Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen
33. BImSchV	2004	Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen
35. BImSchV	2006	Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung
36. BImSchV	2006	Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote
TA Luft	2002	Neufassung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Emissionsbegrenzung bei Industrieanlagen nach dem Stand der Technik
Änderungen des Kfz-Steuergesetzes	1997	Ausrichtung der Kfz-Steuer für Pkw nach dem Emissionsverhalten
EURO 1 Norm für Pkw	1991	Verschärfung der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 1992/93
EURO I Norm für Lkw	1991	Verschärfung der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 1992/93
EURO II Norm für Lkw	1991	2. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 1995/96
EURO 2 Norm für Pkw	1994	2. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 1996/97
EURO 3 Norm für Pkw	1998	3. Stufe der Abgasgrenzwerte ab 2000/2001
EURO 4 Norm für Pkw	1998	4. Stufe der Abgasgrenzwerte ab 2005/2006
EURO 5 Norm für Pkw	2006	5. Stufe der Abgasgrenzwerte ab 2009/2010
EURO III Norm für LKW	1999	3. Stufe der Abgasgrenzwerte ab 2000
EURO IV Norm für LKW	1999	4. Stufe der Abgasgrenzwerte ab 2005
EURO V	1999	5. Stufe der Abgasgrenzwerte (NO ₂) ab 2008

Das Waldmonitoring in Rheinland-Pfalz ist eingebunden in das deutsche und europäische Forstliche Umweltmonitoring.

Die Kronenzustandserhebungen auf dem 16x16 km-EU-Raster und die Intensivuntersuchungen auf 7 Level-II-Flächen wurden bis 2006 im Rahmen des EU-Forest Focus-Programms von der Europäischen Union finanziell unterstützt.

Das europaweite Forstliche Umweltmonitoring soll im Rahmen des EU-LIFE+-Programms fortgeführt werden.