



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,  
ERNÄHRUNG, WEINBAU  
UND FORSTEN

# WALDZUSTANDS- BERICHT 2011



Landesforsten  
Rheinland-Pfalz

## Impressum

### Herausgeber

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten  
Kaiser-Friedrich-Straße 1  
55116 Mainz  
Telefon: 06131 16-0, Fax: 06131 165926  
[www.mulewf.rlp.de](http://www.mulewf.rlp.de)  
[www.wald-rlp.de](http://www.wald-rlp.de)

Mainz, November 2011

### Gestaltung

Zentralstelle der Forstverwaltung  
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz  
Hauptstraße 16  
67705 Trippstadt  
Telefon: 06306 911-0, Fax: 06306 911-200  
[zdf.fawf@wald-rlp.de](mailto:zdf.fawf@wald-rlp.de)  
[www.fawf.wald-rlp.de](http://www.fawf.wald-rlp.de)

### Titelbild:

Begutachtung eines fruktifizierenden  
Buchenzweigs  
Foto: Th. Wehner

# WALDZUSTANDS- BERICHT 2011

---

	Seite
<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>Waldzustand 2011 im Überblick</b>	<b>6</b>
<b>Waldzustandserhebung (WZE)</b>	<b>10</b>
<b>Einflüsse auf den Waldzustand</b>	<b>28</b>
Entwicklung der Luftschadstoffbelastung	29
Witterungsverhältnisse	38
Blüte und Fruktifikation	42
Allgemeine Waldschutzsituation	47
<b>Kohlenstoffspeicherung in Waldökosystemen</b>	<b>54</b>
<b>Erfolgreiche Luftreinhaltung in Rheinland-Pfalz</b>	<b>58</b>
<b>Anhänge</b>	
Entwicklung der Waldschäden	70
Probebaumkollektiv 2011	76
Abkommen und gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung	77

# VORWORT



Der vorliegende Waldzustandsbericht 2011 zeigt in besonderem Maße, wie komplex die Zusammenhänge sind, die den jeweiligen Waldzustand ausmachen. Eine jährliche Betrachtung alleine reicht für eine Beurteilung der Gesamtsituation nicht aus. Hierfür sind Zeitreihen und Ergebnisse aus Dauerbeobachtungen, die über Stichproben hinausgehen, erforderlich.

Die Wechselwirkungen der den Zustand bestimmenden Faktoren untereinander, deren zeitliche Veränderung und das damit sich auch immer wieder neu ergebende Zusammenspiel sind von Bedeutung. Wir glauben, die Systeme und die biologisch bedingten Prozesse zu kennen. Doch die Auseinandersetzung mit den Fragen, die sich oft erst im Rahmen einer langfristigen Umweltbeobachtung ergeben, zeigt, dass wir bei vielen Punkten noch am Anfang stehen. Natur ist vielfältig und wir wissen, dass wir sie durch teilweise massive Einwirkungen beeinflussen. Der Waldzustandsbericht ist einer von vielen Indikatoren, der uns aufzeigt, welche Wirkungen sich ergeben und wie es um eine nachhaltige Entwicklung bestimmt ist.

Das Jahr 2011 ist durch einen auffälligen Witterungsverlauf geprägt, der in dieser Form mit Sicherheit nur sehr selten auftritt. Einem viel zu trockenen Frühjahr folgte ein verregener Sommer. Der Wald musste in seiner jahreszeitlichen Entwicklung mit Extremsituationen leben, von



denen wir heute noch nicht wissen, wie sie sich in Zukunft auswirken werden. Gleichzeitig trugen die Bäume das „klimatische Gedächtnis“ der vorausgegangenen Periode in sich, welches zu einer bislang nur selten da gewesenen Blüte beigetragen hat. Es haben sich sozusagen Extreme überkreuzt und den Waldzustand geprägt. Der Bericht widmet sich diesen Faktoren daher in besonderem Maße und veranschaulicht die Zusammenhänge.

Neben den aktuellen Ereignissen sind es aber auch die langfristigen Entwicklungen der Umweltbedingungen, die den Wald beeinflussen. Die Rolle des Waldes als Kohlenstoffspeicher macht deutlich, dass wir nicht nur über eine Anpassung an den Klimawandel sprechen dürfen. Der Wald ist einerseits Betroffener, vor allem aber auch maßgeblicher Speicher, um CO<sub>2</sub> binden zu können. Alle Aspekte einer Anpassung an den Klimawandel einerseits sowie einer Minderung der verursachenden Komponenten andererseits laufen im Wald wie in nur wenigen anderen Ökosystemen zusammen. Er reagiert – aber er bewirkt auch.

Die Einwirkungen unserer modernen Gesellschaft auf den Wald durch industrielle, automobilen und landnutzungsbedingte Einflüsse werden im Abschnitt „Luftreinhalte in Rheinland-Pfalz“ in einer in dieser Form nur selten aufbereiteten Vollständigkeit dargestellt. Wir können auf

Erfolge zurückblicken, sehen aber auch die Notwendigkeit für weiteres Handeln. Die Beispiele zeigen in eindrucksvoller Form, dass es möglich ist, bei erkannten Gefahren umzudenken, gegenzusteuern und letztlich auch Erfolg zu haben.

Das seinerzeit in Aussicht gestellte Waldsterben ist in der projizierten Form nicht eingetreten, weil rechtzeitig Maßnahmen ergriffen wurden. Der Waldzustandsbericht war hierbei der „Fühler am Puls des Patienten Wald“.

Wir wissen heute, dass die Herausforderungen neue Dimensionen annehmen. Unsere Anstrengungen zur nachhaltigen Verbesserung der Umweltbedingungen, welche maßgeblich auch durch die Energiewende geprägt sind, werden herausragende Bedeutung haben. Doch auch die Stärkung der Systeme von Innen heraus, d.h. die Reaktivierung ökosystemarer Kreisläufe im Sinne von naturnaher Waldbewirtschaftung muss unser Handeln prägen.

Ulrike Höfken  
Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung,  
Weinbau und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz

# WALDZUSTAND 2011



# EIN ÜBERBLICK

---

Der Kronenzustand der Waldbäume in Rheinland-Pfalz hat sich im Jahr 2011 gegenüber dem Vorjahr deutlich verschlechtert. Der Anteil an Bäumen mit deutlichen Schäden ist um 7 Prozentpunkte auf 33 % angestiegen. Der Anteil schwach geschädigter Bäume ist um 5 Prozentpunkte auf jetzt 39 % und der Anteil an Bäumen ohne sichtbare Schadensmerkmale um 2 Prozentpunkte auf 28 % gesunken. Besonders deutlich verschlechtert hat sich der Kronenzustand der Buche, weniger gravierend der von Kiefer. Bei der Fichte zeigte sich keine wesentliche Veränderung im Kronenzustand. Für die Eiche war sogar eine leichte Verbesserung zu beobachten.

Die gravierende Verschlechterung des Kronenzustands bei der Buche dürfte im Wesentlichen auf die sehr starke Fruktifikation im Jahr 2011 zurückzuführen sein. Auch die außergewöhnlich warme und trockene Witterung im Frühjahr dürfte zu dem beobachteten Anstieg der Kronenverlichtung beigetragen haben.

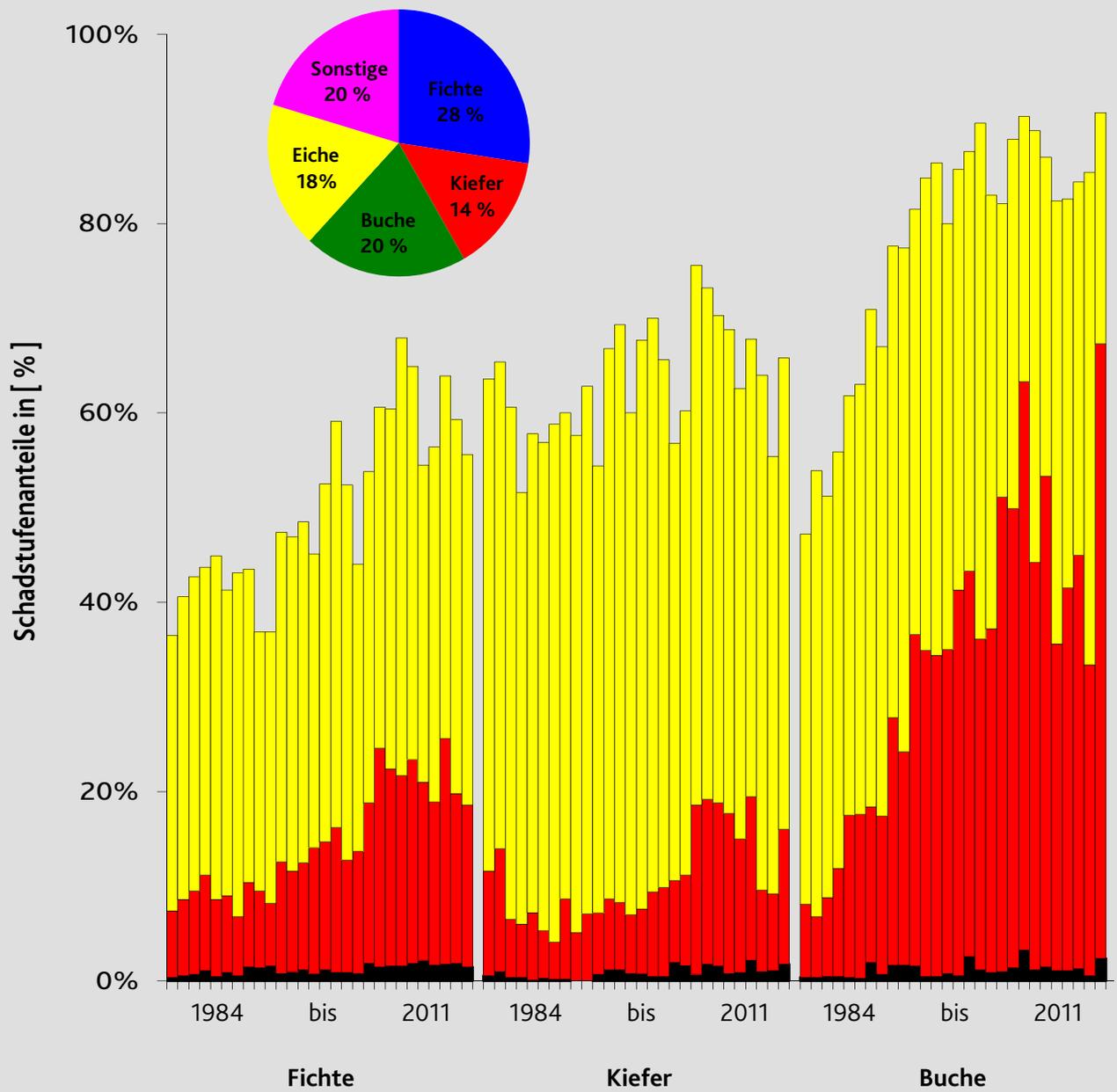
Die Belastung der Waldökosysteme durch Luftschadstoffe hat sich in den letzten Jahrzehnten erheblich verringert. Dank durchgreifender Luftreinhaltemaßnahmen ist die Schwefeldioxidbelastung um mehr als 90 % gesunken. Auch der Säureeintrag hat sich seit Mitte der 1980er Jahre etwa halbiert. Sehr deutlich zurückgeführt werden konnte auch die Belastung der Waldökosysteme durch Schwermetalle. So ist der Bleieintrag in den Waldboden seit der Einführung des bleifreien Benzins um mehr als 90 % zurückgegangen. Demgegenüber konnten die Stickstoffeinträge in den Wald bislang nur unzureichend reduziert werden. Sie überschreiten an der Mehrzahl der Waldstandorte nach wie vor die Schwellenwerte

der Ökosystemverträglichkeit. Beim Ozon hat sich die Anzahl der Tage mit Überschreitungen, der für den Gesundheitszustand der Bevölkerung wichtigen Informationsschwelle, merklich reduziert. Demgegenüber sind die für die Pflanzen bedeutsamen mittleren Ozonbelastungen nicht wesentlich verändert.

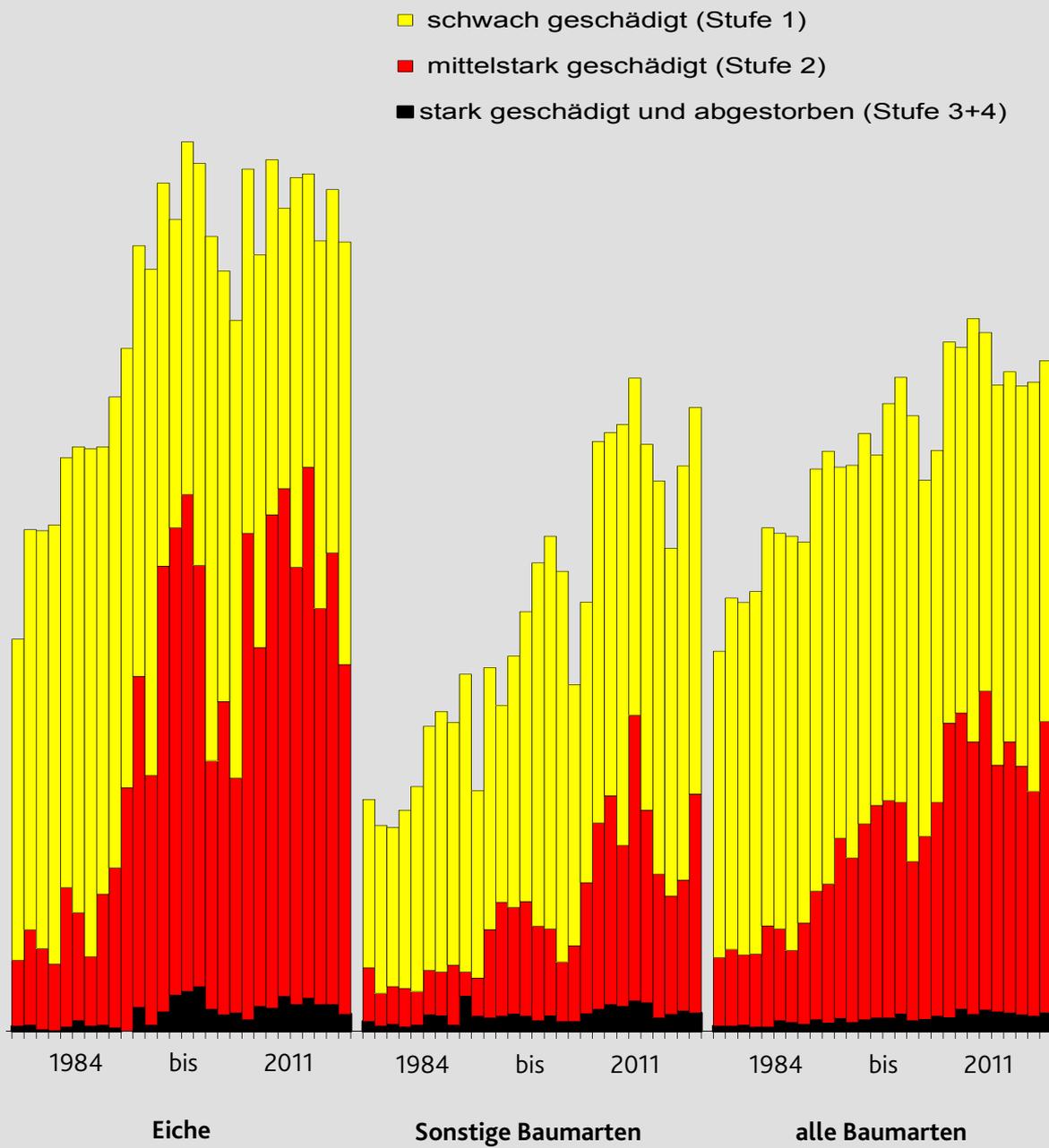
Der Einfluss witterungsbedingter Belastungen ist in den letzten Jahren merklich angestiegen. In den letzten zwei Jahrzehnten waren 19 Vegetationszeiten im Vergleich zum langjährigen Mittel zu warm. Dies gilt auch für die Vegetationszeit des Jahres 2011. Wie in den Vorjahren traten auch im aktuellen Jahr lokale Extremereignisse, insbesondere Hagelstürme, auf, die örtlich beträchtliche Schäden im Wald verursacht haben. Die Schäden durch Borkenkäferbefall sind im Jahr 2011 aufgrund der außergewöhnlichen Frühjahrswitterung wieder angestiegen.

Unsere Wälder spielen wegen ihrer erheblichen Kohlenstoffspeicherung eine wichtige Rolle im Klimaschutz. In den rheinland-pfälzischen Wäldern sind aktuell etwa 180 Millionen Tonnen organisch gebundener Kohlenstoff gespeichert. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Bindung von etwa 660 Millionen Tonnen. Der bedeutsamste Kohlenstoffspeicher ist der aufstockende Waldbestand, gefolgt vom Mineralboden und der Humusaufgabe. In unserem walddreichen Land mit bereits hohen Holzvorräten sind die Möglichkeiten, die Kohlenstoffspeicherung in den Wäldern zu erhöhen und damit einen weiteren Teil des Klimagases CO<sub>2</sub> beständig zu binden, eng begrenzt. Daher gilt es, auch im Klimawandel stabile und vorratsreiche Wälder zu erhalten oder aufzubauen.

Anteil der Baumarten an der Stichprobe



## Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 2011 in Rheinland-Pfalz



# WALDZUSTANDS- ERHEBUNG (WZE)



Die jährliche Waldzustandserhebung stützt sich auf 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 2011 hat sich der Kronenzustand der Waldbäume fast durchgehend verschlechtert. Lediglich die Eiche zeigt, ausgehend von einem hohen Schadniveau, eine Verbesserung der Belaubung. Bei der Fichte ist keine Veränderung im Schadniveau festzustellen. Alle anderen Baumarten, insbesondere die Buche, aber auch Lärche und Hainbuche haben sich in ihrem Kronenzustand verschlechtert. Über alle Baumarten und Altersstufen ist der Anteil deutlich geschädigter Bäume und die mittlere Kronenverlichtung angestiegen.

### Durchführung

Die Waldzustandserhebung erfolgt seit 1984 auf einem systematischen, landesweiten Stichprobenraster. 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. Im Jahr 2011 wurde der Kronenzustand an den Punkten der Unterstichprobe aufgenommen. Dabei wurden in Rheinland-Pfalz an 162 Aufnahmepunkten insgesamt 3.864 Stichprobenbäume begutachtet. An einem Aufnahmepunkt wurde der Waldbestand in Folge von Sturmwurfschäden mit nachfolgendem Borkenkäferbefall vollständig genutzt. An diesem Punkt kann erst wieder eine Aufnahme erfolgen sobald der nachfolgende Jungbestand etabliert ist.

Die Unterstichprobe erlaubt statistisch abgesicherte Aussagen zur Schadensentwicklung der Hauptbaumarten auf Landesebene.

Die Außenaufnahmen erfolgten einschließlich

26 Aufnahmepunkte sind zugleich Teil des europaweiten Level I-Monitoringnetzes zum Waldzustand. Die auf diesen Punkten erhobenen Daten gehen in die bundesdeutsche und europäische Waldzustandserhebung ein. Weitere Informationen finden Sie im Internet unter [www.futmon.org](http://www.futmon.org) und [www.icp-forests.org](http://www.icp-forests.org)

Schulung und Kontrollaufnahmen in der Zeit vom 25. Juli bis 18. August 2011.

### Waldzustand allgemein

Für die gesamte Waldfläche von Rheinland-Pfalz über alle Baumarten und Altersstufen hat sich der Zustand des Waldes gegenüber dem Vorjahr verschlechtert. Der Anteil deutlicher Schäden ist um 7 Prozentpunkte höher als in 2010. Die mittlere Kronenverlichtung liegt um 1,8 Prozentpunkte höher als der Wert des Vorjahres; diese Veränderung ist signifikant.

Die Entwicklung bei den einzelnen Baumarten differiert erheblich. Besonders deutlich hat sich der Kronenzustand der Buche, weniger gravierend der von Kiefer und den meisten Nebenbaumarten verschlechtert. Bei der Fichte zeigte sich keine Veränderung im Kronenzustand. Für die Eiche war sogar eine leichte Verbesserung zu beobachten.

Besonders auffällig war 2011 der Fruchtanhang, der bei allen Baumarten ohne Ausnahme zu beobachten war. Der Witterungsverlauf 2011 war wechselhaft. Zunächst begann der Winter kalt und schneereich, doch schon der Januar war zu warm und zu trocken. Diese warm-trockene Periode hielt bis Ende Mai an und führte zu einer relativ frühen und raschen Vegetationsentwick-

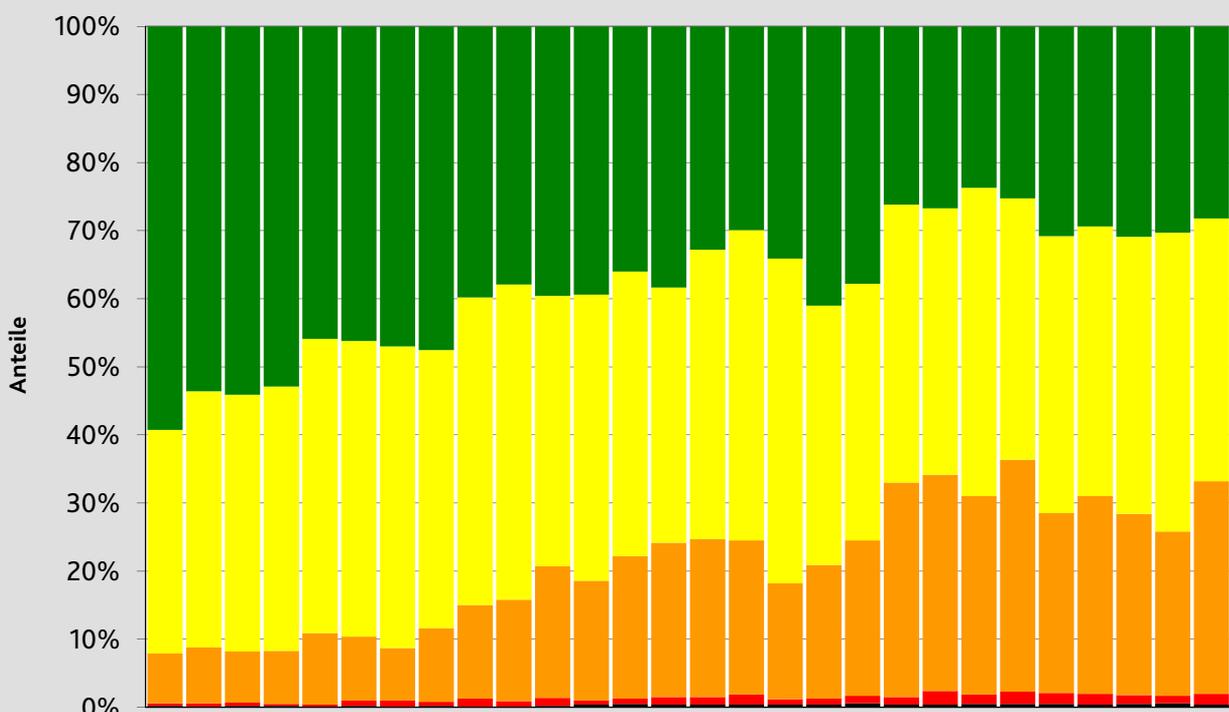
lung. In die Vegetationsentwicklung traf ein Spätfrostereignis, das aber im Wald nur lokal und begrenzt zu Schäden führte. Die Trockenperiode im Frühjahr war so ausgeprägt, dass regional Trockenstress für die Waldbäume in der sensiblen Phase des Frühjahrswachstums aufgetreten ist. Der Juni brachte dann überdurchschnittlich hohe Niederschläge und es folgte ein normal warmer aber niederschlagsreicher Sommer.

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

Lokale Gewitterstürme führten kleinfächig zu Schäden durch Sturmwurf oder Hagelschlag. Der Witterungsverlauf begünstigte die Entwicklung von Pilzen. So wurden Blattpilze immer wieder beobachtet; Mehltaubefall an Eiche trat aber nur lokal und weniger intensiv als im Vorjahr auf.



### Entwicklung der Schadstufenverteilung über alle Baumarten von 1984 bis 2011



## Fichte

Die Fichten sind in ihrem Kronenzustand gegenüber dem Vorjahr weitgehend unverändert geblieben. Der Anteil der deutlich geschädigten Probestämme ist um 1 Prozentpunkt zurückgegangen, der Anteil der Probestämme ohne sichtbare Schädigungsmerkmale um 4 Prozentpunkte höher. Die mittlere Kronenverlichtung ist um 1,0 Prozentpunkte geringer als im Vorjahr; diese Verbesserung ist jedoch nicht signifikant.

Die Fichten leiden aber stärker als die meisten anderen Baumarten unter Schadereignissen, besonders Sturmwurf oder Borkenkäferbefall, die zu einem ungeplanten, vorzeitigen Ausfall der Bäume führen. In 2011 war bei 29 der insgesamt 49 ausgeschiedenen Fichten-Probestämme Sturmwurf oder Insektenbefall die Ursache.

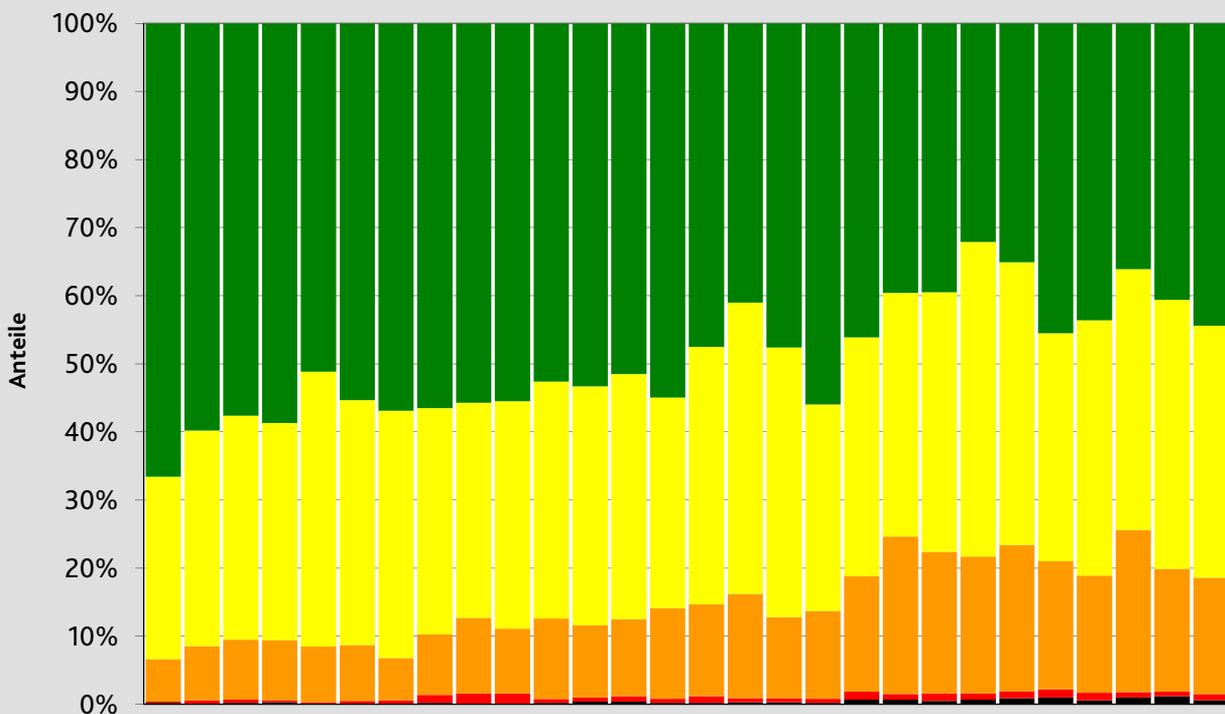
Die Ausscheiderate ist mit 4,5 % der Baumzahl überdurchschnittlich hoch. Darunter sind auch 21

Probestämme des Aufnahmepunktes, der in einem vollständig durch Sturmwurf mit nachfolgendem Borkenkäferbefall zerstörten Waldbestand lag. So ist seit 2003 das Niveau der Kronenverlichtung bei Fichten zwar stabil mit einem Trend zur Verbesserung, die Ausscheiderate jedoch durchgehend über dem Durchschnitt aller Baumarten.

In 2011 war bei Fichten selbst in den jüngsten Altersstufen sehr häufiger Fruchtanhang zu beobachten. Trotz dieser natürlichen Belastung blieb das Niveau der Kronenverlichtung unverändert. Auch der ungünstige Witterungsverlauf im Frühjahr hat den Fichten offensichtlich nicht zugesetzt. Die ausgiebigen Sommerniederschläge verhinderten offenbar größere Schäden. Allerdings sind die Borkenkäferschäden 2011 wieder merklich angestiegen.

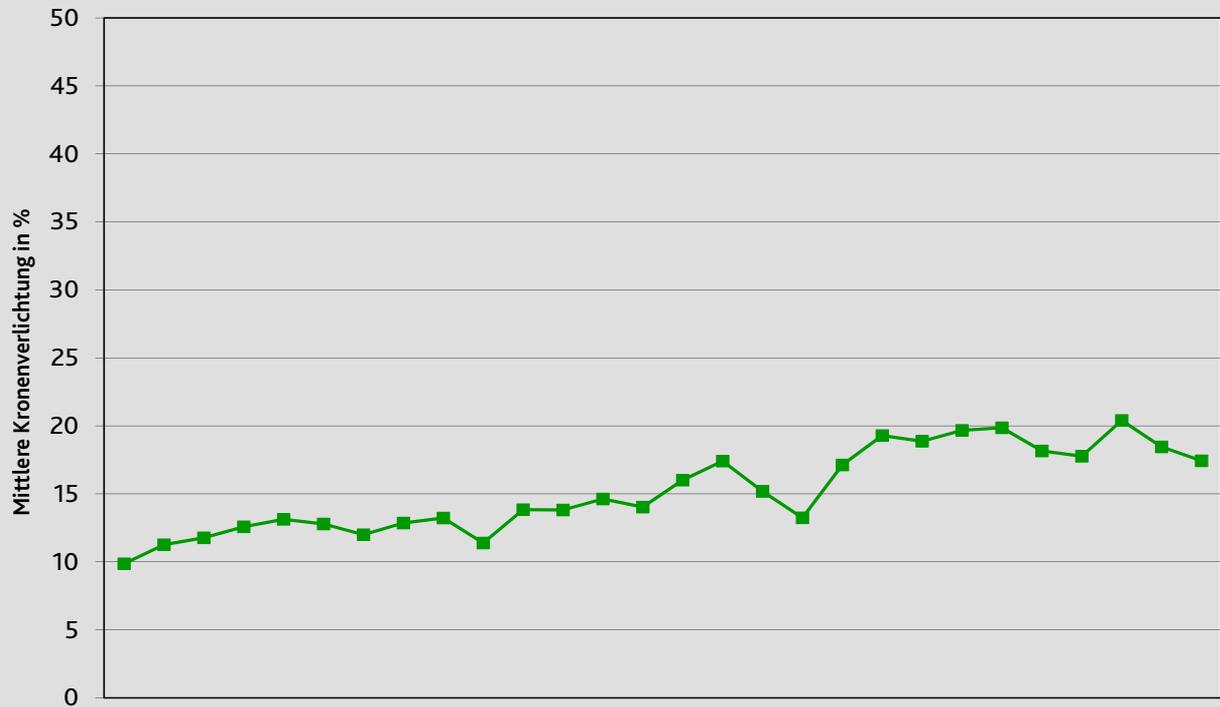
## Fichte

Entwicklung der Schadstufenverteilung von 1984 bis 2011



## Fichte

### Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung von 1984 bis 2011



## Buche

Das Niveau der Kronenschäden ist bei Buche erheblich angestiegen. Der Anteil der deutlichen Schäden hat sich um 33 Prozentpunkte fast verdoppelt und der Anteil an Probestämmen ohne sichtbare Schädmerkmale ging um 6 Prozentpunkte zurück. Die mittlere Kronenverlichtung liegt um 9 Prozentpunkte höher als der Vorjahreswert. Damit hat die Buche sogar das Schadniveau des Jahres 2004 übertroffen.

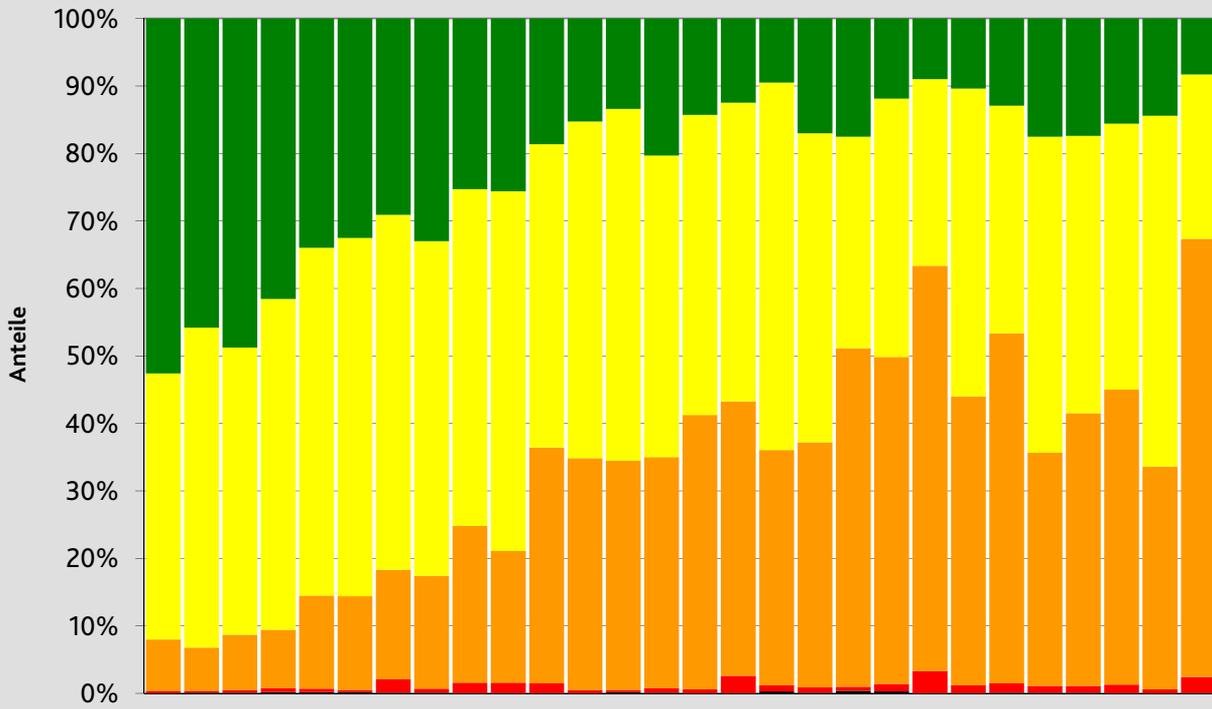
2011 war für die Buche ein außergewöhnlich starker Fruchtanhang zu beobachten, der den Kronenzustand zu großen Teilen geprägt hat. In den letzten Jahren ist damit bei Buche recht regelmäßig alle 2 Jahre erhebliche Fruktifikation festzustellen. Nur bei knapp 10 % der über 60-jährigen Buchen konnte 2011 kein Fruchtanhang gefunden werden. Selbst bei den jüngeren Buchen war an fast 50 % der Probestämme Fruchtanhang zu beobachten. Für Buche ist in der langen Zeitreihe der Waldzustandserhebung bereits öfter dokumentiert, dass stärkerer Fruchtanhang Auslöser für eine

Verschlechterung des Kronenzustandes ist. Auch in 2011 zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Anstieg der mittleren Kronenverlichtung und der Intensität des Fruchtanhangs. Jedoch zeigt sich auch, dass die Fruktifikation nicht einzige Ursache der Verschlechterung ist. So ist auch bei den Buchen ohne Fruchtanhang ein Anstieg der mittleren Kronenverlichtung gegeben. Eingehendere Informationen zum Einfluss der Fruktifikation auf die Kronenzustandsentwicklung finden sich im Kapitel „Blüte und Fruktifikation“.

Schäden durch blattfressende Insekten oder Befall durch Blattpilze wurden nicht häufiger als im Vorjahr beobachtet. Loch- und Minierfraß durch den Buchenspringrüssler (*Rhynchaenus fagi*) war an rund 10 % der Probestämme am häufigsten aufgetreten, stärkerer Befall aber nur an einem einzelnen Aufnahmepunkt festzustellen. Blattbräune durch den Pilz *Apiognomonium errabunda* wurde zwar immer wieder beobachtet, jedoch überwiegend mit geringem Befall im Bereich der Schattkrone. Damit

## Buche

Entwicklung der Schadstufenverteilung  
von 1984 bis 2011



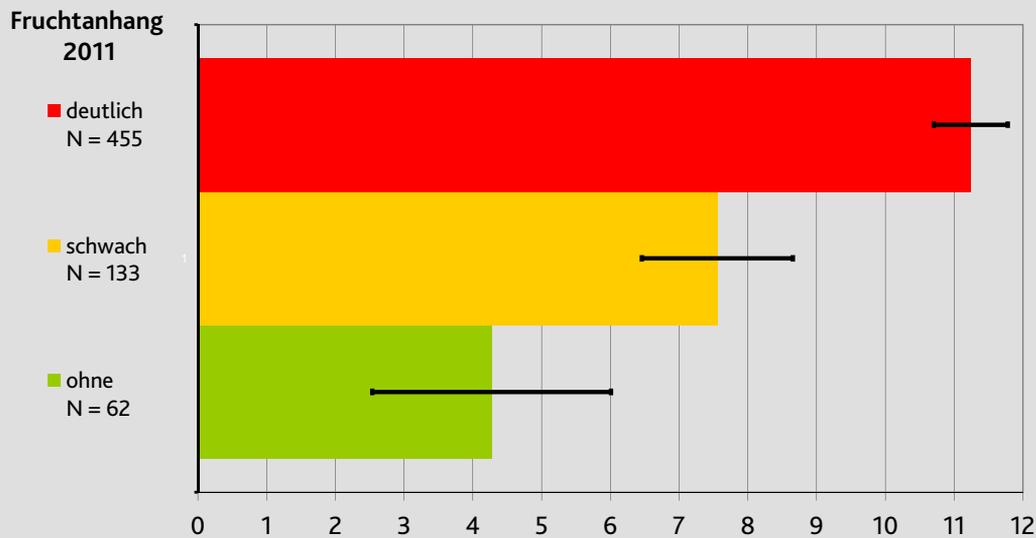
## Buche

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung  
von 1984 bis 2011



## Buche

Buche älter 60 Jahre, Veränderung der mittleren Kronenverlichtung in Prozentpunkten von 2010 auf 2011 nach der Intensität des Fruchtanhanges



blieb sie ohne Einfluss auf die Kronenverlichtung. Vergilbung war in 2011 wegen des etwas späteren Termins der Erhebung öfter als im Vorjahr notiert worden. Deutliche Vergilbung war an 13 % aller Buchen festgehalten worden, aber nur bei 2 % in einem nennenswerten Umfang. Eine gut sichtbare gelbe Eigenfärbung der Blätter trat damit eher selten auf. Weit häufiger war eine fahlgrüne bis gelbgrüne Verfärbung der Blätter in der oberen Lichtkrone zu erkennen gewesen, die aber nicht

als Vergilbung notiert wird. Solche Verfärbungen waren ab Ende Juli zu sehen und deuten auf eine vorzeitige Blattalterung hin. Zu vermuten ist, dass der witterungsbedingt außergewöhnlich frühe Austrieb der Buchen in Kombination mit der ausgeprägten Frühjahrstrockenheit und der überaus starken Fruktifikation zur frühzeitigen Vergilbung der Buchenblätter beigetragen haben (vgl. Kap. „Witterungsverhältnisse“ und „Blüte und Fruktifikation“).

## Eiche

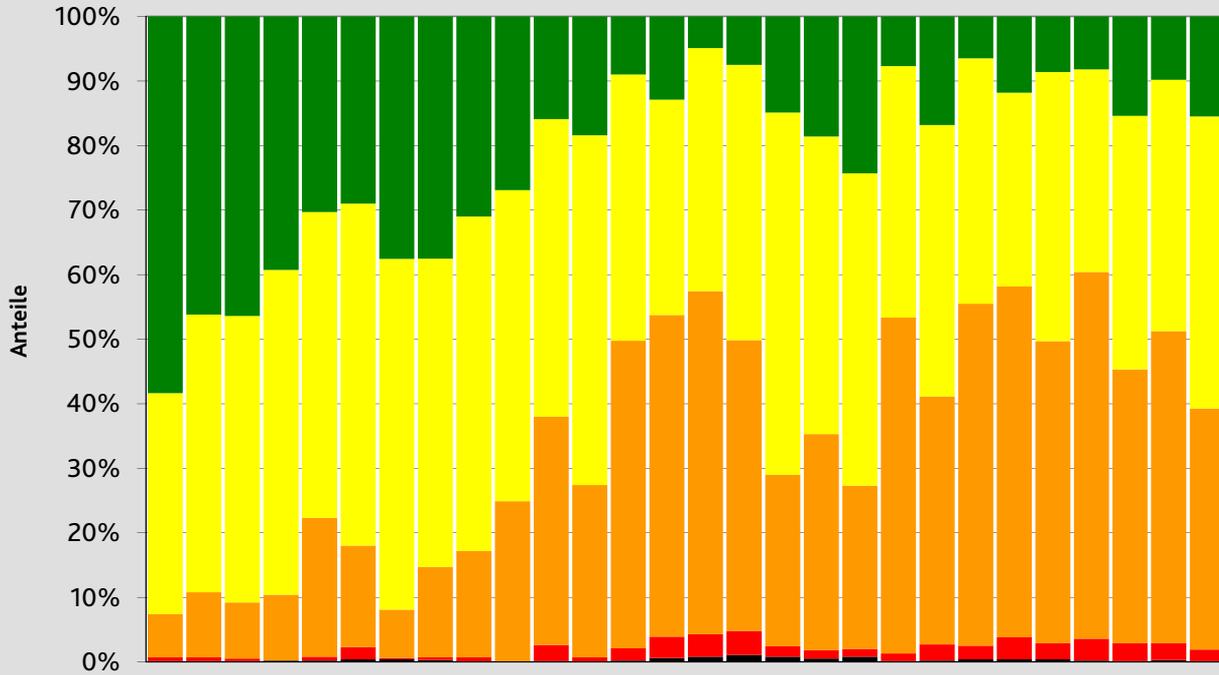
Der Kronenzustand der Eichen hat sich in 2011 verbessert. Der Anteil deutlich geschädigter Probestämme ist um 12 Prozentpunkte gegenüber dem Vorjahr zurückgegangen; der Anteil der Eichen ohne sichtbare Schadmerkmale ist um 6 Prozentpunkte höher. Die mittlere Kronenverlichtung ist um 3 Prozentpunkte niedriger als im Vorjahr. Trotz dieser signifikanten Verbesserung ist das Schadniveau nach wie vor hoch. Auch bei den Eichen war in 2011 teilweise starker Fruchtanhang zu beobachten. Das Ausmaß ist aber zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung nur unzureichend abschätzbar, so dass keine Aussagen zum Einfluss auf den Kronenzustand abge-

leitet werden können.

Die Eichen erleiden regelmäßig mehr oder minder starke Schäden durch blattfressende Insekten. In 2011 wurden an 29 % der Probestämme Fraßschäden beobachtet. Der nach den Fraßschäden erfolgte Neuaustrieb wird häufig von Mehltau befallen. In Teilen der Eifel war an zum Feldrand stehenden Eichen immer wieder Mehltau zu beobachten. Im Kollektiv der Waldzustandserhebung wurde dieser Blattpilz in 2011 aber nur an einem der Probestämme festgestellt, so dass davon auszugehen ist, dass der Befall gegenüber dem Vorjahr wesentlich geringer ist und ohne merklichen Einfluss blieb.

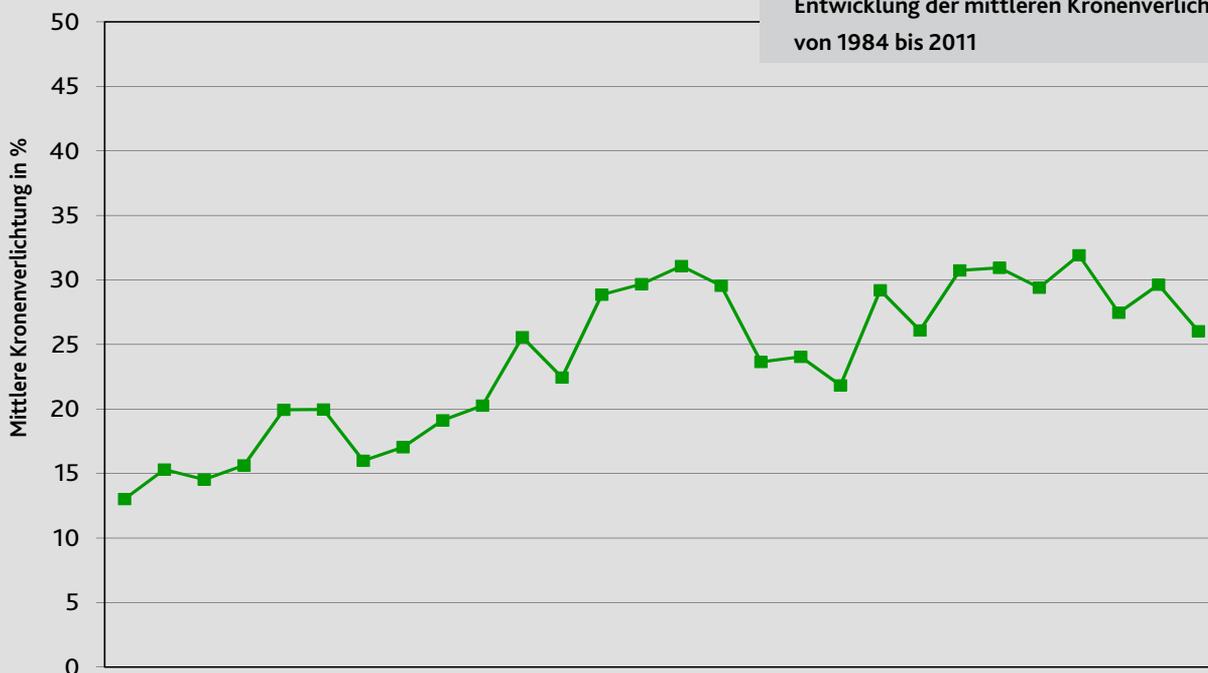
## Eiche

Entwicklung der Schadstufenverteilung  
von 1984 bis 2011



## Eiche

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung  
von 1984 bis 2011



## Kiefer

Bei den Kiefern hat sich der Kronenzustand gegenüber dem Vorjahr verschlechtert. Der Anteil an Bäumen mit deutlichen Schäden ist gegenüber dem Vorjahr um 7 Prozentpunkte höher und die mittlere Kronenverlichtung ist um 3 Prozentpunkte angestiegen. Dennoch zeigen die Kiefern nach wie vor ein vergleichsweise geringes Schadenniveau. Mit nur 3 Nadeljahrgängen reagieren sie vergleichsweise flexibel mit variierender Benadelungsdichte und können unter günstigen Bedingungen auch rasch regenerieren.

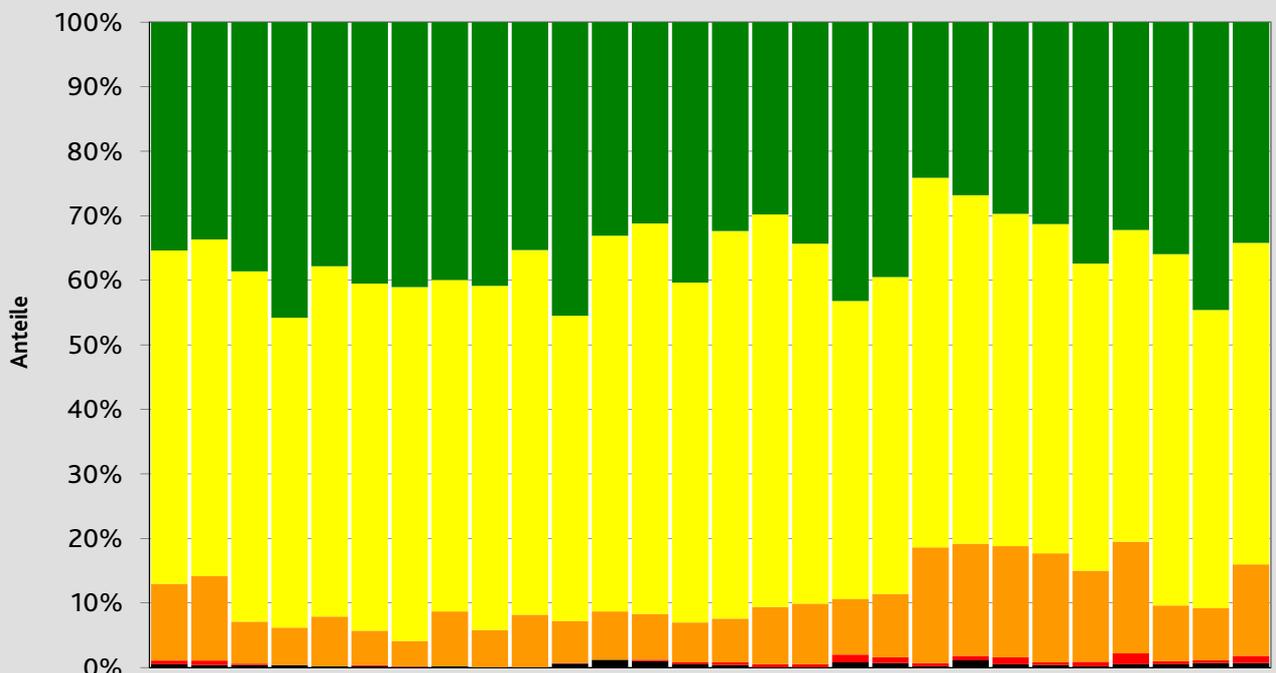
Bei den Kiefern zeigte sich dieses Jahr teilweise bereits Anfang August eine deutliche Verfärbung und Schütte des ältesten Nadeljahrganges. Dies

tritt normalerweise erst im September auf. Denkbar ist, dass die in diesem Jahr außergewöhnlich früh einsetzende Vegetationszeit und die damit vermutlich zusammenhängende frühere Schütte des älteren Nadeljahrgangs neben den nachfolgend erläuterten Einflussfaktoren für den Anstieg der Verlichtung mit verantwortlich ist.

Bei 21 % der Kiefern war Reifefraß durch Waldgärtner, einen auf Kiefern spezialisierten Borkenkäfer, zu beobachten. Durch den Reifefraß sterben einzelne einjährige Triebe ab. Bei wiederholtem Befall kann es dadurch zu Störungen in der Verzweigung kommen.

## Kiefer

Entwicklung der Schadstufenverteilung von 1984 bis 2011



An 12 % der Probestämme wurde Befall mit Mistel festgestellt. Starker Befall mit der Kiefernmistel bedeutet für den betroffenen Baum eine Belastung, da sie die Kiefernadeln verdrängt und auch in Trockenzeiten Wasser verdunstet und so den Trockenstress des Baumes verstärkt. Starker Mistelbefall äußert sich daher in der Regel in einem schlechteren Kronenzustand.

So ist der Anteil deutlicher Schäden unter den von Mistel oder von Waldgärtner befallenen Kiefern höher, als bei den Bäumen ohne erkennbaren Befall.

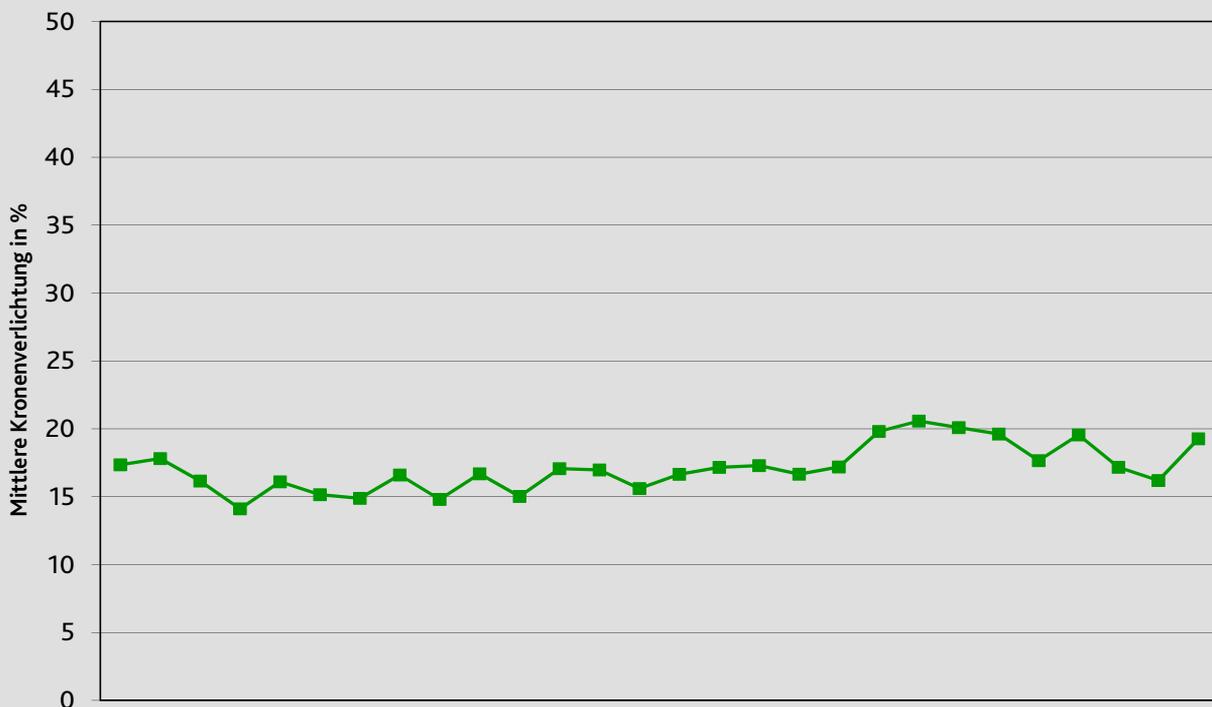
Im Sommer 2011 sind lokal Gewitterstürme mit Hagelschlag aufgetreten. Die Kiefer reagiert sehr

empfindlich auf stärkere Hagelschäden, da Nadeln und Zweige in der Folge rasch von dem Pilz *Sphaeropsis sapinea* befallen und zum Absterben gebracht werden. In der Folge ergibt sich dann ein typisches Schadbild, in dem die dem Hagel exponierten Kronenteile braune Nadeln aufweisen. Es war jedoch keiner der Aufnahmepunkte der Waldschadenserhebung hierdurch betroffen.

Die Kiefern zeigen regelmäßigen und reichlichen Fruchtanhang, so auch im Jahr 2011; dieser hat jedoch keinen erkennbaren Einfluss auf den Kronenzustand.

## Kiefer

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung von 1984 bis 2011



## Douglasie

Die Douglasien zeigen seit Beginn der Erhebung 1984 einen merklichen Anstieg im Niveau der Kronenschäden. Allerdings variieren die Schadstufenverteilungen und die mittlere Kronenverlichtung von Jahr zu Jahr erheblich, was auch der nur geringen Anzahl an Stichprobenbäumen geschuldet ist.

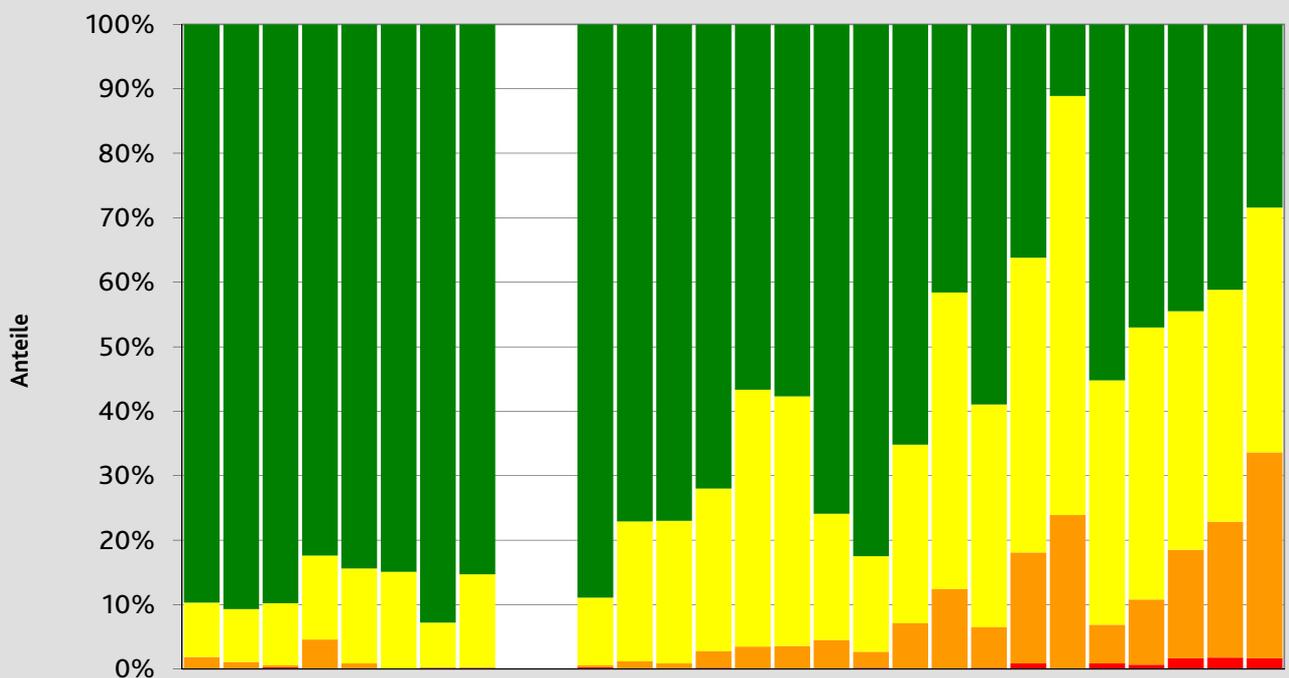
In 2011 stieg der Anteil deutlich geschädigter Probestämme um 11 Prozentpunkte weiter an. Die mittlere Kronenverlichtung ist um 3,1 Prozentpunkte höher als im Vorjahr. Bei der Douglasie ist zu berücksichtigen, dass sich die Altersklassenverteilung des Stichprobenkollektivs in der Zeitreihe deutlich verschoben hat. Waren 1984 noch über die Hälfte der Stichprobenbäume in der jüngsten Altersklasse, so ist diese in der Unterstichprobe ab

2010 nicht mehr vertreten. Der Schwerpunkt liegt jetzt bei den mittelalten Beständen und der Anteil über 60-jähriger Bäume ist fünf Mal höher wie zu Beginn der Zeitreihe.

In 2011 war bei Douglasien sehr häufig starker Fruchtanhang zu beobachten. Befall durch Insekten oder Pilze wurde nur an einzelnen Probestämmen festgestellt. Bei den Douglasien brechen bei Sturmereignissen in erheblichem Umfang Zweige aus der Oberkrone aus. Die Baumkronen erhalten so ein zerzaustes Aussehen.

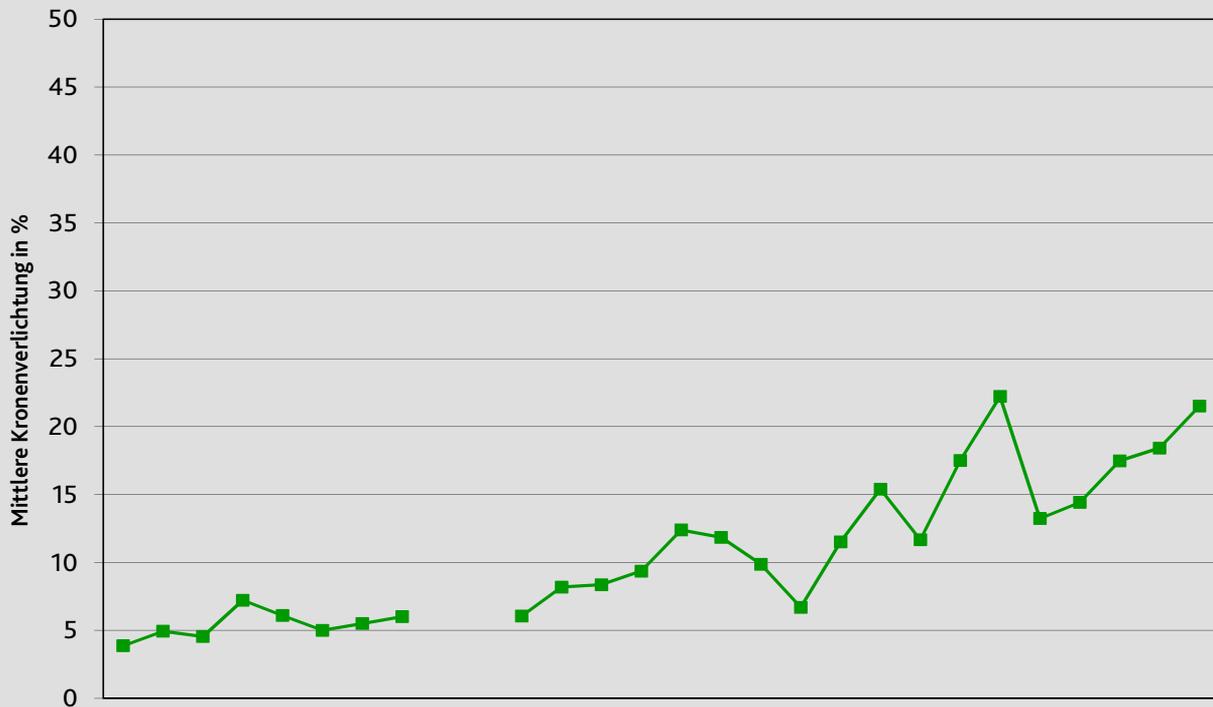
## Douglasie

Entwicklung der Schadstufenverteilung von 1984 bis 2011



## Douglasie

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung von 1984 bis 2011



### Andere Baumarten

In unseren Wäldern finden sich neben den bereits genannten noch eine Vielzahl anderer Baumarten. Die Waldschadenserhebung erfasst mit dem Kollektiv der Unterstichprobe insgesamt 30 verschiedene Baumarten. Einige finden sich nur mit einzelnen Exemplaren, andere aber auch mit mehr als 100 Probestämmen, so dass eine baumartenspezifische Aussage zum Kronenzustand möglich ist. Wegen des geringeren Stichprobenumfangs sind die Aussagen hier jedoch mit höheren Unsicherheiten behaftet und auch die Unterschiede zwischen den Kollektiven der Unter- und Vollstichprobe sind von höherem Gewicht. Naturgemäß entwickeln sich die in der Gruppe der „Nebenbaumarten“ vertretenen Baumarten in ihrem Kronenzustand unterschiedlich.

In 2011 ist das Schadniveau insgesamt angestiegen. Der Anteil der deutlich geschädigten Probestämme ist um 10 Prozentpunkte höher, der Anteil an Probestämmen ohne sichtbare Schadmerkmale um 7 Prozentpunkte niedriger als im Vorjahr. Die mittlere Kronenverlichtung ist um 2 Prozentpunkte angestiegen. Insbesondere Lärchen und

Hainbuchen haben sich in ihrem Kronenzustand verschlechtert. Aber auch Esche, Ahorn, Birken und Tannen tendieren 2011 zu einer höheren Kronenverlichtung; Erlen, Pappeln und Edelkastanien zeigen keine Tendenz. Fast alle Nebenbaumarten weisen in 2011 stärkeren Fruchtanhang auf. Trotz des im Vergleich zum Vorjahr späteren Erhebungstermins wurde bei den Laubbaumarten, die zu früher Vergilbung und Blattfall neigen (z.B. Hainbuchen und Birken), nur an einzelnen Bäumen Vergilbung festgestellt. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass bereits erster spät-sommerlicher Blattfall einen Einfluss ausgeübt hat. Der Kronenzustand einiger Nebenbaumarten wurde auch durch biotische Schaderreger mit beeinflusst. So war bei den Lärchen wiederholt Miniermottenbefall beobachtet worden, bei Ahorn Teerfleckenkrankheit (ein Blattpilz) und bei Hainbuche Fraßschäden durch Insektenlarven oder Käfer an den Blättern. Auch ist zu vermuten, dass sich das Spätfrostereignis Anfang Mai negativ auf den Kronenzustand einiger Bäume ausgewirkt hat.

## Häufigste Nebenbaumarten

### Entwicklung der Schadstufenverteilung

Jahr	Baumart und Schadstufe											
	Lärche			Esche			Hainbuche			Andere LBA**		
	0	1	2-4	0	1	2-4	0	1	2-4	0	1	2-4
2011	24	39	37	31	49	20	19	53	28	42	38	20
2010	34	44	22	35	51	14	31	55	14	42	45	13
2009	35	36	29	70	22	8	21	62	17	58	35	7
1984*	69	24	7	91	7	2	64	28	8	71	16	13

\*Nur Kollektiv der Unterstichprobe

\*\* LBA = Laubbaumarten

### 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 meist regulär forstlich bewirtschaftet. Maßgeblich sind dabei die Ziele und Wünsche der jeweiligen Waldbesitzenden. 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 Kronenbruch oder wenn sie von Nachbarbäumen überwachsen wurden, aus dem Stichprobenkollektiv aus. Ein Ersatz ausgeschiedener Probebäume ist notwendig, damit die WZE den aktuellen Zustand des Waldes widerspiegelt.

Im Jahr 2011 sind insgesamt 85 Probebäume ausgeschieden, von denen 61 ersetzt werden konnten. 24 Probebäume eines Aufnahmepunktes schieden ohne Ersatz aus. Da an diesem Punkt bisher kein gesicherter Jungbestand vorhanden ist, ruht hier die Aufnahme vorübergehend. Von den im Jahr 1984 ausgewählten Probebäumen sind noch 1626 im Kollektiv der Unterstichprobe erhalten. Das sind 46,7 % des ursprünglichen Gesamtkollektivs.

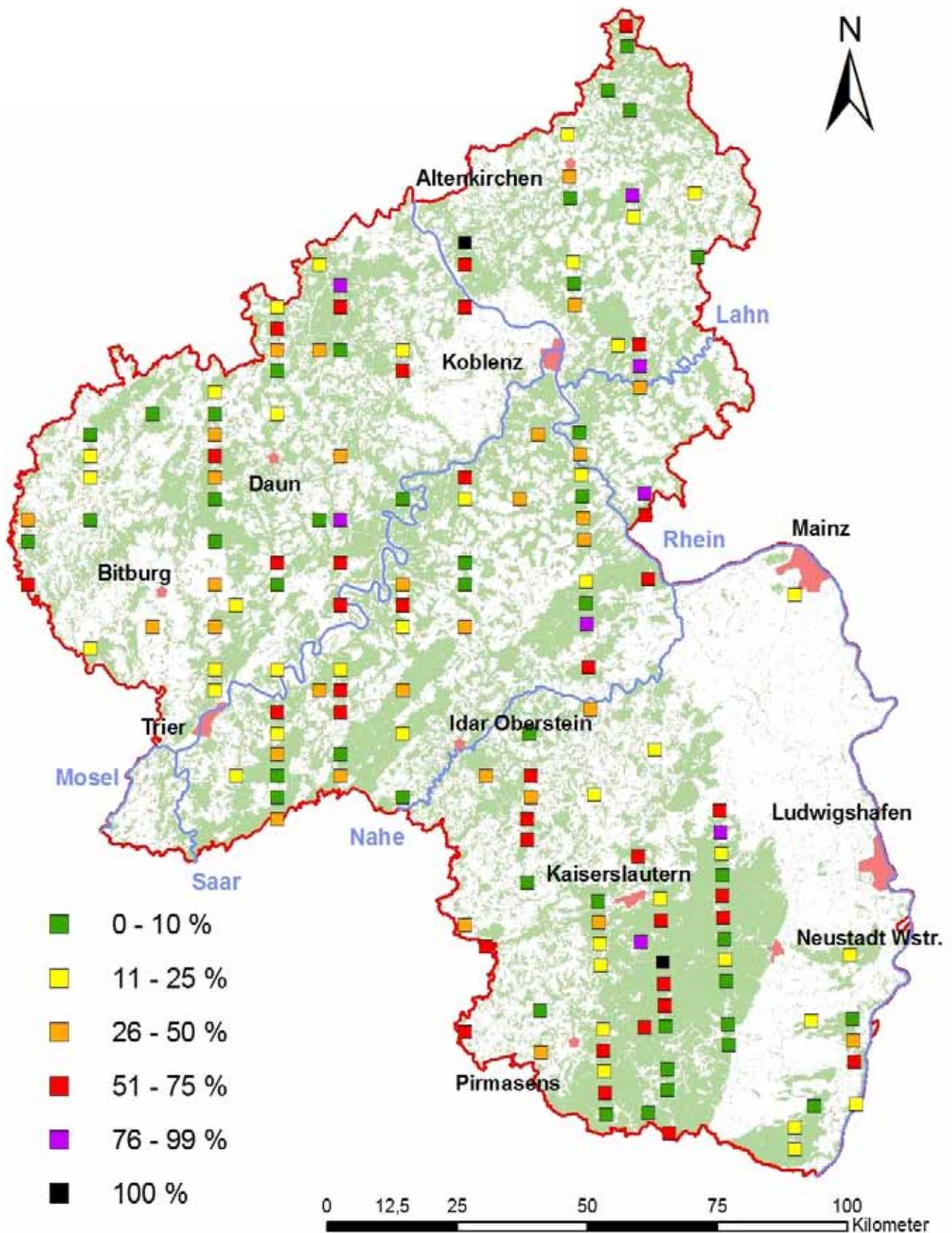
Die Aufnahmepunkte liegen fast alle im regulär bewirtschafteten Wald. Der überwiegende Teil (79 %) der ausgeschiedenen Probebäume wurde daher für die Holznutzung aufgearbeitet. Der andere Teil ist zwar noch am Aufnahmepunkt vorhanden, die Bäume können aber nicht mehr

in ihrem Kronenzustand bewertet werden, da der Probebaum nicht mehr am Kronendach des Bestandes beteiligt ist. 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 entfernt. 12 bereits in 2010 abgestorbene Probebäume wurden aus diesem Grund ersetzt.

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.

Die Ausscheiderate von 2010 auf 2011 entspricht mit 2,2 % des Kollektivs der Unterstichprobe in etwa der im Laufe der Zeitreihe beobachteten durchschnittlichen jährlichen Ausscheiderate von 2 %. Jedoch sind auch in 2011 nur knapp die Hälfte der genutzten Probebäume planmäßig genutzt worden, der andere Teil wurde zwangsweise vorzeitig wegen Insekten- oder Sturmschäden geerntet. In 2011 wurden insgesamt 12 abgestorbene Probebäume vermerkt, davon waren 10 bereits im Vorjahr tot. Frisch abgestorben sind damit nur 2 Probebäume.

Anteil der deutlich geschädigten Probestäume am einzelnen Aufnahmepunkt 2011



## Regionalisierung der Waldzustandsbefunde

Der am einzelnen Aufnahmepunkt festgestellte Grad der Schädigung sagt unmittelbar nur etwas über die Probestämme selbst und allenfalls über den in Artzusammensetzung und Alter entsprechenden umgebenden Waldbestand aus. Das Schadniveau der einzelnen Aufnahmepunkte variiert erheblich. Punkte, die keine oder nur wenige deutlich geschädigte Probestämme aufweisen, liegen in direkter Nachbarschaft von solchen, an denen über die Hälfte oder fast alle Probestämme deutlich geschädigt sind. Erst die Zusammenfassung einer gewissen Anzahl an Aufnahmepunkten erlaubt eine repräsentative Aussage für eine Region. Je höher dabei die Zahl der Stichprobestämme ist, umso zuverlässiger ist die gewonnene Aussage.

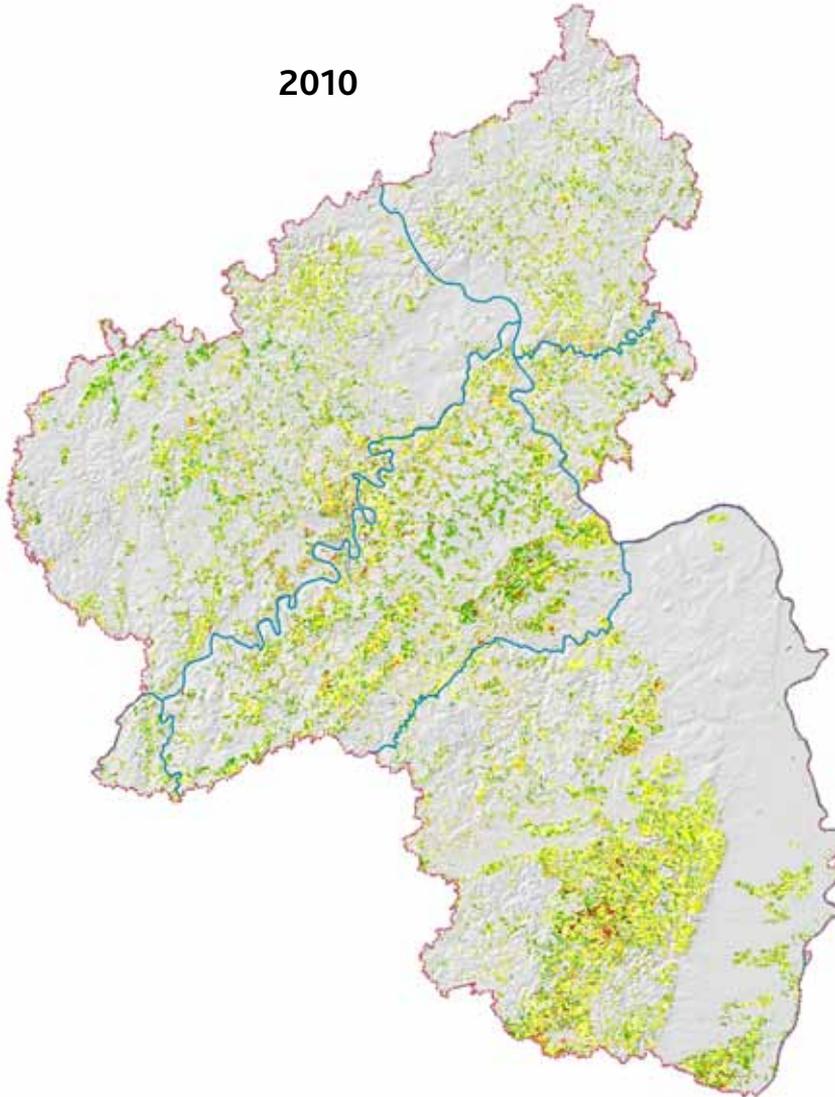
Punktförmig vorliegende Informationen, wie die Daten der Waldzustandserhebung, können über eine Regionalisierung in eine flächenhafte Information transformiert werden. Hierfür ist es erforderlich, die an den Aufnahmepunkten vorliegende Information zur Kronenverlichtung über multiple Regressionen mit flächig für das Land vorhandenen Daten oder über geostatistische Interpolationsverfahren zu modellieren. Entscheidend für den Erfolg und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse ist, dass Zusammenhänge zwischen der Kronenverlichtung und den flächig vorliegenden Informationen bestehen, bzw. dass eine räumliche Abhängigkeit der Kronenverlichtung in sich besteht. Die Modellierungen für Rheinland-Pfalz zeigen zunächst, dass die Unterstichprobe eine vergleichbar repräsentative Aussage für das Land liefert wie die Vollstichprobe.

Weiter zeigte sich, dass die flächig vorliegenden Informationen zu Relief, Höhenlage, Boden, Klima und Witterung nur einen geringen Anteil zur Erklärung der Varianz der Kronenzustandsdaten beitragen. Als Haupteinflussfaktoren haben sich das Alter und die Baumart bestätigt, die aber nicht voll flächendeckend, sondern nur für den von der Forstplanung erfassten öffentlichen Wald (Wald im Besitz des Landes oder der Kommunen) vorliegen. Weitere wichtige bekannte Einflussfaktoren auf den Kronenzustand wie Fruchtanhang, Insektenfraß, Pilzbefall oder die Luftschadstoff-

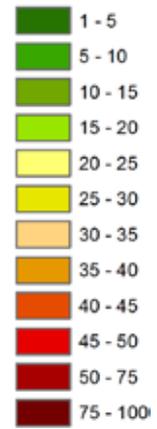
belastung im Beurteilungsjahr liegen nicht als flächendeckende Information vor. Eine Regionalisierung ist daher nur für den öffentlichen Wald, bei dem Alter und Baumart in die Modellierung einbezogen werden kann, sinnvoll. Da nicht alle Einflussfaktoren erfasst werden, darf dabei nicht erwartet werden, dass die Modellierung die Varianz der Kronenverlichtung vollständig erklären kann. Die erreichten Bestimmtheitsmaße liegen mit etwa 50 % jedoch bei einem recht guten Wert. Es liegt keine parzellenscharfe Abgrenzung nach den Waldorten zugrunde, sondern eine Zusammenfassung auf 100 x 100 m Rasterzellen. Die Regionalisierung bietet damit eine Aussage zur regionalen Differenzierung des Waldzustandes in Rheinland-Pfalz auf Basis der mittleren Kronenverlichtung. Sie bietet aber keine Stratifizierungsmöglichkeiten der Schadstufenverteilung nach Wuchsgebieten oder Altersklassen, wie es mit den Daten der Vollstichprobe möglich ist.

Betrachtet wird im Folgenden die Regionalisierung des Waldzustandes über alle Baumarten und gesondert für die Buche jeweils für 2011 und das Vorjahr. Dargestellt ist jeweils nur die Fläche des öffentlichen Waldes, bzw. die Waldfläche auf der Buche, teilweise auch als Beimischung, stockt. Zunächst wird deutlich, dass das gewählte Modellierungsverfahren auf Basis der multiplen Regression die fein differenzierte Vielgestaltigkeit des Waldes und des Waldzustandes widerspiegelt. In den Abbildungen scheint eine regionale Differenzierung des Niveaus der Kronenverlichtung auf, die der aus der letzten Erhebung der Vollstichprobe bekannten Schaddifferenzierung entspricht. Von 2010 auf 2011 hat sich die Differenzierung verstärkt. Besonders die Bereiche der Mosel-, Kyll- und Ahreifel, des Taunus und der nördlichen Pfalz werden mit höherer Kronenverlichtung dargestellt. Demgegenüber überwiegen in Bereichen des Hunsrücks und des südlichen Pfälzerwaldes Verbesserungen des Kronenzustands. Für die Buche hingegen sind keine regionalen Schwerepunkte erkennbar; von 2010 auf 2011 ist über alle Regionen ein durchgehender Anstieg der Kronenverlichtung zu verzeichnen.

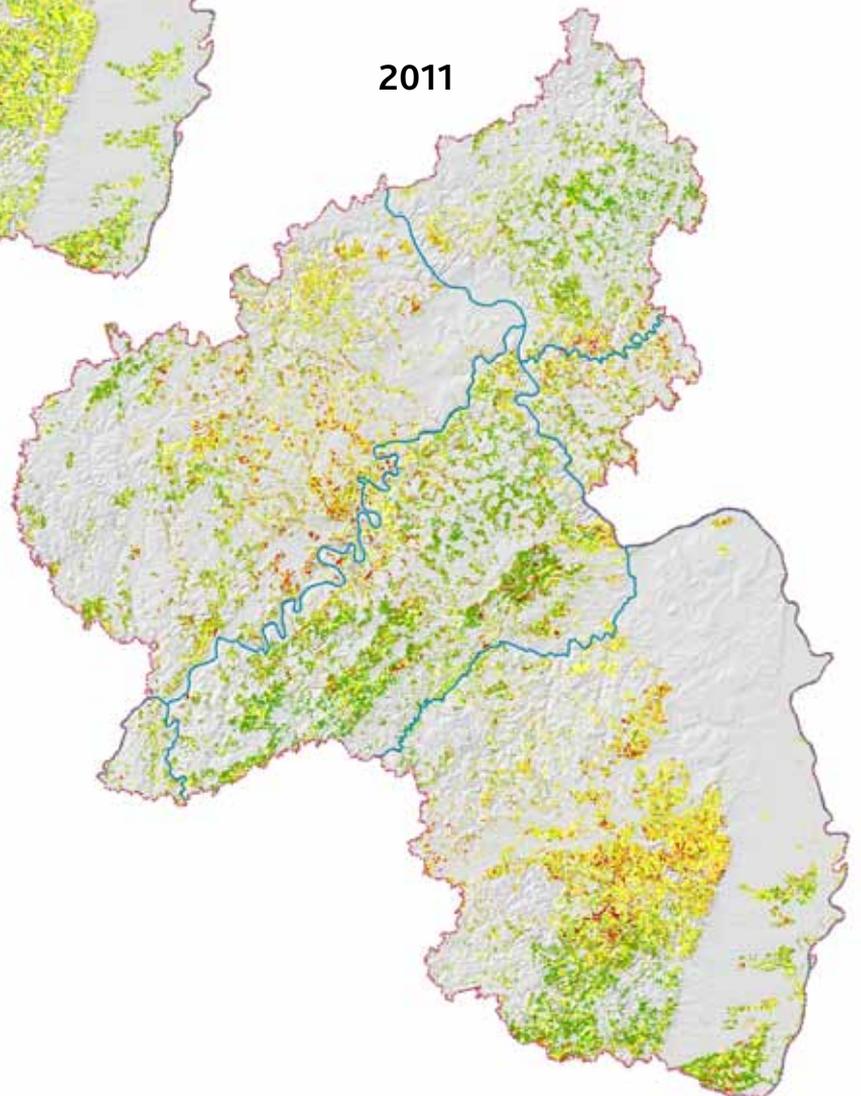
2010

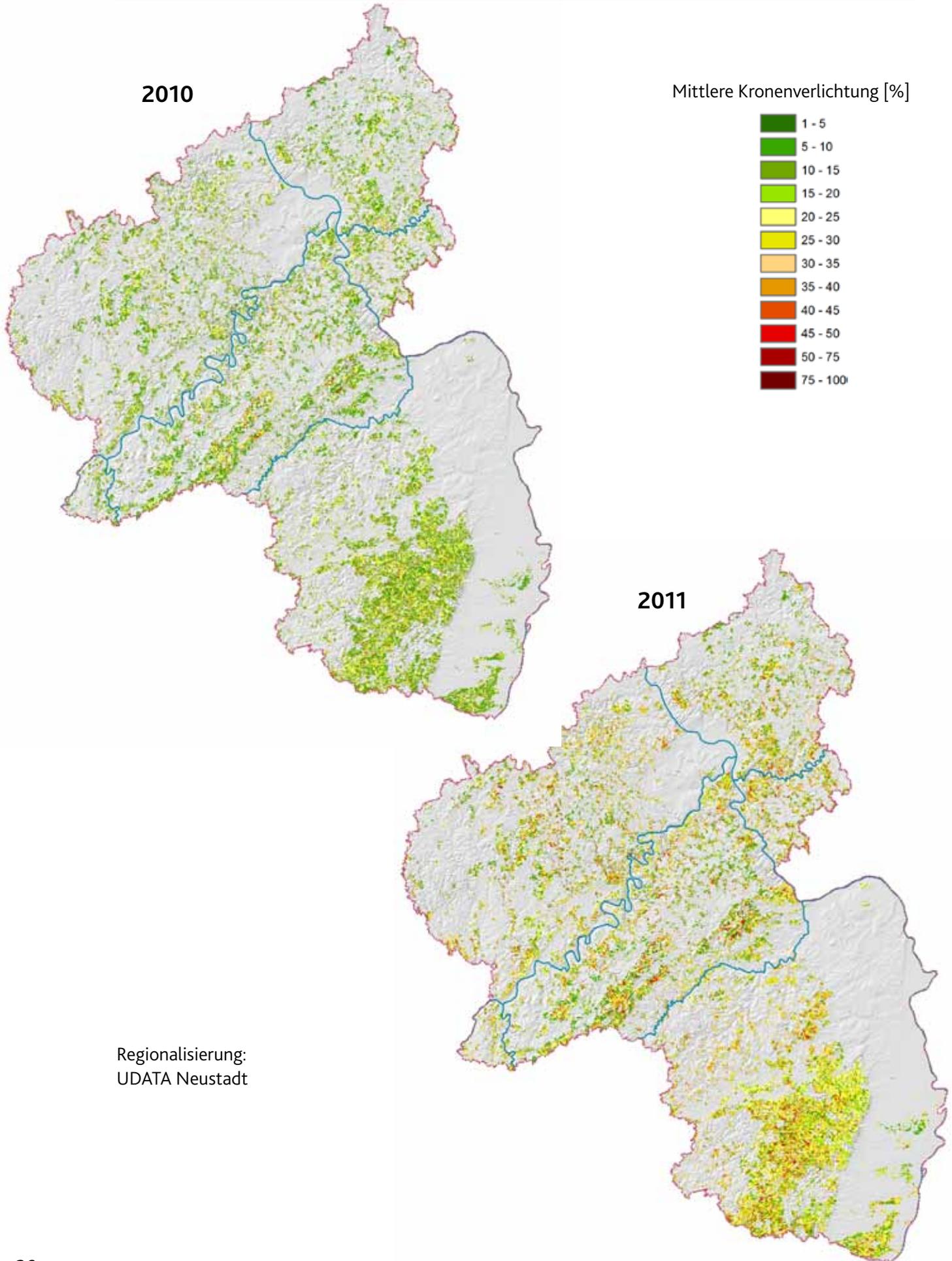


Mittlere Kronenverlichtung [%]



2011









# EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND



Auf unsere Waldökosysteme wirkt eine Vielzahl natürlicher und menschenverursachter Faktoren ein. Der Einfluss von Luftschadstoffen hat sich in den letzten Jahrzehnten erheblich verändert. Dank durchgreifender Luftreinhaltemaßnahmen ist die Schwefeldioxidbelastung um mehr als 90 % gesunken. Auch der Säureeintrag hat sich seit Mitte der 80er Jahre etwa halbiert. Sehr deutlich zurückgeführt werden konnte auch die Belastung der Waldökosysteme durch Schwermetalle. So ist der Bleieintrag in den Waldboden seit der Einführung des bleifreien Benzins um mehr als 90 % gesunken. Demgegenüber konnten die Stickstoffeinträge in die Waldökosysteme bislang nur wenig reduziert werden; sie überschreiten an der Mehrzahl der Waldstandorte nach wie vor die Schwellenwerte der Ökosystemverträglichkeit (Critical Loads).

Angestiegen ist in den letzten Jahren der Einfluss witterungsbedingter Belastungen. In den letzten 20 Jahren waren 19 Vegetationszeiten im Vergleich zum langjährigen Mittel zu warm. Im aktuellen Jahr waren Spätwinter und Frühjahr außergewöhnlich niederschlagsarm und warm. Bereits zu Beginn der Vegetationsperiode führte dies verbreitet zu Bodentrockenheit. Nahezu alle Baumarten haben im Jahr 2011 stark fruktifiziert. Vor allem bei der Buche führte der sehr starke und früh reifende Fruchtanhang zusammen mit der Frühjahrstrockenheit zu einer besonderen Stressbelastung.

Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings 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](http://www.fawf.wald-rlp.de) (Forschungsschwerpunkte-Forstliches Umweltmonitoring).

### Entwicklung der Luftschadstoffbelastung

Die Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf die Waldökosysteme erfolgen sowohl über den Luftpfad als auch über den Bodenpfad. Über den Luftpfad wirken vor allem gasförmige Luftverunreinigungen wie Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid,

Ammoniak und Ozon unmittelbar auf die Vegetationsorgane der Bäume ein und verursachen physiologisch-biochemische Stressreaktionen. Luftverunreinigungen, die von Wolken- und Regentropfen aufgenommen oder von den Baumkronen ausgefiltert werden und dann mit den nachfolgenden Niederschlägen auf den Boden gelangen, beeinflussen die Waldökosysteme über den Bodenpfad. Sie verändern das chemische Bodenmilieu insbesondere über Versauerung und Eutrophierung und können vor allem über Veränderungen im Nährelementangebot und die Schädigung der Baumwurzeln den Wasser- und Nährstoffhaushalt der Bäume beeinträchtigen. In dem auf den Wald einwirkenden Stressorenkomplex stellen Luftschadstoffe so meist eine chronische Belastung dar, die langfristig destabilisierend wirkt. Die Waldökosysteme werden hierdurch anfällig gegenüber kurzfristig einwirkenden Stressfaktoren wie Witterungsextreme, Insektenfraß, Pilzbefall oder starke Fruchtbildung.

**Einflüsse auf den Waldzustand (von links oben nach rechts unten): Hagel, Sturmwurf, Viehhaltung,**

**Energieerzeugung, Verkehr, Borkenkäfer**

Fotos: C.-D. Fath, S. Ehrhardt, F. Schmidt, H. W. Schröck, I. Lamour

## Entwicklung der Schadstoffemissionen in Deutschland

Schadstoffe in Kilotonnen	1980	1990	2009	Veränderungen in % 1980 - 2009
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	7514	5312	448	- 94 %
Stickoxide (NO <sub>2</sub> )	3334	2942	1367	- 59 %
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	835	700	597	- 29 %
Flüchtige organische Verbindungen (ohne Methan) (NMVOC)	3224	3750	1284	- 60 %

Quelle: Umweltbundesamt (2011): [www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm](http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm) (Emissionsentwicklung 1990-2009); für 1980: UNECE 2001: [www.emep.int](http://www.emep.int)

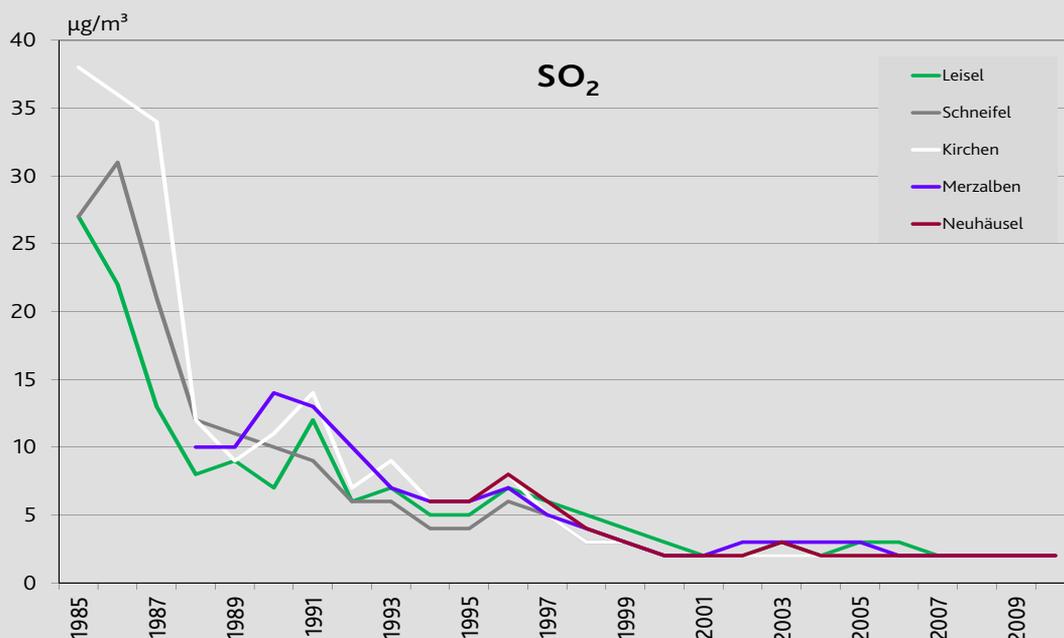
### Schwefel

Schwefelverbindungen werden insbesondere bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Kraftwerken, Industriefeuerungsanlagen und Heizungen freigesetzt. Ausgehend vom Jahr 1980 konnte die Schwefeldioxidemission in Deutschland bereits um 94 % reduziert werden. Die Emissionsobergrenze der NEC-Richtlinie 2001/81/EG vom 23.10.2001 für die SO<sub>2</sub>-Emission in Deutschland im Jahr 2010 (520 kt) wird bereits seit einigen Jahren eingehalten. Die deutlich reduzierte SO<sub>2</sub>-Emission hat sich auch in einer erheblichen Verringerung der Belastung der Waldökosysteme ausgewirkt. So liegen die Jahresmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen an den Waldstationen des Zentralen Immissionsmessnetzes (ZIMEN) des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-

Pfalz, seit 2007 nur noch bei 2 µg/m<sup>3</sup>. Selbst bei austauscharmen Wetterlagen im Winter steigen die SO<sub>2</sub>-Gehalte kaum mehr über 10 µg/m<sup>3</sup> im Tagesmittel an. Die Belastungsschwellenwerte für Waldökosysteme und auch für die besonders empfindlichen Flechten werden seit vielen Jahren nicht mehr überschritten.

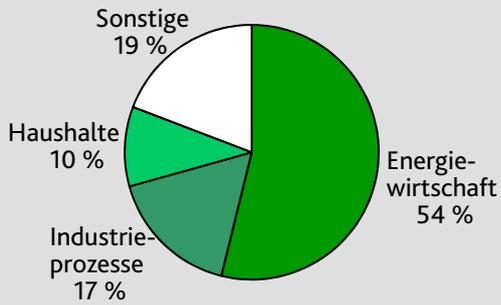
Entsprechend der merklichen Abnahme der Schwefeldioxidemission und -immission ist auch die Belastung der Waldökosysteme über den Bodenpfad deutlich zurückgegangen. Während der Schwefeleintrag in Fichtenbeständen zu Beginn der Messreihen Mitte der 80er Jahre meist zwischen 40 und 70 kg/ha lag, gelangen aktuell meist nur noch 6 – 16 kg Schwefel auf den Waldboden.

### Jahresmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen in Waldgebieten

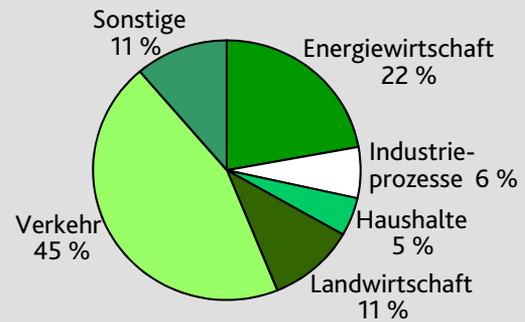


## Verteilung der Emissionsquellen wichtiger Luftschadstoffe in Deutschland im Jahr 2009

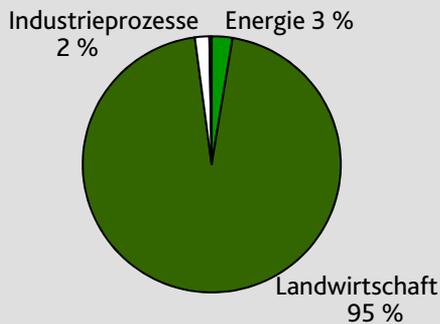
### Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)



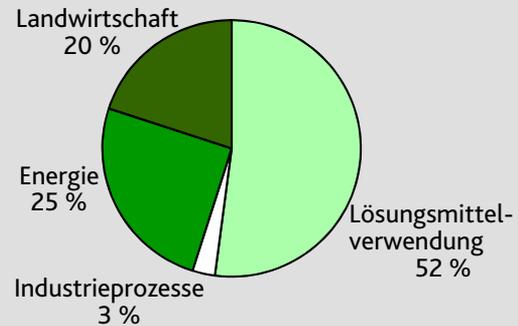
### Stickstoffoxide (NO<sub>2</sub>)



### Ammoniak (NH<sub>3</sub>)

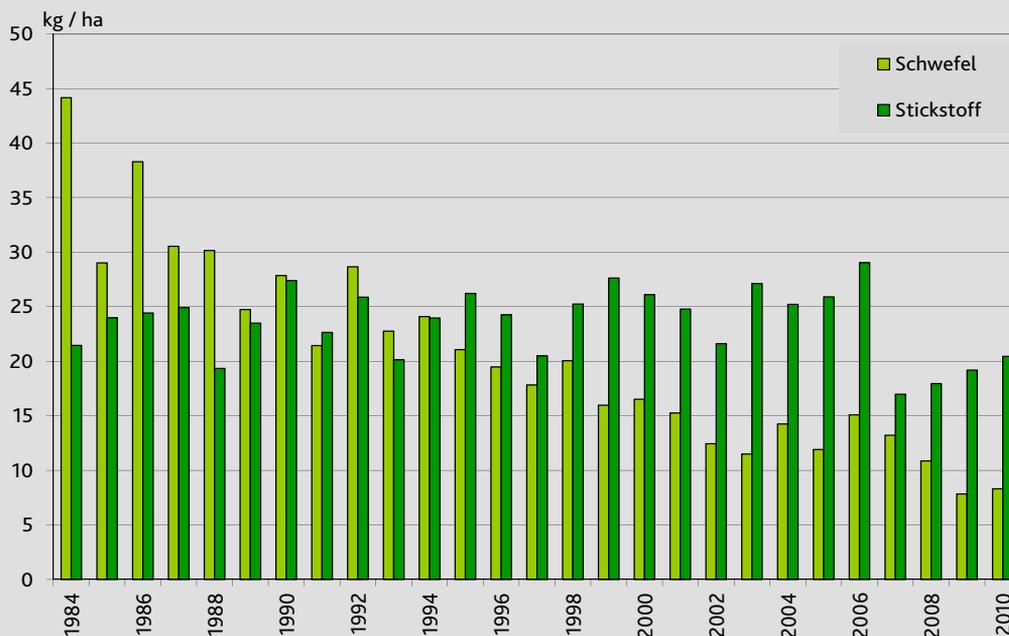


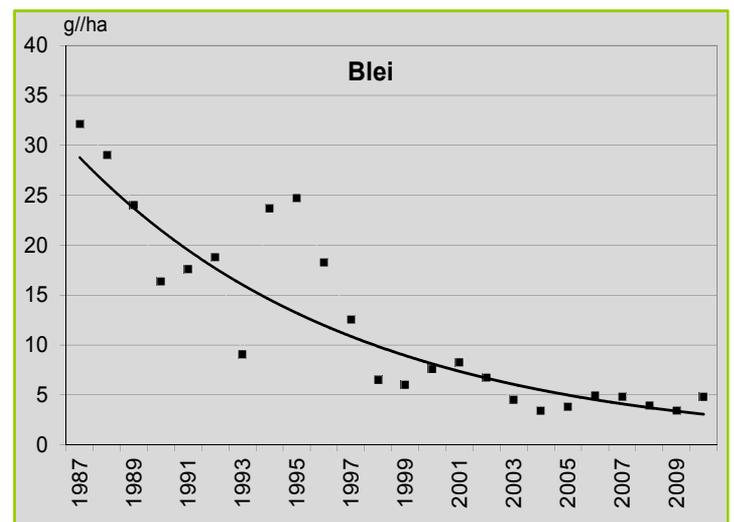
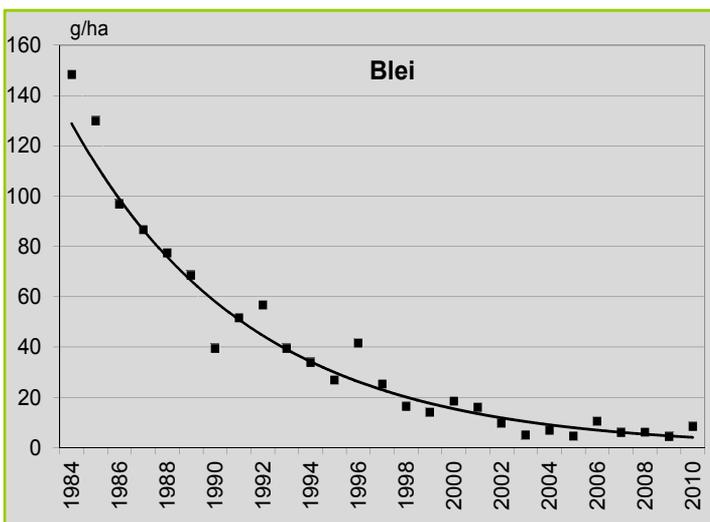
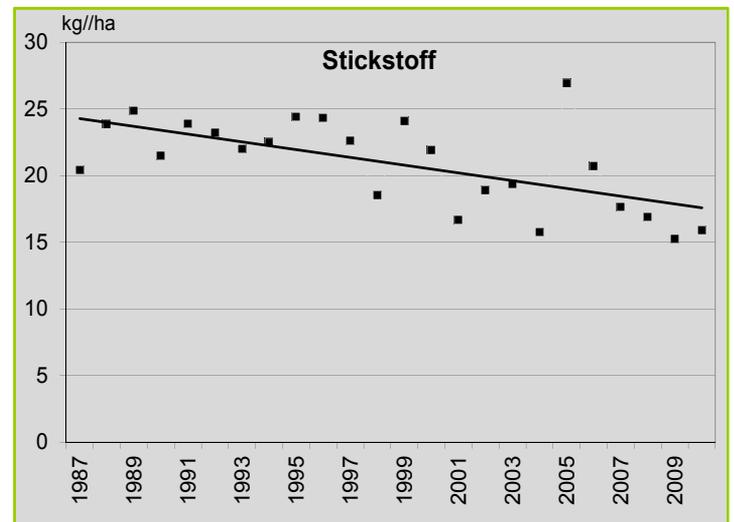
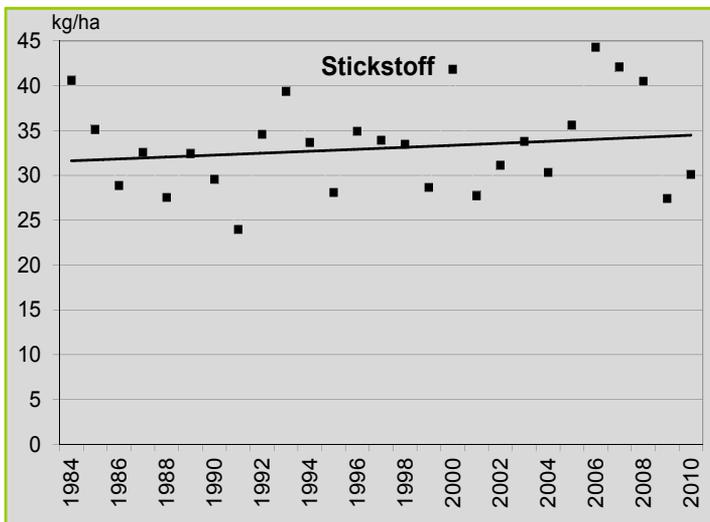
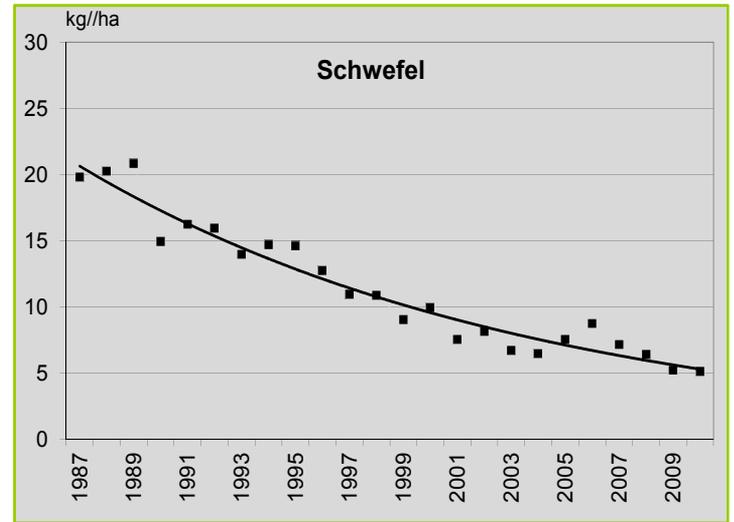
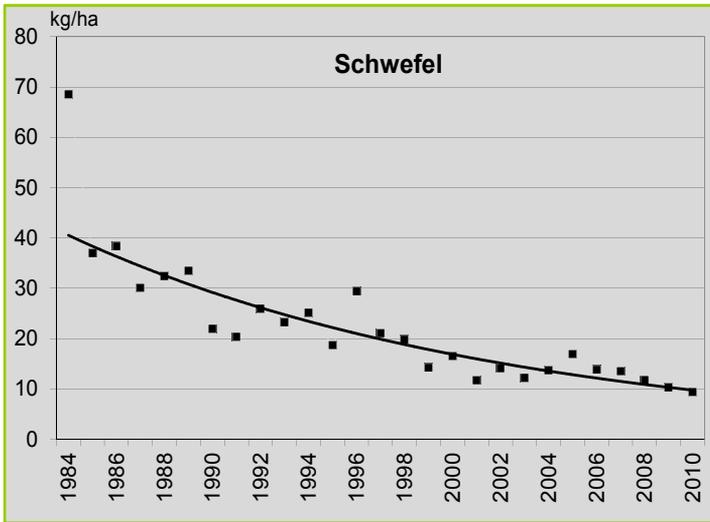
### Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC)



Quelle: Umweltbundesamt (2011)

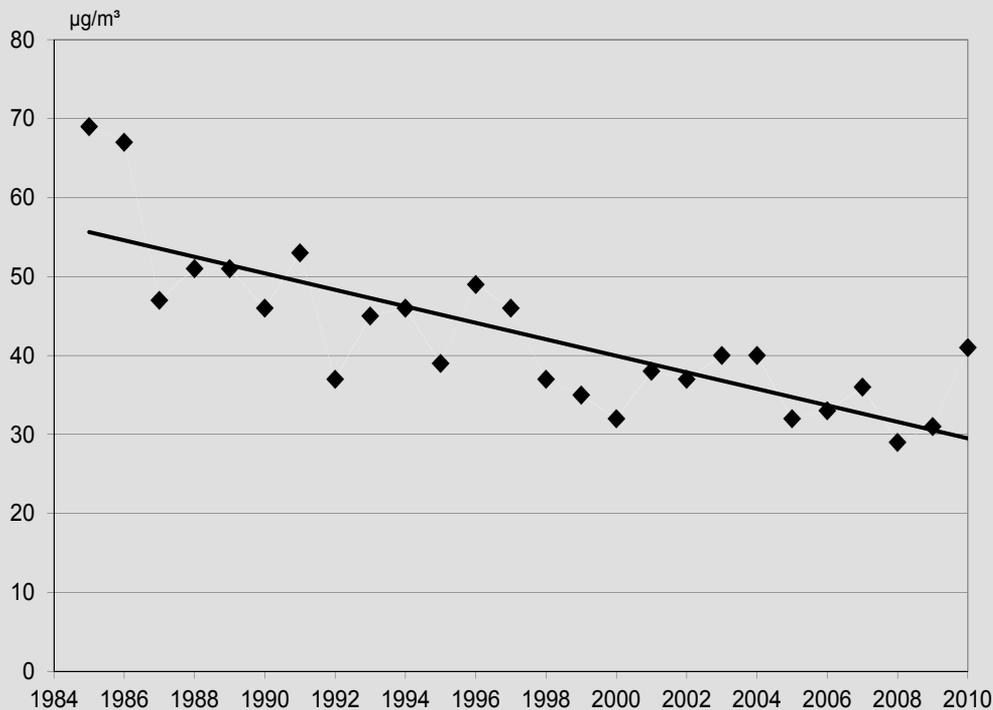
## Entwicklung der Schwefel- und Stickstoffdeposition in einem Fichtenbestand im Forstamt Birkenfeld





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

## Verlauf der NO<sub>2</sub>-Spitzenkonzentration (98%-Wert) an der ZIMEN-Waldstation Leisel



### Stickstoff

Stickstoff in oxidierter Form wird bei Verbrennungsprozessen durch Reaktion des im Brennstoff und in der Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoffs, in reduzierter Form hingegen beim mikrobiellen Abbau von Harnstoffen, Protein oder ähnlichen biogenen Ausscheidungsprodukten sowie durch Zersetzung ammoniumhaltiger Dünger freigesetzt. Hauptquelle der Stickoxide ist der Straßenverkehr, gefolgt von Kraft- und Heizwerken. Reduzierter Stickstoff stammt überwiegend aus der Tierhaltung und in geringerem Umfang auch aus der Herstellung und Anwendung stickstoffhaltiger Mineraldünger, der Rauchgasentstickung und dem Kraftfahrzeugverkehr.

Die Emission der Stickoxide (NO und NO<sub>2</sub> kalkuliert als NO<sub>2</sub>) ist in Deutschland insbesondere durch den Einsatz von Katalysatoren in Kraftfahrzeugen und Entstickungsanlagen in Kraft- und Heizwerken seit 1980 um 59 % zurückgegangen. Die Emissionsobergrenze der EU-NEC-Richtlinie für die NO<sub>x</sub>-Emission in Deutschland im Jahr 2010 (1051 kt)

wird nach der Referenzprognose des Umweltbundesamtes aber voraussichtlich nicht eingehalten. Die Stickstoffdioxidkonzentrationen in der bodennahen Luft, vor allem die NO<sub>2</sub>-Spitzenwerte sind in den rheinland-pfälzischen Waldgebieten seit Mitte der 1980er Jahre merklich gesunken.

Bei den reduzierten Stickstoffverbindungen (Ammoniak) konnte die Emission seit 1980 bislang nur um knapp 30% reduziert werden. Die Emissionsobergrenze der EU-NEC-Richtlinie für die NH<sub>3</sub>-Emission in Deutschland im Jahr 2010 (550 kt) wird nach der Referenzprognose des Umweltbundesamtes sehr deutlich verfehlt.

Auf den Stickstoffeintrag in den Waldboden (Deposition) hat sich die bislang erreichte Emissionsminderung bei NO<sub>x</sub> und NH<sub>3</sub> nur sehr verhalten ausgewirkt.

An der Mehrzahl der Messstationen des Forstlichen Umweltmonitorings im Wald ist kein signifikant abwärtsgerichteter Trend zu erkennen.

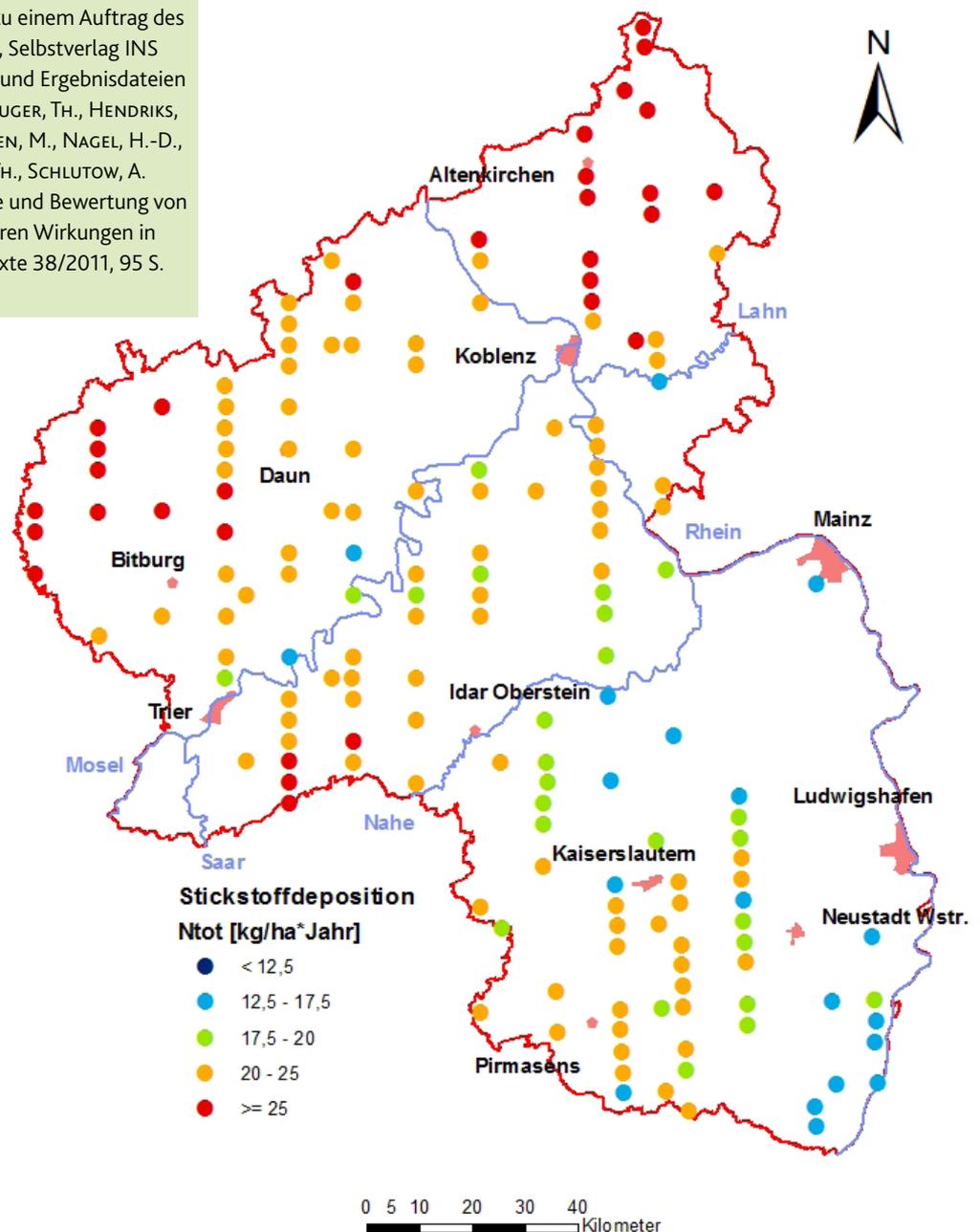
## Karte Stickstoffdeposition

### Stickstoffeintrag an den rheinland-pfälzischen Aufnahmepunkten der Waldzustandserhebung (WZE) im Mittel der Jahre 2004 bis 2007 (Kalkulation: TH. GAUGER 2010).

Den Stickstoff-Eintragswerten (modellerte Gesamtdeposition) können Critical Loads für Waldökosysteme im Hinblick auf Veränderungen der Stickstoffmineralisation/Nitrifikation, der Nitratauswaschung, des Stickstoff-/Makronährstoffverhältnisses, der Artenvielfalt, der Anfälligkeit gegenüber Parasiten, der Zunahme von Algen und des Rückgangs von Flechten sowie Veränderungen in der Mykorrhiza gegenübergestellt werden. Die Critical Loads für Stickstoff liegen für Rheinland-Pfalz meist zwischen 12,5 und 17,5 kg N/ha\*Jahr (BUILTJES et al. 2011). Diese Schwellenwerte wurden durch die Stickstoffdeposition im Mittel der Jahre 2004 bis 2007 an nahezu allen WZE-Aufnahmepunkten überschritten. Auffällig hohe Stickstoffeinträge (über 25 kg N/ha\*Jahr) fanden sich an Aufnahmepunkten in der Nordwesteifel, im südwestlichen Hunsrück, im Westerwald und in den rheinland-pfälzischen Teilen des Bergischen Landes. Die Regionen mit vergleichsweise hohen N-Einträgen fallen weitgehend in die Landkreise mit hohen Viehdichten und demzufolge hoher Ammoniakemission.

GAUGER, TH. (2010): Modellierung der Gesamtdeposition der Jahre 2004 bis 2007 für ausgewählte Waldstandorte in Deutschland. Schlussbericht zu einem Auftrag des vTI-WOI Eberswalde, Selbstverlag INS Univ. Stuttgart, 32 S. und Ergebnisdateien

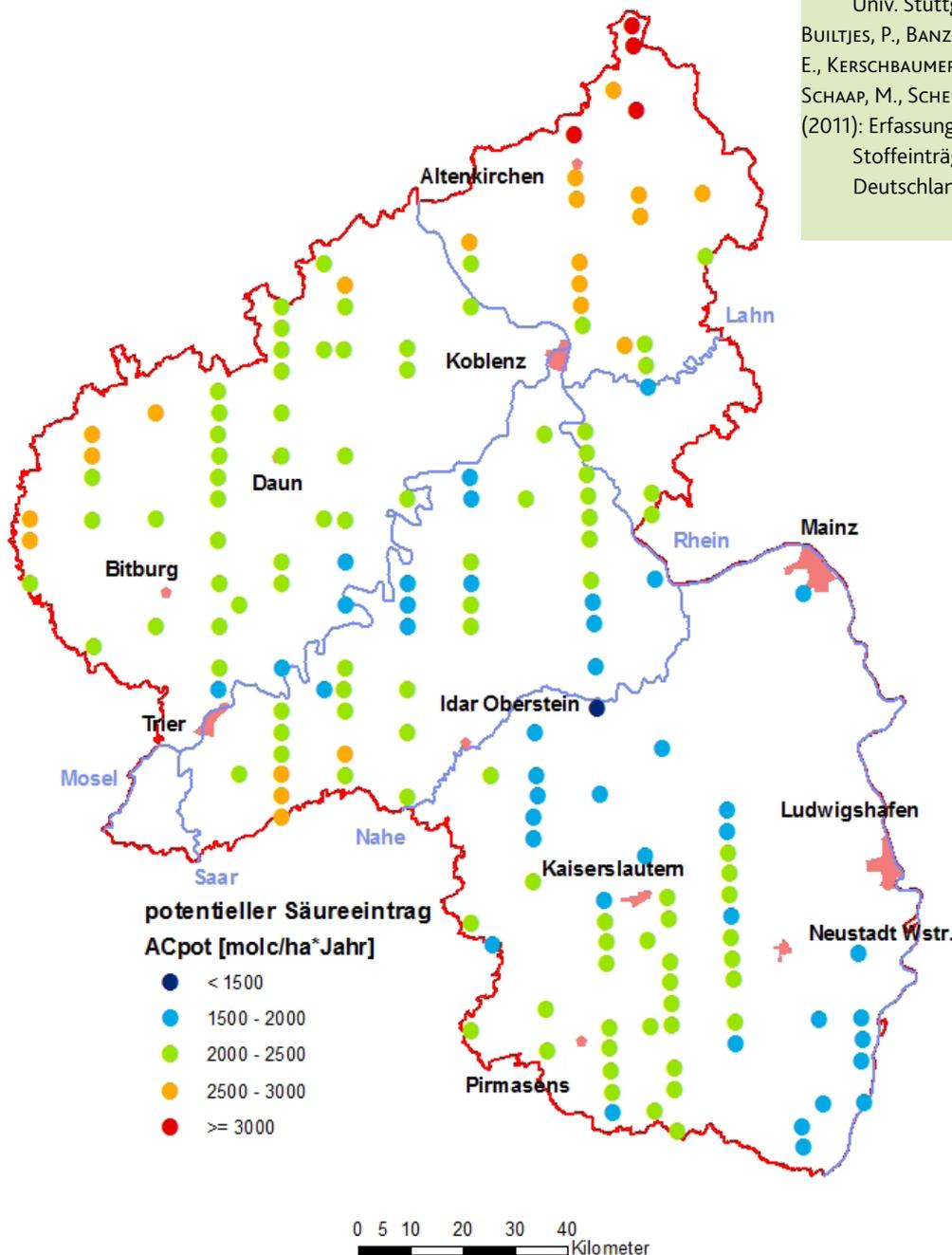
BUILTJES, P., BANZHAF, S., GAUGER, TH., HENDRIKS, E., KERSCHBAUMER, A., KOENEN, M., NAGEL, H.-D., SCHAAP, M., SCHEUSCHNER, TH., SCHLUTOW, A. (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland. UBA-Texte 38/2011, 95 S.



**Säureeintrag an den rheinland-pfälzischen Aufnahmepunkten der Waldzustandserhebung (WZE) im Mittel der Jahre 2004 bis 2007** (Kalkulation: TH. GAUGER 2010).

Nahezu alle über das Kalkulationsmodell hergeleiteten Einträge potentieller Säure liegen über 1500 mol<sub>c</sub>/ha\*Jahr. An drei Vierteln der BZE II-Plots überschreiten die Einträge 2000 mol<sub>c</sub>/ha\*Jahr. Die Schwellenwerte zum Schutz der Waldökosysteme vor Versauerung (Critical Loads) liegen nach Berechnungen von BUILTJES et al. (2011) überwiegend zwischen 500 und 1500 mol<sub>c</sub>/ha\*Jahr. Die Critical Loads für Säurebelastungen werden somit im ganzen Land meist sehr deutlich überschritten. Auffällig hohe Säureeinträge (über 2500 mol<sub>c</sub>/ha\*Jahr) finden sich an WZE-Aufnahmepunkten in der Nordwesteifel, im westlichen Hunsrück und im Westerwald, Einträge über 3000 mol<sub>c</sub>/ha\*Jahr in den rheinland-pfälzischen Teilen des Bergischen Landes.

GAUGER, TH. (2010): Modellierung der Gesamtd deposition der Jahre 2004 bis 2007 für ausgewählte Waldstandorte in Deutschland. Schlussbericht zu einem Auftrag des vTI-WOI Eberswalde, Selbstverlag INS Univ. Stuttgart, 32 S. und Ergebnisdateien  
 BUILTJES, P., BANZHAF, S., GAUGER, TH., HENDRIKS, E., KERSCHBAUMER, A., KOENEN, M., NAGEL, H.-D., SCHAAP, M., SCHEUSCHNER, TH., SCHLUTOW, A. (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland. UBA-Texte 38/2011, 95 S.



## Säureeinträge

Trotz der beträchtlichen Reduktion des Eintrags von Schwefelverbindungen übersteigen die Säureeintragsraten meist noch die Critical Loads zum Schutz der Waldökosysteme vor Versauerung (siehe Karte Säureeinträge). Dies ist im Wesentlichen auf die noch zu hohen Eintragsraten der Stickstoffverbindungen, insbesondere des aus der

Landwirtschaft stammenden Ammoniums zurückzuführen. Zum Schutz unserer Waldökosysteme vor fortschreitender Versauerung sind nach wie vor weitere Anstrengungen zur Verringerung der Emission der Säurevorläufer und eine Fortsetzung der Bodenschutzkalkungen erforderlich.

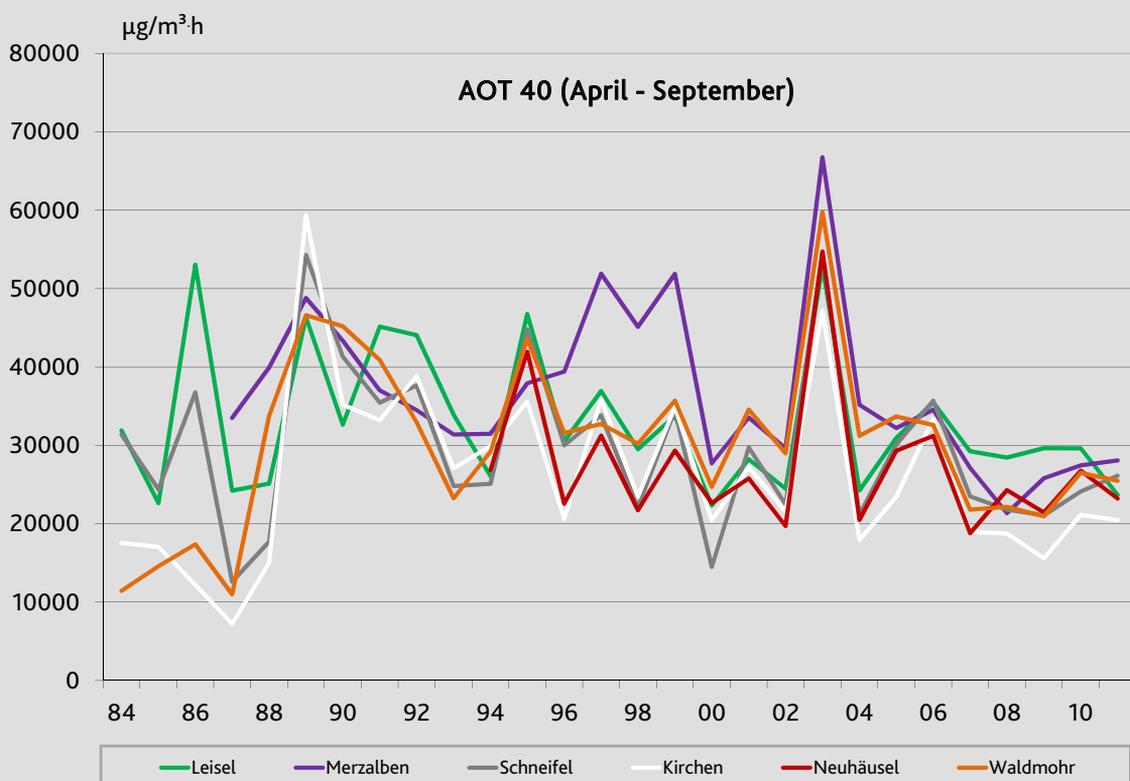
## Ozon

Ozon entsteht als sekundäre Luftverunreinigung im Wesentlichen aus Luftsauerstoff, Stickoxiden und flüchtigen Kohlenwasserstoffen unter der Einwirkung der Sonneneinstrahlung. Die Ozonvorläufersubstanzen gelangen aus natürlichen und anthropogenen Quellen in die Atmosphäre. In Mitteleuropa entammt das waldbelastende Ozon im Wesentlichen der photochemischen Ozonbildung aus anthropogenen Vorläufersub-

stanzen.

Entscheidend für die Ozonkonzentration ist nicht nur die Konzentration der Vorläufersubstanzen, sondern insbesondere auch der Witterungsverlauf. Hohe Ozonkonzentrationen sind daher vor allem in sonnenscheinreichen Sommern zu erwarten. Trotz der bereits erheblichen Verringerung der Emission der Ozonvorläufersubstanzen - Stickoxide und flüchtige Kohlenwasserstoffe - um

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



Eine detaillierte Darstellung der Luftschadstoffbelastung der rheinland-pfälzischen Wälder und eine Bewertung der Befunde befindet sich im Internet: [www.fawf.wald-rlp.de](http://www.fawf.wald-rlp.de)

- Forschungsschwerpunkte
- Forstliches Umweltmonitoring
- Luftschadstoffbelastung des Waldes.

Tagesaktuelle Luftschadstoffdaten enthält die Internetpräsentation [www.luft-rlp.de](http://www.luft-rlp.de).



**Deutliche Ozonschadsymptome mit „Schatteneffekt“ an der Blattbasis**  
Foto: C. Lemmen

jeweils etwa 60 % ist das Ozonbildungspotenzial nach wie vor sehr hoch.

Da im Sommer 2011 keine länger anhaltenden Schönwetterperioden auftraten, waren die Ozonbelastungen in den Waldgebieten im aktuellen Jahr etwas niedriger als in den Vorjahren und insbesondere in den strahlungsreichen Jahren 2003 und 2006. Dennoch wurde auch in der Vegeta-

tionszeit des Jahres 2011 an allen sechs ZIMEN-Waldstationen die Belastungsschwelle (Critical Level) für Waldökosysteme (AOT 40, April bis September) sehr deutlich überschritten. Aufgrund neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Ozoneinwirkung auf Waldbäume wurde der Critical Level für Wald gegenüber dem früher gültigen AOT 40 auf  $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  halbiert.

**Aufnahme von Ozonschadsymptomen an der EU-FutMon-Fläche Merzalben**  
Foto: J. Block



## Witterungsverhältnisse

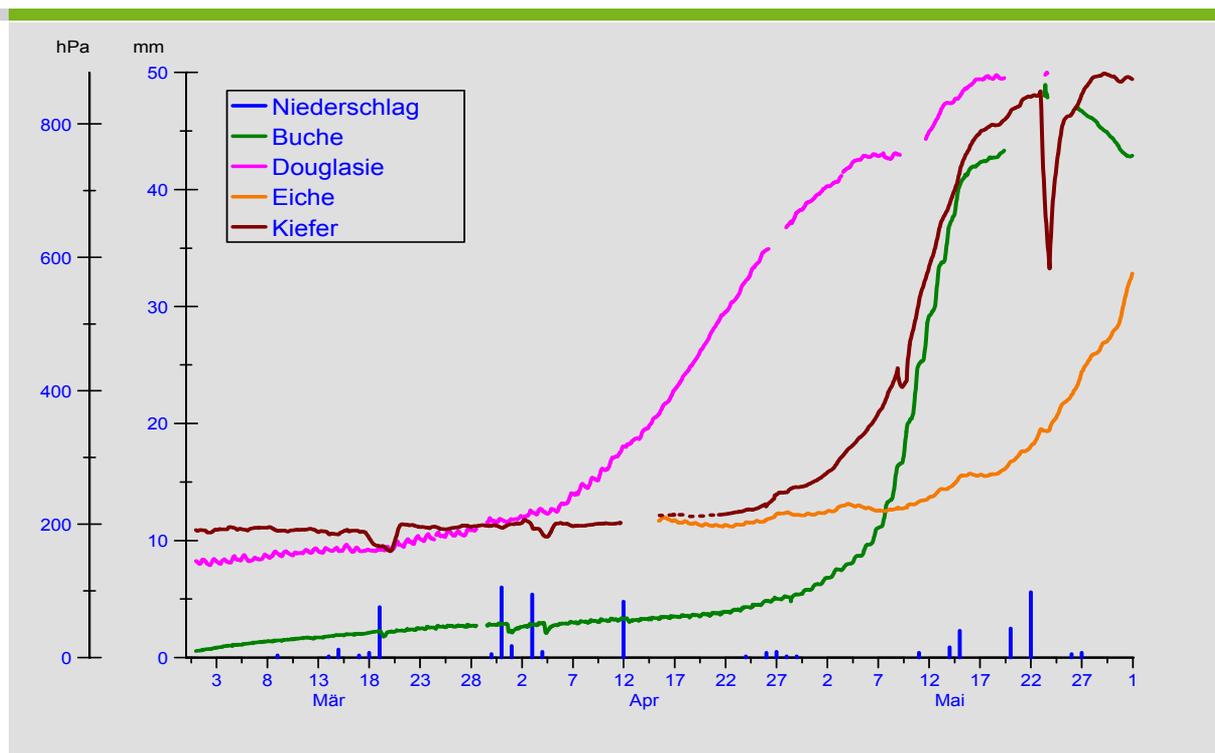
Die Witterungsbedingungen wirken in vielfältiger Weise auf den Wald ein. Zum einen können unmittelbar Schäden an den Bäumen beispielsweise durch sommerliche Trockenheit, Früh- oder Spätfrost, Nassschneefälle, Stürme oder Hagelschauer entstehen. Zum anderen beeinflusst die Witterung die Ozonentstehung,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

Der Vitalitätszustand der Bäume wird nicht nur von der Witterung des aktuellen Jahres, sondern

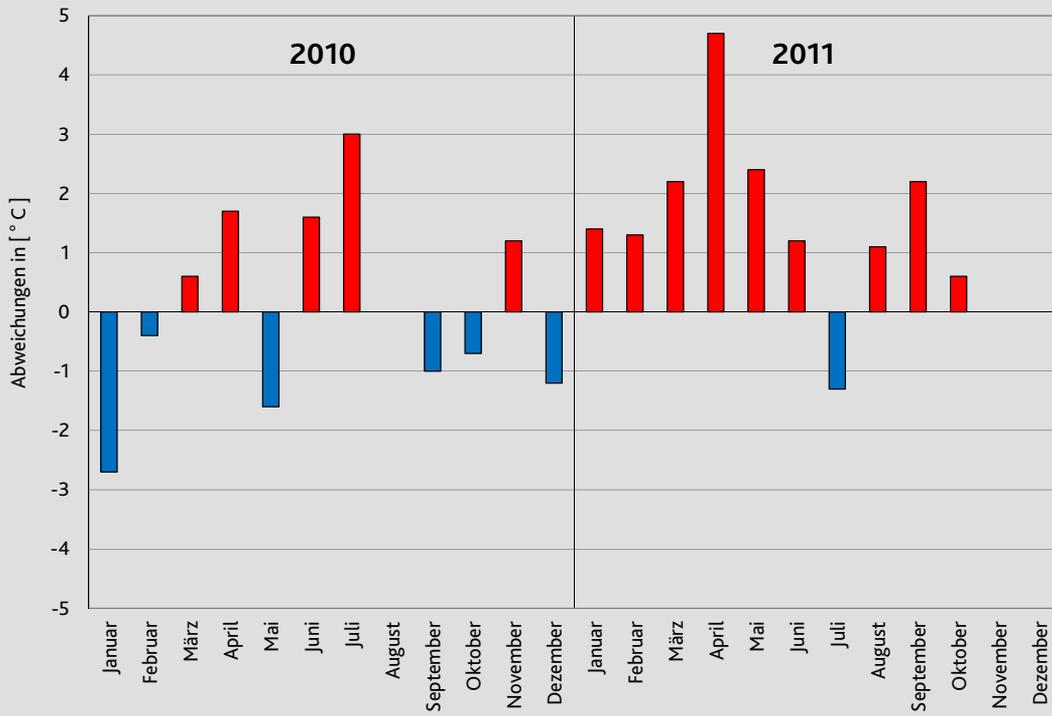
auch von den Witterungsverläufen der Vorjahre beeinflusst.

In 19 der letzten 20 Jahren war die Hauptvegetationszeit (April bis August) im Vergleich zum langjährigen Mittel der Periode 1961 bis 1990 zu warm. 13 der letzten 20 Jahre wiesen in der Hauptvegetationszeit eine Niederschlagssumme auf, die in etwa dem langjährigen Mittel entsprach; 2 Jahre waren deutlich zu nass und 5 Jahre deutlich zu trocken.

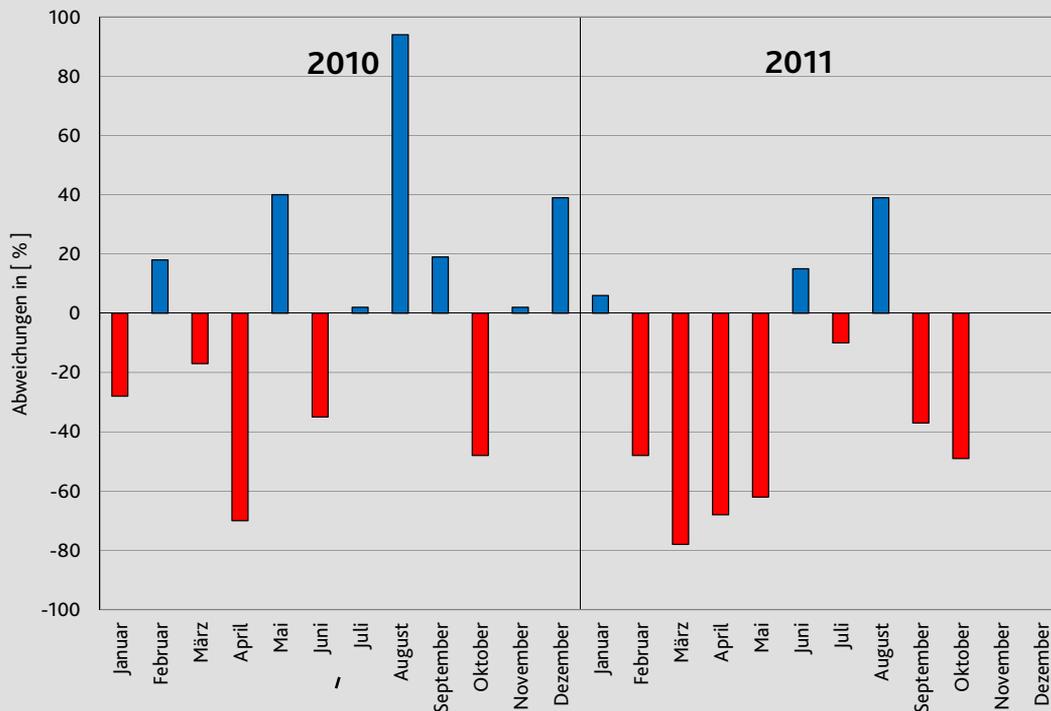
Trotz der wechselhaften Sommerwitterung war auch die Hauptvegetationszeit im Jahr 2011 im Vergleich zum langjährigen Mittel zu warm und zu niederschlagsarm. Der Winter 2010/11 war mit Ausnahme des Dezembers 2010 deutlich zu warm. Bereits im Februar setzte eine außergewöhnliche Trockenphase ein, die bis Ende Mai anhielt. An der Station Weinbiet des Deutschen



Verlauf der Bodensaugspannung in 80 cm Bodentiefe im Spätwinter/Frühjahr 2011 in vier Waldökosystemen im Pfälzerwald (Projekt ForeStClim). Die Saugspannung gibt an, wie fest das Wasser im Boden gebunden ist. Bei einer Saugspannung oberhalb von 500 hPa nimmt die Verfügbarkeit des Bodenwassers für die Bäume stark ab. Im Douglasienbestand war dies bereits ab dem 20. April der Fall. Im Kiefern- und im Buchenbestand setzte eine derartige Bodentrockenheit Mitte Mai ein; im jungen Traubeneichenbestand wurden 500 hPa nur an wenigen Tagen Ende Mai überschritten.



Abweichungen der Monatsmittel-Temperaturen in den Jahren 2010 und 2011 (Flächenmittel Rheinland-Pfalz/Saarland) vom langjährigen Mittel (1961 bis 1990; Quelle: Deutscher Wetterdienst)



Abweichungen der Monatsniederschläge in den Jahren 2010 und 2011 (Flächenmittel Rheinland-Pfalz/Saarland) vom langjährigen Mittelwert (1961 bis 1990; Quelle: Deutscher Wetterdienst)

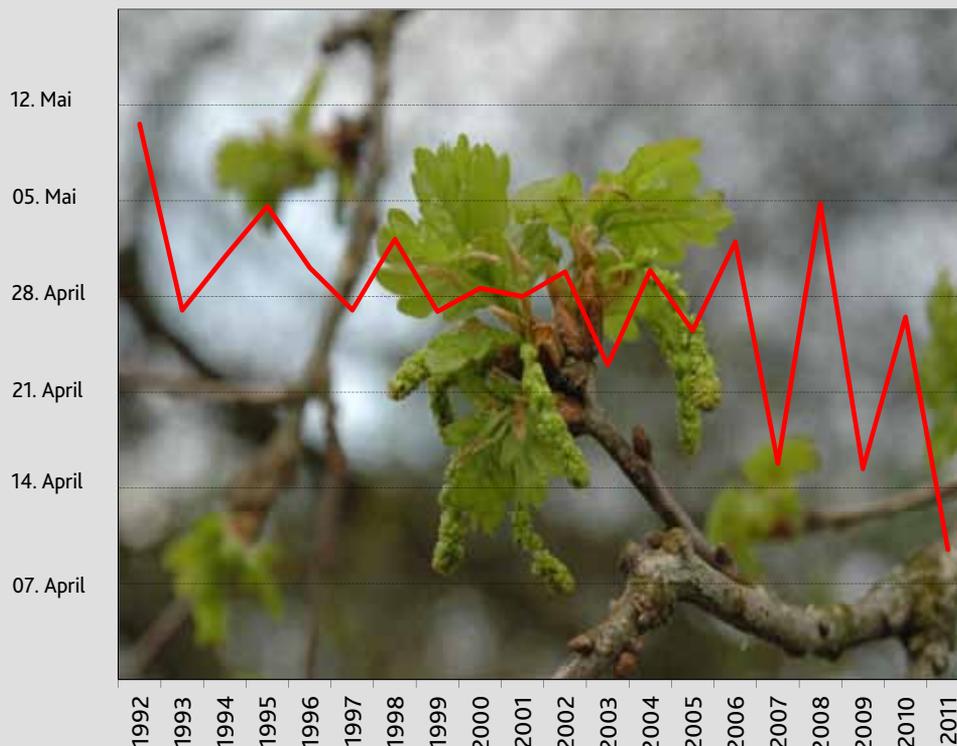
Wetterdienstes fielen von Februar bis einschließlich Mai nur 339 mm Niederschlag; das entspricht etwa einem Drittel der langjährigen Niederschlagssumme in dieser Periode. Im Juni setzte dann wechselhaftes Wetter ein; die Sommerniederschläge konnten aber das Defizit aus Spätwinter und Frühjahr nicht ausgleichen.

Die erheblichen Niederschlagsdefizite im Spätwinter und Frühjahr führten zu einer außergewöhnlich früh, zum Teil bereits in der ersten Aprilhälfte einsetzenden Bodentrockenheit. Erst Anfang Juni entspannte sich die Situation durch ergiebige Niederschläge. Gravierender Trockenstress blieb hierdurch aus. Vor allem in Nadelbaumbeständen blieb die Bodenwasserverfügbarkeit aber in weiten Teilen der Vegetationsperiode eingeschränkt.

**Abbildung rechts**

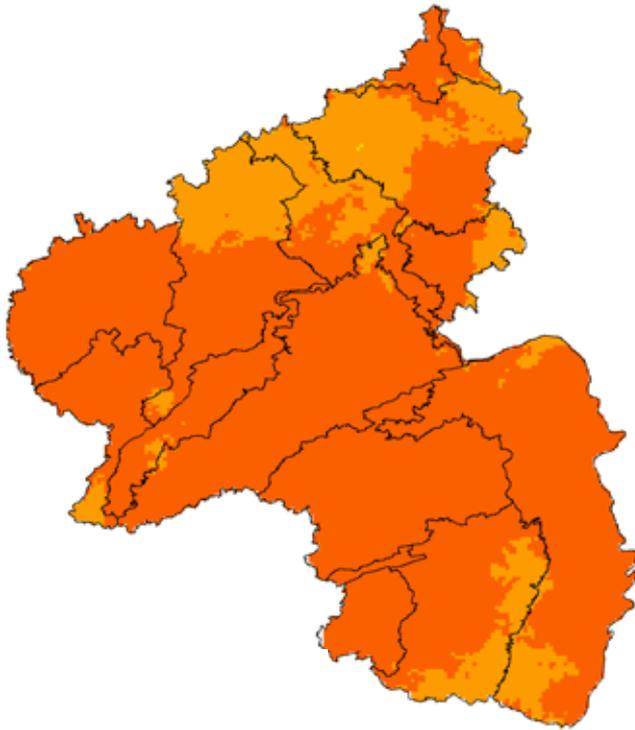
**Relative Abweichung der Niederschläge in den Monaten April, Mai, Juni und Juli 2011 vom langjährigen Mittel (1971-2000) (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Realisation: UDATA Neustadt).**

Im April und Mai 2011 lagen in allen Regionen von Rheinland-Pfalz die Niederschläge sehr erheblich unter dem langjährigen Mittel, im Juni dagegen meist darüber. Im Juli fielen im Süden des Landes durchschnittliche bis überdurchschnittliche, in den nördlichen Landesteilen dagegen meist unterdurchschnittliche Niederschläge.

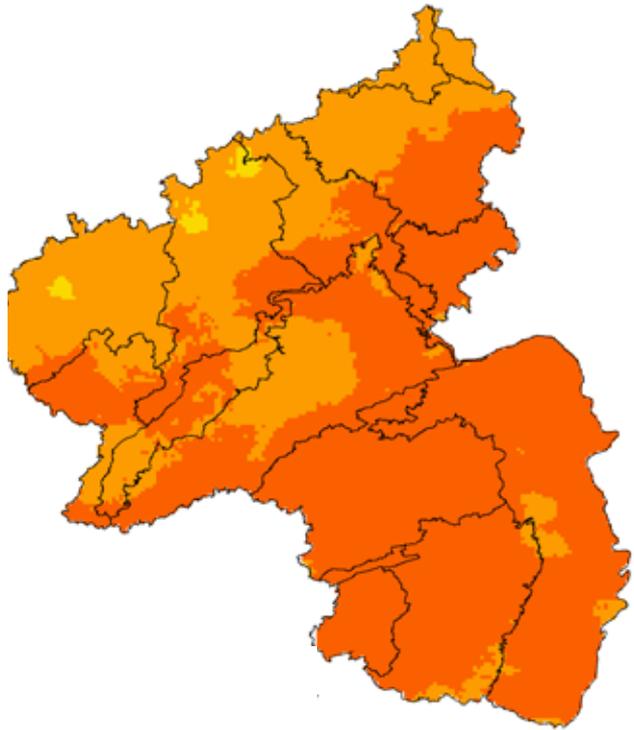


**Austriebsbeginn der Traubeneichen an der Waldmonitoringfläche Merzalben (FutMon Fläche 0705) im Zeitraum 1982 bis 2011. Im Jahr 2011 war der Austrieb aufgrund der außergewöhnlich warmen Vorfrühlingswitterung um zwei bis drei Wochen gegenüber den in den 1990er Jahren beobachteten Terminen zu früh. Sehr frühe Austriebstermine waren zuvor auch bereits in den Jahren 2007 und 2009 zu verzeichnen.**

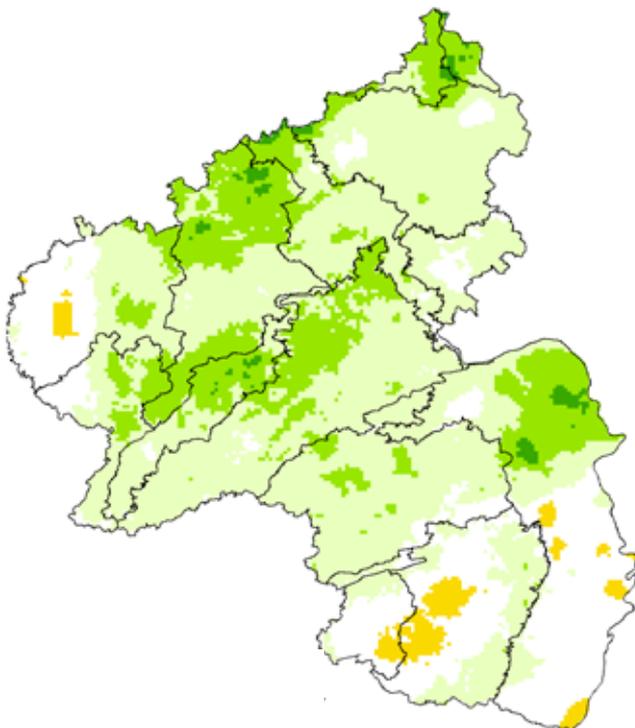
April 2011



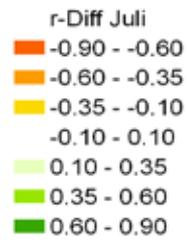
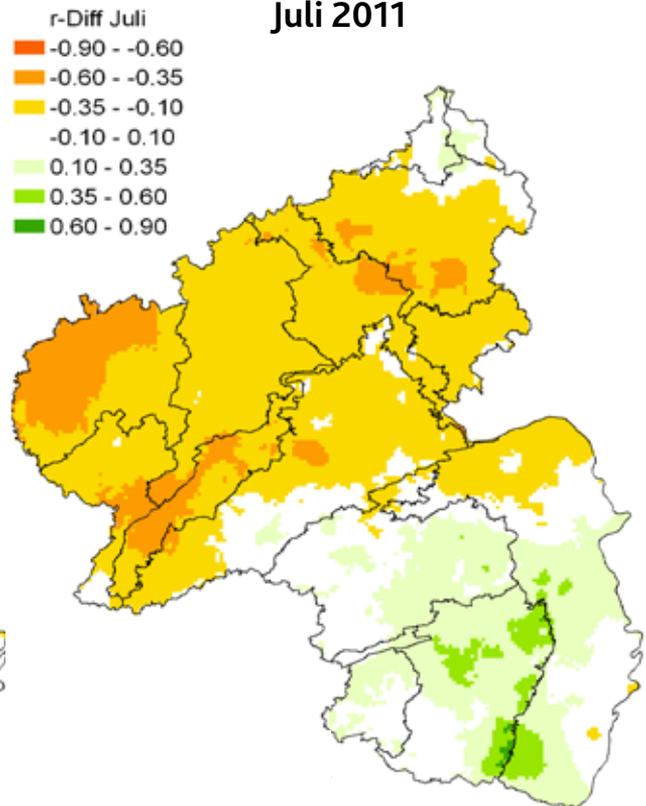
Mai 2011



Juni 2011



Juli 2011



## Blüte und Fruktifikation

Das Jahr 2011 war durch eine bei nahezu allen Baumarten über ganz Europa aufgetretene starke Blütenbildung und Fruktifikation gekennzeichnet. Als Voraussetzung für eine starke Blüte muss der Witterungsverlauf im Frühsommer des Vorjahres die Bildung von Blütenknospen anregen. Zum anderen muss eine ausreichende Assimilatspeicherung in den Bäumen vorhanden sein. Insbesondere schwerfrüchtige Bäume wie z.B. Eiche und Buche verbrauchen bei starker Fruchtbildung sehr viel Energie und sind daher meist nicht in der Lage, jährlich zu fruktifizieren. Damit aus den Blüten auch Früchte werden, darf die Blüte weder verregnen noch erfrieren. Da alle diese Bedingungen nur selten großräumig zusammentreffen, ist eine derart umfassende Blüte und Fruktifikation der Waldbäume wie im Jahr 2011 ein besonderes Ereignis.

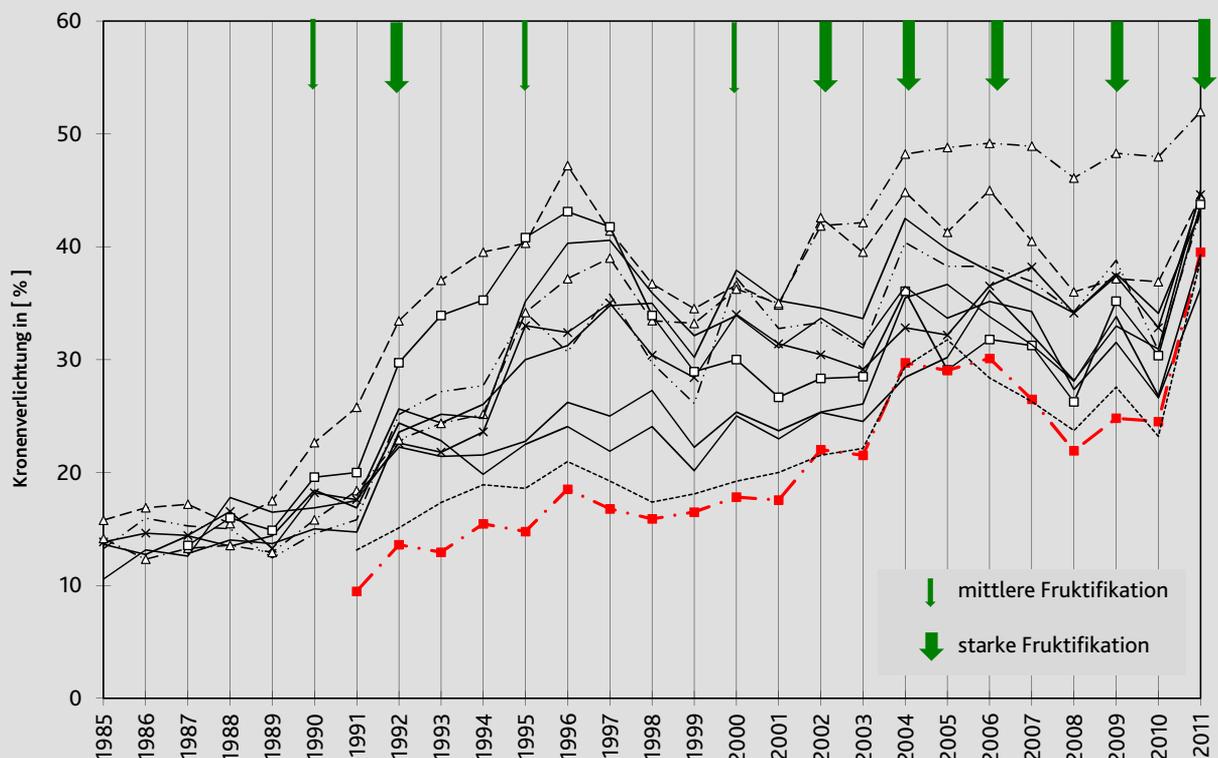
Die wichtigste Baumart unserer Wälder in Mitteleuropa, die Buche, bildet nicht nur große sondern

auch im Vergleich zu anderen schwerfrüchtigen Baumarten wie beispielsweise der Eiche sehr früh reifende Früchte. Daher wirken sich bei der Buche starke Blütenbildung und nachfolgende Fruktifikation meist deutlicher als bei anderen Baumarten auf den Kronenzustand aus. Ursachen und Zusammenhänge zwischen Fruktifikation und Kronenzustand werden nachfolgend anhand von Daten der Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen des Forstlichen Umweltmonitorings erläutert.

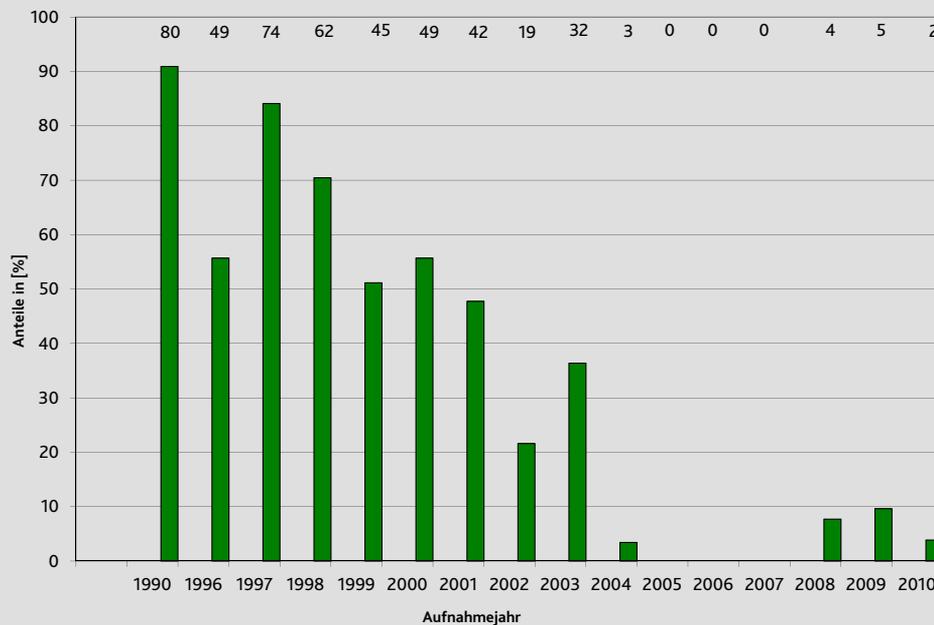
### Entwicklung von Kronenverlichtung und Kronenstruktur auf Buchenbeobachtungsflächen

Zu Beginn der Untersuchungen Mitte der 1980er Jahre lag die mittlere Kronenverlichtung auf den rheinland-pfälzischen Buchenbeobachtungsflächen bei 10-15 %. In den 1990er Jahren stieg sie auf meist 20 bis 40 % an. Die Kronenverlichtung zeigt seither erhebliche jährliche Schwankungen. In Jahren mit starker Fruktifikation wie 2002, 2004, 2006, 2009 und vor allem 2011 ist meist

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung auf Buchendauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz. Rot hervorgehoben ist die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellte Beispielfläche im Forstamt Kirchheimbolanden



## Entwicklung des Anteils gut verzweigter Buchen (Explorationsphase nach Roloff; Winterzustand) auf einer Beobachtungsfläche im Forstamt Kirchheimbolanden



eine merkliche Zunahme der Kronenverlichtung, gefolgt von leichten Erholungen in den jeweiligen Folgejahren, zu beobachten. Zur Erklärung des langjährigen Anstiegs der Kronenverlichtung der Buche insbesondere in den 1990er Jahren reicht die Fruktifikation allein aber nicht aus. So nahm die Kronenverlichtung in den 1990er Jahren auch in Perioden ohne starke Fruktifikation weiter zu.

Einhergehend mit der Zunahme der Kronenverlichtung hat sich die Verzweigungsstruktur der Buchen deutlich verschlechtert.

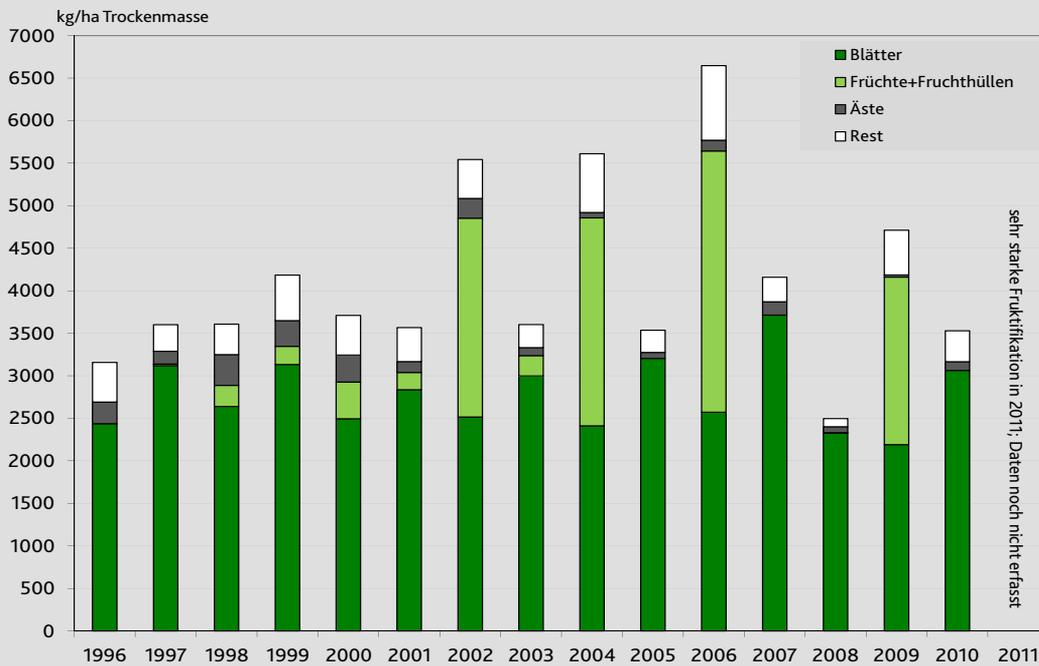
Zwischen der Verzweigungsstruktur der Buche und der Blütenbildung bestehen enge Zusammenhänge, da die Blüten anstelle vegetativer Knospen gebildet werden. Bei gehäufte Blütenbildung an Langtrieben verändert sich die Kronenstruktur durch die fehlenden Seitenzweige. Hierdurch werden die Buchenkronen lichter. Hinzu kommt in Jahren starker Fruchtbildung durch die starke Beanspruchung des Nährstoffhaushalts der Bäume häufig eine Kleinblättrigkeit der Buchen, was sich im aktuellen Jahr gleichfalls in Richtung auf eine zunehmende Kronenverlichtung auswirkt.

### Fruktifikation und Nährstoffhaushalt

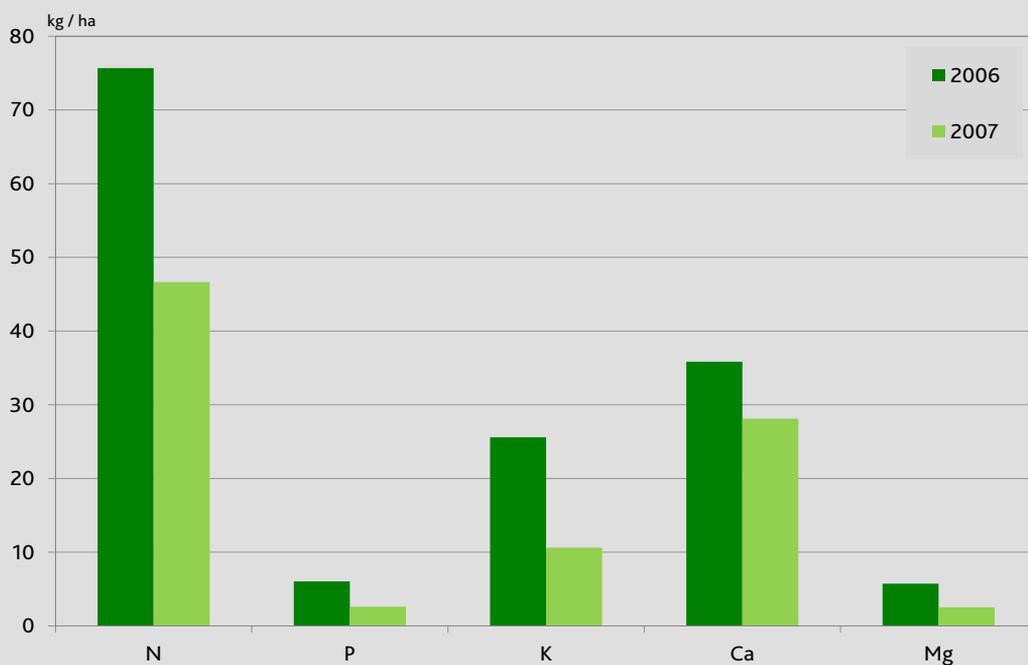
Zur Ausbildung der Blüten und Früchte müssen die Bäume in erheblichem Umfang Assimilate und mineralische Nährstoffe bereitstellen. Streufalluntersuchungen zeigen, dass in Jahren mit starker Fruktifikation die Streufallmenge auf das Doppelte ansteigt. Mit den herabfallenden Früchten werden in den Mastjahren mehr Magnesium, Phosphor und Kalium vom Baum auf den Waldboden verlagert als mit den herabfallenden Blättern. Dies belegt den beträchtlichen zusätzlichen Assimilat- und Nährstoffbedarf der Bäume in Fruktifikationsjahren.

Die benötigten Assimilate und Nährstoffe mobilisiert der Baum zu einem Teil aus angehäuften Reserven. Aus diesem Grunde kann die Buche normalerweise lediglich alle zwei Jahre stark fruktifizieren, da in Fruktifikationsjahren die Reserven verbraucht werden und im Folgejahr für eine Ausbildung der Früchte nicht genügend Assimilate und Nährstoffe zur Verfügung stehen. Darüber hinaus erfolgt meist eine Umverlagerung im Stoffumsatz des Baumes. Dies geschieht durch eine Reduktion des Wachstums. Bei starker Fruktifikation

Jährliche Streufall-Biomasse verteilt auf Blattstreufall, Früchte und sonstiges Streufallmaterial auf einer Buchendauerbeobachtungsfläche im Forstamt Kirchheimbolanden. In Jahren mit starker Fruktifikation wie 2002, 2004, 2006 und 2009 steigt die Streufallmenge deutlich an



Vergleich der Nährstoffflüsse mit dem Streufall in einem Jahr mit starker Fruktifikation (2006) und einem Jahr ohne Fruktifikation (2007) an einer Buchendauerbeobachtungsfläche im Forstamt Kirchheimbolanden



tifikation der Buche ist daher meist das Trieblängen – und Dickenwachstum deutlich vermindert. Da Kronenzustand und Wachstum nicht nur von den Nährstoffreserven, sondern auch von Änderungen in der Konkurrenzsituation, der Wasserverfügbarkeit (Trockenstress) und vielen anderen Faktoren beeinflusst werden, sind die Zusammenhänge aber nicht immer eindeutig. Ein schönes Beispiel sind die Jahre nach dem „Jahrhundert-sommer“ 2003. Aufgrund der Sommertrockenheit 2003 in Kombination mit der starken Fruktifikation 2004 und der Frühsommertrockenheit und Fruktifikation 2006 hielt der Zuwachseinbruch mehrere Jahre an und war mit einer merklichen Zunahme in der Kronenverlichtung der Buchen verbunden. Offenbar benötigten die Buchen bei dieser Kombination von Stresseinflüssen erhebliche Zeit zur Regeneration. Auch im Jahr 2011 ist das Trieblängenwachstum erheblich reduziert. Anzunehmen ist, dass sich in

diesem Jahr neben der Ausbildung der Früchte auch die Frühjahrstrockenheit auf den Zuwachs ausgewirkt hat.

#### Fruktifikationshäufigkeit im langjährigen Vergleich

Aktuelle Literaturrecherchen zur Fruktifikation in Deutschland von 1839 bis 1987 durch PAAR et al. (2011) zeigen, dass der mittlere Abstand zwischen zwei Jahren mit starker Fruchtbildung in dem nahezu 150 Jahre umfassenden Zeitraum 4,7 Jahre betrug. Betrachtet man die in den Abbildungen dargestellte 90-jährige Beispielfläche, haben diese Buchen in den letzten 10 Jahren 5 mal so stark fruktifiziert. Auch bei den anderen Beobachtungsflächen zeigt sich eine gegenüber den früheren Erfahrungen außergewöhnliche Häufung der Fruktifikationsjahre in den letzten Jahrzehnten. Eine Ursache dürfte die häufigere Blühinduktion aufgrund der immer häufigeren Jahre mit warmer

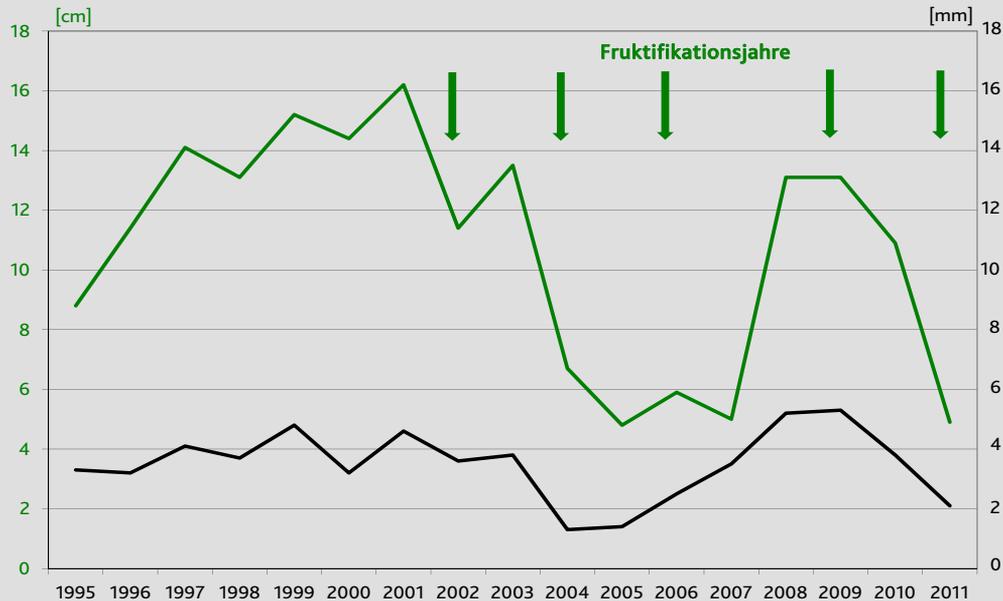


**Gut verzweigter 1 Meter langer Buchenzweig ohne Fruktifikation**



**Schlecht verzweigter, kleinblättriger 1 Meter langer Buchenzweig mit starker Fruktifikation**

Trieb­längen­zu­wachs in der Ober­krone (grün) und Dic­ken­zu­wachs in Brust­höhe (schwarz) auf der Buchen­dauer­beobach­tungs­fläche im Forst­amt Kirch­heim­bolan­den. Offen­bar führte die Kom­bi­na­tion der sehr star­ken Fruktifi­ka­tion 2004 nach der Som­mer­tro­cken­heit 2003 und der Früh­som­mer­tro­cken­heit 2006 zu einer 4 Jahre anhaltenden Reduktion der Trieb­längen und einer 3 Jahre andauernden Verringerung des Dic­ken­wachstums. Dem­ge­gen­über zeigten die Buchen im Fruktifi­ka­tions­jahr 2009 keine Wachstums­ein­bußen



Früh­som­mer­witterung sein. Die Ent­schieden­dung, ob Blü­ten­knospen oder Trieb­knospen gebildet werden, ist von den Witterungs­bedin­gun­gen zum Zeit­punkt der Knospen­an­lage, also den Früh­som­mer­monaten des Vor­jahres ab­hän­gig. Erfah­rungsgemäß gehen Fruktifi­ka­tions­jah­ren Jahre mit warm-trockener Vege­ta­tions­zeit voran. Da diese Bedin­gun­gen in den letz­ten beiden Jahr­zehnten sehr häufig erfüllt waren, ist die Häufung von Blüh­jah­ren nicht ver­wun­derlich. Aller­dings ent­steht nicht aus jeder Blüte eine Mast. Vor­aus­set­zung für eine starke Fruktifi­ka­tion ist eine aus­rei­chende An­sam­mlung von Assimi­la­ten. Hier kann die auf­grund der hohen Am­mo­nium- und Nitrat­de­po­si­tion zu­neh­mende Stick­stoff­ver­füg­barkeit in un­seren Wald­öko­sys­te­men eine Rolle spielen. Auch die Reduktion der Säure­ein­träge,

**Buchen­zweig mit weiblichen und männlichen Blü­ten**  
Foto: H. W. Schröck



die Waldkalkung und der Waldumbau in Richtung gemischter Bestände haben sicherlich zur wieder verbesserten Versorgung mit mineralischen Nährstoffen wie Magnesium und Calcium beigetragen und ermöglichen so eine häufigere Fruktifikation. Deutlich wird, dass die Blüte und die Fruktifikation von einer Reihe von natürlichen, aber auch vom Menschen veränderten Umweltfaktoren abhängen. Im Zuge des Klimawandels könnte sich die bereits in den letzten beiden Jahrzehnten festgestellte Häufung von Blühjahren weiter fortsetzen. Wie sich dies langfristig auf die Kronenzustandsentwicklung der Buche auswirken wird, ist allerdings wegen der Komplexität der Wechselwirkungen beim gegenwärtigen Wissensstand nicht vorhersehbar.

Weitere Informationen zu den Einflussfaktoren auf die Kronenzustandsentwicklung finden Sie im Internet unter [www.fawf.wald-rlp.de](http://www.fawf.wald-rlp.de) über den Pfad:

- Forschungsschwerpunkte
- Forstl. Umweltmonitoring
- Forschung an Dauerbeobachtungsflächen
- Kronenzustand
- Einflussfaktoren auf die Kronenzustandsentwicklung.

Informationen zur Kronenzustandsentwicklung und zur Fruktifikation an den einzelnen Dauerbeobachtungsflächen über den Pfad:

- Forschungsschwerpunkte
- Forstl. Umweltmonitoring
- Forschung an Dauerbeobachtungsflächen
- Karte mit Messstandorten
- Kronenzustand.

## Allgemeine Waldschutzsituation

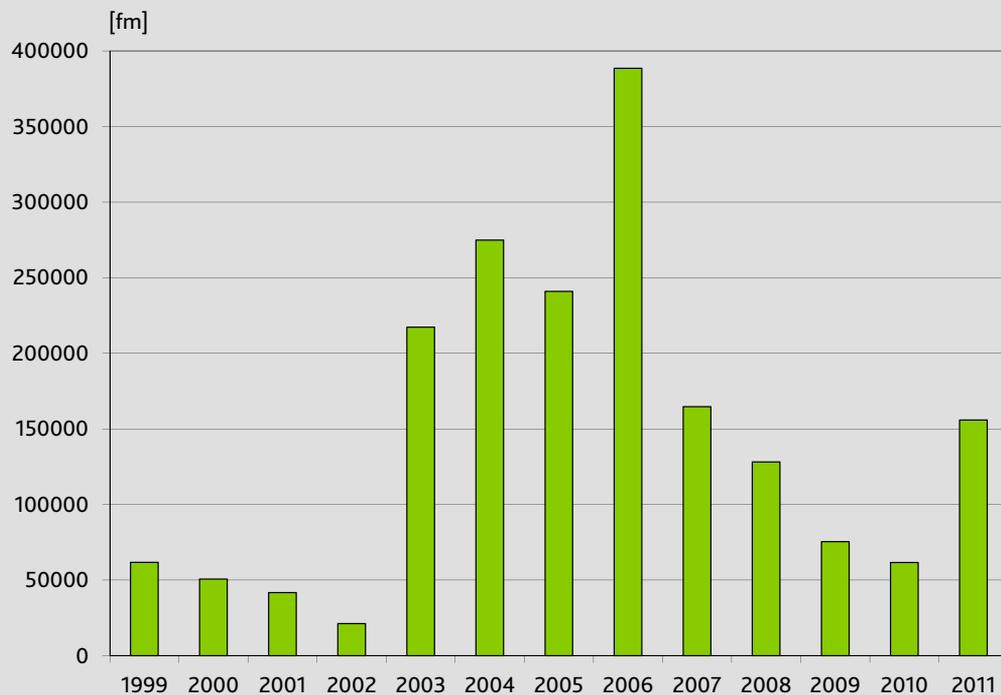
Auch blatt- und nadelfressende Schmetterlingsraupen und bast-, holz- oder wurzelfressende Käfer und deren Larven sowie wurzel-, nadel- und blattbesiedelnde Pilze können einen erheblichen Einfluss auf die Baumvitalität und den Zustand unserer Wälder ausüben. Zudem häuften sich in den letzten Jahren Schäden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

Im Vorjahr (1. März 2010) richtete der Orkan „Xynthia“ in den rheinland-pfälzischen Wäldern beträchtliche Sturmschäden an. Davon waren im Norden des Landes besonders die Eifel und der Hunsrück, aber auch der Westerwald, der Taunus und die Region Trier betroffen. Die Schäden waren mit einem Anteil von 93 % vor allem in den von Borkenkäfern besonders bedrohten Fichtenbeständen aufgetreten. Obwohl das Kalamitätsholz rasch und mit einer auf Borkenkäferprophylaxe orientierten Strategie aufgearbeitet und vermarktet wurde, war in Bezug auf den Borkenkäfer erfahrungsgemäß im Jahr 2011 große Vorsicht geboten. Trotz der besonderen Aufmerksamkeit der Waldbesitzenden und Forst-

leute konnte aufgrund des außergewöhnlich trocken-warmen Witterungsverlaufs im Spätwinter und Frühjahr nicht verhindert werden, dass es in diesem Jahr tatsächlich zu einem gegenüber den Vorjahren gesteigerten Käferholzanfall gekommen ist. Bis einschließlich September wurden 120.000 fm Käferholz verbucht, gegenüber 62.000 fm im gesamten Vorjahr.

Der Verlauf der Flugaktivität des Buchdruckers (*Ips typographus*), als wichtigstem Fichtenborkenkäfer, wird in den Forstämtern Kaiserslautern (Pfälzerwald) und Hochwald (Hunsrück) mit Pheromonfallen überwacht (<http://www.fva-bw.de/monitoring/index9.html>). Seit 2011 kann in Rheinland-Pfalz der potenzielle Entwicklungsstand der Buchdruckerpopulation in verschiedenen Regionen auch auf Grundlage eines Computermodells (PHENIPS) der Universität für Bodenkultur Wien verfolgt werden. Damit werden der Schwärmflug und das Brutgeschehen des Buchdruckers anhand von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) unter Einbindung einer 7-Tagesprognose eingeschätzt. Dies wird anhand von Grafiken für

## Käferholzeinschlag in Rheinland-Pfalz (alle Waldbesitzarten; 2011 bis einschließlich September)



derzeit 32 DWD-Wetterstationen tagesaktuell dargestellt (<http://iff-risikanalyses.boku.ac.at/typo3/index.php?id=74>). Dadurch ist es möglich, frühzeitiger und örtlich differenzierter als in der Vergangenheit auf die Entwicklung des Buchdruckers reagieren zu können.

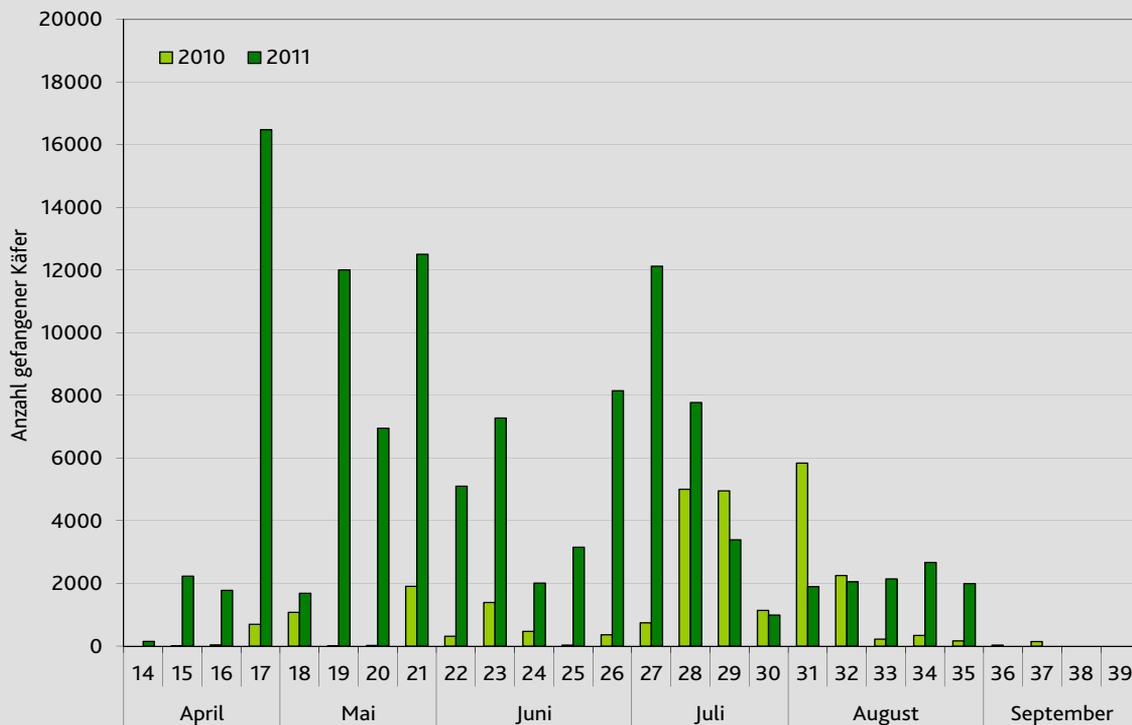
Der Flug des Buchdruckers setzte 2011 Anfang April ungewöhnlich früh ein. Die überwinterten Käfer und die Larven der ersten Generation hatten in diesem außergewöhnlich trocken-warmen Frühjahr beste Entwicklungsbedingungen, so dass der Ausflug der ersten Generation deutlich stärker als im Jahr zuvor ausfiel. Allerdings erfolgte der Flug Ende Juni/Juli in einer Periode mit unbeständiger Witterung und damit weniger guten Bedingungen für die Käfer. In der Folge hat die warme Witterung im August dazu geführt, dass in weiten Teilen des Landes eine zweite Generation fertig ausgebildet werden konnte. Offenbar kann verbreitet auch eine dritte Generation angelegt worden sein.

Um der vom Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) ausgehenden Gesundheitsgefährdung rechtzeitig zu begegnen, wurde ein Naherholungswald bei Neustadt an der Weinstraße im Frühjahr mit einem *Bacillus thuringiensis*-Präparat behandelt. Auch wenn sich die Situation in Rheinland-Pfalz in diesem Jahr insgesamt offenbar weiter entspannt hat, muss zumindest in den südlichen Landesteilen mehr oder weniger dauerhaft mit Belästigungen von Waldbesuchern und der in Eichenwäldern der betroffenen Regionen tätigen Personen durch den Eichenprozessionsspinner gerechnet werden.

In der südlichen Oberrheinebene sind auf trockenen Sandstandorten zahlreiche Waldbestände von einer ausgedehnten Gradation des Waldmaikäfers (*Melolontha hippocastani*) betroffen. Im Frühjahr 2011 fand im Forstamt Bienwald der Käferflug des Südstammes statt.

Aufgrund der ungewöhnlich trocken-warmen Witterung sind die Käfer überraschend früh aus-

## Buchdruckerentwicklung 2011



**Buchdruckerentwicklung 2010 und 2011 im Forstamt Kaiserslautern. Aufgrund der sehr warmen Frühjahrswitterung war ein sehr früher und starker Frühjahrsflug zu beobachten. Insgesamt wurden im Jahr 2011 weitaus mehr Käfer in den Pheromonfallen gefangen als im Vorjahr.**

geflogen. Erste Individuen wurden bereits am 07. April beobachtet, so dass in diesem Jahr eher die Bezeichnung „Aprilkäfer“ zutreffend gewesen wäre. Die anschließend weiter anhaltend günstigen Flugbedingungen haben dazu geführt, dass sich der Käfer im östlichen Bienwald jetzt über die gesamte als Habitat geeignete Waldfläche auf etwa 4.000 ha ausgebreitet hat. Aktuell sind im Bienwald vor allem in Buchen-Verjüngungen und im Buchen-Unterstand zahlreiche Bäume infolge beträchtlicher Wurzelschäden durch Engerlingsfraß abgestorben. Dabei haben die Schäden in den letzten Jahren stetig zugenommen und

**Waldmaikäfer im Forstamt Bienwald beim Reifungsfraß:** Der Waldmaikäfer hat eine vierjährige Entwicklungszeit. Davon verbringt er die meiste Zeit als Engerling im Boden, der die Bäume durch seinen Wurzelfraß empfindlich schädigt. Der eigentliche Käfer kommt im Abstand von vier Jahren nur für etwa vier bis zu sechs Wochen im April und Mai oberirdisch zum Vorschein. In dieser Zeit vollzieht er seinen Reifungsfraß an Laubböhlern und seine Fortpflanzung. Zum Abschluss seiner Entwicklung legt er dann wieder Eier in den Boden ab, woraus sich bald darauf erneut Engerlinge entwickeln

Foto: H. Delb





Durch die Lärchenminiermotte (*Coleophora laricella*) geschädigte Lärchen im Frühjahr 2011 im Forstamt Hinterweidenthal (großes Foto): Die Schäden sind durch den Fraß kleiner Räumchen entstanden, die die Nadeln von innen aufzefressen (minieren). In späteren Larvenstadien leben diese in typischen kleinen Tönnchen, die als Schutzhülle dienen (kleines Foto). Der unscheinbar graue Kleinschmetterling erscheint im späten Frühjahr und legt seine Eier auf den Nadeln ab. großes Foto: F. Schmidt; kleines Foto: H. W. Schröck

2010 bereits einen Flächenumfang von 1.086 ha erreicht. Im kommenden Frühjahr 2012 wird im Forstamt Pfälzer Rheinauen zwischen Germersheim und Bellheim ein ausgedehnter Flug des Nordstammes erwartet.

Die im Pfälzerwald im Frühjahr 2011 örtlich sehr auffälligen braungelben Nadelverfärbungen vor allem an randständigen Lärchen gehen auf einen Befall durch die Lärchenminiermotte (*Coleophora laricella*) zurück. Das Massenaufreten dieses Insektes kann eine Reihe von Jahren andauern. Trotzdem sterben die betroffenen Lärchen nur sehr selten ab und reagieren erfahrungsgemäß lediglich mit Zuwachsverlusten, weshalb Gegenmaßnahmen in der Regel nicht geboten sind.

Das Eschentriebsterben ist in Rheinland-Pfalz weiter vorangeschritten. Der erst kürzlich als Erreger identifizierte Pilz ist das „Falsche Stängelbecherchen“ (*Hymenoscyphus pseudoalbidus*), das seine

Sporen über die Luft verbreitet. Damit ist diese Baumart, auf die im Rahmen des Klimawandels große Erwartungen gesetzt wurden, erheblich bedroht. Überraschend ist allerdings die Beobachtung, dass Eschen oft unter gleichen Bedingungen sehr unterschiedlich stark von der Krankheit befallen werden. Direkt neben abgängigen sind oft noch fast vollständig gesunde Exemplare zu beobachten. Dies lässt bei den Fachleuten auf eine einzelbaumweise Resistenz hoffen.

Der Esskastanienrindenkrebs (*Cryphonectria parasitica*) stellt als pilzlicher Krankheitserreger und Quarantäne-Schadorganismus weiterhin eine gravierende Gefahr für die in dieser Region sehr wertvollen Esskastanienwälder der Pfälzer Haardt dar. Hierzu erfolgen in einem transnationalen EU-Interreg Projekt: „Die Edelkastanie am Oberrhein - eine Baumart verbindet Menschen, Kulturen und Landschaften“ seit 2010 intensive Untersuchungen. In diesem Rahmen wurde auch 2011 an weiteren Waldorten in der Haardt Befall festge-

Durch das Eschentriebsterben stark geschädigte Esche an einem WZE – Aufnahmeort in der Nähe von Hördt.  
Foto: Th. Wehner



Esskastanienrindenkrebs an einem Baum im Forstamt Haardt. Auf der Baumrinde sind die orangefarbenen Sporenlager des Pilzes deutlich zu erkennen.  
Foto: M. Neussel

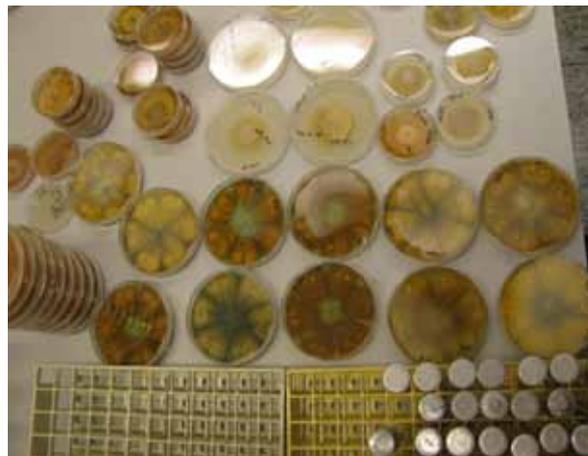
stellt. Außerdem wurden im Zuge dieser Untersuchungen offenbar neu eingeschleppte Pilzstämmen identifiziert. Die Hoffnung auf eine sich natürlich einstellende „Hypovirulenz“ hat sich demgegenüber noch nicht bestätigt. Darunter wird ein Befall durch spezifische Viren verstanden, die die Aggressivität des Pilzes deutlich herabsetzen. Deshalb ist beabsichtigt, aus anderen Verbreitungsgebieten des Rindenkrebses gewonnene Viren in der Haardt versuchsweise auszubringen und somit den Schaden durch den Rindenkrebs einzudämmen.

Im Westerwald (Forstamt Neuhäusel) wurde zum ersten Mal ein Befall des Schwarzen Nutzholzborkenkäfers (*Xylosandrus germanus*) an frisch aufgearbeitetem Douglasien-Stammholz beobachtet. Dieser Käfer stammt ursprünglich aus Ostasien und wurde um 1930 nach Nordamerika, wenig später auch nach Europa eingeschleppt. Er hat sich inzwischen weit ausgebreitet und bisher insbesondere Fichten, Tannen, Kiefern und Laubbäume befallen.

Wenngleich sich der Kronenzustand der Eiche landesweit gegenüber den Vorjahren merklich verbessert hat, traten lokal im Spätsommer in ei-

nigen Eichenbeständen der Forstämter Birkenfeld und Simmern erhebliche Schäden bis hin zum Absterben einer größeren Anzahl von Bäumen auf. Die Schäden stehen offenbar mit einem Rau-penfraß in den Vorjahren in Zusammenhang. Die jeweils dem Fraß folgenden Ersatztriebe wurden insbesondere im Jahr 2010 intensiv vom Mehl-tau befallen. Zudem könnte der starke Spätfrost Anfang Mai die wasserleitenden Frühholzgefäße der Eichen geschädigt haben. Aufgrund der durch diese Einflüsse entstandenen Schwächung der Eichen hat sich offenbar der Eichenprachtkäfer als Folgeschädling eingestellt, der unter der Rinde brütet und so die Regeneration der betroffenen Bäume verhindert.

Die rheinland-pfälzischen Forstämter meldeten auch in diesem Sommer mehrere beachtliche Hagelereignisse, die zu Schäden im Wald führten. Zum Beispiel wurde aus dem Pfälzerwald von Schäden an Kiefern berichtet, so dass dort die Gefahr besteht, dass die Bäume durch Pilzbefall (*Sphaeropsis sapinea*) nach Hagelschlagschäden stark geschädigt werden oder sogar absterben. Örtlich wurden die in diesem Jahr meist zahlreich vorhandenen Bucheckern und Eicheln vor Abschluss ihrer Reife abgeschlagen, so dass es dort zu Einbußen in der Mast gekommen ist. Besonders starke Hagelschäden sind am 26.08.2011 an der Mosel im Forstamt Traben-Trarbach aufgetreten. Im Bereich Bernkastel-Kues, Burgen und



**Der Erreger des Esskastanienrindenkrebses wird in Reinkultur auf Nährmedien in Petrischalen angezogen. Hierbei wird unter anderem die Kompatibilität verschiedener Stämme des Erregers gegenüber einer Übertragung der die Aggressivität des Schad-pilzes vermindern- den Hypovirulenz untersucht.**  
Foto: F. Peters

Veldenz war eine Waldfläche von etwa 150 ha betroffen. Es ist dort zu Kronen- und Astbrüchen und zu erheblichen Verlusten der Blätter und Nadeln von über 50 % der Assimilationsmasse gekommen.

Insbesondere in der Nacht auf den 04. Mai sind in Südwestdeutschland schwerwiegende Spätfröste aufgetreten, die auch im Wald stellenweise zu erheblichen Schäden führten. Betroffen waren vor allem Laubholzkulturen und Naturverjüngungen in Tälern und auf Plateaulagen, die zu dieser Zeit frisch ausgetrieben waren. Dort mussten in der Folge teilweise Nachpflanzungen durchgeführt werden.



**Durch Prachtkäferbefall nach Raupenfraß und Mehltaubefall abgestorbene Eichen im Soonwald.**  
Foto: H. Delb

**Larve und Fraßbild des Zweipunkt-Eichenprachtkäfers.**  
Foto: H. Delb





Waldklimastation Merzalben  
Foto: H.J. Mack



# KOHLENSTOFFSPEICHERUNG IN WALDÖKOSYSTEMEN



Waldökosysteme spielen wegen ihrer erheblichen Kohlenstoffspeicherung und der CO<sub>2</sub>-neutralen Produktion des Rohstoffes Holz eine wichtige Rolle im Klimaschutz. Organisch gebundener Kohlenstoff kommt in den Wäldern im aufwachsenden Waldbestand, im Totholz, in der Bodenvegetation, in der Humusaufgabe und im Mineralboden vor. Die Verteilung und Verfügbarkeit des organischen Kohlenstoffs in den Ökosystemen ist für viele ökosystemare Prozesse und Funktionen beispielsweise die Nährstoffbereitstellung und das Wasserspeichervermögen von zentraler Bedeutung.

Im ökosystemaren Kohlenstoffkreislauf herrscht in der Regel ein Fließgleichgewicht: Abgestorbene Vegetationsteile werden im Boden zersetzt und schließlich mineralisiert. Nur ein kleiner Teil wird gegebenenfalls langfristig im System gespeichert. In welchem Umfang Kohlenstoff gespeichert wird, hängt von den Standortfaktoren wie den klimatischen, orographischen, petrographischen und hydrologischen Bedingungen sowie von der jeweiligen Vegetation ab.

Seit Jahrtausenden nimmt der Mensch Einfluss auf den Kohlenstoffhaushalt. Lange Zeit wurden die Kohlenstoffvorräte der Wälder durch Rodung, Waldverwüstung und übermäßigen Biomasseexport reduziert. Auch der bis ins letzte Jahrhundert hinein übliche Anbau von Nadelholzreinbeständen und die Bewirtschaftung dieser Wälder mit großflächigen Kahlschlägen dürfte zu einem Humusvorratsabbau beigetragen haben. Durch den Übergang zu einer humuspfleghchen naturnahen Waldbewirtschaftung unterstützt durch eine steigende Verfügbarkeit an Stickstoff und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), ist inzwischen eine Trendwende in der Kohlenstoffspeicherung erzielt worden. Allerdings bestehen nach wie vor erhebliche Kenntnislücken, wie sich Veränderungen in den Umweltbedingungen, insbesondere der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse, zunehmende Störungen durch klimatische Extremereignisse und Insektenkalamitäten und auch Veränderungen durch überhöhte Stickstoff- und Säureinträge langfristig auf die Kohlenstoffspeicherung in den Wäldern auswirken.

Da bei diesen Wissenslücken Vorhersagen zur künftigen Entwicklung der Kohlenstoffspeicherung nur sehr eingeschränkt möglich sind, ist ein Monitoring der Kohlenstoffspeicherung in den verschiedenen Ökosystemkompartimenten unerlässlich.

Im rheinland-pfälzischen forstlichen Umweltmo-

onitoring werden Kohlenstoffgehalte und -vorräte in den Waldökosystemen sowohl im Rahmen der Waldbodenzustandserhebungen (BZE I und BZE II) auf einem landesweiten Raster als auch auf den Intensivuntersuchungsflächen (Level II-Dauerbeobachtungsflächen) erfasst. Bei der BZE II wurden zusätzlich zu den Vorräten an organisch gebundenem Kohlenstoff im Boden auch die Kohlenstoffvorräte im Baumbestand, im Totholz, in der Verjüngung und in der Bodenvegetation kalkuliert. Somit stehen für alle Aufnahmepunkte Schätzungen zum gesamten ökosystemaren Kohlenstoffvorrat zur Verfügung.

Die Vorräte an organisch gebundenem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) aufsummiert über alle Kompartimente des jeweiligen Waldökosystems variieren an den 165 Rasterpunkten der BZE II zwischen 90 und 528 t C<sub>org</sub>/ha (Median 228 t C<sub>org</sub>/ha). Bei einer Waldfläche von 833.000 ha (Holzbodenfläche: 811.000 ha) sind landesweit etwa 185 Millionen Tonnen C<sub>org</sub> gespeichert. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Bindung von etwa 680 Millionen Tonnen. Zum Vergleich: In Rheinland-Pfalz werden jährlich etwa 39 Mio Tonnen CO<sub>2</sub> infolge des Endenergieverbrauchs emittiert (8. Energiebericht Rheinland-Pfalz).

Der bedeutsamste Kohlenstoffspeicher ist der aufstockende Waldbestand (oberirdische + unterirdische Biomasse) mit bis zu 284 t C/ha (Median

---

114 t C/ha), gefolgt vom Mineralboden mit 13 bis 359 t C/ha (Median 78 t C/ha) und der Humusaufgabe mit bis zu 176 t C/ha (Median 17 t C/ha). In der Bodenvegetation einschließlich der Waldbaumverjüngung befinden sich Kohlenstoffvorräte bis zu 3 t C/ha (Median 0,16 t C/ha) und im Totholz (stehend + liegend + Baumstämme einschließlich Wurzelteile) bis zu 44 t C/ha (Median 5,7 t C/ha).

Die in der ober- und unterirdischen Biomasse der Waldbestände gespeicherten Kohlenstoffvorräte variieren vor allem in Abhängigkeit von der am jeweiligen Aufnahmepunkt dominierenden Baumart. Hohe Vorräte in der Baumbiomasse weisen vor allem buchengeprägte Waldbestände auf, die mit 100 Jahren auch das höchste mittlere Alter im Untersuchungskollektiv aufweisen. Trotz des mit 61 bzw. 57 Jahren merklich geringeren Durchschnittsalters der fichten- bzw. douglasiendominierten Bestände sind auch in diesen Waldtypen die hektarbezogenen C-Vorräte in der Biomasse der Waldbäume hoch. Vergleichsweise niedrige Kohlenstoffvorräte im aufwachsenden Waldbestand zeigen demgegenüber kieferengeprägte Bestände, obgleich diese mit 86 Jahren ein vergleichsweise hohes Durchschnittsalter besitzen und meist über einen Nebenbestand aus Rotbuchen verfügen.

In der Bodenvegetation zeigen, häufig durch Sturmwürfe oder Borkenkäferschäden aufgelichtete, fichtendominierte Bestände, gefolgt von douglasiengeprägten und eichengeprägten Beständen die höchsten Kohlenstoffvorräte. In buchendominierten Beständen ist die Bodenvegetation auf den meist bodensauereren Standorten erwartungsgemäß meist nur spärlich vertreten. Dies gilt auch für kieferndominierte Bestände, die meist einen Rotbuchen-Nebenbestand aufweisen, so dass nur wenig Licht auf den Waldboden gelangt.

Die höchsten Kohlenstoffvorräte im Totholz wurden für nadelbaumdominierte Bestände gefolgt von buchendominierten Beständen ermittelt. Eichendominierte Waldbestände weisen demgegenüber vergleichsweise geringere Totholzvorräte

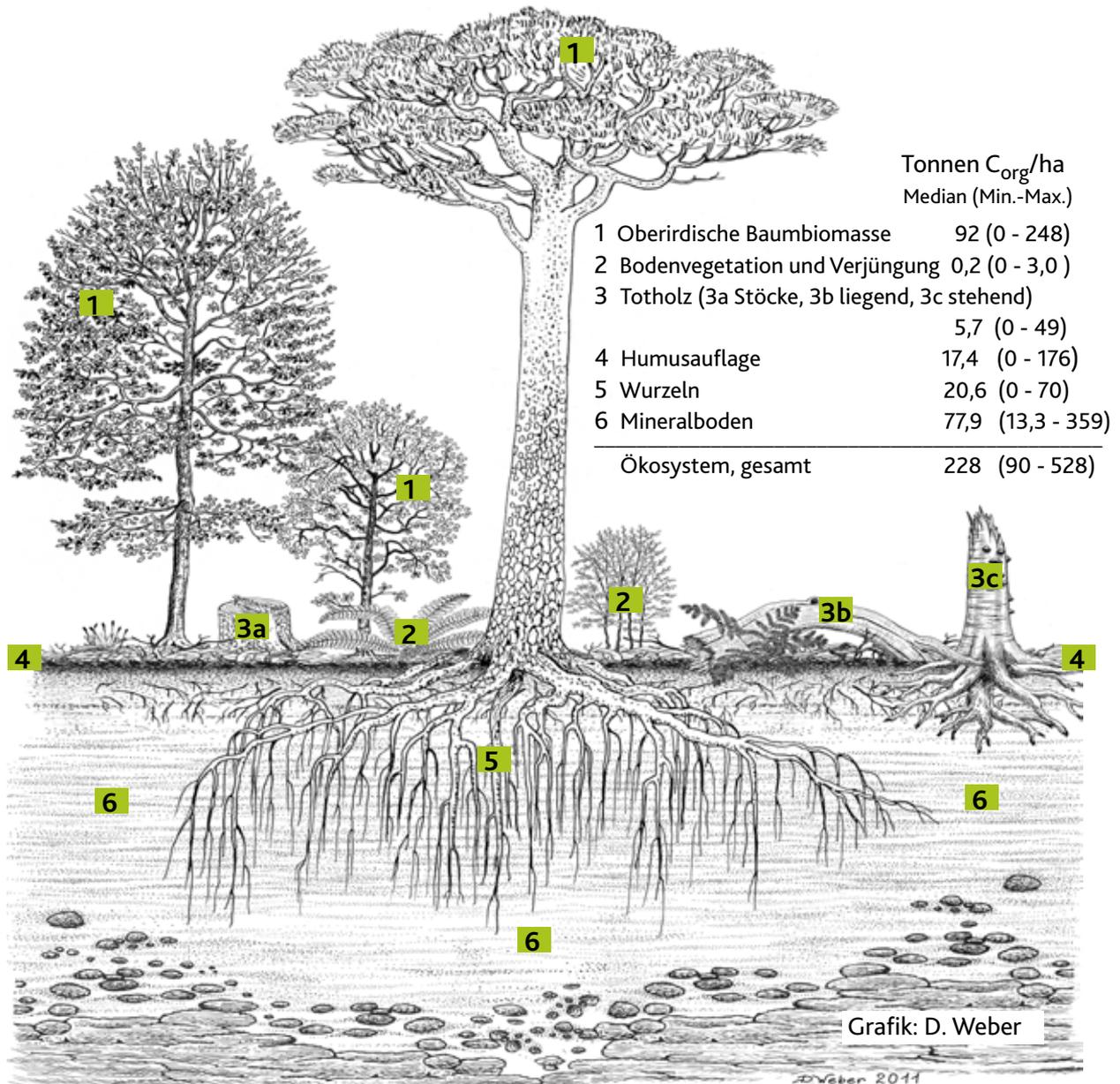
auf.

Die höchsten Kohlenstoffvorräte in der Humusaufgabe sind in kieferndominierten Beständen, gefolgt von fichtendominierten und douglasiendominierten Beständen, zu finden. In den Laubwäldern sind die im Humus gebundenen C-Vorräte nur halb so hoch wie in den Nadelwäldern. Statistische Analysen zeigten, dass neben der Baumart auch der Bodenwasserhaushalt die Kohlenstoffvorräte in der Humusaufgabe beeinflusst. Offenbar ist bei „feuchten“ oder „nassen“ Standortsbedingungen die Streuzersetzung beeinträchtigt, woraus eine  $C_{org}$ -Anreicherung in der Humusaufgabe resultiert.

Die im Mineralboden gespeicherten  $C_{org}$ -Vorräte unterscheiden sich demgegenüber zwischen den verschiedenen Bestockungstypen nur vergleichsweise wenig. Statistischen Analysen zufolge haben langfristig wirksame klimatische Einflüsse wie der mittlere Jahresniederschlag und der Bodenwasserhaushalt einen höheren Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherung im Mineralboden als der aktuelle Waldbestand.

Die in der Biomasse und in der Humusaufgabe gespeicherten Kohlenstoffvorräte können in erheblichem Umfang, z.B. bei Kalamitäten wie großflächigen Sturmwürfen, kurzfristig umgesetzt werden. Sie gelten demzufolge als „labiler“ Kohlenstoffpool. Die im Mineralboden gespeicherten Vorräte sind äußeren Einflüssen weniger ausgesetzt und gelten daher als stabiler Pool.

Da der organische Kohlenstoff im Boden größtenteils aus der Streu der Waldvegetation stammt, weisen die Humusaufgabe und der oberste Mineralbodenhorizont die höchsten  $C_{org}$ -Gehalte auf. Mit zunehmender Bodentiefe nehmen die Kohlenstoffkonzentrationen rasch ab. Doch auch in den Unterböden (> 30 cm Mineralbodentiefe) finden sich noch beträchtliche  $C_{org}$ -Vorräte. Im Mittel sind hier 22 t  $C_{org}$ /ha und damit etwa ein Zehntel des ökosystemaren  $C_{org}$ -Vorrats gespeichert. Dieser organische Kohlenstoff ist meist sehr alt und spiegelt wohl insbesondere die Klimabedingungen vieler Jahrhunderte wieder.



Die Möglichkeiten, die Kohlenstoffspeicherung in unseren Wäldern zu erhöhen und damit einen weiteren Teil des Klimagases CO<sub>2</sub> beständig zu binden, sind eng begrenzt. In unserem sehr waldreichen Land bestehen nur beschränkte Potenziale, durch Neuaufforstungen weitere Waldbestände zu schaffen. In den bestehenden Wäldern sind seit dem Zweiten Weltkrieg und den Reparationshieben in den Nachkriegsjahren der Holzvorrat und damit auch der in den Bäumen gespeicherte Kohlenstoffvorrat kontinuierlich angestiegen. Mittlerweile hat der Holzvorrat in unseren Wäldern ein Niveau erreicht, dass eine weitere Steigerung unwahrscheinlich wird. Wegen

des hohen Vorrats und des im Zuge des Klimawandels offenbar zunehmenden Risikos von Extremereignissen wie Stürmen ist künftig auch eine Abnahme des C-Vorrats in der aufstockenden Biomasse möglich. Unzureichend bekannt ist auch, wie sich die im Waldboden gespeicherten Kohlenstoffvorräte im Klimawandel entwickeln werden. Je nach Standort und Bestockung können sowohl Anreicherungen als auch Verluste insbesondere im labilen Kohlenstoffpool auftreten. Bislang zeigte sich kein eindeutiger Trend. So unterscheiden sich die im Zuge der Bodenzustandserhebungen in den Jahren 1989 und 2006 ermittelten C<sub>org</sub>-Vorräte im Boden nicht signifikant.



# ERFOLGREICHE LUFTREINHALTUNG IN RHEINLAND-PFALZ



Durch vielfältige Luftreinhaltemaßnahmen vor allem im Bereich der genehmigungspflichtigen Anlagen konnten die Emissionen der gesetzlich regulierten Luftschadstoffe in Rheinland-Pfalz kontinuierlich gesenkt werden. Im Vergleich zum Bezugsjahr 2004 sind die Staubemissionen um vier Fünftel, die Arsenemission um zwei Drittel und die Blei- und Methanemission um nahezu die Hälfte reduziert worden.

Durch die Verringerung im Luftschadstoffausstoß konnte auch die Immissionssituation merklich verbessert werden: Durch Maßnahmen im Verkehrs- und Kraftstoffbereich wurde die Benzolbelastung soweit gemindert, dass der geltende Grenzwert sicher eingehalten wird. Auch die Immissionssituation für Kohlenwasserstoffe und Schwefeldioxid hat sich sehr deutlich verbessert. Bei den Stickstoffoxiden führt der Einsatz der Oxidationskatalysatoren und der Anstieg der Dieselfahrzeuge in der Fahrzeugflotte allerdings zu einer teilweisen Kompensation der erfolgreichen Emissionsminderung im Industriebereich. Daher stagnieren die NO<sub>2</sub>-Immissionen in den letzten Jahren. Beim Schwebstaub hat der Einsatz von Partikelminderungssystemen in der Industrie und im Verkehrsbereich eine deutliche Verbesserung der Schweb- und Feinstaub-Immissionssituation in Rheinland-Pfalz bewirkt, die sich aller Voraussicht nach weiter fortsetzen wird. Beim Ozon hat sich die Anzahl der Tage mit Überschreitungen der für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung wichtigen Informationsschwelle merklich reduziert. Demgegenüber sind die für die Pflanzen bedeutsamen mittleren Ozonbelastungen nicht wesentlich verändert. In verkehrsnahen Innenstadtbereichen ist eine Zunahme der Ozonbelastungen festzustellen, die mit einem verminderten Ozonabbau zusammenhängt.

### Entwicklung des Ausstoßes an Luftschadstoffen (Emission)

Durch vielfältige erfolgreich umgesetzte Luftreinhaltemaßnahmen, vor allem im Bereich der genehmigungs- und somit emissionsberichtspflichtigen Anlagen, ist es in Rheinland-Pfalz gelungen, die Emissionen der gesetzlich reglementierten Luftschadstoffe kontinuierlich zu senken. So weist der aktuelle Emissionskatasterbericht im Vergleich zum Bezugsjahr 2004 folgende Emissionsminderungen auf:

### Entwicklung der Luftschadstoffbelastungen (Immission)

#### Benzol

Benzol ist eine klare, farblose, leicht flüchtige und leicht brennbare Flüssigkeit mit charakteristischem Geruch und gehört der Klasse der aromatischen Kohlenwasserstoffe an. In hoher Konzentration führt Benzol zu Schädigungen der Leber, der Nieren und des Knochenmarkes. Aber auch geringe Konzentrationen sind nicht unbe-

#### Organische Verbindungen

- |  |       |               |
|--|-------|---------------|
| • Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC) | -8 %  | auf 5.475 t/a |
| • Methan                                 | -45 % | auf 1.847 t/a |

#### Anorganische Gase

- |  |       |                |
|--|-------|----------------|
| • Stickoxide NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )    | -12 % | auf 12.796 t/a |
| • Schwefeloxide SO <sub>x</sub> (als SO <sub>2</sub> ) | -9 %  | auf 3.411 t/a  |
| • Ammoniak   | -22 % | auf 541 t/a    |

#### Staub

- |                        |       |               |
|------------------------|-------|---------------|
| • Gesamtstaub          | -86 % | auf 2.334 t/a |
| • davon Feinstaub PM10 | -79 % | auf 1.205 t/a |

#### Schwermetalle

- |         |       |              |
|---------|-------|--------------|
| • Blei  | -43 % | auf 0,69 t/a |
| • Arsen | -68 % | auf 0,06 t/a |

## Karte PRTR-berichtspflichtige Betriebseinrichtungen in Rheinland-Pfalz (Stand 2010)

### PRTR – Das Europäische Schadstoffemissionskataster

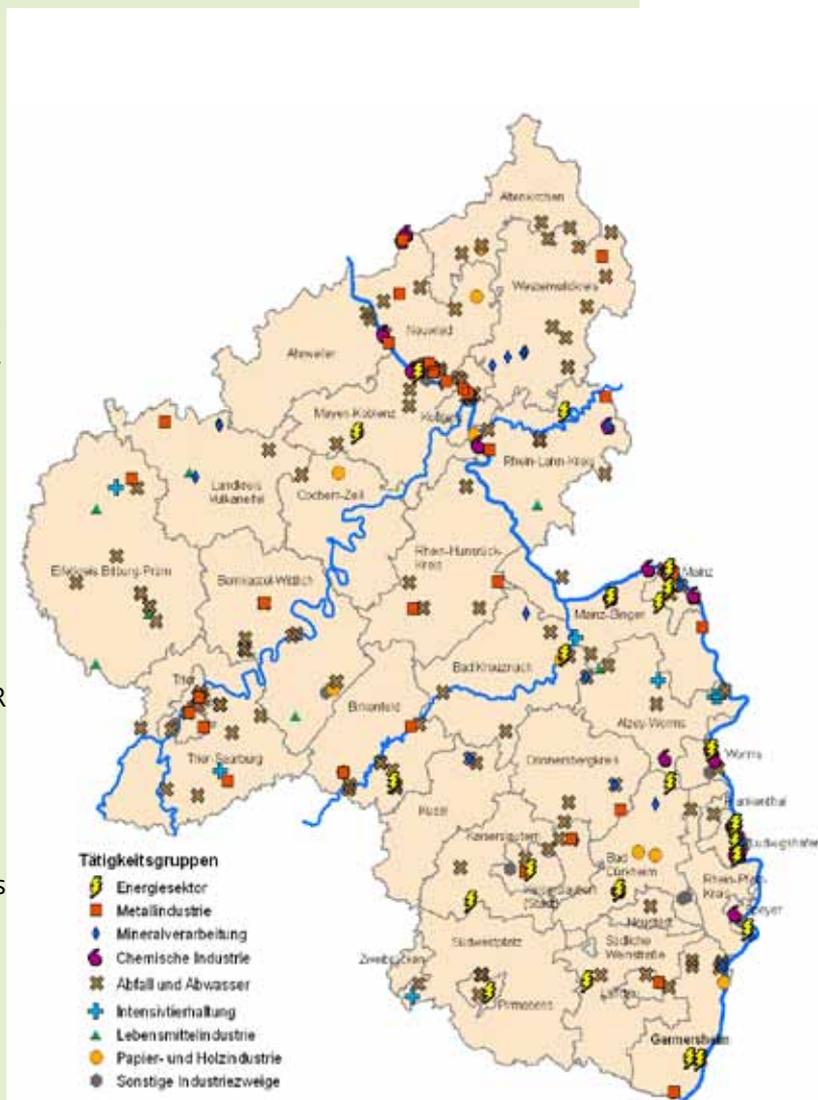
#### Industrielle Betriebseinrichtungen in Rheinland-Pfalz

Das PRTR (**P**ollutant **R**elease and **T**ransfer **R**egister) ist ein Register mit Schadstoffemissionen in der Luft, in Boden, in Gewässern und (über die Kanalisation) in externen Kläranlagen sowie über entsorgte gefährliche und nicht-gefährliche Abfälle. Es verfolgt durch die Veröffentlichung und Verbesserung der Zugänglichkeit dieser Daten folgende Zielsetzungen:

- Sensibilisierung der Öffentlichkeit für Umweltfragen und Förderung des Umweltbewusstseins
- Wirksamere Beteiligung der Öffentlichkeit an der Entscheidungsfindung im Umweltbereich
- Verbesserung der Umweltleistung von Unternehmen
- Monitoring der Situation zu Schadstofffreisetzungen und Abfallverbringungen aus industriellen Tätigkeiten
- Beobachtung, Ableitung und Bewertung von Trends und Fortschritten bei der Verringerung von Umweltbelastungen
- Bildung einer Datenbank für Öffentlichkeit, Industrie, Wissenschaft, Verwaltung, Nichtregierungsorganisationen und anderen Entscheidungsträgern als Unterstützung für Vergleiche und Entscheidungen in Umweltfragen

Im PRTR gibt es insgesamt 65 industrielle Tätigkeiten, die 9 Industriebranchen zugeordnet werden. Eine Betriebseinrichtung ist erst dann PRTR-berichtspflichtig, wenn sie eine sogenannte PRTR-Tätigkeit ausübt. Außerdem muss die Betriebseinrichtung einen bestimmten Kapazitätsschwellenwert, z.B. eine Produktionsmenge oder Emissionsobergrenze überschreiten, um PRTR-berichtspflichtig zu sein. Ist kein Kapazitätsschwellenwert angegeben, so ist jede Betriebseinrichtung, die diese Tätigkeit ausübt automatisch PRTR-berichtspflichtig.

Insgesamt 91 Schadstoffe sind für Freisetzungen in Luft, Wasser und Boden sowie für Verbringungen von Schadstoffen in Abwasser relevant. Die Anzahl der berichtspflichtigen Betriebseinrichtungen hat sich seit Einführung des Emissionskatasters EPER (**E**uropean **P**ollutant **E**mission **R**egister) im Jahr 2004 bis hin zum aktuellen PRTR durch den gewachsenen Berichtsumfang bezüglich der industriellen Tätigkeiten und freigesetzten Schadstoffe ständig erhöht. Bei der letzten Datenerhebung hat Rheinland-Pfalz die Emissionen von knapp 300 Betriebseinrichtungen an das Umweltbundesamt gemeldet. Zukünftig werden neben den industriellen Emissionen aus gefassten Quellen auch die Emissionen aus sogenannten „diffusen“ Quellen, hierzu zählen unter anderem der Verkehrsbereich und die privaten Haushalte, erfasst und veröffentlicht.



denklich, da dieser Stoff Krebs erzeugen kann. Benzol wird Kraftstoffen beigemischt, um die Klopfestigkeit zu erhöhen. Durch Verdunstung beim Betankungsvorgang kam in der Vergangenheit jeder mit dieser Substanz in Kontakt. Dieses Verdunstungsproblem wurde in den letzten Jahren durch die Einführung von Gasrückführungssystemen (Saugrüssel) gelöst.

Der Hauptanteil der Belastung geht jedoch auf den Straßenverkehr zurück. Benzol ist Bestandteil der entweichenden Kraftfahrzeugabgase.

Im Jahr 1995 lag der gemessene Jahresmittelwert für Benzol in Mainz noch bei  $8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und hat in den darauffolgenden Jahren immer weiter abgenommen bis zu einem Wert von  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 2010. Dieser Trend ist – wenn auch in abgeschwächter Form – ebenfalls an der Messstation in Speyer zu beobachten. So ist auch hier die Benzolbelastung von  $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 1998 auf  $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 2010 zurückgegangen. Gründe hierfür sind die Senkung des Benzolgehalts im Kraftstoff und die Einführung von Gasrückführungssystemen an Tankstellen und Tanklagern, die den Austritt des leicht flüchtigen Benzols beim Lagern, Tanken und Umfüllen mindern.

Durch die genannten Maßnahmen im Verkehrs- und Kraftstoffbereich konnten die Jahresmittelwerte soweit gemindert werden, dass der seit 2010 geltende Grenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sicher eingehalten wird. Mit einer Überschreitung in den nächsten Jahren ist nicht zu rechnen.

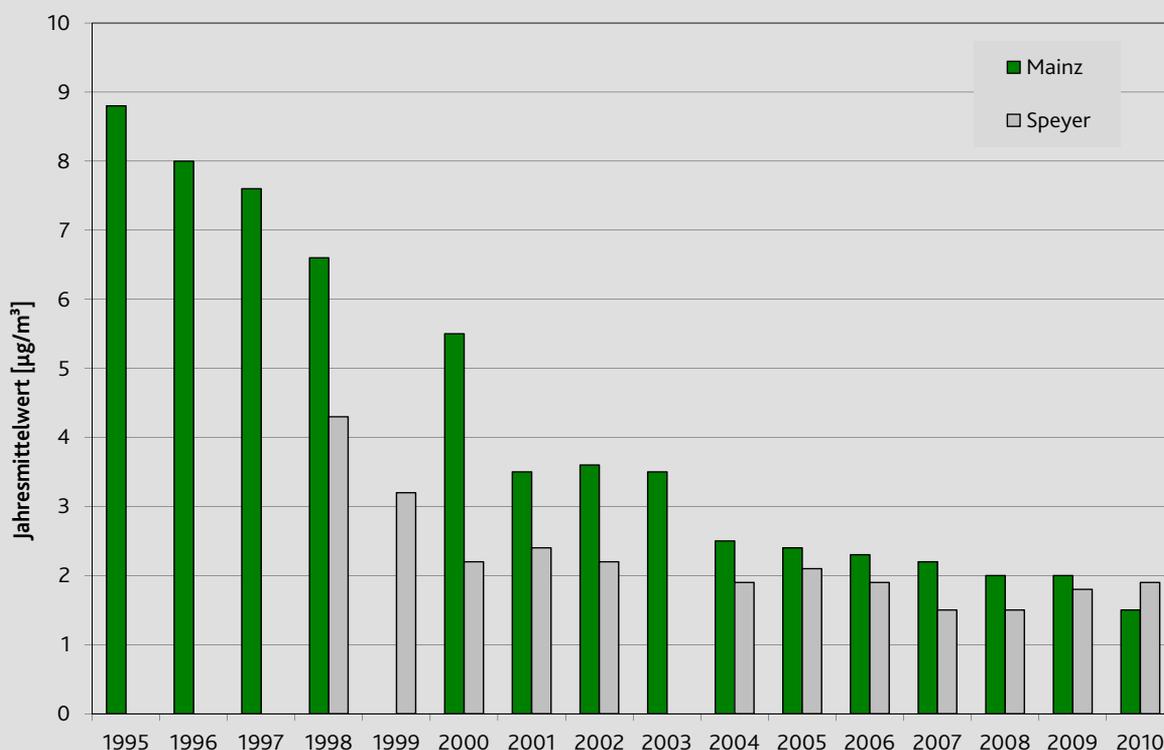
### Kohlenwasserstoffe

Organische Verbindungen gelangen in kaum zu überschauender Zahl und Zusammensetzung in die Atmosphäre. Um sie messtechnisch in ihrer Gesamtheit zu erfassen, wird der Summenparameter „Kohlenwasserstoffe“ mit Hilfe geeigneter Messeinrichtungen ermittelt.

Für die Kohlenwasserstoffe gibt es wegen des völlig unterschiedlichen Wirkpotentials der Einzelkomponenten keine vorgegebenen Grenz-, Richt- oder Leitwerte. Sie bilden den Hauptteil der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC - Volatile Organic Compounds -) und werden als umweltschädlich eingestuft.

Die Kohlenwasserstoff-Emissionen entstehen hauptsächlich bei der Lösemittelanwendung und bei unvollständig ablaufenden Verbrennungsvorgängen, insbesondere in Kraftfahrzeugen. Weitere

## Entwicklung der Benzol-Immissionssituation in Rheinland-Pfalz



Emissionsquellen sind auch chemische und petrochemische Produktionsanlagen sowie Tankstellen. Nicht zuletzt entstehen Kohlenwasserstoffe auch aus natürlichen Quellen, wie Wäldern und Sümpfen.

In Mainz wurde im Jahr 1994 noch ein Jahresmittelwert für Kohlenwasserstoffe von  $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen. Zu dieser Zeit verfügten beispielsweise die Tankstellen noch nicht über Gasrückführungssysteme. Erst mit der Einführung dieser Abgasminderungstechnik konnten die Jahresmittelwerte für Kohlenwasserstoffe in Mainz auf  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 2010 gesenkt werden. In der Waldmessstation im Pfälzerwald befinden sich die Jahresmittelwerte seit Messbeginn auf einem niedrigen Niveau und schwanken um den Wert von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Durch die Einführung geeigneter Abgasminderungstechnik in allen Emissionssektoren ist in Zukunft mit einem weiteren Rückgang der Konzentrationswerte bei Kohlenwasserstoffen zu rechnen.

### Schwefeldioxid

Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) ist ein farbloses, reizendes, stechend riechendes Gas. Aufgrund seiner leichten Wasserlöslichkeit ist es Hauptverursacher des

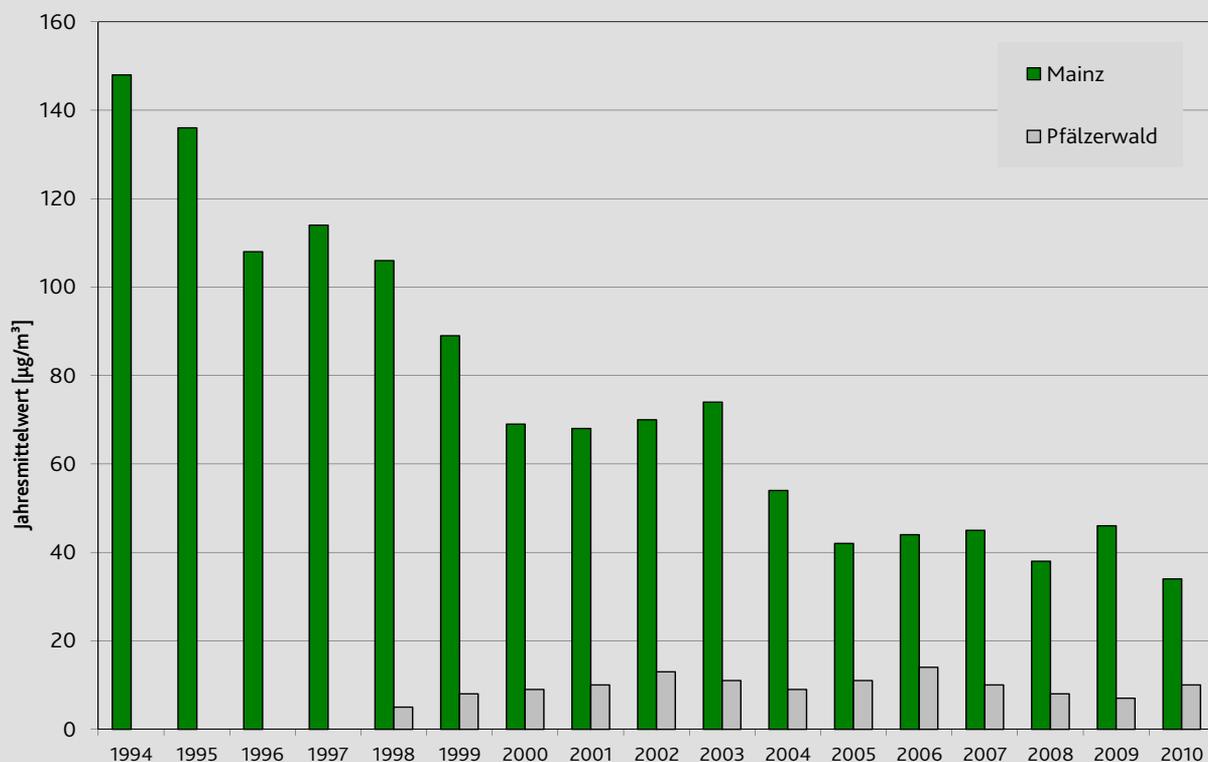
„Sauren Regens“, der empfindliche Ökosysteme wie Wälder und Seen gefährdet und Gebäude und Materialien angreift.

Die Schwefeldioxid-Immissionen haben auch Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und führen zu Kopfschmerzen, Übelkeit und Benommenheit und in erhöhten Konzentrationen sogar zu Atemwegserkrankungen.

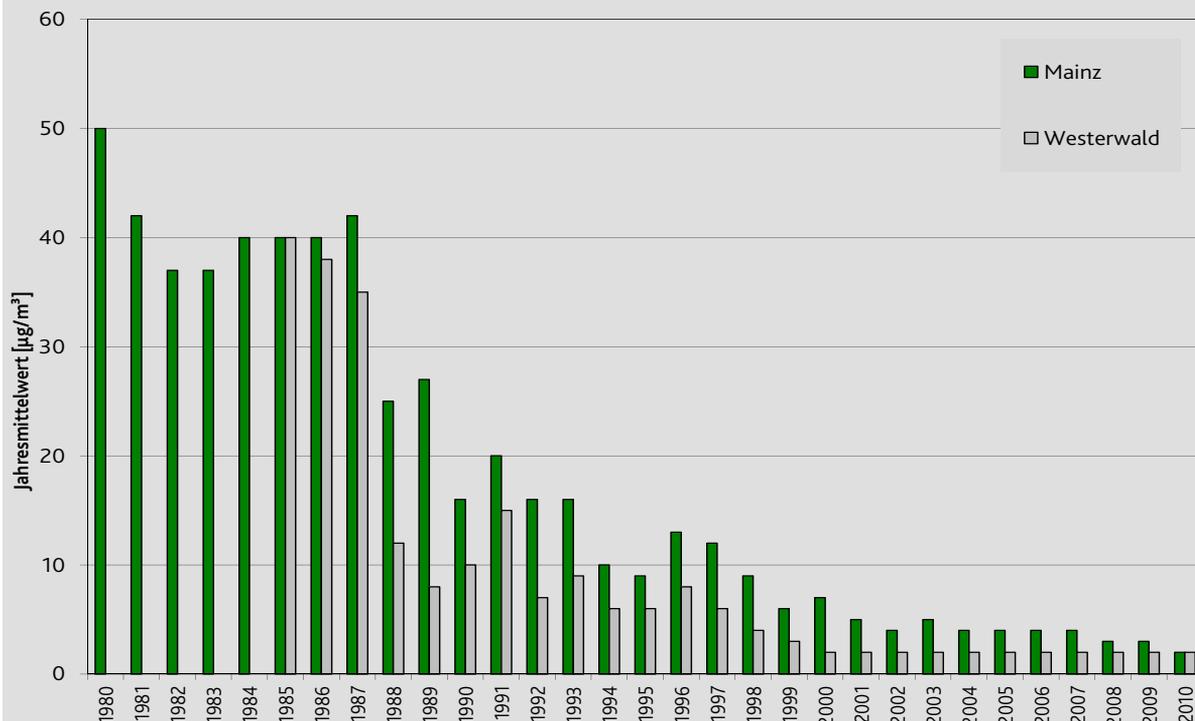
Schwefeldioxid natürlichen Ursprungs entsteht beispielsweise bei Vulkanausbrüchen. Anthropogene Emissionsquellen sind die Energieerzeugung, der Verkehrsbereich, Industrieprozesse, Gewerbe und private Haushalte.

Die Schwefeldioxidimmissionen sind sowohl im verkehrsbelasteten Bereich, beispielsweise in Mainz von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (in den 80er Jahren) auf  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (im Jahr 2010), als auch in den Waldgebieten, beispielsweise im Westerwald von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (im Jahr 1985) auf  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (im Jahr 2010) stark zurückgegangen, so dass die Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit in Rheinland-Pfalz weit unterschritten werden. Hauptverantwortlich für den beobachteten Rückgang der Immissionswerte ist die stark verbesserte Abgasreinigungstechnik (Rauchgasentschwefelung) im Kraftwerksbereich, die Altanlagenanierung nach TA Luft und der Einsatz

### Entwicklung der Kohlenwasserstoff-Immissionssituation in Rheinland-Pfalz



## Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Immissionssituation in Rheinland-Pfalz



schwefelarmer bzw. schwefeldreier Kraft- und Brennstoffe im Kraftfahrzeug- und Hausbrandbereich.

Da mittlerweile der Schiffsverkehr einen erheblichen Anteil an den SO<sub>2</sub>-Immissionswerten hat, ist aufgrund der Tatsache, dass zukünftig auch die dort eingesetzten Kraftstoffe stärker entschwefelt werden, in den nächsten Jahren mit einer weiteren Verbesserung der Schwefeldioxid-Belastung zu rechnen.

### Stickstoffoxide

Als Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) wird die Summe aus Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) bezeichnet. Stickstoffdioxid ist ein rotbraunes, giftiges, stechend chlorähnlich riechendes Gas, das als Spurengas in der Atmosphäre vorkommt.

Wie andere Luftschadstoffe auch wirken Stickstoffoxide schädlich auf die Atemwege. Eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Atemwegsinfektionen und chronischer Bronchitis bei länger einwirkenden höheren Konzentrationen lässt sich nachweisen.

Stickstoffdioxid stammt insbesondere aus Abgasen von Industrieanlagen, Kraft- und Fernheizwerken, von Gebäudeheizungen und Verkehrs-

abgasen. Den größten Anteil an der Emission hat heute mit Abstand der Verkehr. Der lokale Anteil kann bei starker Verkehrsbelastung bis zu 70 % betragen.

In den 80er Jahren lagen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte in Ludwigshafen und Mainz noch zwischen 60 und 80 µg/m<sup>3</sup>. In den Waldmessstationen Westpfalz und Westerwald wurden Jahresmittelwerte von 20 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Aufgrund der Verringerung der Stickoxidemissionen im Industriebereich konnten die Jahresmittelwerte gesenkt werden, so dass die Konzentrationswerte Mitte der 90er Jahre bereits deutlich niedriger lagen (Mainz/Ludwigshafen 40 µg/m<sup>3</sup>, Westpfalz/Westerwald 15 µg/m<sup>3</sup>). Es ist jedoch zu erkennen, dass die Jahresmittelwerte in Mainz und Ludwigshafen seit 1993 stagnieren bzw. wieder ansteigen. Dort wird der gültige Jahresmittelgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> aktuell lokal überschritten. Gründe hierfür sind der verbreitete Einsatz von Oxidationskatalysatoren und der Anstieg der Dieselfahrzeuge im Verkehrsbereich, was zu erhöhten primären Stickstoffdioxidemissionen führt und die erfolgreichen Emissionsminderungen im Industriebereich kompensiert. An den Waldmessstationen ist seit den 80er Jahren ein Rückgang (-50 %) der NO<sub>2</sub>-Belastung auf 10 µg/m<sup>3</sup> zu

verzeichnen.

Eine Verbesserung der Stickstoffdioxid-Belastung ist jedoch kurzfristig nicht zu erreichen. Erst mit Einführung von NO<sub>2</sub>-mindernden Katalysatoren (SCR) und der Einführung der Abgasnormen EURO 6/VI im Jahr 2014/2015 werden grundlegende Verbesserungen der Stickstoffdioxid-Belastung erwartet.

### Schweb- und Feinstaub

Als Schwebstaub oder englisch „Total Suspended Particles“ (TSP) bezeichnet man Partikel in der Luft, die eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Hierbei unterscheidet man primäre, z.B. bei Verbrennungsprozessen direkt aus der Quelle emittierte Stäube und sekundäre Stäube, die erst durch komplexe chemische Reaktionen in der Atmosphäre entstehen. Unter Feinstaub „Particulate Matter“ (PM10) versteht man alle Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer ist.

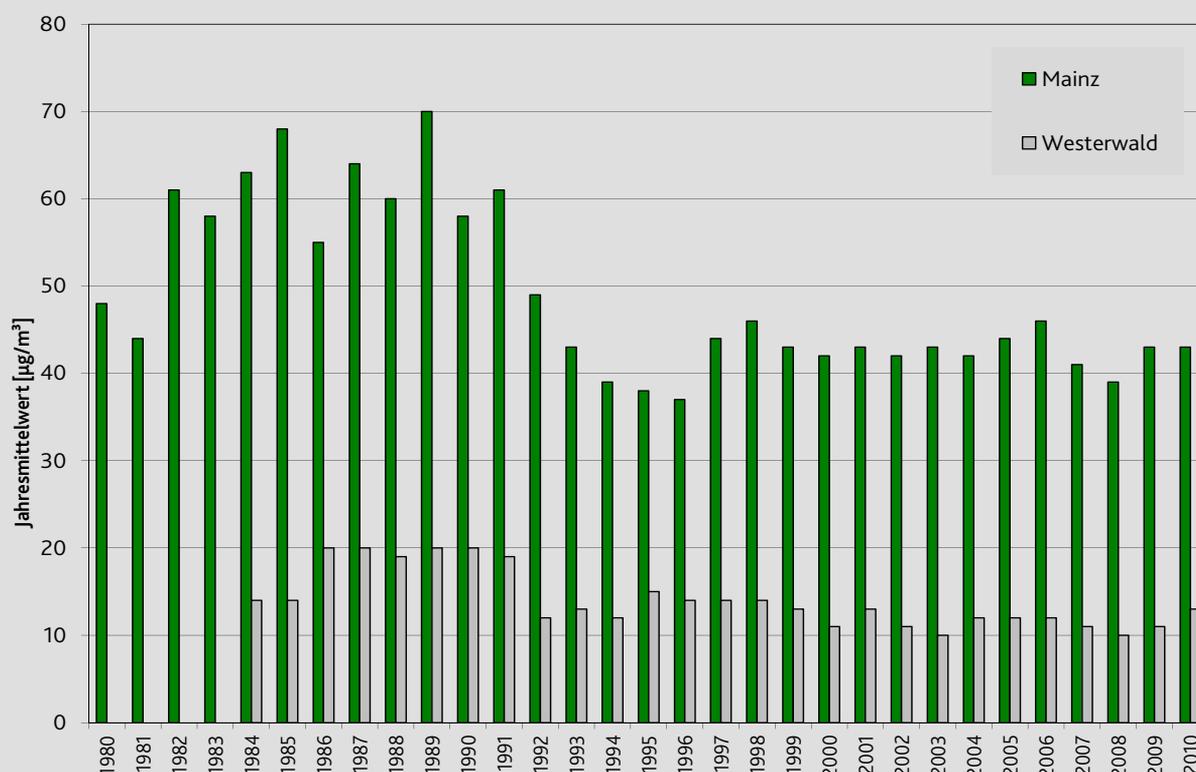
Auch Feinstäube können schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Sie gelangen über die Atemwege in die Lunge und können zu akuten und chronischen Atemwegs-

sowie zu Herz-Kreislaufkrankungen führen. Feinstaub kann natürlichen Ursprungs (z.B. Pollen, Meersalz oder Vulkanasche) oder anthropogen Ursprungs sein. Wichtige anthropogene Feinstaubquellen sind Kraftfahrzeuge, Hausbrand, Schüttgüterumschlag, Tierhaltung sowie Industrieprozesse.

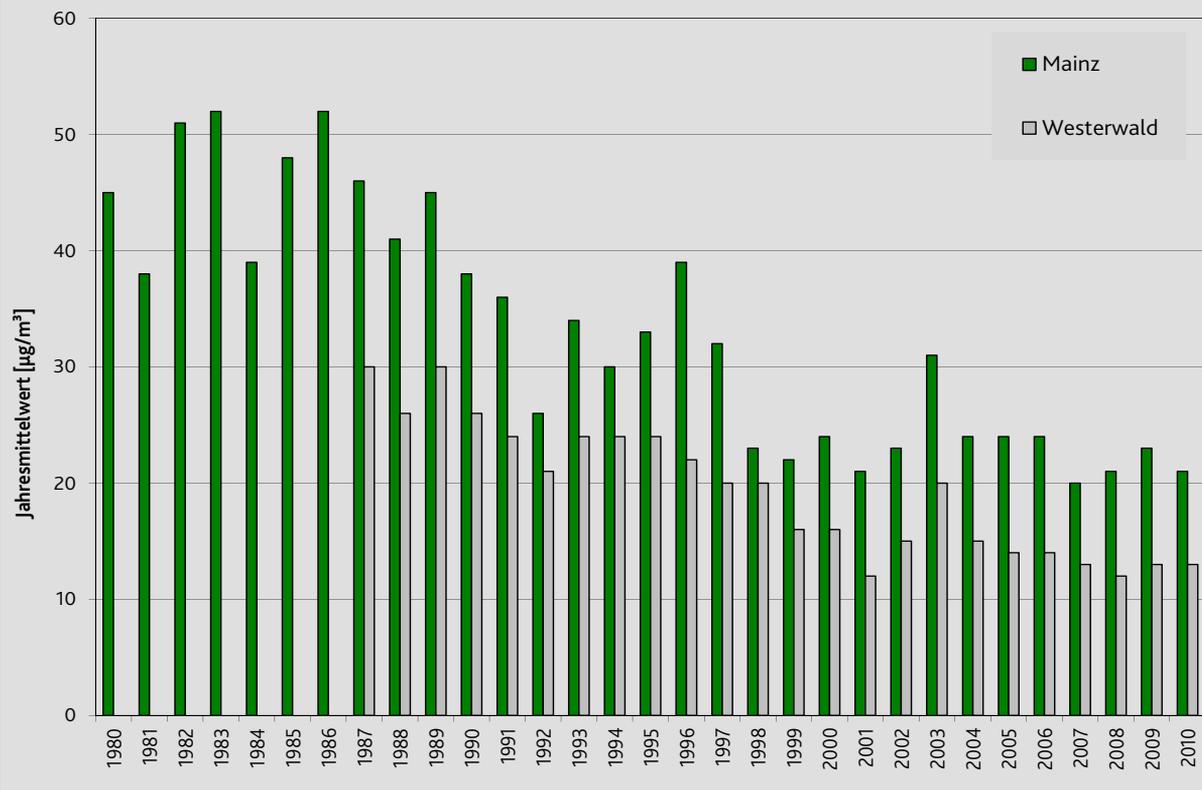
Die Schweb-/Feinstaub-Konzentrationen haben sich sowohl in den verkehrsbelasteten Bereichen als auch in den Waldgebieten bis zum Jahr 2000 stark verbessert. Wurden in den 80er Jahren noch Jahresmittelwerte zwischen 40 und 60 µg/m<sup>3</sup> in den städtischen Gebieten und zwischen 25 und 35 µg/m<sup>3</sup> in den Waldgebieten gemessen, lagen die Werte im Jahr 2000 nur noch bei ca. 25 µg/m<sup>3</sup> sowie bei ca. 15 µg/m<sup>3</sup>.

Aufgrund gesetzlicher Vorschriften wurden im Jahr 2001 die Messverfahren von Schwebstaub auf PM10 umgestellt. Der Jahresgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> wird seitdem in Rheinland-Pfalz eingehalten, wobei die leichten Schwankungen auf witterungsbedingte Einflüsse zurückzuführen sind. Es ist jedoch eine konstante Verbesserung sowohl in den städtischen als auch in den Waldgebieten zu beobachten.

## Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Immissionssituation in Rheinland-Pfalz



## Entwicklung der Schweb- und Feinstaub-Immissionsituation in Rheinland-Pfalz



Durch den verstärkten Einsatz von Partikelminderungssystemen im Industrie- und Verkehrsbereich und der geplanten Einführung der Abgasnorm EURO 6/VI (2014/2015) sowie durch die in Luftreinhalte- und Aktionsplänen umgesetzten Minderungsmaßnahmen, wird in den kommenden Jahren mit einer weiteren Reduktion der PM10-Werte gerechnet.

### Ozon

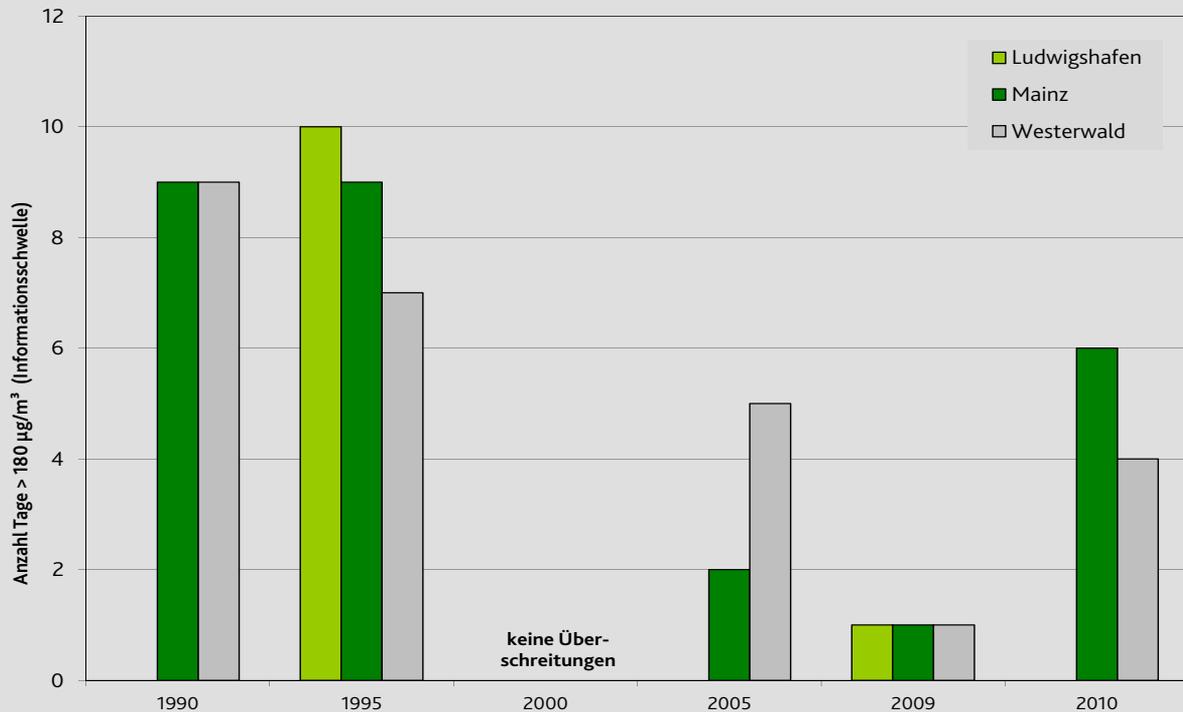
Ozon ( $O_3$ ) ist ein in der Atmosphäre natürlich vorkommendes Spurengas. Chemisch betrachtet handelt es sich um eine sehr reaktionsfreudige Form des Elements Sauerstoff, dass sich im Unterschied zu diesem nicht aus zwei, sondern aus drei Sauerstoffatomen zusammensetzt. Erhöhte Ozonkonzentrationen, die in bodennahen Luftschichten (Troposphäre) in den Sommermonaten beobachtet werden, können beim Menschen Reizungen der Atemwege, Husten, Kopfschmerzen und eine Einschränkung der Lungenfunktion hervorrufen. Die gesundheitlichen Auswirkungen werden hauptsächlich durch die Höhe der Ozonkonzentration, die Aufenthaltsdauer und das Atemvolumen bestimmt. Anders als in den bodennahen Schichten wirkt

sich das in den höheren Luftschichten der Atmosphäre (Stratosphäre, „Ozonschicht“) befindliche Ozon positiv auf uns und unsere Umwelt aus: es schützt Lebewesen vor ultravioletter Strahlung. Ozon unterscheidet sich von den anderen Luftschadstoffen dadurch, dass es sich um einen sogenannten Sekundärschadstoff handelt, der erst aus Vorläuferstoffen, wie Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen, in einem komplexen photochemischen, radikalischen Prozess unter Einwirkung des Sonnenlichts (Photolyse) gebildet wird. Die Vorläuferstoffe stammen hauptsächlich aus dem Verkehrssektor, der Anwendung von Lösemitteln sowie aus Industrieprozessen.

Da bei hohen Ozonkonzentrationen ein erhöhtes gesundheitliches Risiko für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen besteht, wurde vom Gesetzgeber ein Informationsschwellenwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-Stundenmittelwert) festgelegt, bei dessen Überschreitung die Bevölkerung zu informieren ist.

Die erhöhten Ozonwerte (Tage mit einem max. 1-Stundenmittelwert  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) haben seit 1990 deutlich abgenommen. Lag die Anzahl in den 90' er Jahren in Mainz noch bei 9 Tagen, in Ludwigshafen bei 10 (1995) und im Westerwald

## Entwicklung der O<sub>3</sub>-Immissionssituation (Überschreitung der Informationsschwelle in Rheinland-Pfalz)



bei 9 Tagen, so wurde 2000 gar keine Überschreitung festgestellt. Im Jahr 2010 wurde die Informationsschwelle in Mainz an 6 Tagen, im Westerwald an 4 Tagen und in Ludwigshafen gar nicht überschritten.

Eine meteorologische Ausnahmesituation stellte das Jahr 2003 mit dem bislang wärmsten Sommer seit Temperaturaufzeichnung dar. Die Anzahl der heißen Tage (Maximaltemperatur über 30 °C) lag 3-4 mal höher als der langjährige Durchschnitt von etwa 10 Tagen. Da die Ozonbildung direkt von hoher Globalstrahlung und hohen Temperaturen abhängt, wurden an den vorgenannten Messstationen an bis zu 15 Tagen Überschreitungen der Informationsschwelle festgestellt. Eine ähnlich ausgeprägte Episode mit vergleichbar hohen Werten wurde seitdem nicht mehr gemessen.

Zusätzlich zu dem Informationsschwellenwert gibt es einen Zielwert zum Schutz der Vegetation, den so genannten AOT40-Wert (AOT40 = „Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb“; Zielwert 18.000 (µg/m<sup>3</sup>)\*h). Er wird angegeben in Mikrogramm Stunden per Kubikmeter und setzt sich zusammen aus der summierten Differenz zwischen Ozonkonzentrationen über 80 (µg/m<sup>3</sup>)

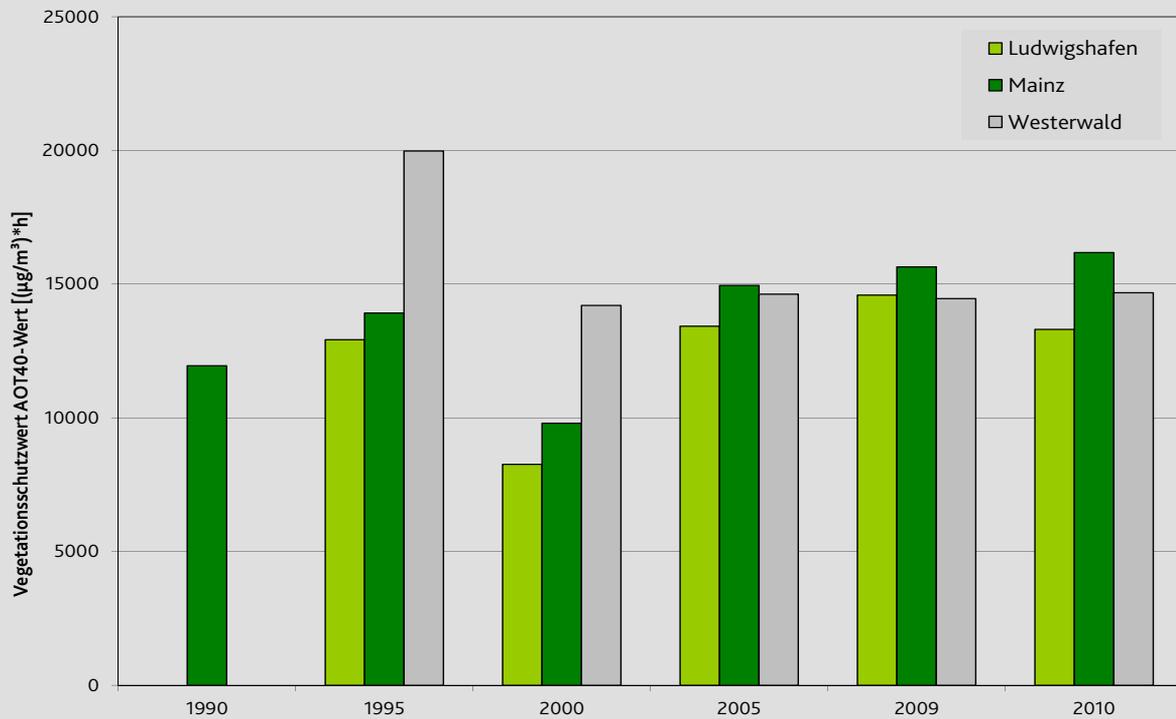
und 80 (µg/m<sup>3</sup>) unter ausschließlicher Verwendung der 1-Stunden-Mittelwerte zwischen 8:00 und 20:00 Uhr mitteleuropäischer Zeit für den Mittelungszeitraum Mai bis Juli.

Ozon kann bei den Pflanzen über die Spaltöffnungen ins Blattinnere gelangen und zur Störung der Photosynthese, Zerstörung von Zellstrukturen, Bleichung von Zellgewebe, Hemmung des Pflanzenwachstums und zu Einbußen in Ertrag und Qualität führen.

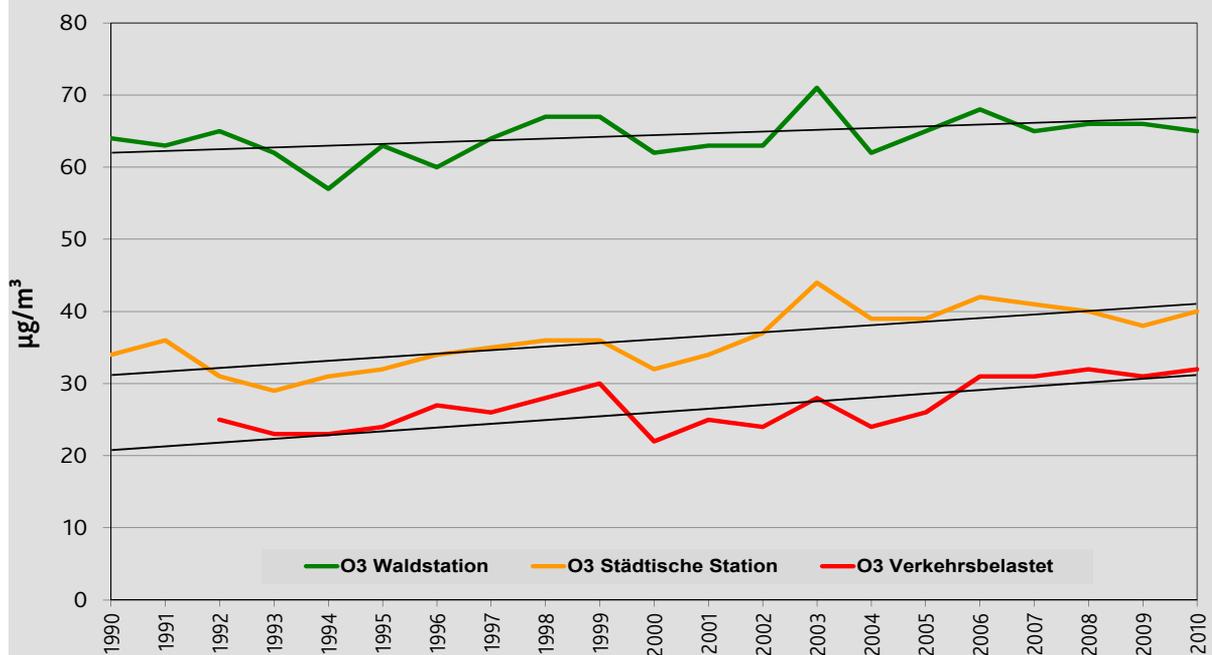
Die erfreuliche Entwicklung der Ozon-Spitzenwerte lässt sich bei der, den AOT40 bestimmenden mittleren Ozonbelastung leider nur bedingt erkennen. Die AOT40-Werte stiegen in Mainz von 11.945 (µg/m<sup>3</sup>)\*h (1990) auf 16.176 (µg/m<sup>3</sup>)\*h (2010) und in Ludwigshafen von 12.920 (µg/m<sup>3</sup>)\*h im Jahr 1995 auf 13.303 (µg/m<sup>3</sup>)\*h (2010) an. Im Westerwald wurde im Jahr 1995 ein AOT40-Wert von 19.976 (µg/m<sup>3</sup>)\*h festgestellt, der sich in den Folgejahren auf ein konstantes Niveau von ca. 14.500 (µg/m<sup>3</sup>)\*h reduziert hat.

In der zeitlichen Entwicklung weisen die Ozon-Messstellen im ländlichen Hintergrund einen stabilen Trend auf. In den Städten und an verkehrsnahen Standorten steigen die Ozonkonzentrationen.

## Entwicklung der O<sub>3</sub>-Immissionssituation (AOT 40) in Rheinland-Pfalz



## Entwicklung der Ozon-Immissionssituation in Rheinland-Pfalz. Vergleich städtischer Raum (Koblenz-Friedrich-Ebert-Ring und Mainz-Mombach) und ländlicher Hintergrund (Hunsrück)



trationen auf niedrigem Niveau - vor allem in den letzten 10 Jahren- jedoch z.T. kräftig an.

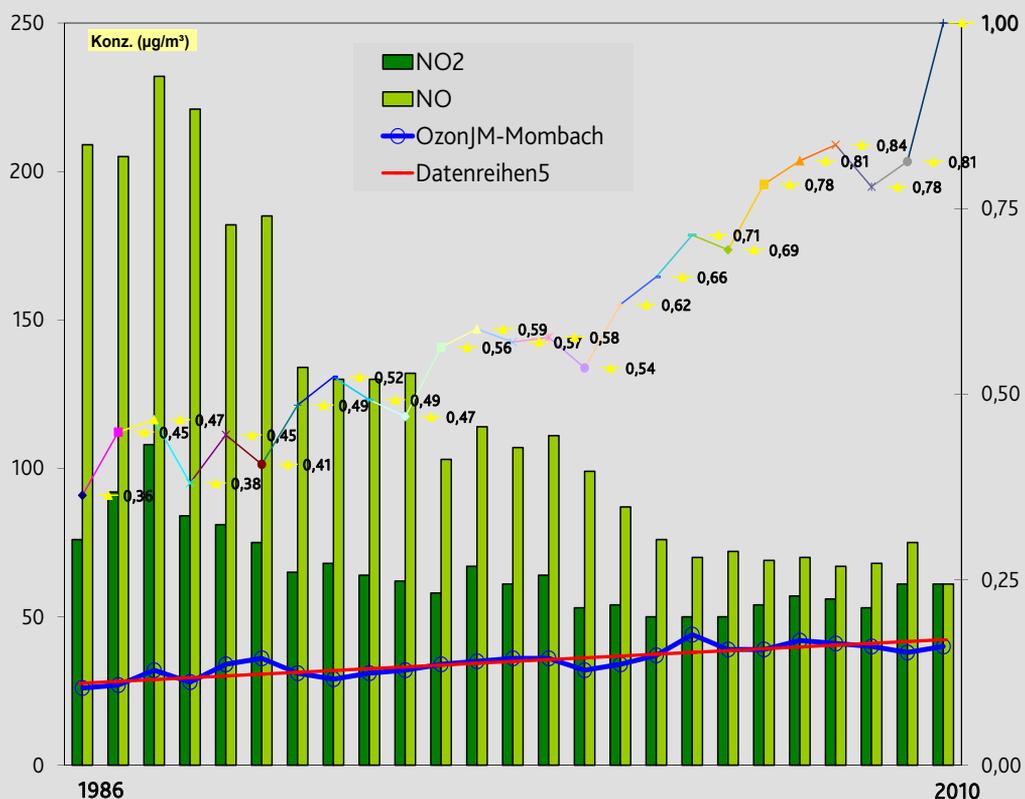
Die Immissionskonzentrationen von Ozon zeigen eine starke Parallelität zur Entwicklung des NO<sub>2</sub>/NO-Verhältnisses und weisen auf den engen luftchemischen Zusammenhang zwischen Stickoxiden und Ozon hin.

Obwohl seit Jahren aufgrund sinkender Emissionen auch die Immissionskonzentrationen von Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub> = Summe aus NO und NO<sub>2</sub>) sinken, kommt es jedoch in verkehrsbelasteten Innenstadtbereichen zu einem lokalen Anstieg der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Dies ist begründet durch die Zunahme der NO<sub>2</sub>-Direktemissionen des Straßenverkehrs durch den wachsenden Anteil von Dieselfahrzeugen mit Oxidationskatalysatoren an der Fahrzeugflotte. Dadurch verschiebt sich das Massenverhältnis der Stickoxide zugunsten des NO<sub>2</sub>. Diese Entwicklung ist bundesweit zu beobachten und führt an Verkehrsmessstationen letztendlich zur Überschreitung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwertes.

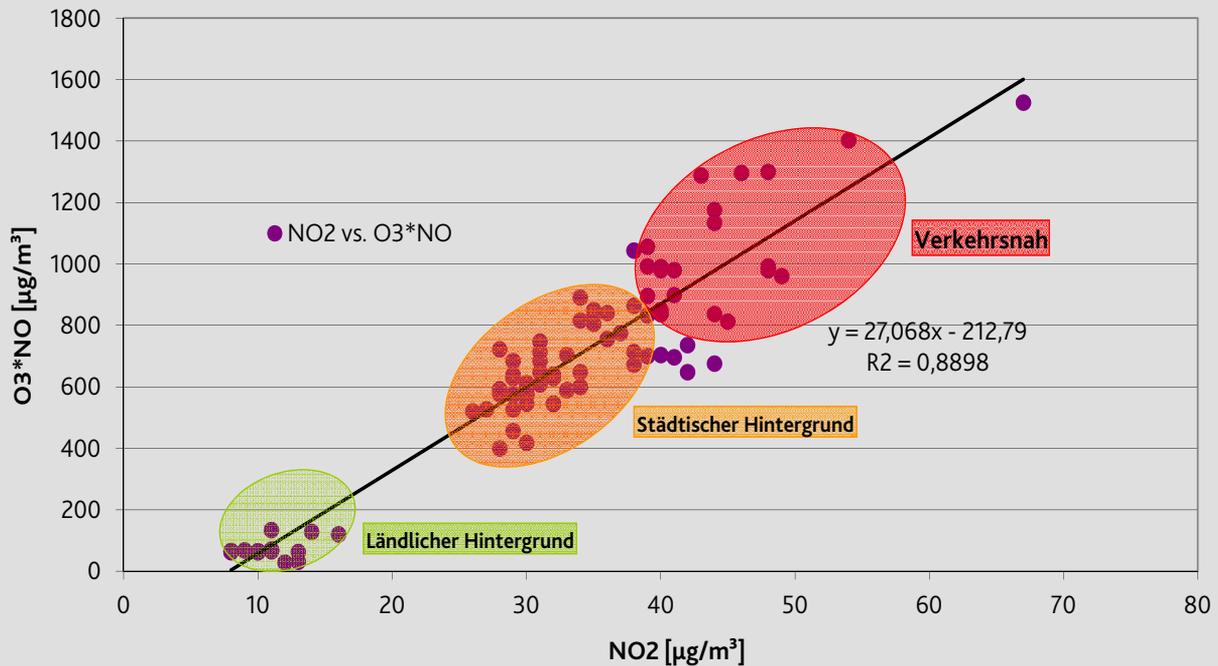
Die Ozonzunahme an verkehrsbelasteten Innenstadtbereichen entsteht durch den verminderten Abbau von Ozon durch den beschriebenen Rückgang der Emissionen von Primärschadstoffen, vor allem NO (siehe Kasten Ozonbildung und Ozonabbau). Dieser Trend bewirkt, dass sich die mittleren Ozonkonzentrationen in verdichteten urbanen Räumen denen des ländlichen Raumes angleichen werden.

Um den Gesundheitsgefahren und den Vegetationsschäden des Ozons zukünftig vorbeugen zu können, muss der Ausstoß der Vorläuferstoffe im Verkehrsbereich, bei der Verwendung von Lösemitteln, bei Industrieprozessen, im Gewerbe und in privaten Haushalten weiter gesenkt werden. Die Bundesregierung hat hierzu ihr Nationales Programm zur Ozonminderung aus dem Jahr 2002 überprüft und 2007 fortgeschrieben. Im Programm werden mittel- und langfristig wirkende Maßnahmen beschrieben, die zukünftig zu einer weiteren Absenkung der Emissionen von Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) und Kohlenwasserstoffen aus mobilen und stationären Quellen führen sollen.

### Entwicklung der NO<sub>2</sub>- und NO-Jahresmittelwerte und des Verhältnisses der NO<sub>2</sub>/NO-Immissionen an der Mainzer Parcusstraße (hochbelastete innerstädtische Verkehrsstation)

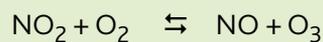


## Zusammenhang zwischen NO-, NO<sub>2</sub>- und Ozon-Immissionen an rheinland-pfälzischen Messstationen



### Ozonbildung und Ozonabbau

Die Ozonbildung bzw. der Ozonabbau ist über das Photostationäre Gleichgewicht direkt mit der NO<sub>2</sub>/NO-Konzentration verknüpft:



Nach dem Massenwirkungsgesetz ergibt sich die Gleichgewichtskonstante

$$k = \frac{[\text{NO}] \cdot [\text{O}_3]}{[\text{NO}_2]}$$

Über diesen Zusammenhang lässt sich schlussfolgern, dass

- die gestiegenen Ozonkonzentrationen in den Städten ein höheres Oxidationspotenzial bewirken. Über das Produkt  $[\text{NO}] \cdot [\text{O}_3]$  führen sie zu stagnierenden bzw. lokal ansteigenden Bildungsrate von NO<sub>2</sub>, obwohl dort die NO<sub>x</sub> und NO-Immissionskonzentrationen rückläufig sind,
- die Ozonzunahme an verkehrsbelasteten Innenstadtbereichen nicht als verstärkte Bildung, sondern als verminderter Abbau von Ozon durch den beschriebenen Rückgang der Emissionen von Primärschadstoffen, vor allem NO, zu verstehen ist.

## Anhang 1

Entwicklung der Waldschäden nach Baumarten im Vergleich der Jahre 1984 bis 2011 über alle Alter

		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
Fichte	2011	44	37	19	17,1	0,9	0,6
	2010	41	39	20	18,0	0,7	1,2
	2009	36	38	26	23,8	0,8	1,0
	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	ohne	schwach	Summe	mittel-	stark	ab-
		Schadens- merkmale 0	geschädigt 1	deutlich geschädigt 2-4	stark geschädigt 2	geschädigt 3	gestorben 4
Kiefer	2011	34	50	16	14,2	1,1	0,7
	2010	45	46	9	8,1	0,4	0,7
	2009	36	54	10	8,6	0,5	0,5
	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	schwach	Summe	mittel-	stark	ab-
		Schadens- merkmale 0	geschädigt 1	deutlich geschädigt 2-4	stark geschädigt 2	geschädigt 3	gestorben 4
Buche	2011	8	25	67	64,9	2,4	0,0
	2010	14	52	34	33,0	0,6	0,0
	2009	16	39	45	43,7	1,3	0
	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	schwach	Summe	mittel-	stark	ab-
		Schadens- merkmale 0	geschädigt 1	deutlich geschädigt 2-4	stark geschädigt 2	geschädigt 3	gestorben 4
Eiche	2011	16	45	39	37,4	1,8	0,1
	2010	10	39	51	48,3	2,6	0,3
	2009	15	39	46	42,4	2,8	0,1
	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	schwach	Summe	mittel-	stark	ab-
		Schadens- merkmale 0	geschädigt 1	deutlich geschädigt 2-4	stark geschädigt 2	geschädigt 3	gestorben 4
Sonstige	2011	33	41	26	23,4	1,7	0,4
Baumarten	2010	40	44	16	14,0	1,4	0,6
	2009	48	37	15	12,6	1,4	0,5
	2008	41	42	17	15,3	1,2	0,3
	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	schwach	Summe	mittel-	stark	ab-
		Schadens- merkmale 0	geschädigt 1	deutlich geschädigt 2-4	stark geschädigt 2	geschädigt 3	gestorben 4
Alle	2011	28	39	33	31,2	1,6	0,4
Baumarten	2010	30	44	26	24,1	1,1	0,6
	2009	31	41	28	26,6	1,3	0,5
	2008	29	40	31	29,0	1,6	0,4
	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 2011

Art (Gattung)	2011	
	Anzahl	Anteil (in %)
Fichte	1061	27,5
Buche	781	20,2
Eiche	685	17,7
Kiefer	550	14,2
Lärche	153	4,0
Douglasie	116	3,0
Esche	115	3,0
Hainbuche	100	2,6
Birke	56	1,4
Ahorn	49	1,3
Esskastanie	32	0,8
Tanne	33	0,9
Pappel	25	0,6
Erle	24	0,6
Eberesche	22	0,6
Aspe	18	0,5
Linde	12	0,3
Kirsche	11	0,3
Roteiche	5	0,1
Salweide	3	0,1
Weymouthskiefer	4	0,1
Elsbeere	4	0,1
Mehlbeere	3	0,1
Robinie	1	0,0
Ulme	1	0,0
Insgesamt	3864	100,0

## Anhang 3

### Abkommen und gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung

Maßnahme	Jahr	Ziel
<b>Internationale Abkommen und Richtlinien</b>		
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
Oslo-Protokoll	1994	Reduzierung der Schwefelemissionen
Sofia-Protokoll	1988	Rückführung der Stickstoffoxidemissionen
Genfer-Protokoll	1991	Rückführung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen
Göteborg-Protokoll	1999	Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon
Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa	2008	Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität EU-Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Benzol Partikel (PM10, PM2.5) und Blei sowie Ozon in der Luft
4. Tochterrichtlinie über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und PAK in der Luft	2004	Zielwerte in der Luft, die bis 2012 eingehalten werden sollen
Thematische Strategie zu Luftreinhaltung (CAFE = Clean Air For Europe)	2005	Verbesserter Schutz der menschlichen Gesundheit, Reduzierung der Versauerung und Eutrophierung
Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe (NEC = National Emissions Ceilings)	2002	Festsetzen von nationalen Emissionshöchstgrenzen für die Mitgliedstaaten bei den Schadstoffen SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> und VOC
VOC-Richtlinie (VOC = Volatile Organic Compounds)	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
Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie)	2008	Genehmigungspflicht für bestimmte industrielle und landwirtschaftliche Tätigkeiten mit einem hohen Verschmutzungspotential
Richtlinie über Industrieemissionen (IED-Richtlinie)	2011	Neufassung der IVU-Richtlinie Verstärkte Berücksichtigung der „besten verfügbaren Technik“ (BVT)
<b>Nationale Regelungen</b>		
Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)	2005	Neufassung vom September 2002
1. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV)	2010	Neufassung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen
2. BImSchV	2004	Neufassung der Verordnung über die Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen organischen Verbindungen

Maßnahme	Jahr	Ziel
3. BImSchV	2009	Neufassung der Verordnung über den Schwefelgehalt bestimmter flüssiger Kraft- oder Brennstoffe
10. BImSchV	2009	Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen
13. BImSchV	2009	Neufassung der Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen
17. BImSchV	2009	Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen
20. BImSchV	2009	Neufassung der Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen
21. BImSchV	2002	Neufassung der Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen
28. BImSchV	2004	Verordnung über Emissionsgrenzwerte bei Verbrennungsmotoren
31. BImSchV	2004	Neufassung der Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen
35. BImSchV	2006	Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung
36. BImSchV	2007	Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote
39. BImSchV	2010	Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen
Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV)	2009	Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen
TA Luft	2002	Neufassung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Emissionsbegrenzung bei Industrieanlagen nach dem Stand der Technik
Änderungen der Kfz-Steuerregelung	2009	Ausrichtung der Kfz-Steuer für Pkw nach dem Emissionsverhalten und CO <sub>2</sub> -Emissionen
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 für Pkw ab 2000/2001
EURO 4 Norm für Pkw	1998	4. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 2005/2006
EURO 5 Norm für Pkw	2006	5. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 2009/2010
EURO III Norm für Lkw	1999	3. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 2000
EURO IV Norm für Lkw	1999	4. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 2005
EURO V Norm für Lkw	1999	5. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw (NO <sub>2</sub> ) ab 2008
EURO 6 Norm für Pkw	2007	6. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 2014/2015
EURO IV Norm für Lkw	2007	6. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 2013/2014

---

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Rheinland-Pfalz herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einer politischen Gruppe verstanden werden könnte.

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 den rheinland-pfälzischen Level-II-Flächen wurden bis 2006 im Rahmen des EU-Forest Focus-Programms und seit 2009 im Rahmen des LIFE+-FutMon-Projekts von der Europäischen Union finanziell unterstützt.





RheinlandPfalz

MINISTERIUM FÜR  
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,  
ERNÄHRUNG, WEINBAU  
UND FORSTEN

Kaiser-Friedrich-Straße 1  
55116 Mainz

[www.mulewf.rlp.de](http://www.mulewf.rlp.de)  
[www.wald-rlp.de](http://www.wald-rlp.de)