

# Waldzustandsbericht 2009

Wald unter der Lupe





# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	5
Zusammenfassung .....	6
Forstliches Umweltmonitoring – Wald unter der Lupe .....	16
Stoffeinträge – mehr als genug .....	22
Die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) – Verbesserungen in Sicht?.....	28
Wachstumsanalysen – von Ring zu Ring .....	36
Der aktuelle Kronenzustand .....	42
Witterung .....	43
Allgemeine Situation und regionale Ausprägung .....	46
Kronenzustand an Nadelbäumen .....	48
Kronenzustand an Laubbäumen .....	53
Tabellarische Übersichten .....	58
Literaturverzeichnis .....	64
Glossar .....	65



# Vorwort



Der Wald bedeckt rund ein Drittel der Landesfläche des Freistaates Sachsen. Er ist ein unersetzlicher Natur-, Wirtschafts- und Erholungsraum. Ein zentrales Anliegen der sächsischen Forstpolitik ist es deshalb, den Schutz, die Sanierung und den Umbau der sächsischen Wälder nachhaltig zu gewährleisten. Hierfür bedarf es fundierter und verlässlicher Informationen über den Waldzustand, denn die Waldökosysteme werden von einer Vielzahl von Umweltveränderungen beeinflusst. Und diese Veränderungen stellen teilweise eine Gefahr für die langfristige Funktionsfähigkeit der Waldökosysteme und ihre nachhaltige Bewirtschaftung dar. Das forstliche Monitoring ist die Grundlage für die Erhebung der relevanten Umwelteinflüsse und der daraus resultierenden ökologischen Waldzustandsdaten. Der Ursprung des heutigen forstlichen Umweltmonitorings einschließlich der jährlichen Waldzustandserhebung, hier der Schwerpunkt des aktuellen Waldzustandsberichts, reicht zurück bis in die Anfänge der 1980er Jahre. Mit der ersten Waldschadenserhebung wurde 1984 das forstliche Monitoring begonnen. Da Luftverunreinigungen und Waldschäden auch vor Ländergrenzen nicht Halt machten, wurde im selben Jahr mit dem Internationalen Kooperationsprogramm (ICP Forests) ein forstliches Überwachungsinstrument eingeführt. Dieses europaweite forstliche Umweltmonitoring besteht bis heute. Zwei Jahre später wurde diese Datenerfassung durch die ökologische Waldzustandskontrolle ergänzt.

Der Kronenzustand der Waldbäume in Sachsen hat sich aufgrund des günstigen Witterungsverlaufs im Jahr 2009 gegenüber dem Jahr 2008 gering verändert. Er weist im Vergleich zu 2008 (16,6 %) eine um 0,8 Prozentpunkte erhöhte mittlere Kronenverlichtung von 17,4 % auf. Der Kronenzustand der Kiefer hat sich verbessert. Die anderen Baumarten wie Fichte, Eiche und Buche weisen eine mehr oder weniger ausgeprägte Verschlechterung des Kronenzustandes gegenüber dem Vorjahr auf. Bei der wichtigsten Wirtschaftsbaumart Fichte sind infolge der Sturmschäden von 2007 durch „Kyrill“ und des hohen Befalls durch den Borkenkäfer und den Großen Braunen Rüsselkäfer die Risiken für die Bewirtschaftung weiterhin hoch. Schon seit dem 19. Jahrhundert werden in Sachsen wissenschaftliche Untersuchungen zum Einfluss von Luftschadstoffen auf Bäume und Wälder durchgeführt. 2009 jährt sich zum 200. Mal der Geburtstag des Pioniers der Tharandter Immissionsforschung, Prof. Dr. Julius Adolph Stöckhardt. Er bewies als Gutachter im Rahmen der Hüttenrauchkonflikte in den sächsischen Metallhütten in Freiberg 1849 zum ersten Mal die Pflanzenschädlichkeit von Schwefeldioxid. Inzwischen erheben 41 Staaten nach einem in Europa abgestimmten Verfahren Stoffeinträge in Wäldern, den Kronenzustand und weitere, den Waldzustand beeinflussende Parameter. Kooperationen bestehen auch mit ähnlichen Initiativen in Nordamerika und Asien. Das forstliche Umweltmonitoring umfasst Großraumerhebungen auf einem systematischen Stichprobennetz (Level I – die Waldzustands- und die Bodenzustandserhebung) und die intensive Beobachtung bestimmter Umweltparameter auf ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen (Level II). Der Wald hat heute nicht mehr unter so hohen Konzentrationen von Luftschadstoffen wie noch in den 80er Jahren zu leiden. Die Säureinträge sind geringer geworden, aber weiterhin ein bestimmender Einflussfaktor. Was dem Wald heute zu schaffen macht, sind einerseits die in den Waldböden über Jahrzehnte angesammelten Schadstoffe und Säurebildner und andererseits die Auswirkungen abiotischer und biotischer Schadereignisse, die als frühe Anzeiger der beginnenden Klimaänderung aufgefasst werden können. Deshalb ist die Fortführung des forstlichen Umweltmonitorings unverzichtbar, um auf die Herausforderungen einer sich verändernden Umwelt reagieren zu können.

Frank Kupfer  
Sächsischer Staatsminister  
für Umwelt und Landwirtschaft

# Zusammenfassung



Im Jahre 1849 wurde in Sachsen zum ersten Mal der Wald von einem Pionier der Umweltanalyse und Waldschadensforschung eingehend untersucht. Professor Adolph Stöckhardt aus Tharandt – dessen Geburtstag sich im Jahr 2009 zum 200. Mal jährt – gelang als Erstem der Nachweis, dass schweflige Säure den Wald um die Freiburger Hütten schädige.

Vor fünfundzwanzig Jahren wurde mit der Einrichtung des „Internationalen Kooperationsprogramms zum Schutz der Wälder vor grenzüberschreitenden Luftverunreinigungen“ (ICP Forests) im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention das forstliche Umweltmonitoring in Europa ins Leben gerufen. Die Ratifizierung dieser Konvention durch die Bundesrepublik Deutschland ist neben sich daraus ergebender Berichtspflichten auch eine Grundlage entsprechender Datenerhebungen in den Bundesländern. Diese Aufgaben sind in Sachsen im Sächsischen Waldgesetz verankert.

Nach Ratifikation der Konvention durch die Europäische Gemeinschaft förderte die Kommission von 1986 bis 2006 durch Verordnungen erfolgreich den Aufbau und den Betrieb der pan-europäischen Messnetze sowie deren Methodenharmonisierung. Sachsen, als eine der in Europa am stärksten von Luftverschmutzung betroffenen Regionen, hat 1992 für die Durchführung der ersten Bodenzustandserhebung im Wald erstmalig an europäischen Fördermitteln teilgehabt. Seitdem werden jährlich Mittel für den Aufbau, die Verbesserung, die Intensivierung oder Auswertung der Monitoringsysteme genutzt.

Derzeit engagiert sich der Freistaat mit 39 anderen nationalen und internationalen Partnern aktiv in einem Projekt im Rahmen des europäischen Finanzierungsinstruments „LIFE+“. Ziel ist die Fortentwicklung und Anpassung des europäischen forstlichen Umweltmonitorings, insbesondere an Anforderungen aus der Klimaberichterstattung.

Die Mitarbeit in den zur nationalen Koordination des forstlichen Umweltmonitorings eingerichteten Bund-Länder-Arbeitsgruppen leistet einen großen Beitrag für die Qualität und Zuverlässigkeit der in Sachsen erhobenen Daten und durchgeführten Auswertungen

von der Waldzustandserhebung über die chemische Analyse bis zur Dateninterpretation. So wurden zum Beispiel auch Technologien zur Regionalisierung von Waldzustandsdaten übernommen und in Sachsen zur Auswertung der Bodenzustandserhebung beziehungsweise Ausscheidung von Immissions-schadenzonen genutzt. Die Ergebnisse konnten international publiziert und französischen Partnern direkt vorgestellt werden.

Der Aufbau der forstlichen Umweltmessnetze erfolgte in enger Absprache mit der Umweltverwaltung. So wurden komplementäre Messnetze zur Luftüberwachung und Bodendauerbeobachtung eingerichtet, deren Daten unter anderem 1996 ihren Teil zu erfolgreichen Verhandlungen hinsichtlich der Reduktion von Luftschadstoffen im damaligen „Schwarzen Dreieck“ beitrugen. Die Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie sowie die Diskussion zum Klimawandel bieten wiederum Gelegenheit, gemeinsam und erfolgreich das Thema Wald und Wasser in Qualität und Quantität zu bearbeiten. Daraus ergab sich auch die Anpassung und Erweiterung des forstmeteorologischen Messnetzes auf 17 Waldklimastationen.

Die langjährigen Messreihen des intensiven Umweltmonitorings zielen auf die Beobachtung eines Ökosystems in allen Facetten ab. Die Messflächen sind Fallstudien, an denen Umwelteinflüsse bestimmt werden und deren Auswirkung auf die Wälder über längere Zeiträume verfolgt werden können. Messungen zu Stoffeinträgen und Meteorologie werden ergänzt durch vegetationsökologische, walder-nährungs- und bodenkundliche Erhebungen. Der multimediale Ansatz erlaubt dabei nahezu ganzheitliche Aussagen zu Ursache-Wirkungsbeziehungen in Waldökosystemen.

Die Ergebnisse können im Sinne der nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen verwendet werden, um Aussagen zu deren Gefährdungs- und Entwicklungspotenzialen zu treffen. Die großflächigen Messnetze der Wald- und Bodenzustandserhebung ergänzen das intensive Monitoring durch die Einordnung der gemachten Beobachtungen in den regionalen Kontext.

Eine konkrete Prognose der Auswirkung von Stickstoffeinträgen in Ökosysteme ist schwierig. Dieser essentielle Pflanzennährstoff wird je nach Ökosystemzustand und beispielsweise zukünftigen klimatischen Veränderungen unterschiedlich verwertet. Der aus wissenschaftlichen Untersuchungen abgeleitete internationale Vorsorgewert zum nachhaltigen Schutz der Ökosysteme vor Eutrophierung durch luftbürtige Stickstoffeinträge ist für Wälder mit 10 bis 20 Kilogramm pro Hektar und Jahr angegeben. Der auf den Freiland-Untersuchungspunkten der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen gemessene Stickstoffeintrag verminderte sich auf etwa die Hälfte der 1996 ermittelten Werte und beträgt derzeit zwischen 9,4 und 12,7 Kilogramm pro Hektar und Jahr. In den Wäldern ist die Stickstoffdeposition infolge des „Auskämmeffekts“ der Baumkronen höher. In Abhängigkeit von Baumartenzusammensetzung und Bestandesstruktur beträgt hier der diesjährige Stickstoffeintrag mehr als das Eineinhalbfache bis zum Dreifachen der Freilandwerte.

Die Gegenüberstellung der nach bundeseinheitlichen Methoden ermittelten standortstypischen kritischen Belastungsraten für Versauerung zeigen den Erfolg der Luftreinhaltemaßnahmen für Schwefel, aber ein gleich bleibendes Problem mit Stickstoffüberschüssen.

An einem für das Tiefland repräsentativen Messpunkt in Laußnitz kann gezeigt werden, dass trotz Überschreitens der kritischen Belastungsrate in den letzten 14 Jahren keine negativen Wirkungen auftraten. Weder der Kronenzustand, der Ernährungsstatus des Kiefernbestandes oder die Zusammensetzung der Bodenvegetation legen bisher eine Belastung nahe. Auch das Sickerwasser ist bisher nicht mit Nitrat belastet. Diese scheinbar beruhigenden Feststellungen dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass in befruchteten Fichten-ökosystemen bereits Stickstoff in großen Mengen ausgetragen wird. Dies ist in natürlichen Ökosystemen ohne Stickstoffüberschuss nur bei gravierenden Störungen des Stoffhaushalts zu erwarten.

Der Versauerungsstatus der sächsischen Waldböden wurde im Rahmen der zweiten bundes-

weiten Bodenzustandserhebung (BZE II) 2006 untersucht. Für die Gesamtstichprobe lassen sich signifikante Rückgänge der Säurekonzentrationen und damit ein Anstieg des pH-Werts im Hauptwurzelraum bis 90 cm Bodentiefe nachweisen. Besonders ausgeprägt sind diese Änderungen in den Humusaufgaben und im Mineralboden bis in eine Tiefe von 10 cm. Die Änderungsraten nehmen mit der Tiefe ab. Demzufolge sind die Puffermöglichkeiten gegen Säureinträge in den Oberböden leicht verbessert. Im Gesamtstatus sind die Böden jedoch weiter als sehr sauer einzustufen. Bezüglich der Basensättigung sind Abnahmen gegenüber der BZE I zu verzeichnen. Im Hauptwurzelraum bis 90 cm Bodentiefe liegt die durchschnittliche Basensättigung unter 15 % und ist damit als „gering“ zu bewerten. Das Phänomen einer Erhöhung des pH-Wertes ohne eine damit einhergehende Verbesserung des Basenzustandes tritt in mehreren Bundesländern auf und wird als Folge der Auflösung vormals gespeicherten Aluminiumsulfats angesehen.

Eine gesonderte Betrachtung der Ergebnisse nach Substrattypen führt zu differenzierten Aussagen, wobei aufgrund der Stichprobengröße nicht immer abgesicherte Aussagen getroffen werden können. Von besonderem Interesse sind die Effekte der Bodenschutzkalkung, welche die Substratgruppen Magmatite und Metamorphite der Festgesteinsböden des Erzgebirges betreffen.

Durch die Kalkung wurden bisher nur die Humusaufgabe und der oberste Mineralboden (0–5 cm Tiefe) in ihrem Säurestatus verbessert. Entsprechend ist die Basenversorgung von der Versorgungsklasse „gering“ (5–15 %) in die Klasse „mäßig basenversorgt“ (15–30 %) angehoben worden. Nach leichten Verbesserungen bis 30 cm in der gekalkten Gruppe erfolgt in tieferen Bodenschichten beider Gruppen im Verhältnis zur Erhebung 1992 ein nicht signifikanter Rückgang der Basensättigung.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bodenschutzkalkung bisher nicht – wie zum Teil befürchtet – zu massiven Nivellierungen der Waldböden geführt hat. Tiefer gehende Auswertungen der BZE II in Sachsen – auch aus vegetationsökologischer Sicht – werden in Kooperation mit anderen Bundesländern durchgeführt. Dabei ist die wichtige Frage zu klären, wie lange die Böden nach 150 Jahren massiver Säurebefruchtung durch Menschenhand noch restauriert werden müssen.

Klimatische Rahmenbedingungen beeinflussen maßgeblich die Verbreitung, Vitalität und Konkurrenzstärke der Baumarten. An den dominierenden Baumarten der Leitwaldgesellschaften orientieren sich Bestandeszieltypen (BZT) und künftige Waldentwicklungstypen (WET) der Forstwirtschaft. Unter Berücksichtigung der fortschreitenden Klimaänderung gewinnen tiefer gehende Kenntnisse zum Einfluss von Witterung und Klima auf das Wachstum von Bäumen und deren Vitalität zunehmend an Bedeutung. Darum ist die Herleitung spezifischer Klimakennwerte mit Bezug zur ökologischen Valenz der Baumarten Voraussetzung für eine nachhaltige Bewirtschaftung der sächsischen Wälder.

Hinsichtlich der Einwirkung von Klimaveränderungen auf das Waldwachstum wurden an typischen Standorten für Fichte und Kiefer unter Einbeziehung von Monitoringflächen Untersuchungen mittels vorhandener Jahrringanalysen und Stammscheibenauswertungen durchgeführt. Dazu wurden Schätzmodelle für die beiden Hauptbaumarten Sachsens entwickelt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fichte bei angespannter Wassersituation mit deutlichen Zuwachseinbrüchen reagiert. Bei der Kiefer hingegen sind bis auf extreme Trockenjahre keine markanten Zuwachsverluste zu befürchten. Damit wird die Notwendigkeit des seit den 1990er Jahren in Sachsen aktiv betriebenen Waldumbaus bestätigt. Schwerpunkt bildet hierbei der Umbau von Fichtenreinbeständen im Löss-Hügelland sowie im Erzgebirgsvorland und Vogtland in stabilere Mischbestände. Im Zusammenhang mit den

Unwägbarkeiten von Klimawandel und Schadorganismenentwicklung gewinnt die Option zu Wäldern mit vielfältigen standortsgerechten Baumartenmischungen, einschließlich der differenzierten Betrachtung der Neophyten, zunehmend als Klimawandel-Anpassungsstrategie an Bedeutung.

### Waldzustand 2009

Der Kronenzustand der Waldbäume hat sich über alle Baumarten und Altersklassen gegenüber dem Jahr 2008 kaum verändert. Die in diesem Jahr auf 283 Stichprobenpunkten erfassten 6.792 Probestämme wiesen eine um 0,8 Prozentpunkte schlechtere mittlere Kronenverlichtung von 17,4 % auf. Gemäß der Verteilung der Kombinationsschadstufen werden 18 % der Waldfläche als deutlich geschädigt (Schadstufen 2–4), 40 % als schwach geschädigt (Schadstufe 1) und wie schon im Vorjahr 42 % ohne erkennbare Schadmerkmale (Schadstufe 0) eingestuft.

Bei Betrachtung der Baumartengruppen sind jedoch zwei grundsätzlich verschiedene Entwicklungen zu erkennen, die sich in der Gesamtheit der Stichprobe weitestgehend aufheben. In diesem Jahr verbessert sich die Kiefer deutlich, sowohl in den jüngeren als auch in den älteren Altersklassen und erreicht einen mittleren Nadelverlust von 14,6 %.

Demgegenüber verschlechtert sich die Benadelung der Fichte. Mit einer durchschnittlichen Kronenverlichtung von 17,1 % ist die leichte Verbesserung des Vorjahres wieder aufgebraucht. Die Verluste treten insbesondere in den Unteren Berglagen und im Hügelland auf. Damit verstärkt sich die über die gesamte Zeitreihe zu erkennende Belastungsumkehr mit abnehmenden Nadelverlusten in den Höheren Berglagen und zunehmendem Stress in wärmeren und trockneren Lagen. Auch die sonstigen Nadelbaumarten weisen weiterhin einen Anstieg der Nadelverluste auf.

Bei der Eiche hat sich in diesem Jahr der Kronenzustand merklich verschlechtert. Hier wirken biotische Faktoren wie die erhebliche Fruktifikation, Schäden durch Pilze (z. B. Mehltaubefall an Eiche) und in begrenztem Maße Insektenbefall negativ auf das Erscheinungsbild der Eichenkronen.

Die Buche erreicht in diesem Jahr einen neuen Maximalwert im mittleren Blattverlust von fast 30 %. Anders als die Eichenarten, die ein hohes Regenerationsvermögen der Kronenstruktur nach Trockenphasen innehaben, vermögen Buchen die jeweils im Folgejahr nach den Trockenperioden 2003 und 2006 aufgetretenen Strukturschäden nicht zu kompensieren. In Verbindung mit den hohen Anteilen Früchte tragender Buchen und der Intensität des Fruchtbehanges wird in diesem Jahr auch das bisherige Maximum von 2004 überschritten. Nahezu unverändert blieb der Kronenzustand bei der Gruppe der sonstigen Laubbaumarten bei 18,7 %.

Aufgrund ihrer Dominanz in der Stichprobe wirken sich die Verbesserungen des Kronenzustandes der Nadelbäume immer deutlich auf das Gesamtergebnis aus. Diese Verbesserungen bei der Kiefer und die Stagnation bei der Fichte dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass aufgrund gestörter Bestandesstrukturen in Folge der Sturmschäden durch „Kyrill“ und der hohen Ausgangsdichte verschiedener Borkenkäferarten und Kulturschädlinge wie dem Großen Braunen Rüsselkäfer weiterhin hoch sind. Es bestehen nach wie vor hohe Potenziale, welche zu Folgeschäden in den nächsten Jahren führen können.

Nachdem der Befall durch Rinden brütende Borkenkäfer in Fichtenbeständen 2008 das Maximum der letzten 40 Jahre erreicht hatte, gingen die Schäden in diesem Jahr wieder auf das Niveau des Zeitraumes 2004–2007 zurück. Sie lagen damit jedoch deutlich über den Werten von 2003. Andere biotische Schadfaktoren beeinflussten lokal den Kronenzustand einzelner Baumarten.

# Summary

## A close eye on the forest

In 1849, the forest in Saxony was thoroughly examined for the first time by a pioneer in environmental analysis and forest damage research. Professor Adolph Stöckhardt from Tharandt – the 200th anniversary of whose birth is remembered in 2009 – was the first to prove the detrimental impact of sulphurous acid on the forest around the Freiberg smelters.

Twenty-five years ago, the International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests) under the Geneva Convention on Long-range Transboundary Air Pollution was the starting point for forest environmental monitoring in Europe. The ratification of said Convention by the Federal Republic of Germany with its associated reporting duties forms the basis for relevant data collection schemes in the German states. In Saxony, said tasks and duties are laid down in the Saxon Forest Act.

After ratification of the Convention by the European Communities, the Commission successfully promoted the setting up and operation as well as monitoring method harmonisation of the pan-European measuring networks by means of various Regulations between 1986 and 2006. Saxony – one of the most air-polluted regions in Europe – received European funding for the first time in 1992 to carry out the first soil condition inventory in the forest. Since then, annual funds have been used for building up, improving, intensifying, or evaluating the monitoring systems.

At present, the Free State of Saxony is committed to a project within the European financial instrument "LIFE+" in cooperation with 39 other national and international partners. The aim is to enhance and adjust the European forest environmental monitoring scheme especially to climate reporting requirements.

The collaboration in various German federal/state working groups set up for the coordination of the forest environmental monitoring activities contributes a lot to the quality and reliability of the data obtained and evaluated in Saxony – from the forest condition inventory to chemical analyses via data interpretation. Technologies for the regionalisation of forest condition data were for instance adopted in Saxony and used for the evaluation of the soil condition inventory or for the identification of damage zones. The results were published on an international scale

and directly presented to French partners. The forest environment measuring networks were set up in close coordination with the environment administration. Complementary networks for air monitoring and continuous soil observation were established and the data delivered by them contributed largely to the successful outcome of the 1996 negotiations on the reduction of air pollutants in the transboundary region formerly known as "Black Triangle". The implementation of the European Water Framework Directive and the discussion of the climate change offer again the opportunity to join efforts for successfully dealing with the subject of forest and water in both qualitative and quantitative terms. As a result, the forest meteorological network was adjusted and extended to 17 forest climate stations.

The long-term series of measurements from intensive environmental monitoring are directed to the close observation of an ecosystem in all facets. The measuring plots are case studies for identifying environmental influences and observing their impact on the forests over longer periods. Surveys on vegetation ecology, forest nutrition and soils provide additional data complementary to material input and meteorological measurements. The multimedial approach allows for an almost holistic statement on the cause-and-effect relations in forest ecosystems.

The results are useful to assess the risk and development potentials of natural resources in the interest of their sustainable use. The large-scale measuring networks for the forest and soil condition inventories are complementary to intensive environmental monitoring and integrate the observations into a regional context.

It is difficult to make a precise forecast of the impacts of nitrogen inputs into ecosystems. This essential plant nutrient is consumed in different ways, depending on the actual condition of the ecosystem and, for instance, on future climatic changes. The international precautionary level, which was derived from scientific studies, for the sustained protection of the ecosystems against eutrophication by air-borne nitrogen inputs, ranges between 10 and 20 kilograms per hectare and year. At present, the nitrogen input at the monitoring points of the continuous forest observation plots in the open field is approximately 10 kg per hectare and year. These values are higher in the forests because of the filtering effect of the tree canopy.

The comparison with the critical load rates for acidification determined for typical sites according to Germany-wide methods shows that the atmospheric pollution control measures for sulphur have been successful, whereas the problem from excessive nitrogen amounts remains unchanged.

The measuring point located in Laußnitz is representative for the lowlands and makes it possible to demonstrate that there have been no detrimental effects during the past 14 years despite the fact that the critical load rate was exceeded. Neither the crown condition nor the nutrition status of the pine stand, nor the composition of the soil vegetation show any sign of pollution so far. This is also true for the seepage water where no nitrate loads could be found. However, these apparently reassuring findings should not make us forget that large amounts of nitrogen are already emitted by polluted spruce ecosystems. In natural ecosystems without nitrogen excess, such effects will occur only in case of critical disturbances of the material balance.

The acidification status of the Saxon forest soils was investigated within the scope of the second Germany-wide Soil Condition Inventory (BZE II) in 2006. The total sample showed significant reductions in acid concentrations and thus a rising pH in the main rooting zone up to 90 cm. The changes are especially marked in the humus layers and in the mineral soil up to a depth of 10 cm. The rates of change tend to be lower with increasing depth. Therefore, the buffer potentials against acid inputs have slightly improved in the top soils. The general soil status, however, must still be classified as very acid. In terms of base saturation, we can see reductions since the first Forest Soil Inventory (BZE I). The main rooting zone (up to 90 cm) shows an average base saturation of less than 15 % and thus is to be regarded as "low". The phenomenon of a higher pH without a parallel improvement of the base saturation status can be found in several German states and is considered to be the result of the dissolution of previously stored aluminium sulphate.

A separate assessment of the results by substrate types gives a differentiated picture, but the sample sizes are not always sufficient for reliable statements. Of particular interest are the effects of lime treatment on the magmatite and metamorphite groups of rocks in the Erzgebirge mountains. The lime treatment has so far improved the acid status only for the humus layer and the uppermost mineral

soil (depth from 0 to 5 cm). Accordingly, the base supply was raised from the supply class "low" (5–15 %) to "medium" (15–30 %). After slight improvements up to 30 cm in the lime-treated group, the deeper soil layers of both groups show a non-significant reduction in base saturation as compared with the values obtained in the 1992 inventory.

The results show that the lime treatment has not caused massive levelling effects in the forest soils – in contrast with what had been feared. More detailed evaluations of the BZE II forest soil condition inventory in Saxony – also under vegetation ecological aspects – are being performed in cooperation with other German states. Among other items, it is important to find an answer to the crucial question of how long it will take to rehabilitate and restore the soils after 150 years of massive anthropogenic acidification.

Climatic framework conditions have a crucial impact on the distribution, vitality and competitive strength of the tree species. The dominating tree species of the index forest communities form the basis for the definition of target stand types and future forest development types (FDT) in forestry. Faced with the progressive global climate changes, it is more and more important to gain better insight into the impacts of weather and climate on tree growth and tree vitality. Therefore, it is necessary to identify and relate specific climate values to the ecological valence of the tree species as a basic condition for the sustainable management of the Saxon forests.

Typical sites for spruce and pine were examined in conjunction with monitoring plots using existing tree ring analyses and trunk cross-sections to determine the impacts of the climate change on forest growth. Estimation models for the two main tree species in Saxony were developed for this purpose. The results show that spruce suffers a clear growth loss in a water-pressed situation. On the other hand, no drastic growth loss must be feared for pine, except in years of extreme drought. This confirms once more the necessity of the proactive forest reconstruction activities started in the 1990-ies. Main emphasis is placed on the reconstruction of pure spruce stands in the loess hill country as well as in the Erzgebirge foothills and in the Vogtland mountains with the goal to provide mixed stands with a better stability. In connection with the uncertainties related to climate change and harmful organisms, the option to create forests with a site-adapted mix of

diverse tree species, including a differentiated approach to neophytes, gains more and more in importance as a strategy of climate change adjustment.

#### Forest condition in 2009

The crown condition of the forest trees across all tree species and age classes has scarcely changed since 2008. In this year, 6,792 test trees were investigated in 283 sampling points and showed a crown thinning degree of 17.4 %, which is a reduction by 0.6 percentage points. According to the distribution of the combined damage classes, 18 % of the forest area is classified as clearly damaged (classes 2 to 4), 40 % as mildly damaged (class 1) and, similar to last year's results, 42 % as showing no recognisable signs of damage (class 0).

However, when considering the tree species groups, we see two basically diverging trends, which largely level off over the entirety of the sample. This year, pine improved a lot both in the younger and in the older age classes with a mean defoliation level of 14.6 %.

In contrast, defoliation has deteriorated for spruce. This year's mean crown thinning level of 17.1 % absorbs the slight improvement made in the previous year. The needle loss occurs especially in the lower mountain ranges and in the hill country. The whole time series reveals a trend of load reversal with less defoliation in higher altitudes and more stress in warmer and dryer locations. There still is an increasing trend of needle loss also for other coniferous tree species.

The crown condition for oak has noticeably deteriorated this year. The general appearance of the oak crowns is affected by biotic factors such as considerable fructification, damage by fungi (e.g. mildew infestation of oak) and, to a limited extent, insect infestation.

This year's mean defoliation level for beech attained a new maximum of almost 30 %. In contrast with oak species, which have a high regenerative capacity for restoring their crown structure after drought phases, beech trees are not able to repair the structural damage they suffered in the years directly following the drought periods of 2003 and 2006. In connection with the high percentage of fruit-bearing beeches and the high fruit load intensity, this year will again exceed the previous maximum (2004). The crown condition for the group of other deciduous tree species is 18.7 % and thus has remained almost unchanged. Crown improvements for coniferous trees always have a great impact on the

overall result due to their general dominance in the sample. However, said improvements in pine and said stagnation in spruce should not make us forget that risks are still high due to the disturbed stand structures and damage from the storm „Kyrill“ and due to the high density of various bark beetle species and pests like the pine weevil (*Hylobius abietis*). So there still are high potentials for subsequent damage during the years to come.

The infestation of spruce stands with wood-inhabiting bark beetles attained a 40-year maximum in 2008; this year the damage went down to the level of 2004 to 2007. But the beetle-induced damage still is clearly higher than the damage reported in 2003. Other biotic agents affected the crown condition of individual tree species on a local basis.

# Shrnutí

## Les pod lupou

V roce 1849 les v Sasku byl poprvé sledován průkopníkem rozboru životního prostředí a průzkumu poškození lesa. Profesor Adolph Stöckardt z Tharandtu, jehož 200. narozeniny si připomeneme v roce 2009, mohl jako první dokázat, že kyselina syřičitá vážně poškodí lesy kolem Freibergských hutí.

Na základě mezinárodního programu spolupráce pro posuzování vlivů znečištění ovzduší na lesy (ICP Forest) před pětadvaceti lety v rámci Ženevské úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států, bylo zavedeno monitorování lesů v Evropě. V souvislosti s ratifikací této úmluvy Spolkovou republikou vyplynuly z toho závazné povinnosti reportingu, který je základem shromáždění dat v německých spolkových zemích. Tyto úkoly jsou zakotveny v saském lesním zákoně.

Po ratifikaci Ženevské úmluvy Evropským společenstvím Komise v období 1986 do 2006 na základě nařízení Rady úspěšně podporovala vytváření a provozování panevropského systému monitorování a harmonizace metod. Vzhledem k znečištění ovzduší Sasko patří k nejvíce exponovaným regionům v Evropě, v roce 1992 Sasko poprvé obdrželo finanční prostředky z evropských grantových programů na inventarizaci půdních poměrů v lesu. Od té doby jsou v každém roce využívány finanční prostředky na vytváření, zlepšení, inventarizaci nebo vyhodnocování systémů monitoringu.

V současné době se Svobodný stát Sasko spolu s 39 národními a mezinárodními partnerskými organizacemi aktivně angažuje na projektu v rámci evropského finančního nástroje „LIFE+“. Cíl tohoto projektu spočívá v dalším rozvoji a přizpůsobení evropského systému monitoringu zdravotního stavu lesa zejména požadavkům reportingu o změně klimatu.

Pro účely národní koordinace systematického monitoringu lesních porostů byly založeny pracovní skupiny se zástupci spolkových a zemských orgánů. Spolupráce v těchto pracovních skupinách významně přispívá k dobré kvalitě a spolehlivosti v Sasku shromážděných a vyhodnocených dat od šetření zdravotního stavu lesů přes chemické rozborů až k interpretaci dat. Například byly převzaty technologické postupy k regionalizaci dat o zdravotním stavu lesů a použity v Sasku pro účely vyhodnocení půdních poměrů resp. vymezení oblastí imisních škod. Výsledky byly publi-

kovány v mezinárodním měřítku a přímo prezentovány francouzským odborníkům. Vytváření sítě na monitorování lesa bylo provedeno v těsné spolupráci se správou životního prostředí. Byly vytvořeny komplementární měřicí sítě pro kontrolu jakosti ovzduší a permanentní sledování půd, přičemž tyto údaje mezi jiným přispívají k úspěšným jednáním o redukci emisí hlavních škodlivin v tehdejších „černém trojúhelníku“ v roce 1996. Implementace evropské rámcové směrnice o vodní politiku jakož i diskuse o změně klimatu zároveň poskytují možnosti na společné zpracování tématu les a voda vzhledem k jakosti a množství. Na základě toho došlo také k rozšiřování meteorologické sítě měření, která teď zahrnuje 17 měřicích stanic v lesích.

Cíle dlouhodobého měření v rámci intenzivního monitoringu jsou zaměřeny na sledování všech oblastí ekosystému. Monitorovací plochy slouží jako případové studie, na kterých se stanoví vlivy životního prostředí a dlouhodobé dopady na lesy. Měření o depozici látek a meteorologické ukazateli budou doplněny údaji o vegetaci, nutriční degradaci porostů a stavu půd. Tento multimediální přístup přitom poskytuje téměř celistvé vysvětlení vztahů příčin a následků v lesních ekosystémech.

Výsledky mohou být používány v smyslu udržitelného využití přírodních zdrojů, aby na jejich základě byly posuzovány stupně ohrožení zdrojů a další průběh vývoje. Velkoplošné monitorovací sítě na sledování zdravotního stavu lesa a půdních poměrů doplňují systematický monitoring tím, že se získané údaje budou posuzovány podle místních podmínek.

Konkrétní prognóza dopadů depozice dusíku v ekosystémech je složitá. Tato významná živina pro rostliny se různě využívá v závislosti na stavu lesních ekosystémů a například budoucích klimatických změnách. Podle současných vědeckých výzkumů mezinárodní hodnota 10 až 20 kilogramů dusíku na hektar za rok je považována jako preventivní pro udržitelnou ochranu ekosystému před eutrofizací atmosférickým dusíkem. Na sledovaných místech lesních monitorovacích ploch činí depozice dusíku na volných plochách zhruba 10 kg na hektar za rok. Přímou v lesu je hodnota vyšší, protože koruny „vyčesávají“ dusík z atmosféry.

Srovnání kritických zátěží okyselování, zjištěných podle jednotných metod a

přístupů pro typické stanoviště, svědčí o úspěšných opatřeních na ochranu ovzduší v případě síry, zatímco problém s nadbytečným dusíkem i nadále trvá.

Na příkladu měřicího bodu v Laussnitzu reprezentativní pro nížinu, můžeme dokladat, že přes překročení kritické zátěže v posledních 14 letech nedošlo k negativním dopadům. Ani stav korun, ani stav výživy borového porostu nebo složení půdní vegetace dosud nevykazují zatížení. Také průsakové vody (odtoky) dosud nejsou zatěžovány nitráty. Tyto zdánlivě uspokojivé skutečnosti musíme však vidět v souvislosti s tím, že ekosystémy zatížených smrkových porostů jsou schopny vázat velké množství dusíku. V přírodních ekosystémech bez přebytečného dusíku lze to předpokládat pouze při závažném porušení koloběhu látek.

Okyselování lesních půd v Sasku bylo šetřeno v rámci druhé celostátní inventarizace půd (BZE II), která proběhla v roce 2006. V rámci námatkové kontroly lze dokázat významný pokles koncentrace kyselin a v souvislosti s tím i zvyšování pH v hlavním kořenovém systému do 90 cm. Tyto degradační vlivy se nejvíce projevují v nadložním humusu a v nejsvrchnějších 10 cm minerální půdy a zmenšují se hloubkou půdy. S ohledem na to je přirozená pufrací schopnost na kyselé vstupy mírně zlepšována ve vrchních půdách. Celkově však musíme charakterizovat půdy i nadále za velmí kyselé. Vzhledem k stupni nasycení bázičnými prvky došlo ve srovnání s BZE I k poklesu. V hlavním kořenovém systému do 90 cm činí průměrné nasycení méně než 15 % a je tím klasifikováno jako „nízké“. Fenomén zvyšování pH bez souběžného zlepšování stavu bázičských kationtů byl pozorován i v jiných německých spolkových zemích a je považován za následek rozpuštění dřívě uloženého síranu hlinitého.

Samostatné posuzování výsledků šetření podle substrátů vede k diferencovaným výsledkům, přičemž na základě rozsahu námatkových kontrol není možné uvést zajištěné výsledky. Zvláštní pozornost si zaslouží dopady vápnění lesních půd, které se týkají substrátů typů magmatity a metaformity kamenitých vrstev v Krušných horách. Vápněním došlo dosud pouze ke zlepšování kyselé depozice náložního humusu a nejsvrchnější minerální půdy (0–5 cm). Podle toho nasycení bázeří se změnilo z kategorie „nízké nasycení“ (5–15%)

na kategorii „mírné nasycení „ (15–30 %). Zatímco ve vápněných skupinách do 30 cm došlo k mírnému zlepšení, byl v hlubších vrstvách obou skupin vykazován nevýznamný pokles nasycení bázemi ve srovnání s výsledky šetření roku 1992.

Výsledky ukazují, že vápněním nedošlo k masivní nivelizaci lesních půd, jak bylo z části předpokládáno. Ve spolupráci s jinými spolkovými zeměmi se provede podrobné vyhodnocení výsledků BZE II v Sasku také z vegetačně – ekologického hlediska.

Přítom je třeba řešit otázku, jak dlouho musíme ještě provést opatření k restauraci lesních půd, které byly po dobu 150 let vystaveny značným antropogenním vlivům a okyselování.

Rámcové klimatické podmínky podstatně ovlivňují rozšíření, vitalitu a konkurenční sílu dřevin. Cílové typy zakmenění porostu (BZT) a budoucí typy na úpravu lesa (WET) se orientují podle převažujících dřevin hlavních lesních společenství. Vzhledem k procesům změny klimatu mají stále větší význam detailní znalosti o vlivech povětrnostních a klimatických podmínek na růst dřevin a jejich životaschopnost. Proto je odvození specifických klimatických ukazatelů s návazností na ekologickou valenci druhů dřevin předpokladem udržitelného hospodářství saských lesů.

Vzhledem k dopadům klimatických změn na růst lesních porostů na typických smrkových a borových stanovištích za použití monitorovacích ploch bylo provedeno šetření, které bylo zaměřeno na stávající rozbor letokruhů a vyhodnocení kmenových výřezů. Za tímto účelem byly řešeny odhadové modely obou hlavních druhů dřevin v Sasku. Z výsledků šetření vyplývalo, že smrk při napjaté vodní bilanci reaguje významnými přírůstovými ztrátami. S výjimkou extrémního sucha na borových porostech však nemusíme počítat s významnými přírůstovými ztrátami. Tím se potvrdí nutnost přestavby lesních porostů v Sasku, která je aktivně prováděna od devadesátých let minulého století. Ve středu pozornosti je přitom přestavba smrkových monokultur na sprašové pahorkatině jakož i v podhoří Krušných hor a Vogtlandsku na porosty smíšené. Vzhledem k nejistotě a pochybnosti v souvislosti se změnou klimatu a vývojem škůdců přibývá na významu opce stanovištně vhodných smíšených porostů včetně diferencovaného přístupu při posouzení neofytů. Dostatečná adaptační

schopnost je významným předpokladem stability lesních ekosystémů.

#### Zdravotní stav lesa v roce 2009

Stav korun lesních porostů u všech druhů dřevin a věkových tříd se téměř nezměnil oproti roku 2008. V tomto roce bylo analyzováno celkem 6.792 stromů na 283 námatkově vybraných stanovištích, které vykazovaly o 0,6 % vyšší průměrnou defoliaci koruny a dosáhly hodnoty 17,4 %.

Podle stupně poškození bylo klasifikováno 18 % lesních porostů jako silně poškozeno (stupně poškození 2-4), 40 % jako mírně poškozeno (stupeň poškození 1), a stejně jako v minulém roce 42 % bylo bez zřetelných známek poškození (stupeň poškození 0).

Při posouzení skupin dřevin jsou však zřejmě dva zásadně různé trendy, které se však vyrovnávají ve celkovém množství námatkových kontrol. V tomto roce došlo k podstatnému zlepšení stavu borových porostů v mladších i starších věkových třídách, průměrná defoliace dosáhla hodnoty 14,6 %.

Oproti tomu se zhoršila situace u smrků. Průměrná defoliace korun dosáhla 17,1 %, což znamená, že mírné zlepšení z minulého roku je zase spotřebováno. Ztráty vyskytují především v dolních polohách pohoří a na pahorkatině. Již v minulých letech pozorovaný trend ubývající defoliace ve vyšších polohách a rostoucího vlivu stresových faktorů v teplejších a sušších polohách byl potvrzen. Také ostatní jehličnany vykazují vzestup defoliace.

U dubu došlo v tomto roce k výraznému zhoršení stavu koruny. Tady působí biotické faktory, jako značná fruktifikace, škody houby (např. výskyt padlí na dubu) a v omezené míře nálet hmyzu, které mají negativní dopady na stav dubových korun.

Buk dosáhl v tomto roce nové maximální hodnoty průměrné defoliace ve výši bezmála 30 %.

Zatímco druhy dubu mají vysokou regenerační schopnost korun po suchém období, buky nemohly kompenzovat škody, které nastaly v následném roce po suchém období roku 2003 a 2006.

Vzhledem k vysokému počtu buků, které mají plody v nadměrně vysoké intenzitě, bude v tomto roce překročeno dosavadní maximum z roku 2004. Téměř nezměněn je stav korun u ostatních listnáčů a činí 18,7 %.

Zlepšení zdravotního stavu korun u

jehličnanů se vždycky významně projevuje v celkovém výsledku na základě jejich převahy ve výběrové jednotce. Ačkoliv se stav korun u borových porostů zlepšil a u smrku došlo ke stagnaci, musíme brát v zřetel, že na základě porušených porostních struktur následkem škod způsobených vichřicí Kyrill a vysokým výskytem různých druhů kůrovce a škůdců na jehličnatých dřevinách, např. klikoroha borového, následné škody se mohou projevit ještě v příštích letech.

Zatím objem smrkových porostů, napadaných podkorním hmyzem (kůrovci) dosáhl v roce 2008 nejvyšší hodnoty minulých 40 let, kůrovcové škody v tomto roce zase poklesly na úroveň období 2004–2007. Tím jsou však značně vyšší než v roce 2003.

Jiné biotické činitele ovlivňovaly místně stav korun různých dřevin.

# Streszczenie

## Lasy pod lupą

W roku 1849 lasy w Saksonii zostały po raz pierwszy dokładnie zbadane przez pioniera analizy środowiskowej i badań szkód leśnych. Był nim profesor Adolph Stöckhardt z Tharandt – jego 200. rocznica urodzin przypada na rok 2009 –, który jako pierwszy udowodnił, że kwas siarkowy szkodzi lasom wokół hut we Freibergu.

Dwadzieścia pięć lat temu wraz z powstaniem Międzynarodowego Programu Koordynującego na rzecz ochrony lasów przed transgranicznym zanieczyszczeniem powietrza (ICP Forests), działającego w ramach Konwencji Genewskiej w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza, rozpoczęto w Europie prowadzenie monitoringu środowiska leśnego. Ratyfikacja tej konwencji przez Republikę Federalną Niemiec stanowi – poprzez wynikające z niej obowiązki sprawozdawczości – podstawę odpowiedniego gromadzenia danych w niemieckich krajach związkowych. Zadania te zostały ujęte w Saksonii w saskońskiej Ustawie o lasach (Sächsisches Waldgesetz).

Po ratyfikacji tej konwencji przez Wspólnotę Europejską, Komisja wspierała poprzez rozporządzenia w latach 1996–2006 w skuteczny sposób budowę i funkcjonowanie paneuropejskich sieci pomiarowych, a także harmonizację ich metod. Saksonia, jako jeden z najbardziej dotkniętych zanieczyszczeniem powietrza regionów w Europie, skorzystała w roku 1992 w celu przeprowadzenia pierwszej inwentaryzacji stanu gleb leśnych po raz pierwszy z europejskich środków wsparcia. Od tego czasu corocznie korzysta się z środków przeznaczonych na rozbudowę, poprawę, intensyfikację lub ocenę systemów monitoringu.

Obecnie Kraj Związkowy Saksonia zaangażowany jest aktywnie – wspólnie z 39 innymi partnerami narodowymi i międzynarodowymi – w projekcie działającym w ramach europejskiego instrumentu finansowego „LIFE+”. Jego celem jest dalszy rozwój i dostosowanie europejskiego monitoringu środowiska leśnego zwłaszcza do wymagań z zakresu sprawozdawczości dotyczącej zmian klimatu.

Współpraca w – założonych celem narodowej koordynacji monitoringu środowiska leśnego – grupach roboczych na szczeblu federalnym i związkowym znacząco przyczynia się do jakości i niezawodności danych gromadzonych w Saksonii jak i przeprowadzanych ocen, i to począwszy od inwentaryzacji stanu lasów

poprzez analizę chemiczną, aż po interpretację danych. I tak na przykład przejęte zostały również technologie służące regionalizacji danych o stanie lasu i wykorzystywane są w Saksonii do inwentaryzacji stanu gleb bądź do wytypowania stref imisji substancji szkodliwych. Wyniki mogły zostać opublikowane na szczeblu międzynarodowym i przedstawione bezpośrednio francuskim partnerom.

Rozbudowa sieci pomiarowych środowiska leśnego nastąpiła w ścisłym porozumieniu z administracją ochrony środowiska. I tak założone zostały uzupełniające sieci pomiarowe w zakresie monitoringu powietrza i ciągłego monitoringu gleb, z których zdobyte dane przyczyniły się po części między innymi w roku 1996 do skutecznych negocjacji o redukcji zanieczyszczenia powietrza w byłym „czarnym trójkącie”. Wdrożenie europejskiej Ramowej Dyrektywy Wodnej, a także dyskusja wokół zmian klimatu, stwarzają z kolei okazje do wspólnego i skutecznego opracowania tematu lasów i wód, i to zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym. Z tego właśnie wynikało dostosowanie i poszerzenie leśnej meteorologicznej sieci pomiarowej do ilości 17 leśnych stacji klimatycznych.

Długoletnie szeregi pomiarowe intensywnego monitoringu środowiska mają na celu obserwację ekosystemu we wszystkich jego aspektach. Powierzchnie pomiarowe są studiami przypadku, w oparciu o które określone są wpływy na środowisko, których oddziaływanie na lasy może być obserwowane przez dłuższe okresy czasu. Pomiaru dotyczące wprowadzanych do powietrza substancji i meteorologii uzupełniane są badaniami z zakresu ekologii roślin, gleboznawstwa leśnego i nawożenia lasu. To multimedialne podejście pozwala przy tym na dokonanie rzetelnych wypowiedzi na temat związków przyczynowo-skutkowych w ekosystemach leśnych.

Otrzymane wyniki mogą znaleźć zastosowanie w odniesieniu do zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych, po to by móc dokonać wypowiedzi na temat ich potencjału zagrożenia i rozwoju. Wielkoobszarowe sieci pomiarowe służące inwentaryzacji stanu lasu i stanu gleb uzupełniają intensywny monitoring poprzez uwzględnianie dokonanych obserwacji w kontekście regionalnym.

Konkretna prognoza oddziaływania ładunku azotu wnoszonego do ekosystemów jest trudna. Ten istotny składnik pokarmowy roślin wykorzystywany jest różnie w zależności od stanu ekosystemu i przykładowo przyszłych zmian klimatycznych. Międzynarodowy poziom

pobiegawczy – wynikający z przeprowadzonych badań naukowych – dla zrównoważonej ochrony ekosystemów przed eutrofizacją przez pochodzące z powietrza ładunki azotu, podany został dla lasów w wysokości 10 do 20 kilogramów na hektar i rok. W punktach badawczych – na znajdujących się pod stałą obserwacją powierzchniach leśnych – odnotowuje się obecnie dla przestrzeni otwartych ok. 10 kg azotu na hektar i rok. W lasach wartości te są wyższe z powodu „efektu wyczesywania” przez korony drzew.

Porównanie – uzyskanych na podstawie jednolitych w całym Niemczech metod – typowych dla miejsc lokalizacji krytycznych obciążeń w stosunku do zakwaszenia, wykazuje wprawdzie skuteczność przedsięwzięć z zakresu ochrony powietrza przed zanieczyszczeniem w odniesieniu do siarki, lecz ciągle ten sam problem w odniesieniu do nadwyżek azotu.

W jednym z reprezentacyjnych dla nizin punktów pomiarowych w miejscowości Laußnitz można było wykazać, że pomimo przekroczenia krytycznego obciążenia przez ostatnich 14 lat, nie doszło do wystąpienia żadnych negatywnych oddziaływań. Ani stan koron drzew, ani status żywieniowy drzewostanu sosny czy też skład roślinności runa nie wykazują obciążenia. Również woda infiltracyjna nie została do tej pory obciążona azotanem. Jednak te, jak by się mogło wydawać, uspakajające fakty nie mogą mylić, co do tego, że w „przeciążonych” ekosystemach świerkowych azot roznoszony jest w dużych ilościach. W naturalnych ekosystemach bez nadwyżki azotu należałoby się tego spodziewać jedynie w przypadku silnych zakłóceń gospodarki materiałowej.

Stan zakwaszenia saskońskich gleb leśnych zbadany został w ramach drugiej ogólnonieemieckiej inwentaryzacji stanu gleb (BZE II) w roku 2006. W przypadku próbki ogólnej udowodniono znaczne zmniejszenia stężeń kwasów i tym samym wzrost wartości pH w głównej strefie korzeniowej do 90 cm. Szczególnie wyraźnie zmiany te są widoczne w warstwach próchnicy i w glebie mineralnej do głębokości 10 cm. Wskaźniki zmian zmniejszają się w miarę zwiększania głębokości. Tym samym poprawiły się lekko możliwości buforowania w odniesieniu do ładunków kwasu wnoszonego do warstwy ornej. W ogólnej statystyce gleby te należy jednak zaklasyfikować w dalszym ciągu do bardzo kwaśnych. W odniesieniu do wysycenia kationami zasadowymi odnotowano zmniejszenia w porównaniu z BZE I. W głównej

strefie korzeniowej do 90 cm średnie wysycenie kationami zasadowymi wynosi poniżej 15 % i oceniane jest tym samym jako „nieznaczne”. Fenomen zwiększenia wartości pH bez idącej za tym poprawy stanu kationów zasadowych występuje w kilku niemieckich krajach związkowych i postrzegany jest jako skutek rozkładu zgromadzonego przedtem siarczanu glinu.

Osobne rozpatrzenie wyników według rodzajów podłoża prowadzi do zróżnicowanych wypowiedzi, przy czym z powodu wielkości próbek nie zawsze mogą to być wypowiedzi rzetelne. Szczególnie interesujące są efekty ochrony gleby przez wapnowanie, które dotyczą grup podłoża skał magmowych i metamorficznych gleb skał litych w Rudawach. Przez wapnowanie poprawiły się dotychczas w odniesieniu do ich stanu zakwaszenia jedynie warstwy próchnicy i górna część gleby mineralnej (0–5 cm głębokości). Odpowiednio do tego wzrosła podaż kationów zasadowych z kategorii podaży „nieznacznej” (5–15 %) do kategorii podaży „umiarkowanej” (15–30 %). Po lekkich poprawach do 30 cm w grupie wapnowanej, ma miejsce w głębszych warstwach gleby obu grup w stosunku do badania z roku 1992 nieznaczne zmniejszenie wysycenia kationami zasadowymi.

Wyniki pokazują, że wapnowanie w celu ochrony gleby nie doprowadziło do tej pory – tak jak się częściowo obawiano – do masowych niwelacji gleb leśnych. Głębiej idące oceny BZE II w Saksonii – również z perspektywy ekologii roślin – przeprowadzane są w kooperacji z innymi krajami związkowymi.

Należy przy tym wyjaśnić ważną kwestię, a mianowicie, jak długo jeszcze – po 150 latach masowego zakwaszenia przez człowieka – należy będzie przywracać glebie zdegradowanej jej dawną wartość.

Klimatyczne warunki ramowe wpływają miarodajnie na rozprzestrzenianie się, witalność i siłę konkurencyjną gatunków drzew. Na dominujące gatunki drzew przewodnich ukierunkowane są docelowe typy drzewostanu (niem. BZT) i przyszłe typy rozwoju lasu (niem. WET) w gospodarce leśnej. Przy uwzględnieniu postępującej zmiany klimatu, coraz większe znaczenie zyskuje dalej idąca wiedza na temat wpływu pogody i klimatu na wzrost drzew i ich witalność. Dlatego też wywiedzenie specyficznych wskaźników klimatycznych w związku z walencją ekologiczną gatunków drzew jest warunkiem zrównoważonego zagospodarowania lasów saksońskich.

W odniesieniu do oddziaływania zmian klimatu na wzrost lasu przeprowadzone zostały w typowych miejscach lokalizacji świerku i sosny – przy uwzględnieniu powierzchni monitoringowych – badania przy pomocy istniejących analiz wzrostu słoju rocznych i ocen krążków pni. W tym celu opracowano modele szacowania dla tych obu głównych gatunków drzew w Saksonii. Wyniki pokazują, że świerk reaguje w napiętej sytuacji stanu wody wyraźnym załamaniem przyrostu. Natomiast w przypadku sosny nie należy obawiać się żadnych istotnych strat przyrostu. Fakt ten potwierdza tylko konieczność podejmowanej od roku 1990 w Saksonii aktywnej przebudowy lasu. Punkt ciężkości stanowi tutaj przebudowa czystych drzewostanów świerkowych na lessowych terenach pagórkowatych, a także na przedgórzu Rudaw i w Vogtlandzie w stabilne drzewostany mieszane. W związku z nieważkością zmian klimatu i rozwojem patogenów, opcja lasów z różnorodnymi dostosowanymi do siedliska mieszkankami gatunków drzew, włącznie ze zróżnicowanym rozpatrywaniem neofitów, zyskuje – jako strategia dostosowania do zmian klimatu – coraz bardziej na znaczeniu.

#### Stan lasów w roku 2009

Stan koron drzew leśnych w zakresie wszystkich gatunków drzew i klas wieku nie uległ w porównaniu z rokiem 2008 prawie żadnej zmianie. Ujęte w tym roku w 283 punktach poboru drzewa próbne w ilości 6.792 wykazały gorsze o 0,6 punktu procentowego średnie przerzedzenie koron wynoszące 17,4 %. Zgodnie z podziałem na skojarzone stopnie uszkodzenia 18 % powierzchni lasu zaklasyfikowanych zostało jako wyraźnie uszkodzone (stopień uszkodzenia 2–4), 40 % jako słabo uszkodzone (stopień uszkodzenia 1) i podobnie jak w roku ubiegłym 42 % bez rozpoznawalnych cech uszkodzenia (stopień uszkodzenia 0).

Przy rozpatrywaniu grup gatunków drzew rozpoznać można jednak dwa zasadniczo różne rozwroje, które w całości pobranych próbek równoważą się jednak daleko idąco. W tym roku wyraźnej poprawie uległa sosna, zarówno w młodszych jak i starszych klasach wieku i osiągnęła średnią utratę igieł wynoszącą 14,6 %.

W przeciwnieństwie do tego pogorszeniu uległo igliwie świerku. Przy średnim przerzedzeniu koron wynoszącym 17,1 % lekka poprawa z roku ubiegłego została przez to skompensowana. Straty występują zwłaszcza

w niższych rejonach górskich i na terenach pagórkowatych. Tym samym nasiliła się – dająca się zaobserwować podczas całego szeregu czasowego – redukcja obciążenia z mniejszą utratą igliwia w wyższych rejonach górskich i rosącym stresem w położeniach ciepłych i suchych. Również pozostałe gatunki drzew iglastych wykazują dalszy wzrost utraty igliwia.

W przypadku dębu stan koron uległ w tym roku widocznemu pogorszeniu. Negatywnie na wygląd koron dębowych wpływają tutaj czynniki biotyczne, tj. znaczna fruktyfikacja, szkody wywołane grzybami (np. porażenie dębów mączniakiem prawdziwym) i w ograniczonym stopniu porażenie wskutek owadów.

Buk osiągnął w tym roku nową wartość maksymalną w odniesieniu do średniej utraty liści w wysokości prawie 30 %. Inaczej niż gatunki dębów, posiadające duże zdolności regeneracyjne struktury koron po okresach suchych, buki nie skompensowały każdorazowo w kolejnym roku po okresach suszy w latach 2003 i 2006 występujących szkód struktury.

W połączeniu z wysokimi udziałami owocujących buków i intensywnością owocowania w tym roku przekroczone zostanie również dotychczasowa wartość maksymalna z roku 2004. Prawie niezmienny pozostał stan koron w grupie pozostałych gatunków drzew liściastych kształtujący się na 18,7 %.

Z powodu swojej dominacji w zakresie próbek wyrwykowych, poprawy stanu koron drzew iglastych wpływają coraz wyraźniej na wynik ogólny. Poprawa w odniesieniu do sosny i stagnacja w odniesieniu do świerku nie mogą jednak mylić, co do faktu, że z powodu zakłóconych struktur drzewostanów w konsekwencji szkód wyrządzonych przez huragan Kyrill i wysokiej gęstości początkowej różnego rodzaju gatunków kornikowatych i szkodników roślin uprawnych, jak np. szeliniaka sosnowca, ryzyka w zakresie gospodarowania zasobami świerku są nadal bardzo duże. W dalszym ciągu istnieją duże potencjały, które mogą doprowadzić w następnych latach do uszkodzeń wtórnych.

Po tym, jak porażenie przez szkodniki kory (kornikowate) w drzewostanie świerku osiągnęło w roku 2008 wartość maksymalną ostatnich 40 lat, szkody w tym roku uległy ponownemu zmniejszeniu do poziomu z okresu 2004–2007. Kształtowały się one tym samym jednak wyraźnie powyżej wartości z roku 2003. Inne biotyczne czynniki szkód wpłynęły lokalnie na stan koron pojedynczych gatunków drzew.

# Forstliches Umweltmonitoring – Wald unter der Lupe



Ansprache des Kronenzustandes von Waldbäumen

Im Jahre 1849 wurde Adolph Stöckhardt, Professor für Agrikulturchemie an der Akademie für Forst- und Landwirte zu Tharandt, „amtlich beauftragt, [...] nähere Untersuchungen über die Art und Größe der schädlichen Einwirkung, welche der Rauch der Freiburger Hüttenwerke auf die Vegetation der den letztern nahe liegenden Feld-, Wald- und Wiesenstücke ausübe, anzustellen“. Durch Beräucherungsversuche an Pflanzen konnte er 1871 als Erster die vorgefundenen Schäden auf eine direkte Einwirkung der in den Hütten freigesetzten schwefligen Säure zurückführen, die selbst in einer Verdünnung von 1 zu 1 Million langfristig Schaden verursachte. Er kann somit als Begründer der Umweltanalytik und Waldschadensforschung gelten.

Einhundertdreißig Jahre später wurde auf Initiative der skandinavischen Länder, die damals die Versauerung ihrer Binnengewässer durch fern transportierte Luftschadstoffe befürchten mussten, und nach dem Auftreten erster neuartiger Waldschäden in Mitteleuropa von der Wirtschaftskommission für Europa

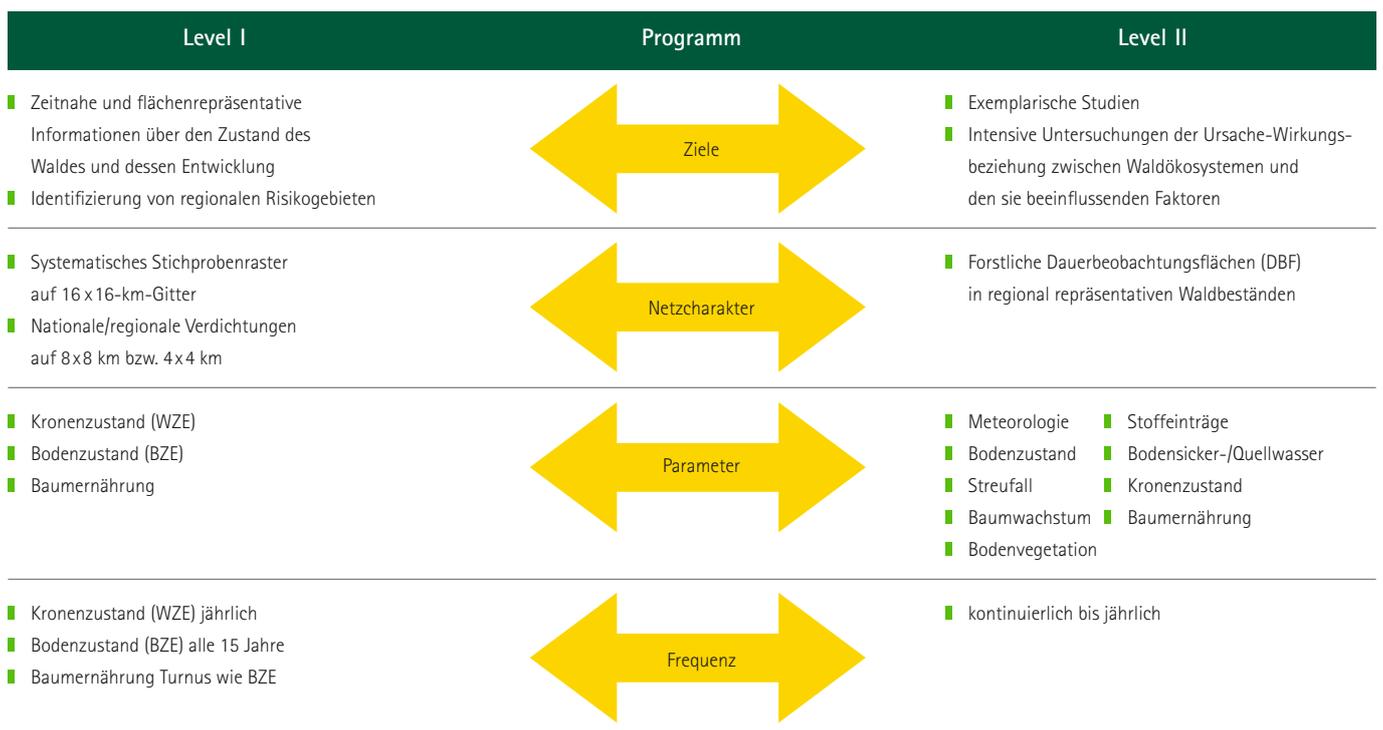
der Vereinten Nationen die Genfer Konvention zu grenzüberschreitenden, weiträumigen Luftverunreinigungen ins Leben gerufen (engl. UN/ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, CLRTAP). Diese wurde sowohl von der Bundesrepublik Deutschland als auch von der damaligen Europäischen Gemeinschaft ratifiziert und bildet inklusive ihrer sieben Folgeprotokolle noch heute die international verbindliche Verankerung des forstlichen Umweltmonitorings in Europa. Deutschland übernahm 1984 unter anderem den Vorsitz eines im Rahmen der Arbeitsgruppe Effekte (WGE) der Konvention installierten internationalen Kooperationsprogramms (ICP) zum Einfluss der Luftverunreinigungen auf Wälder (ICP Forests; www.icp-forests.org). Dieses entwickelte unter einer pan-europäischen Expertenorganisation das forstliche Umweltmonitoring zu einem methodisch abgestimmten System aus flächenrepräsentativen Stichprobenetzen und prozessbezogenem Intensivmonitoring. Für die unterschiedliche Erhebungsintensität dieser Messnetze bürgerte sich die Bezeichnung Level-I- bzw. Level-II-Netz ein. Einen Überblick über das Konzept gibt Abbildung 2.



3. Untersuchungen über die schädliche Einwirkung des Hütten- und Strickholzwandens auf das Wachsthum der Pflanzen, insbesondere der Nichte- und Eiche.  
Von A. Stöckhardt.

Abb. 1: Adolph Stöckhardt und Überschrift seines Artikels aus dem Tharander Forstlichen Jahrbuch 1871; Bildquelle: Wikipedia <http://de.wikipedia.org>, 31.08.2009

Abb. 2: Forstliches Umweltmonitoring der Ebenen Level I und Level II



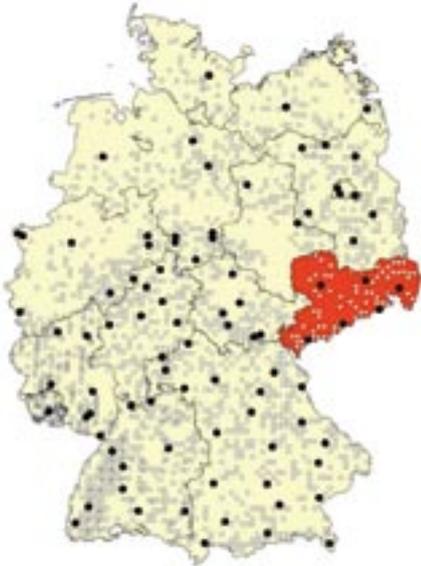


Abb. 3: Beteiligung Sachsens am nationalen Level-I- und Level-II-Netz [3]

- BZE- bzw. WZE-Fläche als Unterstichprobe
- Level-II-Fläche

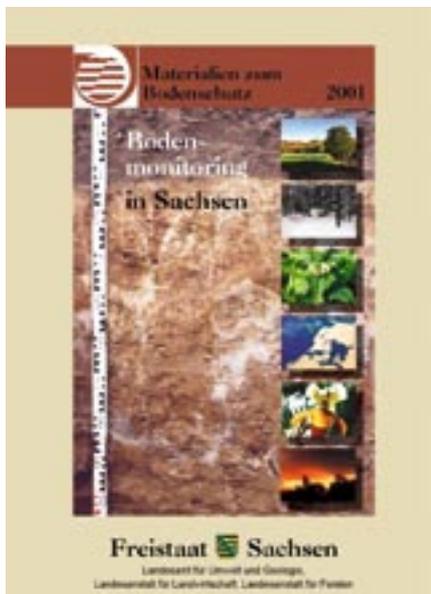


Abb. 4: Gemeinsame Broschüre der Ressortforschung des SMUL zum Bodenmonitoring in Sachsen

Dieses Monitoringkonzept mit seinen unterschiedlichen Netzverdichtungen erlaubt in Deutschland eine optimale Anpassung an die Informationsbedürfnisse der Länder, des Bundes und der EU.

Im Level-I-Programm bonitierte Sachsen 2009 im Rahmen der Waldzustandserhebung (WZE) auf 283 Punkten im Vollerhebungsnetz (4x4-km-Raster) den Waldzustand. Nur 19 Punkte sind hiervon Bestandteil des europäischen Rasters. Insgesamt werden bei den jährlich zu erstattenden Berichten für Deutschland Ergebnisse von 420 Punkten aus allen Bundesländern an das Datenzentrum des ICP Forests mit Sitz im Institut für Weltforstwirtschaft des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (VTI) in Hamburg übermittelt.

Die 2006 in Deutschland zum zweiten Mal nach 1987–1992 auf dem 8x8-km-Raster durchgeführte nationale Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) umfasst bundesweit etwa 2.000 Punkte, zu denen Sachsen mit 77 Erhebungspunkten beiträgt.

Im intensiven Monitoring (Level II) liefern sechs Stationen in Sachsen jährlich Daten an die nationale Ebene, die mit insgesamt 88 Stationen internationale Datenbanken der Genfer-Luftreinhalte-Konvention bedient (Abbildung 3). Das Messnetz des durch den Staatsbetrieb Sachsenforst und seine Vorläuferinstitutionen seit 1991 aufgebauten und betreuten forstlichen Umweltmonitorings wird komplettiert durch zwei weitere regionale Dauerbeobachtungsflächen in Altenberg und Bad Schandau, die seit dem Jahr 2000 bzw. seit 1998 auf Wunsch der TU Dresden bzw. des Nationalparks Sächsische Schweiz vom Staatsbetrieb Sachsenforst nach Level-II-Schema betrieben werden. Der Staatsbetrieb Sachsenforst stellt damit gut ein Drittel aller sächsischen Depositionsmessstationen, deren Daten periodisch vom Umweltbundesamt für die Erstellung von nationalen Depositionskarten abgefragt werden.

Weiterhin betreibt der Staatsbetrieb Sachsenforst ein mit 17 Stationen über das Level-II-Programm hinausgehendes Netz von Waldklimastationen. Diese sind auf Freiflächen in größeren Waldgebieten eingerichtet worden und erheben den vollständigen Parametersatz meteorologischer Untersuchungen, von der Lufttemperatur bis zur Globalstrahlung,

und ergänzen damit effektiv die Messnetze des Landes. Die gewonnenen Messdaten und Erfahrungen erlauben es dem Staatsbetrieb Sachsenforst, sich kompetent in ressort- und länderübergreifende Arbeitsgruppen zum Klimawandel einzubringen und betriebliche Entscheidungen auf wissenschaftlicher Basis zu treffen.

Eine Übersicht zu den genannten Flächentypen und deren räumlicher Verteilung in Sachsen stellt Abbildung 5 dar. Tabelle 1 liefert eine Kurzbeschreibung der sächsischen forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF).

Mit der Bodenzustandserhebung und den Level-II-Stationen werden zudem wichtige Informationen zu schädlichen Bodenveränderungen im Sinne der Gefährdungsabschätzung und Untersuchungsanordnung gemäß § 9 Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) gewonnen. Zugleich werden diese Daten zur Steuerung und Planung der in § 1 des oben genannten Gesetzes geforderten Maßnahmen zur Sicherung und Wiederherstellung der Bodenfunktionen, insbesondere über die forstliche Bodenschutzkalkung, genutzt. Mit den landesinternen Absprachen zum Bodenmonitoring im Wald anlässlich der Ersterhebung der BZE im Jahre 1992 wurde diesbezüglich der Grundstein der bis heute erfolgreichen Zusammenarbeit mit dem nunmehrigen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) gelegt. Ein Ergebnis dieser Zusammenarbeit war unter anderem eine wegweisende gemeinsame Veröffentlichung zum Bodenmonitoring in Sachsen (Abbildung 4).

Mit den Vorarbeiten zur Gefährdungseinschätzung von Grundwasserkörpern im Zuge der Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie verstärkte sich ab 2004 zudem die Zusammenarbeit der entsprechenden Fachferate des Staatsbetriebes Sachsenforst (SBS) und des LfULG, die ebenfalls in eine gemeinsame Fachpublikation mündete [20].

Hier standen insbesondere die erhobenen Daten und Auswertungen zur Rolle des Stickstoffs in Waldökosystemen und mögliche diffuse Stickstoffeinträge in die Grundwasserkörper im Vordergrund der Betrachtung. Abbildung 6 zeigt eine im Jahre 2004 erstellte Karte mit der Verschneidung des Rasters der regionalen Bodenzustandserhebung und den als gefährdet ausgewiesenen Grundwasserkörpern.

Name der DBF	Wuchsgebiet	Geologie	Höhe ü. NN [m]	JMT* [°C]	JNS* [mm]	Bestand Alter 2009	Betrieb seit
Klingenthal	Erzgebirge	Eibenstocker Granit	840	5,0	1210	Fichte 90	07/1993
Olbernhau	Erzgebirge	Grauer Gneis	720	6,3	918	Fichte 118	10/1994
Cunnersdorf	Elbsandsteingebirge	Quadersandstein mit Lösslehm	440	7,2	816	Fichte 105	07/1993
Bautzen	Oberlausitzer Bergland	Lausitzer Granodiorit	440	7,6	757	Fichte 94	07/1995
Laußnitz	Düben-Niederlausitzer Altmoränenland	diluvialer Decksand	170	9,0	667	Kiefer 101	10/1994
Colditz	Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland	Lösslehm über Grundmoräne	185	8,8	645	Eiche 56	07/1995
Bad Schandau/ Nationalpark	Elbsandsteingebirge	Basalt und Quader- Sandstein mit Lösslehm	260	8,2	774	Buche 60	09/1998
Altenberg	Erzgebirge	Rhyolith	745	5,4	956	Fichte 117	05/2000

\* JMT = Jahresmitteltemperatur; \*JNS = Jahresniederschlag

Tab. 1: Kurzbeschreibung der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF)

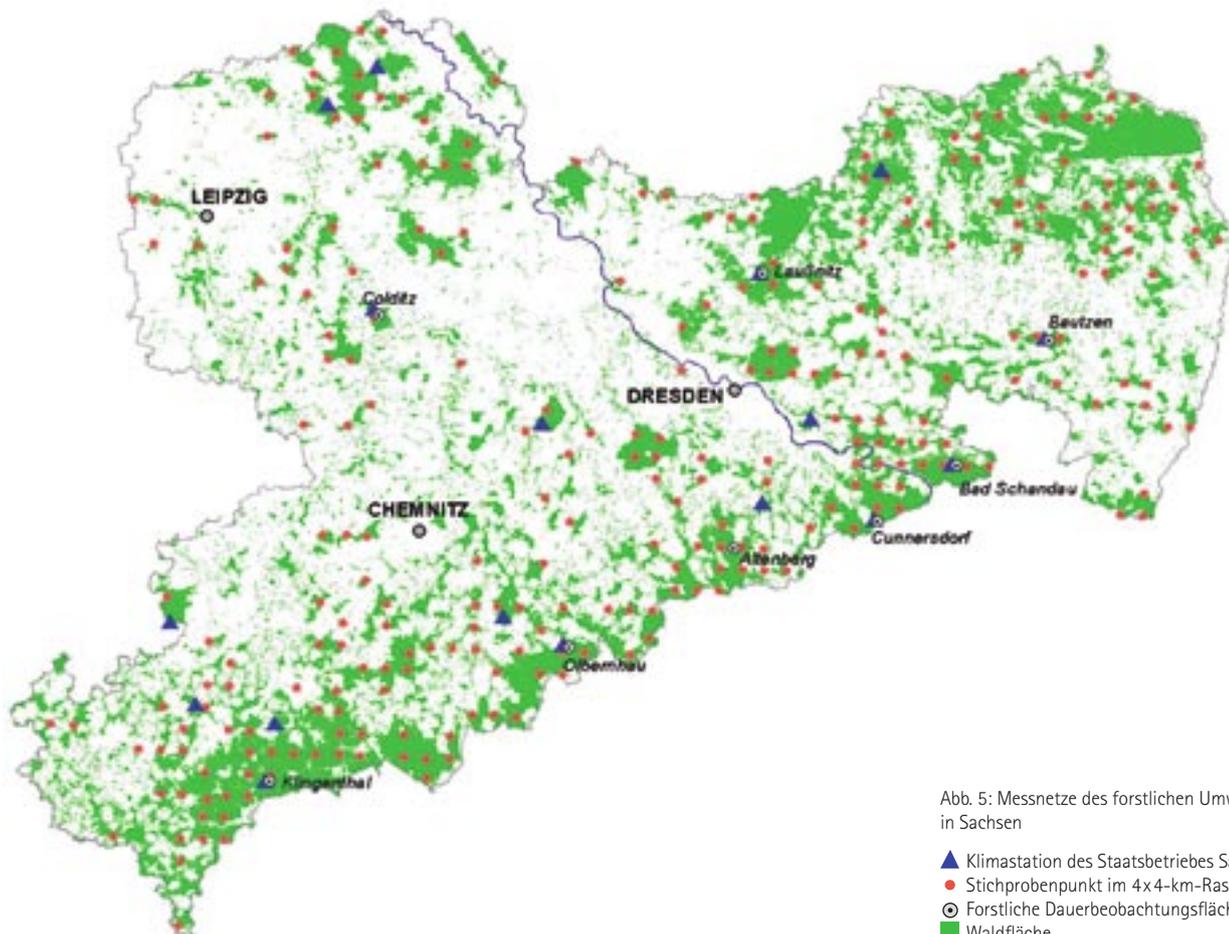


Abb. 5: Messnetze des forstlichen Umweltmonitorings in Sachsen

- ▲ Klimastation des Staatsbetriebes Sachsenforst
- Stichprobenpunkt im 4x4-km-Raster (Level I)
- ⊙ Forstliche Dauerbeobachtungsfläche (Level II)
- Waldfläche

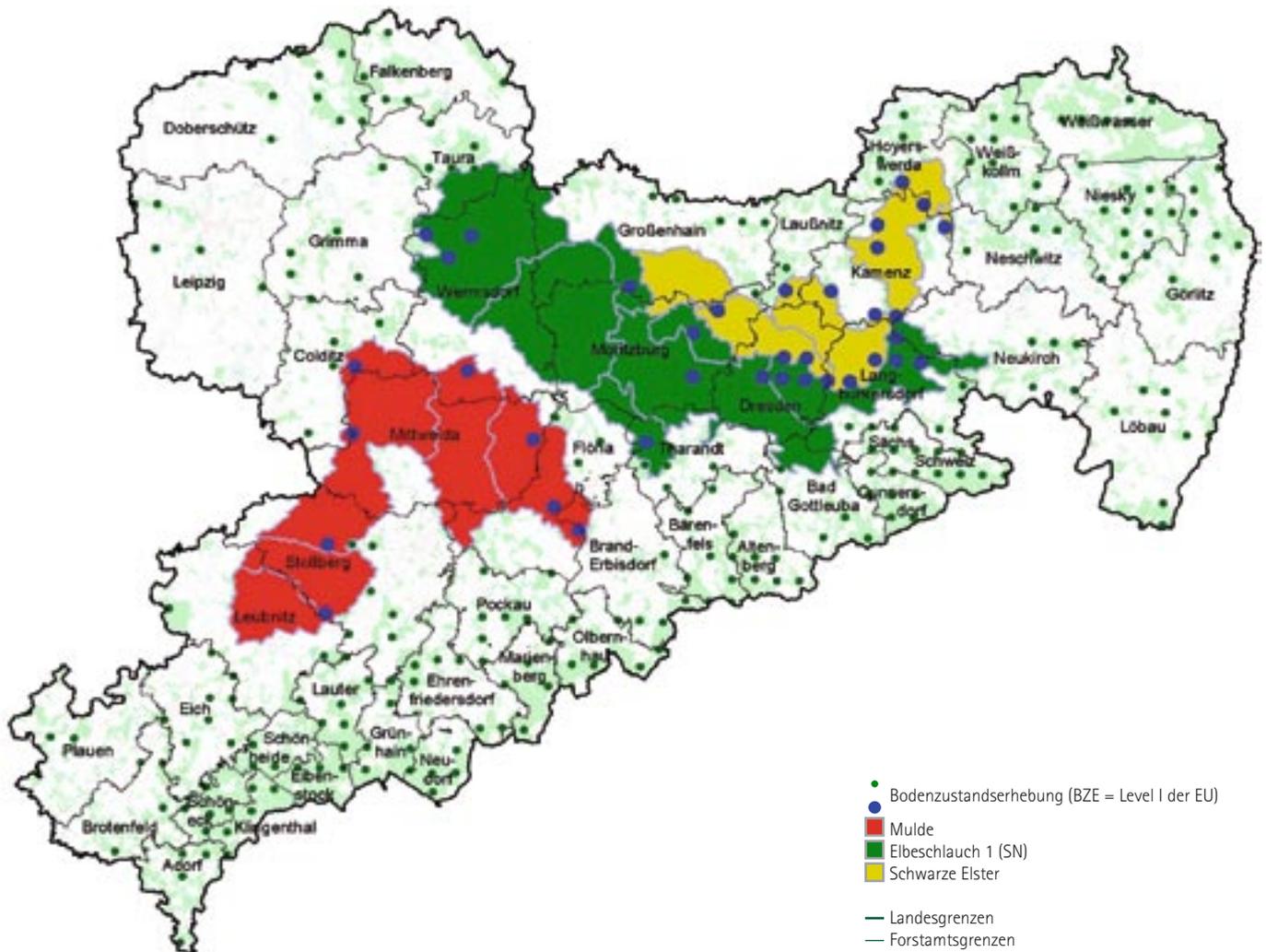


Abb. 6: Einbeziehung von Critical Loads – Berechnungen der Bodenzustandserhebung im Wald zur Abschätzung möglicher diffuser Stoffeinträge in gefährdete Grundwasserkörper Sachsens (Stand 2004). In blau vergrößerte Punkte: BZE-Punkte in den Einzugsgebieten

Neben den vielfältigen interdisziplinären Auswertungsmöglichkeiten der forstlichen Umweltmessnetze für eine nachhaltige Nutzungsplanung der natürlichen Ressourcen als eine Basis der gesellschaftlichen Entwicklung in Sachsen bieten insbesondere die Level-II-Stationen aufgrund der gut dokumentierten, umfassenden und langjährigen Messungen ein Potenzial auch für internationale Forschungsprojekte.

So wurde 2008 die Messfläche in Laußnitz von einer Doktorandin des Imperial College in London aus dem Pool der etwa 860 in Europa verfügbaren Level-II-Stationen ausgewählt. Ziel ihrer Untersuchungen ist die Klärung der Wechselbeziehungen zwischen den wurzelumgebenden Pilzen, der Mycorrhiza, und den in Laußnitz stockenden Kiefern im Hinblick auf die Stickstoffernährung der Baumart (Abbildung 8).

Neben der Forschung wird der Lehre und der interessierten Fachöffentlichkeit das System des forstlichen Umweltmonitorings am „lebenden Objekt“ näher gebracht.

So werden unter anderem regelmäßig Studenten der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden im Schwerpunkt „Umweltmonitoring“ sowie internationale Fach- und Führungskräfte aus Entwicklungs- und Schwellenländern des an der TU Dresden angesiedelten „Centre for International Postgraduate Studies of Environmental Management“ (CIPSEM) des UN-Umweltprogramms mit den in Sachsen angewandten Monitoringsystemen, organisatorischen Abläufen und erzielten Ergebnissen vertraut gemacht (Abbildung 9).

Abb. 7: Gemeinsame Publikation der Ressortforschung des SMUL zur diffusen Stoffbelastung von Grundwasserkörpern in Sachsen in der Fachzeitschrift Wasserwirtschaft 2006

BIOST

## Diffuse Belastung von Grundwasserkörpern in Sachsen

Von Maren Zweig,  
Jürgen Bufe und  
Henning Andreae

Für die Beurteilung diffuser Schadstoffbelastungen des Grundwassers nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie wurden in Sachsen Stickstoff-Flächenbilanzierungen nach dem Modell STÖFFBILANZ durchgeführt. Die Bilanzierungen berücksichtigen die atmosphärische Deposition, anthropogene Stickstoffeinträge durch landwirtschaftliche Nutzungen in Siedlungsgebieten sowie die Denitrifikation in der Bodenzone. Für jeden Grundwasserkörper wurden die mit dem Sickerwasser potenziell auswaschbaren Stickstoffüberschüsse nutzungsbezogen abgeschätzt.



Abb. 8: Internationale Forschung an der Level-II-Station Laußnitz 2008: Filipa Cox und Adriano Spiccia vom Imperial College London nehmen Bodenproben



Abb. 9: Internationale Exkursion zur Messfläche Altenberg in Kooperation mit der TU Dresden

Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang eine über die Öffentlichkeitsarbeit zum forstlichen Umweltmonitoring hinaus initiierte und seit mehr als 10 Jahren bestehende fruchtbare Partnerschaft mit dem Lehrstuhl für Physische Geographie der TU Dresden, die in diesem Bericht in einer ersten Auswertung der BZE II ihren Niederschlag findet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das forstliche Umweltmonitoring einen wichtigen und integralen Bestandteil der Informationsgrundlagen für die nachhaltige Bewirtschaftung nicht nur der forstlichen Ressourcen in Sachsen darstellt. In seiner Organisation als kooperatives Bundesländer-Monitoringsystem stellt das forstliche Umweltmonitoring ein einzigartiges Programm der Umweltbeobachtung dar, das beispielgebend auch für andere Sektoren ist. Erfolgreiche Maßnahmen der Luftreinhaltung (Entschwefelung) und der Sanierung der Waldböden (Kompensationskalkung) wären ohne dieses Instrument nicht erreichbar gewesen. Sachsen ist auch beteiligt an der Weiterentwicklung des europaweiten Monitorings. Im Rahmen des „LIFE+“-Programms der Europäischen Union werden Erhebungen auf zwei Intensivmessflächen sowie 19 Rasterpunkten der Waldzustandserhebung gefördert. Ohne ein modernes Waldmonitoring ist die nachhaltige Waldbewirtschaftung heute nicht mehr denkbar und eine qualifizierte Berichterstattung im Rahmen der internationalen Berichtspflichten der Bundesrepublik Deutschland zum Sektor Wald nicht möglich.

# Stoffeinträge – mehr als genug



Überwachung der im Niederschlagswasser enthaltenen Haupt- und Spurenelemente auf Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen

In den Waldzustandsberichten der letzten Jahre stand die Entwicklung der Säurebelastung der Waldökosysteme im Vordergrund der Betrachtung. Im diesjährigen Bericht soll der Schwerpunkt auf Stickstoffeinträge und deren mögliche Auswirkungen auf ausgewählte Waldökosysteme Sachsens gelegt werden. Neben den Sektoren Verkehr und Energieerzeugung für Industrie und Haushalte sind auch Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft zu berücksichtigen. Aus diesem Anlass findet gegenwärtig eine bundesweite Diskussion um die Ermittlung und Bewertung der Stickstoffdeposition im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Tierhaltungsanlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz statt. Seit 2003 war ein Mitarbeiter des Staatsbetriebes Sachsenforst bzw. des damaligen Landesforstpräsidiums in das Expertengremium des Bund-Länder-Ausschusses für Immissionsschutz (LAI) delegiert, um zusammen mit Kollegen aus Bayern und Nordrhein-Westfalen Erkenntnisse des forstlichen Umweltmonitorings in einen abgestimmten Handlungsleitfaden für die Genehmigungspraxis einfließen zu lassen.

Die Intensivmessflächen des Level-II-Programms sind dabei eine grundlegende Erkenntnisquelle für die Auswirkung von Stickstoffeinträgen. Sie stellen ländliche Hintergrundstationen ohne Einfluss eines anlagenbezogenen Emittenten dar. Aufgrund ihrer Ausrichtung auf die ökosystemare Umweltbeobachtung können von diesen schon langjährig beobachteten, regionalen „Eichpunkten“ nicht nur Ergebnisse aus den Eintragsmessungen, sondern auch diejenigen von Boden-, Waldernährungs- und Bodenvegetationsuntersuchungen, kombiniert mit Stoffausträgen, für eine ganzheitliche Bewertung des Stickstoffhaushalts des Ökosystems herangezogen werden. Der Langzeitaspekt der forstlichen Umweltbeobachtung hat hier besondere Tragweite, da eine Genehmigungsbehörde mögliche erhebliche Nachteile oder Belästigungen durch eine Anlage für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft vorab für deren gesamte Betriebsdauer abschätzen muss.

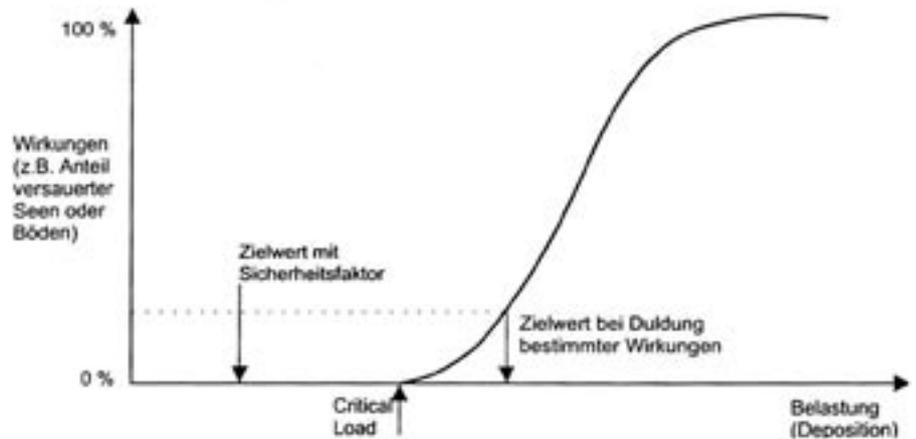


Abb. 10: Ermittlung der Wirkungsschwelle und Ableitung von Critical Loads und Zielwerten [12]

Mögliche erhebliche Nachteile durch Stickstoffeinträge für betroffene Ökosysteme sollen zukünftig durch eine Überschreitung der zuzuordnenden kritischen Belastungsraten, der „Critical Loads“, ermittelt werden. Diese Critical Loads wurden seit 1988 im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention der UN/ECE entwickelt, um die nötigen Emissionsminderungen an der Belastbarkeit der Ökosysteme und nicht primär an den technischen Möglichkeiten auszurichten. Es werden so – regelmäßig nach Sichtung der aktuellen wissenschaftlichen Literatur – Erfahrungsgrenzwerte festgelegt, bis zu denen langfristig keine nachteiligen Wirkungen auf Funktion und Struktur von Ökosystemen zu erwarten sind (Abbildung 10). Langfristigkeit bedeutet dabei, mindestens 100 Jahre im Blick zu haben und damit für kommende Generationen vorzusorgen. Derzeit wird die pauschal für Wälder geltende kritische Belastungsrate mit 10 bis 20 Kilogramm Stickstoff pro Hektar und Jahr angegeben. Diesem Belastungswert werden nun die Gesamteinträge an Stickstoff der Deposition gegenübergestellt. Es ergeben sich in der Regel derzeit noch flächendeckend Überschreitungen der kritischen Belastungswerte. Diese Überschreitungen in Europa nachweislich abzubauen, ist Ziel der oben genannten internationalen Vereinbarung.

Abb. 11: Entwicklung der mittleren Stickstoffeinträge im Freiland an den 6 europäischen Level-II-Stationen Sachsens von 1996 bis 2008 (vgl. Tabelle 10, Anhang)

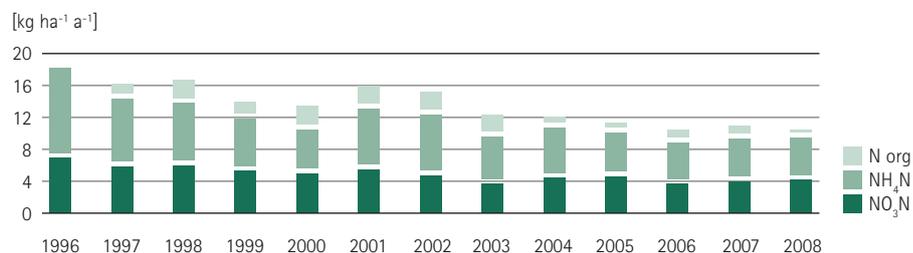
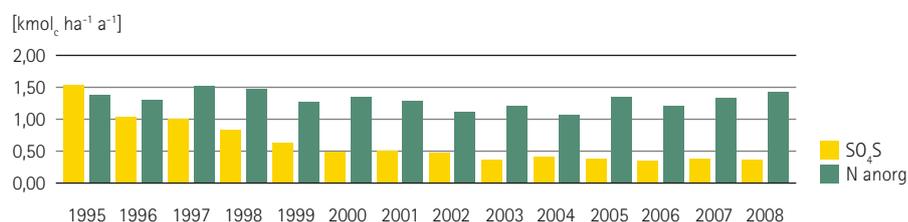


Abb. 12: Zeitliche Entwicklung der Gesamtdosition von Sulfat-Schwefel (SO<sub>4</sub>-S) und anorganischem Stickstoff (N anorg) in dem Kiefernbestand der Level-II-Station Laußnitz. 1 kmole entspricht bei Schwefel 32, bei Stickstoff 14 Kilogramm



Vor 10 Jahren wurden im Rahmen einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe nach internationalen Vorschriften standortspezifische Berechnungen der kritischen Belastungsraten für alle Level-II-Standorte Deutschlands durchgeführt [2]. Diese bestehen aus Bilanzkomponenten, über die Stickstoff im Ökosystem gespeichert werden kann oder dieses verlässt. Neben der Stickstofffestlegung im Holz der Wälder und dessen Entnahmen aus dem System durch Erntemaßnahmen spielen die dauerhafte Bindung im Humus sowie in geringen Teilen gasförmige oder flüssige Verluste mit dem Sickerwasser eine Rolle. Eine Grundvoraussetzung des „Critical-Loads-Konzepts“ ist, dass im Normalfall Stickstoff von Natur aus ein Mangel-element in Waldökosystemen darstellt und nur bei gravierenden Störungsereignissen dem System verloren geht.

Im Folgenden soll die derzeitige Situation der Stickstoffdeposition über verschiedene Teilerhebungen des Messprogramms des intensiven forstlichen Umweltmonitorings beschrieben werden. Folgen wir nun dem Stickstoff auf seinem Weg durch den Wald.

Abbildung 11 stellt den Verlauf des mittleren Stickstoffeintrags im Freiland, das heißt ohne die Filterwirkung des Waldes über den Sammlern, dar. Demnach haben sich die Einträge im Verhältnis zum Jahr 1996 auf 54 % des damaligen Wertes reduziert und liegen im Jahr 2008 bei durchschnittlich 10,6 Kilogramm pro Hektar. Dabei übersteigt der Eintrag an

Ammoniumstickstoff (NH<sub>4</sub>N) leicht den des Nitratstickstoffs (NO<sub>3</sub>N). Organischer Stickstoff wird nur in geringen Mengen deponiert.

Der Eintrag in die Waldökosysteme unterliegt jedoch der bekannten Auskämmwirkung der Baumkronen. Diese reinigen nicht nur anströmende Luft, sondern fangen auch den fallenden Niederschlag mit den in ihm gelösten Stoffen auf. In den Blättern werden die gelösten Stoffe chemisch umgewandelt und potenzielle Schadstoffe angereichert. Sie werden mit dem Laubfall dem Humus und dem Boden zugeführt (vgl. Waldzustandsbericht 2006).

Abbildung 12 stellt die Entwicklung der Schwefel- und Stickstoffeinträge im Waldökosystem der Level-II-Station Laußnitz dar. Der dieser Betrachtung zugrunde liegende Algorithmus zur Bestimmung der Kronenraumbilanz wurde im Rahmen der Bund-Länder-Zusammenarbeit zum Level-II-Programm vereinheitlicht und als Standard festgelegt [6]. Er dient der Abschätzung der Gesamtdosition, also der Stoffmenge, die von außen in das Ökosystem getragen wird. Die aus dem Ökosystem selbst über die Blattöffnungen der Bäume in den abtropfenden Niederschlag gelangten Stoffanteile werden abgezogen. In dieser Darstellung fällt auf, dass der Schwefeleintrag in dem Bestand seit 1995 merklich zurückging und seither auf niedrigerem Niveau verharrt. Derartige Veränderungen sind bei den Stickstoffeinträgen in Waldbeständen trotz der Abnahme der Freilandstickstoff-Deposition nicht zu verzeichnen. Der Stickstoffein-

trag auf der Level-II-Station Laußnitz schwankt seit 1995 zwischen 15 und 21 Kilogramm und liegt gegenwärtig bei 20 Kilogramm pro Hektar und Jahr. Diese Unterschiede in der Entwicklung von Schwefel- und Stickstoffeinträgen lassen sich auf allen Level-II-Flächen feststellen (vgl. Abb. 6a/b im Waldzustandsbericht 2005). Die Abbildungen 13a und b zeigen die Entwicklung der Überschreitung der Critical Loads für die Fichtenfläche in Olbernhau und die Kiefernfläche in Laußnitz. Die blaue Box in diesen Grafiken gibt jeweils die ökosystemspezifisch berechneten Critical Loads für Schwefel- bzw. Stickstoffeinträge an. Befinden sich die Depositionspunkte bei beiden Elementen innerhalb der Box, so ist der Stoffhaushalt des Ökosystems nachhaltig in Balance. Auf beiden Flächen ist die Abnahme der Schwefeleinträge deutlich zu erkennen, wobei die deutliche Entlastung der einst hoch belasteten Region um Olbernhau durch die Messwerte klar dokumentiert wird. Die Schwefeldeposition liegt an beiden Standorten bereits im unkritischen Bereich. Der überschüssige Stickstoffeintrag gibt unter

Vorsorgeaspekten allerdings Anlass zur Sorge. Welche Reaktion zeigen nun die Bäume und die Bodenvegetation bei vermutetem Nährstoffüberschuss? Sind die Stickstoffgehalte in den Nadeln zu hoch? Hat sich die Zusammensetzung der Bodenvegetation für das Ökosystem untypischen Stickstoff liebenden Arten hin verändert? Die Ergebnisse der alle 2 Jahre seit 1995 auf den Level-II-Flächen durchgeführten blattchemischen Analysen und die seit 1998 jährlich auf den jeweils 25 Parzellen durch das Institut für Forstbotanik der TU Dresden durchgeführten Vegetationsaufnahmen können Aufschluss darüber geben. Abbildung 14 zeigt Ergebnisse der Vegetationsaufnahmen für alle 6 europäischen Level-II-Stationen in Sachsen. Dargestellt ist die zeitliche Entwicklung der Stickstoffzeigerwerte nach [4], die Pflanzen hinsichtlich ihrer Häufigkeit auf stickstoffreichen Standorten charakterisieren. Die Große Brennnessel (*Urtica dioica*) oder der Holunder (*Sambucus nigra*) zum Beispiel sind überaus Stickstoff liebend und damit mit dem Zeigerwert 9 belegt. Bewertet man

Abb. 13a:

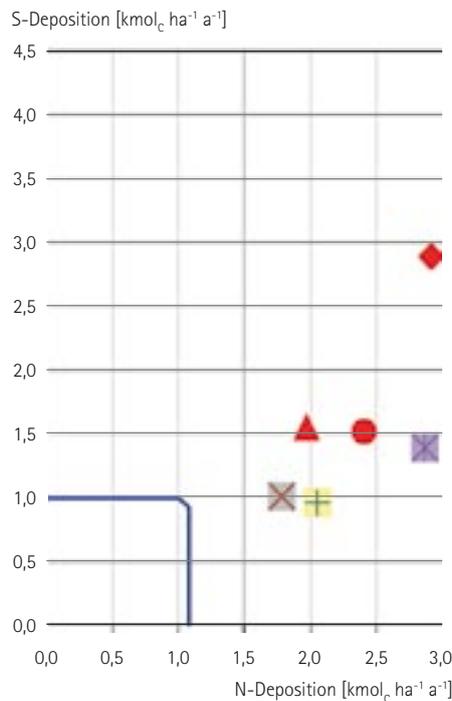


Abb. 13b:

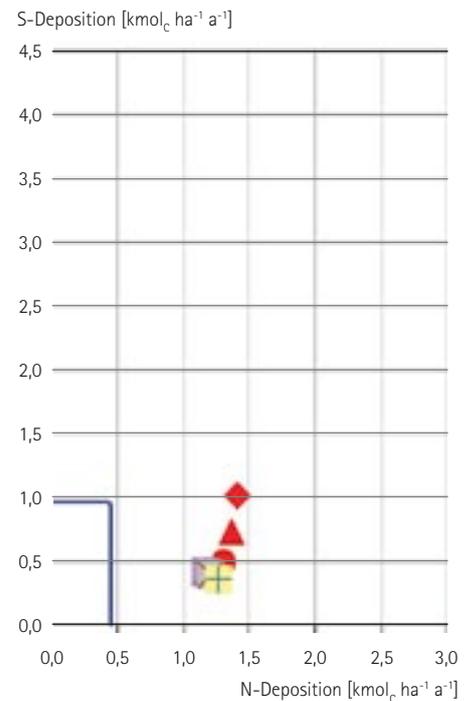


Abb. 13a und b: Zeitliche Entwicklung der Überschreitung der Critical Loads durch Schwefel- und Stickstoffdeposition an den Level-II-Stationen in Olbernhau (a) und Laußnitz (b). 1 kmol<sub>c</sub> entspricht bei Schwefel 32, bei Stickstoff 14 Kilogramm



alle Pflanzenarten einer Vegetationsaufnahme, so lässt sich über die Anzahl ihres Auftretens ein mittlerer qualitativer Zeigerwert für eine Aufnahme fläche berechnen.

Auf der Fläche in Laußnitz (LAU) zeigt die vorhandene Vegetation mit einem N-Zeigerwert um 3 durchgehend Stickstoffarmut an, während auf der erwähnten Fläche in Olbernhau (OLB) seit 2003 Mäßigstickstoffzeiger (N-Zeigerwert um 5) dominieren. Die Ergebnisse der Nadelanalysen (Abbildung 15) zeigen ebenfalls keine Anzeichen, dass der Bestand in Laußnitz derzeit übermäßig mit Stickstoff versorgt ist. Die Stickstoffgehalte bewegen sich in einem optimalen Rahmen zwischen 16 und 23 Milligramm pro Gramm sowohl für den im Beprobungsjahr neu gebildeten Nadeljahrgang (NJ1) als auch für den ein Jahr älteren (NJ2).

Betrachten wir nun die Messungen zur Bodenlösung „am unteren Rand“ des Ökosystems, dort, wo der Hauptwurzelraum und damit der Einfluss des Waldes auf die Sickerwasserchemie endet. Es wird gemeinhin angenommen, dass ab 100 Zentimeter Tiefe unter Flur die

Bodenlösung eine Zusammensetzung zeigt, wie sie das Grundwasser erreichen könnte. Im Austrag ist nur Nitrat zu erwarten, da Ammoniumstickstoff schnell im Boden gebunden bzw. durch die Pflanzenwurzeln in den oberen Bodenschichten aufgenommen wird.

In den Abbildungen 16a und b sind Ionenbilanzen für zwei hinsichtlich des Wasserangebots unterschiedliche Messjahre dargestellt. Das Jahr des Hochwassers 2002 sowie das Jahr 2006 mit ausgeprägter Sommertrocknis zeigen nur geringe Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der gemessenen Lösungen. Die Ionenstärke ist im niederschlagsreichen Jahr 2002 aufgrund der erhöhten Auswaschungsrate etwas stärker. In beiden Jahren wird die Chemie jedoch auf der Anionenseite (negative Ladung) allein durch Sulfatschwefel geprägt. Die Nitratstickstoffgehalte liegen ebenso wie die des Ammoniums konstant in allen Bodentiefen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Das Kiefern-Ökosystem in Laußnitz scheint somit den eingetragenen Stickstoff noch verwerten zu können. Nach ers-

Abb. 14: Mittlere Stickstoffzeigerwerte der Gefäßpflanzen an den europäischen Level-II-Stationen in Sachsen; KLI = Klingenthal; OLB = Olbernhau; CUN = Cunnersdorf; BAU = Bautzen; LAU =Laußnitz; COL = Colditz

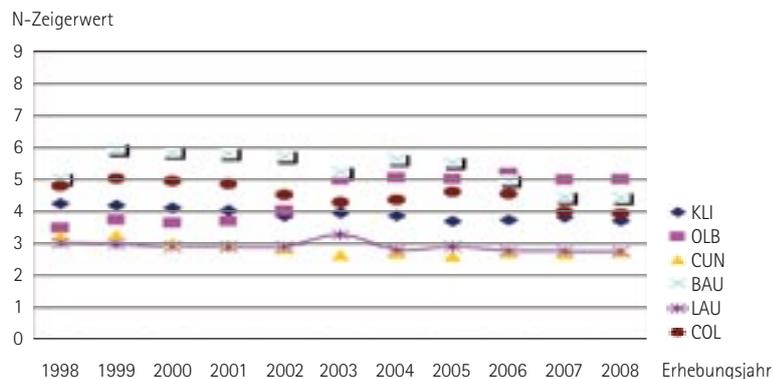


Abb. 15: Zeitliche Entwicklung der Nadelspiegelwerte für Stickstoff an ein- und zweijährigen Kiefernadeln (NJ1, NJ2) auf der Level-II-Station Laußnitz

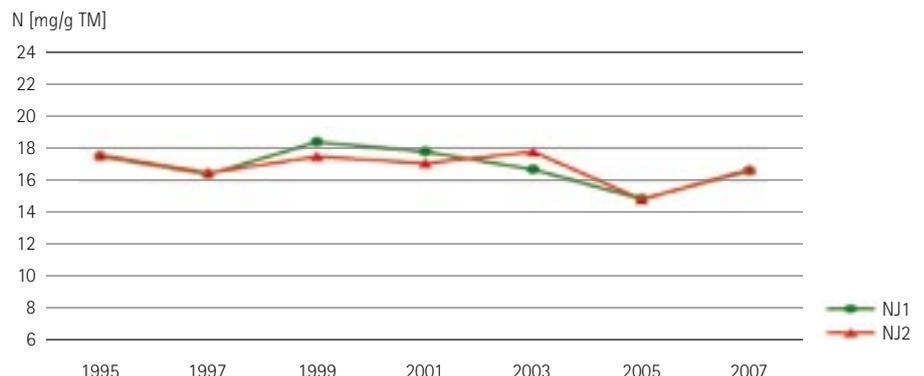


Abb. 16a: Messjahr 2002

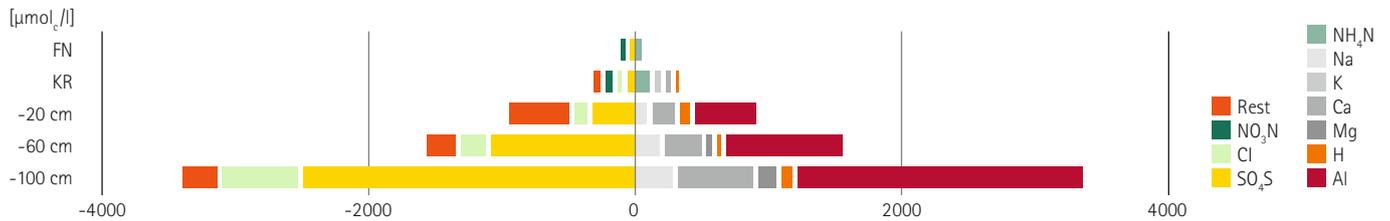


Abb. 16b: Messjahr 2006

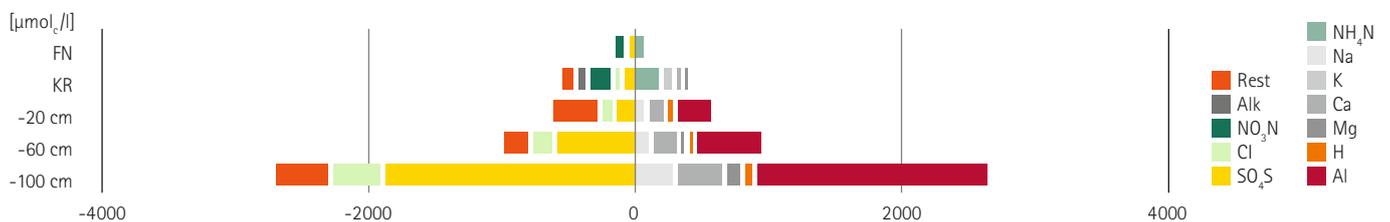


Abb. 16a und b: Ionenbilanzen für die Lösungsschemie in den Messebenen Freilandniederschlag (FN), Kronentraufe (KR) sowie Bodenlösung in unterschiedlichen Tiefen an der Level-II-Station Laußnitz

ten Ökosystembilanzen für die Messjahre 1997 bis 2003 werden in Laußnitz 19 Kilogramm Stickstoff pro Hektar und Jahr gespeichert. Insgesamt variiert diese Speicherrate auf den Messflächen zwischen 7 (Colditz) und 31 Kilogramm (Klingenthal). Auf den höher belasteten Standorten hat der Austrag von Stickstoff jedoch bereits begonnen (Abbildung 17). Aufgrund des starken klimatischen Einflusses ist die Bestimmung des Umschlagszeitpunktes der ökosystemaren Senkenfunktion in eine Quellfunktion für Stickstoff schwer prognostizierbar. Dieser Aspekt ist von maßgeblicher Bedeutung für die Einhaltung der Qualitätsziele nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie bei rund 28 % Waldbedeckung in Sachsen. Um das Stickstoff-Problem bundesweit abgestimmt zu bearbeiten, wurde im Februar 2009 ein Arbeitskreis der Bund-Länder-ad-hoc

Arbeitsgemeinschaft Forstliches Umweltmonitoring zur Versauerung und Eutrophierung gegründet, an dem der Staatsbetrieb Sachsenforst maßgeblich beteiligt ist.

Ein erster Schritt zur Klärung wird für Sachsen die Fortführung der Ökosystembilanzierung bis 2009 sein. Zudem wird eine mögliche vermehrte Speicherung von Stickstoff im Boden- und besonders im Auflagehumus durch eine Auswertung des 2007 an allen 6 europäischen Level-II-Flächen durchgeführten BioSoil-Vorhabens der EU abgeschätzt. Des Weiteren wird geprüft, ob die Bodenvegetation – auch ohne explizites Auftreten von Stickstoffzeigern – einen effizienten Zwischenspeicher für Stickstoff darstellt. Dieser Frage wird derzeit im Rahmen des im Januar 2009 begonnenen EU-Projekts „FutMon“ auf den Dauerbeobachtungsflächen Laußnitz und Olbernhau nachgegangen.

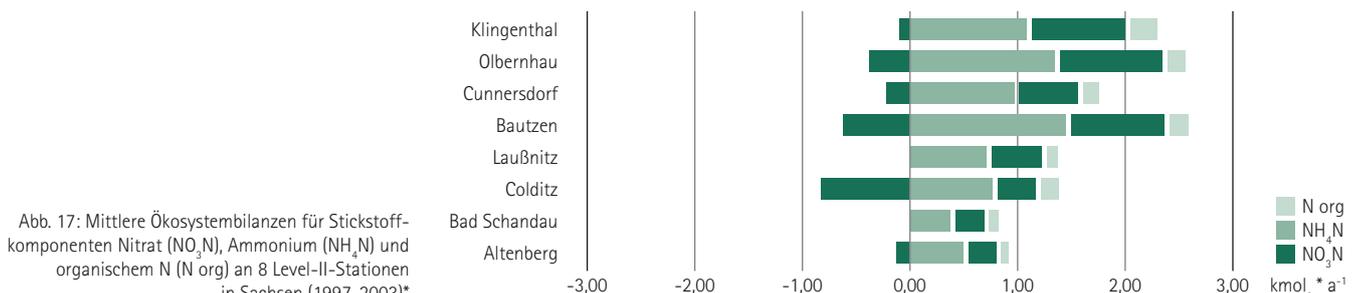


Abb. 17: Mittlere Ökosystembilanzen für Stickstoffkomponenten Nitrat ( $\text{NO}_3\text{N}$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4\text{N}$ ) und organischem N ( $\text{N org}$ ) an 8 Level-II-Stationen in Sachsen (1997-2003)\*  
1  $\text{kmol}_c$  entspricht 14 Kilogramm Stickstoff

\* Für die Standorte Bad Schandau und Altenberg liegen Ökosystembilanzen erst für die Jahre ab 1999 bzw. 2001 vor

# Die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) – Verbesserungen in Sicht?



Die hohen anthropogenen Emissionen von Schwefel- und Stickoxiden haben die Bodenversauerung in den Wäldern Mitteleuropas in den letzten zwei Jahrhunderten stark beschleunigt. Durch den Einsatz geeigneter Filteranlagen konnte in Deutschland während der letzten 20 Jahre die Freisetzung von SO<sub>2</sub> deutlich reduziert werden.

Neben der kontinuierlichen Überwachung der Säureeinträge, der Berechnung bodeninterner Protonenproduktion aus Stoffhaushaltsuntersuchungen sowie Ermittlungen der Protonen-, Aluminium- und Nitratflüsse im Boden und der Verluste an basischen Kationen können zeitliche Veränderungen des pH-Wertes im Boden, des Vorrats an pflanzenverfügbaren basischen Kationen und der Basensättigung der austauschbaren Kationen im Boden zur Beurteilung des Verlaufs der Bodenversauerung herangezogen werden. Während die erste Gruppe von Indikatoren auf Stoffhaushaltsuntersuchung basiert, wie sie das Level-II-Programm an repräsentativen Fallstudien ermöglicht, erfasst die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) flächendeckend die Versauerungsindikatoren der Bodenfestphase.

Die grundlegenden Ergebnisse der 1992 durchgeführten und 1996/97 in Sachsen regional verdichteten BZE I wurden durch [13, 14] veröffentlicht. Sie belegten u. a. eine großflächig feststellbare Versauerung des Mineralbodens, geprägt durch atmosphärische Stoffeinträge und hier insbesondere des Schwefels. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse wurde von [10] eine Richtlinie zur Bodenschutzkalikung in Sachsen erarbeitet.

Nach dem Grundsatzbeschluss der Forstchefkonferenz der Bundesländer vom 11. April 2003 wurde in Sachsen im Jahr 2006 die zweite Bodenzustandserhebung (im Folgenden BZE II) an 77 Punkten auf dem bundesweiten 8x8-km-Inventurraster durchgeführt.

Die vorliegende Auswertung der BZE II ist ein Resultat der langjährigen erfolgreichen Kooperation zwischen dem Staatsbetrieb Sachsenforst (und dessen Vorläuferinstitutionen) und der TU Dresden, Lehrstuhl für Physische Geographie. Die Arbeiten profitieren zum einen von den

Begleitstudien zur BZE II – wie z.B. zu den erwartenden Signalstärken chemischer Indikatoren [11] – und zum anderen von dem direkten Erfahrungsaustausch mit Länderkollegen in der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft zur BZE II.

Die Auswertungen stützten sich auf die Versauerungsindikatoren pH-Wert des Bodens und Basensättigung. Der pH-Wert ist ein unmittelbares Maß für die in einem Boden vorhandene Säurestärke. Die in reiner Kaliumchlorid-Boden-Suspension ermittelten Werte geben im Gegensatz zu den in einer Wasser-Boden-Suspension gemessenen Werte ein Maß der potenziellen Azidität an [14]. Die Basensättigung dagegen bezeichnet die prozentualen Anteile der Nährstoffkationen (Magnesium, Kalium, Kalzium) an den insgesamt im Boden vorhandenen austauschbaren und somit für die Vegetation verfügbaren Kationen. Die effektive Kationenaustauschkapazität (AKe) ist wiederum ein Maß für die Möglichkeit der Standorte, Säurebelastungen ohne negative ökologische Konsequenzen abzupuffern [19].

Welche Ergebnisse sind für die beiden gewählten Indikatoren zu erwarten? [11] kommen in ihrer Begleitstudie zu dem Schluss, dass im bayerischen Spessart seit Mitte der 1980er Jahre durch schwach steigende pH-Werte Anhaltspunkte für eine Trendwende der Versauerung im oberen Mineralboden zu verzeichnen sind. Sie vermuten zudem, dass sich die pH-Wert-Zunahme in größerer Bodentiefe abschwächt. Am unteren Rand der Versauerungsfront im Boden seien sogar weiterhin pH-Wert-Abnahmen wahrscheinlich. Ein solches Phänomen beobachtete [18], zitiert in [11] in einem Fichtenaltbestand im Höglwald in Bayern. [15] stellt in seinen Auswertungen zur BZE II in Brandenburg und Berlin dagegen eine Verstärkung der Versauerung im Oberboden bis 20 cm Bodentiefe fest.

Bei der Basensättigung rechnet man mit einer generellen Abnahme in denjenigen Bodenhorizonten oder Böden, die sich im Austauschpufferbereich (pH-Wert  $\geq 4,2$  und  $\leq 5,0$ ) befinden. Dies bestätigen auch erste Ergebnisse aus Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Als Ursache wird die durch den pH-Anstieg bedingte Auf-

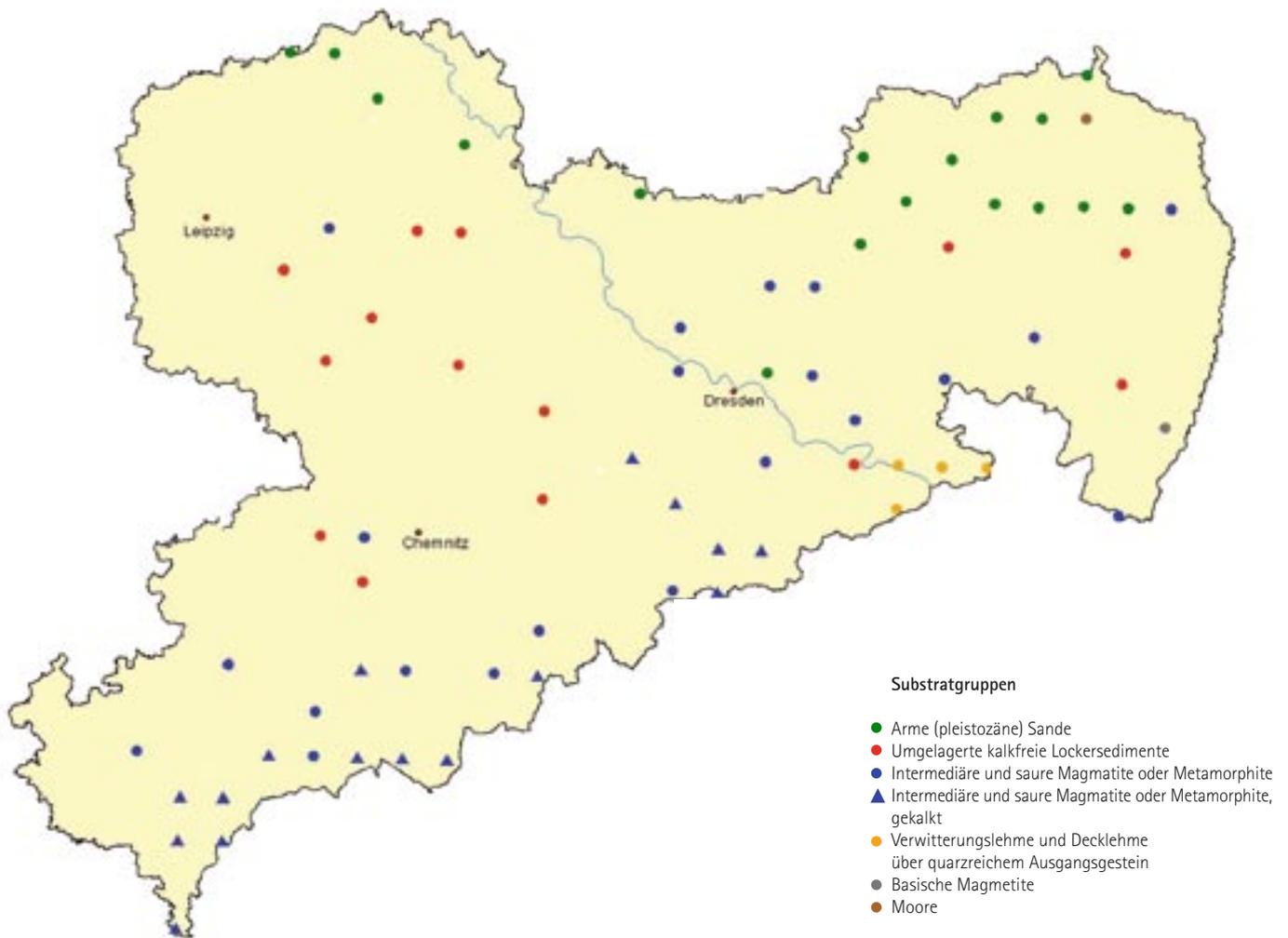


Abb. 18: Räumliche Verteilung der vergleichbaren Inventurpunkte der BZE II in Sachsen, unterteilt nach den geologischen Substratgruppen der BZE I

lösung von gespeicherten Aluminiumsulfaten diskutiert. Abnahmen der Basensättigung auf den brandenburgischen Standorten führt [15] jedoch auf einen Rückgang des bei der BZE I noch spürbaren Flugascheinflusses zurück. Vierzehn Jahre nach der Ersterhebung der BZE I im Jahre 1992 stellt sich die Frage, ob bzw. wie nachhaltig sich in den Waldböden Sachsens bereits Änderungen der Bodenversauerung aufgrund der erfolgreichen Emissionsminderungen und der kontinuierlich durchgeführten Bodenschutzkalkungen belegen lassen. Dazu müssen zuerst maßgebliche Einflüsse der Erhebungsmethodik auf die Ergebnisse über Plausibilitätsprüfungen ausgeschlossen oder zumindest eingegrenzt werden. Das so herausgearbeitete regionale „chemische Signal“ unterliegt in sich wiederum gewissen Schwankungen, welche mit Hilfe statistischer Verfahren zu ermitteln sind. Erst Signalstärken außerhalb des Schwankungsbereichs eines Indikators erlauben die Aussage, ob sie sich gesichert zwischen zwei Erhebungszeitpunkten geändert haben. Der Vergleich der aktuellen Daten der BZE II mit denen der BZE I ist an insgesamt 74 Inventurpunkten möglich (vgl. Abbildung 18).

In den Abbildungen 19a und 19b sind beispielhaft die Ergebnisse für den Erhebungspunkt 248 (Grillenburger Löss-Braunstaugley unter Fichte; Forstbezirk Chemnitz) wiedergegeben. Sowohl pH-Werte als auch die Zusammensetzung des Austauschkomplexes zeigen sehr ähnliche Tiefenverläufe. Nur in der Humusaufgabe bzw. den ersten 10 Zentimetern des Mineralbodens sind bei den pH-Werten Erhöhungen gegenüber der Erstaufnahme zu bemerken, die auf die erwartete Entsauerung hinweisen könnten. Die Basensättigung zeigt kaum merkliche Abnahmen.

Auf gekalkten Standorten, z. B. Aufnahme-punkt 174 (Rothenthaler Gneis-Braunerde unter Fichte, Forstbezirk Marienberg), kann man hingegen sowohl bei den pH-Werten als auch bei der Basensättigung deutliche Änderungen im Oberboden erkennen (vgl. Abbildungen 20a und b). Besonders augenfällig sind dabei die durch den aufgebrauchten dolomitischen Kalk erhöhten Magnesiumsättigungen.

Für die Bodenerhebungen der BZE II in Sachsen lassen sich signifikante Rückgänge der Säurekonzentrationen und damit ein Anstieg des pH-Wertes im Hauptwurzelraum bis 90 cm nachweisen (vgl. Abbildung 21). Besonders

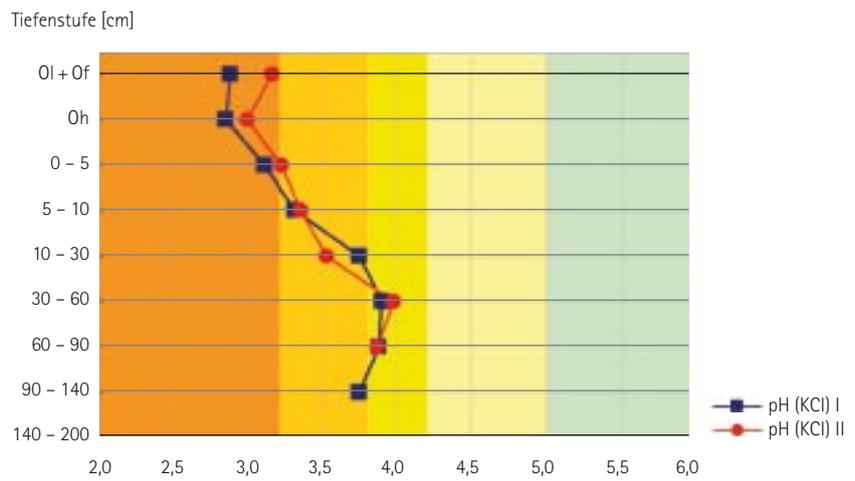
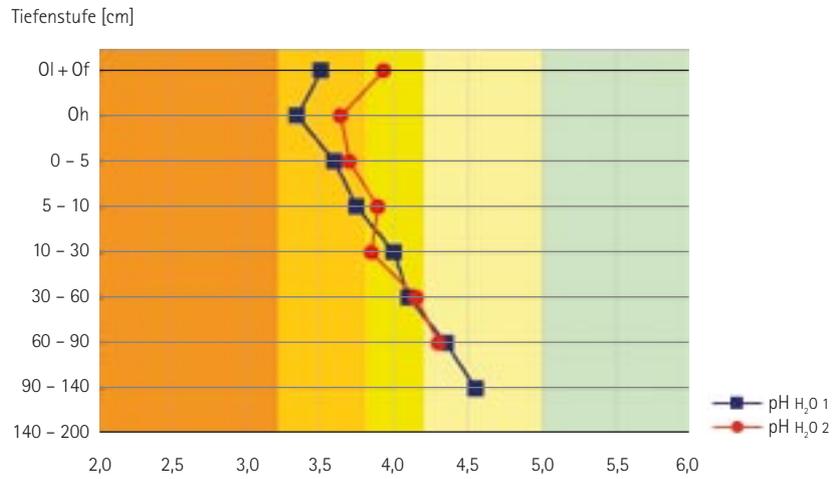


Abb. 19a: Vergleich der pH (H<sub>2</sub>O) bzw. pH (KCl)-Werte am Inventurpunkt 248 in der BZE I (blau) und BZE II (rot)

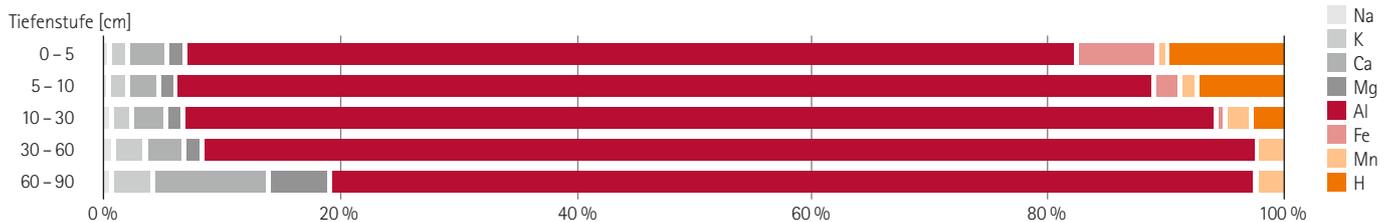
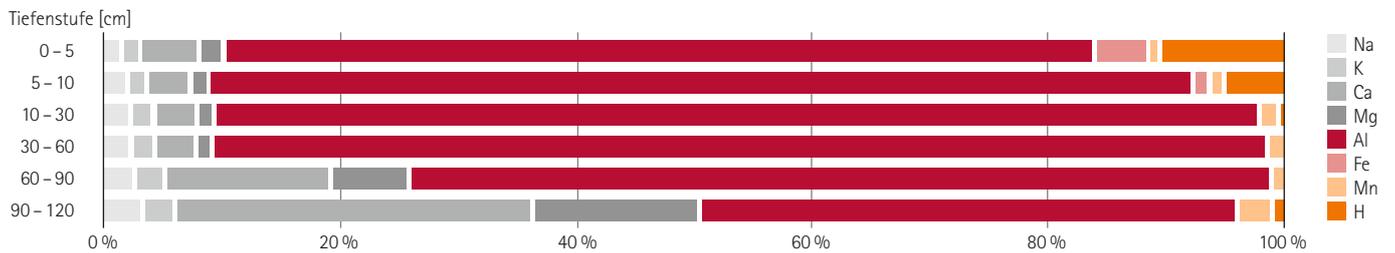


Abb. 19b: Vergleich der prozentualen Austauscherbelegung am Inventurpunkt 248 in der BZE I (links) und BZE II (rechts)

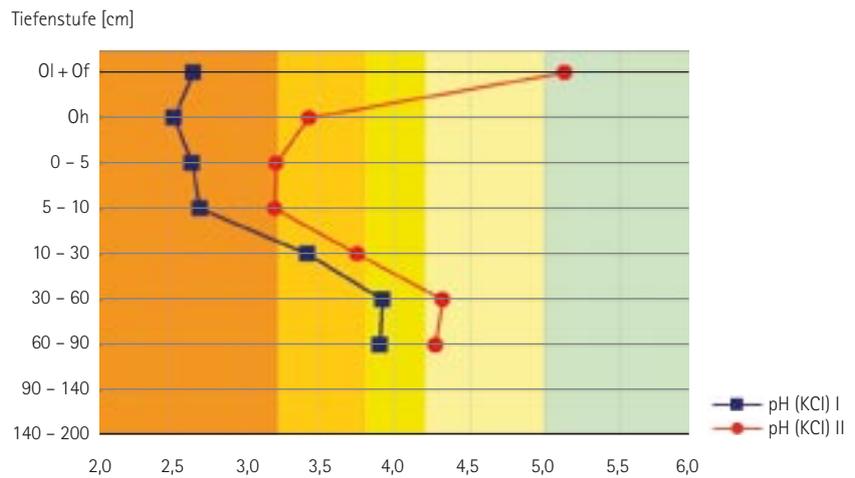
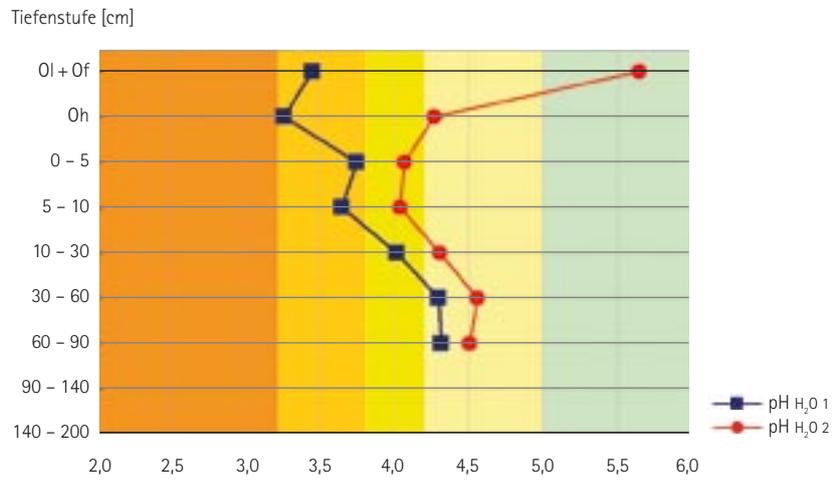


Abb. 20a: Vergleich der pH (H<sub>2</sub>O) bzw. pH (KCl)-Werte am Inventurpunkt 174 in der BZE I (blau) und BZE II (rot)

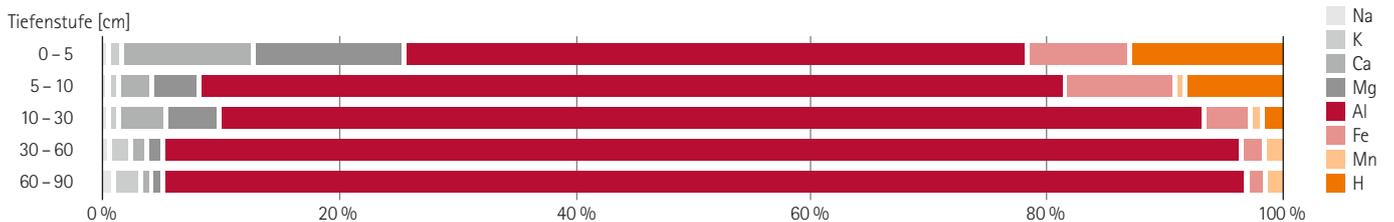
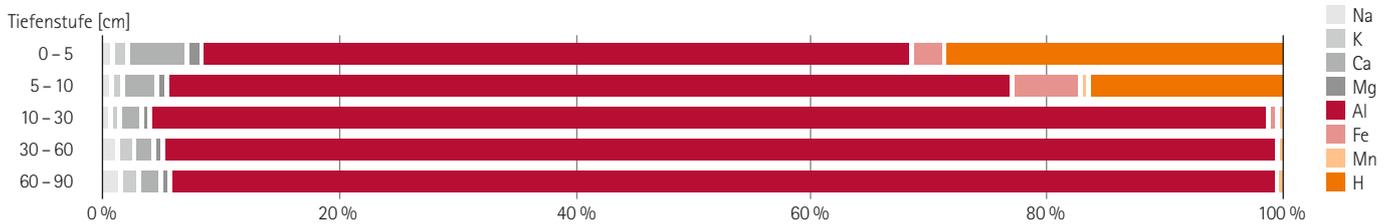


Abb. 20b: Vergleich der prozentualen Austauscherbelegung am Inventurpunkt 174 in der BZE I (links) und BZE II (rechts)

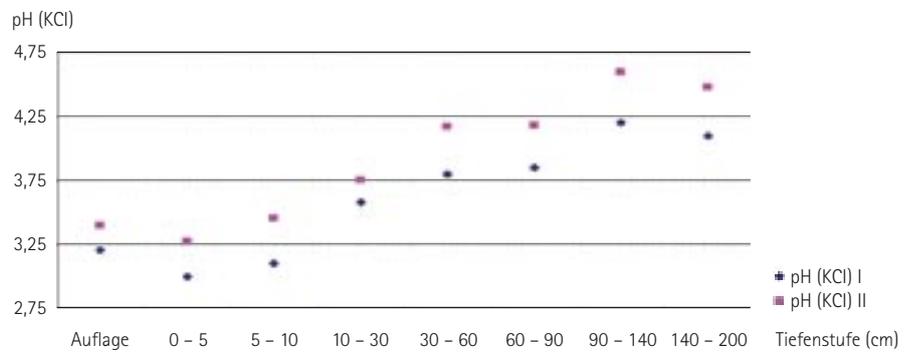


Abb. 21: Mediane der pH-Werte in Kaliumchlorid (KCl) nach Tiefenstufen der BZE I und II; zur Erklärung der Tiefenstufen siehe Tabelle 2

	Sachsen	Sande	LockSed	MagMet	Kalk
Auflagehumus	***	ns	ns	ns	***
0-5 cm	***	*	***	***	***
5-10 cm	***	***	***	***	**
10-30 cm	***	***	ns	***	*
30-60 cm	***	***	***	***	***
60-90 cm	***	***	***	***	ns
90-140 cm	ns				

Tab. 2: Signifikanz der Veränderung des pH-Wertes (KCL) der Gesamtstichprobe, der Substratgruppen sowie der gekalkten Magmatite/Metamorphite (\* signifikant, \*\* sehr signifikant, \*\*\* höchst signifikant, ns nicht signifikant). Abnahmen rot, Zunahmen grün

	Sachsen	Sande	LockSed	MagMet	Kalk
0-5 cm	ns	***	ns	ns	**
5-10 cm	***	***	*	***	ns
10-30 cm	***	***	ns	ns	ns
30-60 cm	***	***	*	***	ns
60-90 cm	***	***	ns	*	ns
90-140 cm	ns				

Tab. 3: Signifikanz der Veränderung der Basensättigung der Gesamtstichprobe, der Substratgruppen sowie den gekalkten Magmatiten/Metamorphiten. Abnahmen rot, Zunahmen grün

ausgeprägt sind diese Änderungen in den Humusaufträgen und im Mineralboden bis in eine Tiefe von 10 cm. Die Änderungsraten nehmen mit der Tiefe ab. Danach sind die Puffermöglichkeiten gegen Säureeinträge in den Oberböden leicht verbessert.

Nichtsdestotrotz sind die Böden gemäß Klassifizierung nach [1] weiterhin als sehr sauer einzustufen. Bezüglich der Basensättigung sind Abnahmen gegenüber der BZE I zu verzeichnen, so dass im Hauptwurzelraum bis 90 cm die durchschnittliche Basensättigung unter 15 % liegt und damit nach [19] als gering einzuschätzen ist.

Nach Untergliederung der Erhebungsstandorte in geologische Substratgruppen sind die Effekte durchaus differenziert zu betrachten. Es handelt sich um die Substratgruppen der ar-

men eiszeitlichen Sande („Sande“) im Tiefland, der umgelagerten kalkfreien Lockersedimente („LockSed“) – vornehmlich entkalkte Löss des Hügellandes – sowie der intermediären und sauren Magmatite bzw. Metamorphite. Dies sind die Festgesteinsböden über Gneisen, Schiefen und Graniten im Hügelland und im Erzgebirge, welche seit 1992 in gekalkte („Kalk“) bzw. nicht gekalkte Standorte (MagMet) unterschieden werden. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse von Signifikanztests hinsichtlich der Veränderungen für die Gesamtstichprobe „Sachsen“ und für die einzelnen Substratgruppen. Abnahmen sind in rot, Zunahmen in grün gehalten. Mit steigender Anzahl der Sterne ist die Gewissheit eines Unterschiedes größer. Veränderungen der Säurekonzentration haben in allen untersuchten Substratgruppen statt-

Abb. 22a:

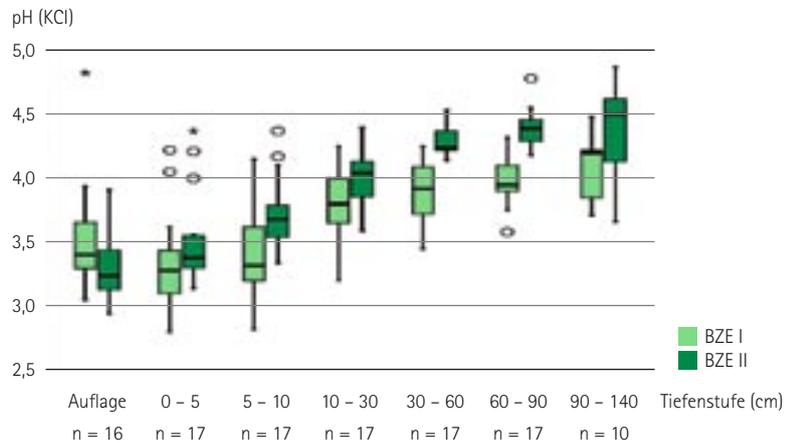


Abb. 22b:

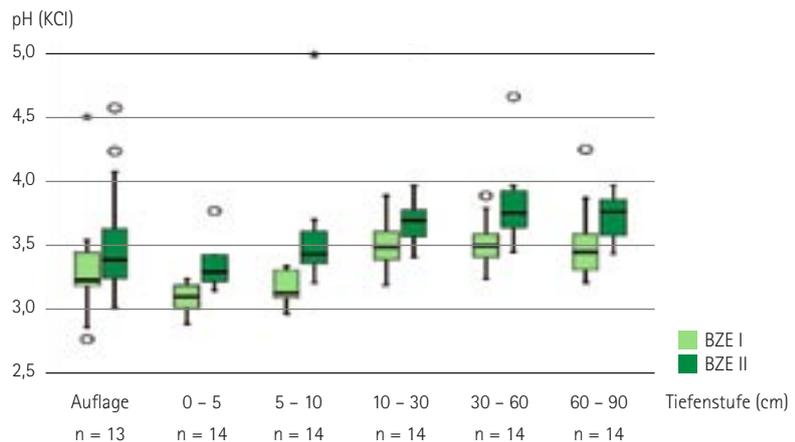


Abb. 22a und b: Boxplots der Boden-pH-Werte in Kaliumchlorid (KCl) in Abhängigkeit von der Bodentiefe für BZE I und II; a) Substratgruppe „Sande“, b) Substratgruppe „LockerSed“; n = Anzahl der untersuchten Proben je Tiefenstufe

gefunden. Der stärkste Rückgang der Versauerung erfolgte stets in 0–10 cm Tiefe, darunter ist der Rückgang überall wesentlich geringer und verläuft zudem ähnlich. Im Mineralboden bis 10 cm sind die Änderungsraten auf den Festgesteinsböden am höchsten. In den Tiefenbereichen ab 10 cm ist die Abnahme der Säurekonzentration bei den Lockersedimenten etwas stärker als bei den anderen Substratgruppen. Die geringste Änderung der Säurekonzentration ist auf den Sandstandorten sichtbar. Hier hat sie im Auflagehumus wohl durch verringerte Flugascheeinträge [5] sogar zugenommen.

In den Abbildungen 22a und b sind die Verläufe der pH-Werte mit zunehmender Bodentiefe in Form sogenannter Box- und Whisker-Grafiken dargestellt. Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Werte. In der Box liegt der Median, den 50 % der Werte über- bzw. unterschreiten.

Überlappen sich die Schnurrhaare (engl. Whisker) zwischen den jeweiligen Boxen von BZE I und BZE II nicht, so kann ohne weiteres von wirklichen Unterschieden zwischen den Datenreihen ausgegangen werden. Zu beachten ist noch die unterschiedliche Skala der Grafiken. In der mit höherer Austauschkapazität ausgestatteten Gruppe LockerSed dämpft die in der Vergangenheit gespeicherte Säure auch Verbesserungen im chemischen Milieu ab, so dass die pH-Werte dort bisher nicht über 4,0 steigen.

Anders hingegen reagieren die sandigen Substrate, die Änderungen aufgrund der geringen Bindungskapazität schneller und tiefer weiterleiten können. Auch hier liegen die pH-Werte allerdings noch im Austauschpufferbereich, in welchem basische Kationen durch die hohe Säurekonzentration im Boden von den Austauschern verdrängt und ausgewaschen werden [8].

Abb. 23a:

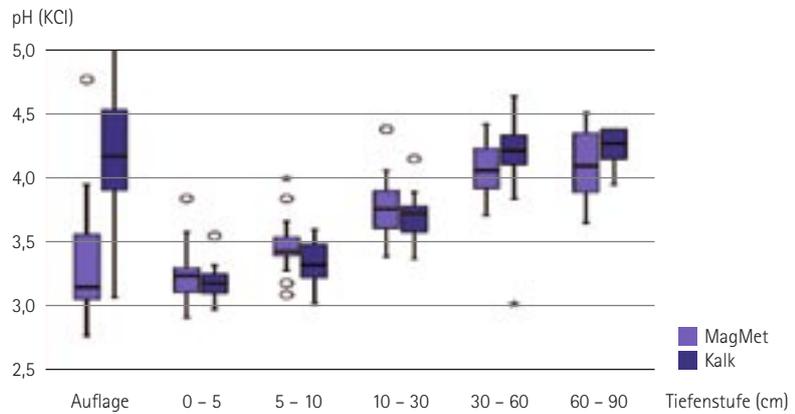


Abb. 23b:

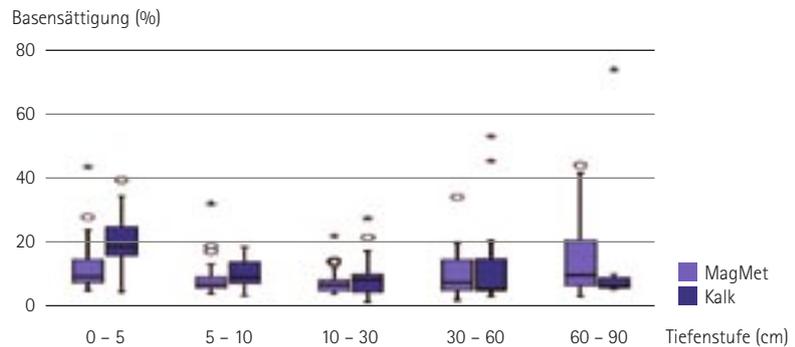


Abb. 23a und b: Vergleich der pH-Werte in Kaliumchlorid (links) und der Basensättigung zwischen ungekalkten (MagMet) und gekalkten (Kalk) Standorten auf intermediären und sauren Magmatiten oder Metamorphiten

Wie hat sich nun die wiederholte Bodenschutzkalkung auf die Standortskollektive im Hügelland und besonders im Erzgebirge ausgewirkt? Abbildungen 23a und b stellen abschließend die Resultate zu den pH-Werten und zur Basensättigung für die betreffenden Substratgruppen mit und ohne Kalkung gegenüber.

Durch die Kalkung wurden bisher nur die Humusauflage und der oberste Mineralboden (0-5 cm Tiefe) in ihrem Säurestatus verbessert. Entsprechend ist die Basenversorgung von der Versorgungs-kategorie „gering“ (5 bis 15 %) nur in die Klasse „mäßig basenversorgt“ (15 bis 30 %) angehoben worden. Nach leichten Verbesserungen bis 30 cm in der gekalkten Gruppe erfolgt in tieferen Bodenschichten beider Gruppen im Verhältnis zur Erhebung 1992 ein nicht signifikanter geringfügiger Rückgang der Basensättigung.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bodenschutzkalkung sich nur langsam auswirkt und zudem bisher nicht – wie zum Teil befürchtet – zu massiven Nivellierungen der Waldböden geführt hat. Tiefer gehende Auswertungen der BZE II in Sachsen – auch aus vegetationsökologischer Sicht – werden in Kooperation mit Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Niedersachsen, Hessen und Brandenburg durchgeführt. Dabei ist die wichtige Frage zu klären, wie lange die Böden nach 150 Jahren massiver anthropogener Säurebefruchtung restauriert werden müssen. Eine erneute Verdichtung des Erhebungsnetzes in Sachsen auf Standorte im 4x4-km-Raster ist zumindest in der Kalkungsregion in diesem Zusammenhang zu diskutieren.

# Wachstumsanalysen – von Ring zu Ring



Stammscheibe einer zirka 100-jährigen Fichte zur Analyse des Klimaeinflusses auf den Zuwachs. Darauf aufbauend wird das Zuwachsverhalten von Waldbeständen unter sich verändernden Klimabedingungen prognostiziert.

**Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf den Zuwachs**

Klimatische Rahmenbedingungen beeinflussen maßgeblich die Verbreitung, Vitalität und Konkurrenzstärke der Baumarten. An den dominierenden Baumarten der Leitwaldgesellschaften orientieren sich Bestandeszieltypen (BZT) und künftige Waldentwicklungstypen (WET) der Forstwirtschaft. Unter Berücksichtigung der fortschreitenden Klimaänderung gewinnen Kenntnisse zum Einfluss von Witterung und Klima auf das Wachstum von Bäumen, deren Vitalität und Konkurrenzstärke zunehmend an Bedeutung. Aktuelle Klimamodelle und -projektionen deuten auf künftig häufiger auftretende Extremereignisse (z.B. Starkniederschläge) und Extremperioden (z.B. Hitze- oder Dürreperioden) hin.

Für Risikoanalysen und Klimaanpassungsstrategien der Forstwirtschaft sind neben der Berücksichtigung von sich ändernden Mittelwerten Einschätzungen zur Wahrscheinlichkeit klimatischer Extreme notwendig. Die Intensität und Häufigkeit dieser Extreme werden ein maßgeblicher Auslöser für spontane Stressreaktionen der Waldökosysteme und die Wirkung biotischer Schaderreger sein. Darum ist die Herleitung spezifischer Klimakennwerte mit Bezug zur ökologischen Valenz der Baumarten Voraussetzung für eine nachhaltige Bewirtschaftung der sächsischen Wälder. Im Auftrag des Staatsbetriebes Sachsenforst wurden durch die Firma UDATA in Neustadt/Wstr. und den Lehrstuhl für Waldwachstum und Holzmesskunde an der TU Dresden Sensi-

tivität und Leistungsfähigkeit der wichtigsten Hauptbaumarten unter sächsischen Klimabedingungen anhand von Jahrringanalysen untersucht [7, 17]. Dabei wurden die bereits beim Staatsbetrieb Sachsenforst durchgeführten Jahrringanalysen genutzt und durch vier Neuaufnahmen für Fichte erweitert. Die für den konkreten Standort charakteristischen Klima- und Bodenwasserhaushaltsverhältnisse konnten unter Nutzung der verfügbaren Klimadaten ab 1951 auf Tagesbasis modelliert werden. Mittels Trendanalysen wurde die Abhängigkeit des Radialzuwachses von Veränderungen klimatischer Parameter untersucht und quantitativ herausgearbeitet. Den Jahrringanalysen liegen Bohrkerne bzw. Baumscheibenauswertungen von jeweils fünf

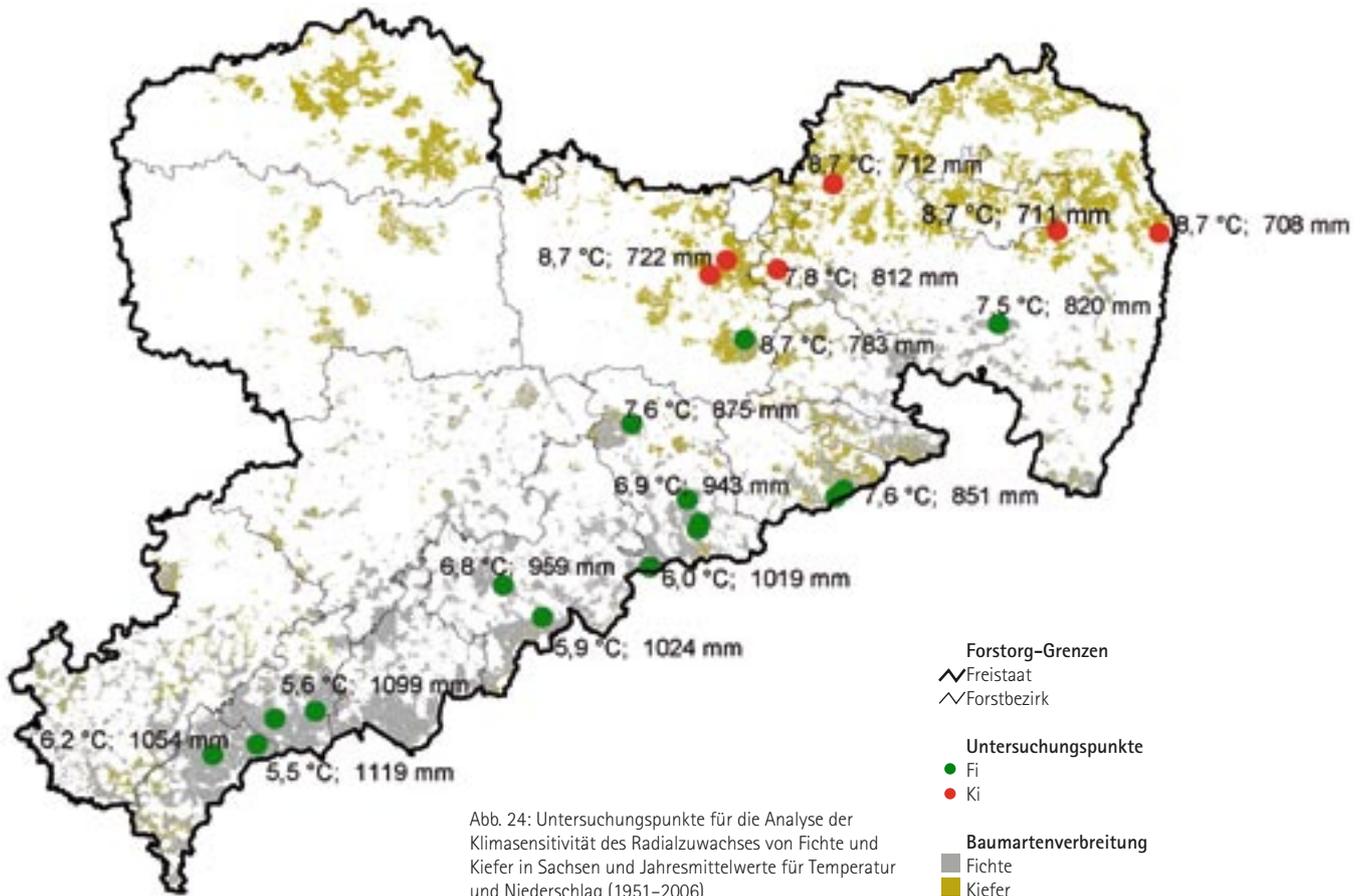


Abb. 24: Untersuchungspunkte für die Analyse der Klimasensitivität des Radialzuwachses von Fichte und Kiefer in Sachsen und Jahresmittelwerte für Temperatur und Niederschlag (1951–2006)

bis sieben Bäumen je Untersuchungspunkt aus Altbeständen zugrunde, die äußerlich keine Schäden aufwiesen und an deren Krone erkennbar war, dass sie schon seit mehreren Jahrzehnten der herrschenden Bestandes-schicht angehörten. Insofern repräsentieren diese Probebäume ein standortstypisches und von Konkurrenzeinflüssen weitgehend unabhängiges Wachstum.

In Abbildung 24 ist die räumliche Verteilung der Untersuchungspunkte dargestellt. Die 15 Untersuchungsfelder der Fichte decken ihr aktuelles Vorkommen repräsentativ ab. Für die Kiefer hingegen können anhand der sechs Probestandorte nur Aussagen für den ostsächsischen Raum gemacht werden. Die in dem Projekt genutzten Zuwachsdaten stammen sowohl von Erhebungen auf fichten- bzw. kiefernbestockten Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (Level II) als auch aus vertiefenden Untersuchungen an Weiser-Bodenprofilen der forstlichen Standorts-erkundung (Recognition-Projekt) sowie von

fünf aus Repräsentanzgründen zusätzlich einbezogenen Fichtenbeständen.

Vor der Analyse des Klimaeinflusses auf den Radialzuwachs wurde eine Standardisierung der Zuwachsreihen vorgenommen, um störende Trends und Einflüsse zu eliminieren und eine standardisierte Radial-Zuwachschronologie zu generieren.

In den Abbildungen 25a und b sind für die Fichten-Untersuchungsflächen Klingenthal und Langebrück (Dresdner Heide) Zuwachskurven und Radialzuwachschronologien beispielhaft dargestellt.

Das für Pflanzen nutzbare Bodenwasserspeichervermögen ist auf den Beispielstandorten ähnlich. Die klimatischen Verhältnisse sind dagegen sehr unterschiedlich. Dies wird bei Betrachtung der klimatischen Wasserbilanz als Differenzgröße aus dem Niederschlag abzüglich der potenziellen Verdunstung deutlich. In den Abbildungen 25a und b ist sie auf jeweils einen Monat der forstlichen Vegetationszeit

Abb. 25a: Untersuchungsfläche Klingenthal auf 840 m ü. NN. mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 5,5 °C\* und einem Jahresniederschlag von 1.134 mm\*, klimatische Wasserbilanz/Vegetationsmonat (KWB/VZ-Monat) von 29 mm\*; Bestandesalter 87 Jahre

\* Betrachtungszeitraum 1955–2006

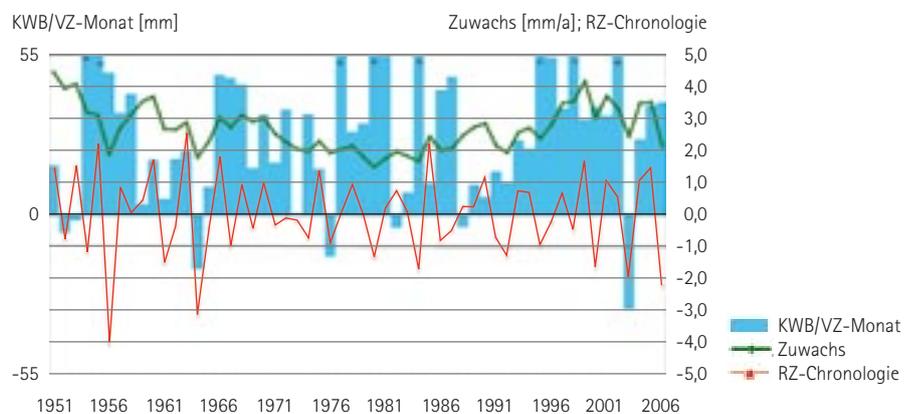


Abb. 25b: Untersuchungsfläche Langebrück auf 260 m ü. NN. mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,7 °C\* und einem Jahresniederschlag von 873 mm\*, klimatische Wasserbilanz/Vegetationsmonat (KWB/VZ-Monat) von -8 mm\*; Bestandesalter 120 Jahre

\* Betrachtungszeitraum 1955–2006

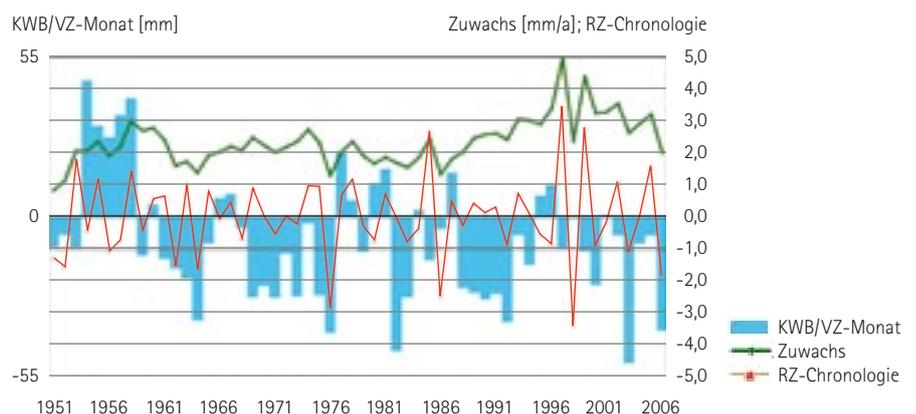


Abb. 26: Forstliche Vegetationszeit der Untersuchungsfläche Langebrück (mit ansteigendem Trend von 158 Tagen auf 171 Tage im Zeitraum 1951–2006)

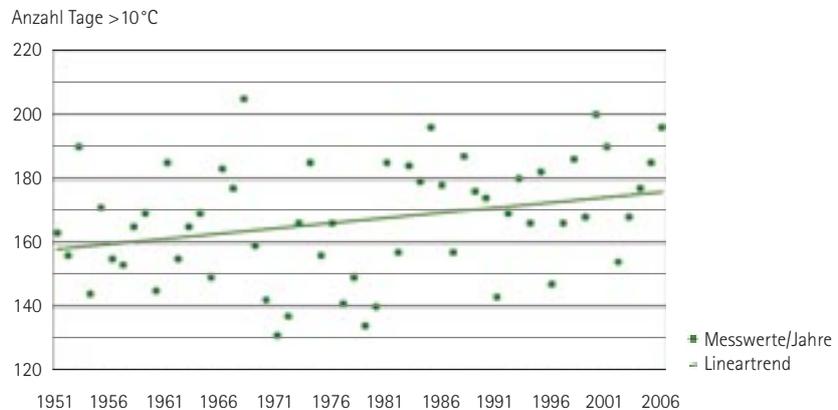
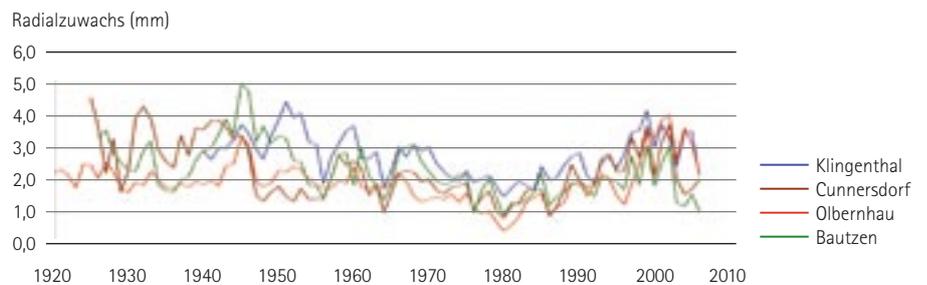


Abb. 27: Radialzuwachs-Bestandesmittelkurven für 4 Fichtenflächen



(Tage > 10 °C) des entsprechenden Jahres bezogen. Während sich die Klingenthaler Fläche in den meisten Jahren hinsichtlich des Wasserhaushaltes in einer ausgeglichenen Situation befand, war auf der Fläche bei Langebrück der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre nominal zumeist höher als die zur Verfügung stehenden Niederschläge, so dass die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens hier eine deutlich stärkere Bedeutung für die Vegetation hatte. Auffällig sind die starken Schwankungen der klimatischen Wasserbilanz zwischen den einzelnen Jahren, was nochmals unterstreicht, dass Mittelwerte immer im Kontext der Varianz ihrer Eingangsdaten betrachtet werden müssen. Diese Schwankungen sind sowohl durch die unterschiedlichen Niederschlagsereignisse als auch durch die Variationen der Vegetationszeitlänge (also der Temperaturverläufe) der einzelnen Jahre bedingt (vgl. Abbildung 26).

#### Analyse der Radialzuwächse und Radialzuwachs-Chronologien

Während die Zuwachskurven der sechs Kieferflächen relativ uneinheitlich verlaufen, ist dagegen bei den meisten Fichtenflächen ein

Anfang der 1970er Jahre einsetzender und bis Ende der 1980er Jahre anhaltender Zuwachseinbruch festzustellen, auf den eine bis zum Jahr 2000 anhaltende Phase steigender Zuwächse folgt (vgl. Abbildung 27). Eine ähnliche, wenngleich zeitlich früher einsetzende Zuwachserholung wurde für die Fichte auch in anderen Regionen Deutschlands nachgewiesen [16]. Nach dem Jahr 2000 deutet sich jedoch bei der Fichte ein tendenzieller Rückgang der Radialzuwächse an.

#### Schätzmodelle Fichte Sachsen/ Kiefer Ostachsen

Der Regressionsanalyse zufolge wirken sich für die Fichte vor allem die Temperaturen in bestimmten Abschnitten der Vegetationsperiode (Monate Mai, Juni, Juli des laufenden Jahres sowie August des Vorjahres) förderlich auf den Zuwachs aus. Zuwachsmindernd (negativ korreliert) sind hohe Temperaturen im Hochsommer (Monat August) und in der gesamten Vegetationsperiode (die meist mit geringeren Niederschlägen einhergehen) sowie hohe Verdunstungspotenziale im Juni, Oktober und in der gesamten Vegetationsperiode des Vorjahres.

Abb. 28: Fläche Bautzen: tatsächliche Radial-Zuwachschronologie (grün), prognostizierte Chronologie bis zum Jahr 2100 (blau, nach dem Schätzmodell Fichte Sachsen) und Lineartrend der prognostizierten Chronologie für den Zeitraum zwischen 2000 und 2100 (schwarz)

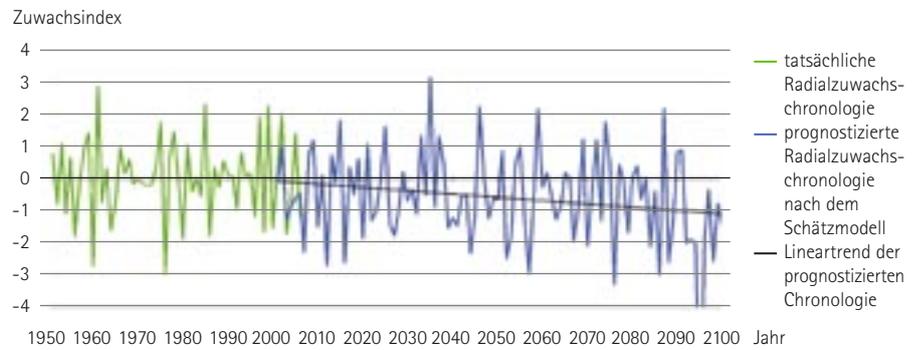
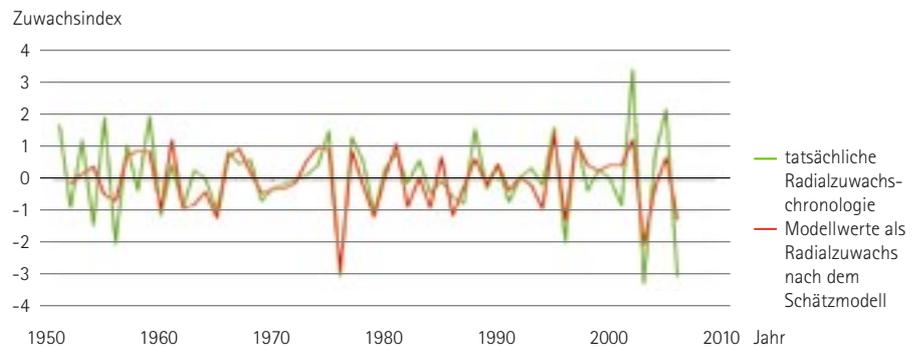


Abb. 29: Fläche Laußnitz: Gegenüberstellung der tatsächlichen Radial-Zuwachschronologie (grün) und der Modellwerte (rot) nach dem Schätzmodell Kiefer



Zur Ermittlung der Wachstumstrends bis 2100 wurden die prognostizierten Radial-Zuwachschronologien herangezogen, die auf dem Schätzmodell Fichte Sachsen basieren. Für die Prognose wurde die im Auftrag des LfUG bereitgestellte WEREX-Regionalisierung des B1-Szenarios aus dem Jahre 2006 für 170 Klimastationen in Sachsen genutzt. Die prognostizierten Radial-Zuwachschronologien der Fichte in Sachsen weisen im Zeitraum von 2000 bis 2100 durchweg einen negativen Trend auf, wie Abbildung 28 beispielhaft verdeutlicht. Jahre, in denen der negative Ausschlag der Radial-Zuwachschronologie größer als die einfache Standardabweichung ist, sind durch deutliche Zuwachsverluste gekennzeichnet. Diese betragen je nach Untersuchungsstandort für die gemessenen Werte der Vergangenheit zwischen 21 und 44 %. Die Häufigkeit dieser Ereignisse steigt im Prognosezeitraum bis 2100 z. T. deutlich an, darüber hinaus treten diese Ereignisse meist in relativ rascher zeitlicher Abfolge in Erscheinung, was als zusätzlicher Stressfaktor gewertet werden muss.

Auf der Grundlage des Schätzmodells wurden sensitive Klimabereiche herausgearbeitet, wonach die Fichte mit markanten Einbrüchen des Radialzuwachses reagiert, wenn die Wasserversorgung während der Wachstumsphase angespannt ist und außerdem in diesem Zeitraum hohe Temperaturen auftreten. Dies ist der Fall, wenn in den Monaten April bis Juni weniger als 200 mm Niederschlag fallen und/oder die klimatische Wasserbilanz unter einen Wert von -50 mm sinkt. Kritische Grenzwerte für die gesamte Vegetationsperiode sind Niederschläge unter 350 mm oder Werte unter 0 mm für die klimatische Wasserbilanz. Wachstumshemmend wirken darüber hinaus geringe Niederschläge (< 50 mm) in den Monaten Februar und April, niedrige Temperaturen im März (< 1 °C) bzw. hohe Temperaturen im April (> 6–7 °C) und Juni (> 14–16 °C). Am Beispiel der Kiefern-Fläche Laußnitz in Abbildung 29 ist der Verlauf der Modellwerte im Vergleich zu den tatsächlichen Radial-Zuwachschronologien erkennbar. Förderlich für den Radialzuwachs der Kiefer wirken Niederschläge und Luftfeuchtigkeit in der Vegetationsperiode und die Windgeschwindigkeit im Zeitraum

April bis Juni. Negativ korreliert mit der Radial-Zuwachschronologie sind vor allem die potenzielle Verdunstung sowie die Temperatur in der Vegetationsperiode des Vorjahres.

Für die Baumart Kiefer deuten die Prognosen auf keine grundlegenden Änderungen des Wuchsverhaltens hin: So werden auch in Zukunft zuwachsstarke und zuwachsschwache Jahre im natürlichen Wechsel in Erscheinung treten.

Hinsichtlich sensibler Klimabereiche zeigt die Kiefer ein der Fichte ähnliches Reaktionsmuster. Auch sie reagiert auf angespannte Wasserversorgung und hohe Temperaturen während der Wachstumsphase mit deutlichen Einbrüchen des Radialzuwachses: Dies tritt vor allem dann ein, wenn in den Monaten April bis Juni weniger als 140 mm Niederschlag fallen, die klimatische Wasserbilanz unter einen Wert von -110 mm sinkt oder die Durchschnittstemperatur über 12 °C liegt.

Kritische Grenzwerte für die gesamte Vegetationsperiode sind Niederschläge unter 300 mm, Werte von unter -200 mm für die klimatische Wasserbilanz, Durchschnittstemperaturen von mehr als 15 °C und Werte von über 450 mm für die potenzielle Verdunstung in der Vegetationsperiode des Vorjahres. Wachstumshemmend wirken darüber hinaus geringe Niederschläge (< 30 mm) in den Monaten Februar und April, hohe Temperaturen in den Monaten April (> 7 °C), Mai (> 13 °C) und Juni (> 17 °C) sowie eine Temperatur von mehr als 14 °C in der Vegetationsperiode des Vorjahres.

### Vergleich der Zuwachstrends für Fichte und Kiefer

Die Zuwachstrends der Baumarten Fichte und Kiefer zeigen für den Prognosezeitraum bis zum Jahr 2100 eine höchst unterschiedliche Entwicklung. Für Fichte werden die Wuchsbedingungen bis Ende des 21. Jahrhunderts zunehmend problematisch. So weisen die Radial-Zuwachschronologien der untersuchten Standorte einen klar negativen Trend auf. Darüber hinaus steigt die Häufigkeit des Auftretens stark negativer Ausschläge der Radial-Zuwachschronologien im Prognosezeitraum z.T. drastisch an. Erschwerend kommt hinzu, dass diese negativen Ausschläge nicht gleichmäßig über den Prognosezeitraum verteilt vorkommen. Wäre dies so, könnten die Bestän-

de nach jedem Ereignis eine Erholungsphase durchlaufen. Vielmehr treten diese Ereignisse meist in engem zeitlichen Zusammenhang in Erscheinung, was eine Erholung der Bestände beschränkt und insbesondere auf geringer wasserversorgten Standorten als zusätzlicher Stressfaktor gewertet werden muss. Kritische Jahre mit Trockenperioden (Niederschlag  $\leq 1$  mm/Tag) länger als 20 Tage treten den Simulationsrechnungen zufolge für über 50 % der Fichtenstandorte in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts viermal auf. Es ist deshalb nicht auszuschließen, dass in den betroffenen Regionen Individuen aus dem mitherrschenden oder zwischenständigen Bereich ausfallen und somit eine langsam voranschreitende, schleichende Auflichtung bzw. Auflösung der Bestände einsetzt. Darüber hinaus sind in den Jahren mit negativen Ausschlägen der Zuwachschronologien Reduktionen von ca. 20 bis 40 % des Radialzuwachses zu veranschlagen.

Für die Kiefer konnten keine negativen Auswirkungen der modellierten Klima- und Bodenwasserhaushaltswerte auf die Radial-Zuwachschronologien herausgearbeitet werden. Außerdem war im Prognosezeitraum bis 2100 kein vermehrtes Auftreten negativer Ausschläge der Radial-Zuwachschronologien feststellbar. Somit dürfte die Kiefer, von Reduktionen des Radialzuwachses in besonders ungünstigen Jahren abgesehen (die allerdings bei weitem nicht so stark wie bei Fichte ausfallen), unter dem angenommenen Klimaszenario auch in den nächsten 100 Jahren in Sachsen als Waldbaum keinen zusätzlichen, direkt wirkenden klimabedingten Risiken ausgesetzt sein.

Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit des seit den 1990er Jahren in Sachsen aktiv betriebenen Waldumbaus. Schwerpunkt bildet hierbei der Umbau von Fichtenreinbeständen im Löss-Hügelland sowie im Erzgebirgsvorland und Vogtland in stabilere Mischbestände. Im Zusammenhang mit den Unwägbarkeiten von Klimawandel und Schadorganismenentwicklung gewinnt die Option zu Wäldern mit vielfältigen standortgerechten Baumartenmischungen, einschließlich der differenzierten Betrachtung der Neophyten, zunehmend als Klimawandel-Anpassungsstrategie an Bedeutung.

# Der aktuelle Kronenzustand



## Witterung

Unabhängig von der Stoffhaushalts- und -eintragungssituation übt die Witterung einen wesentlichen Einfluss auf den Zustand der Wälder aus. In den Jahrzehnten mit hohen atmosphärischen Stoffeinträgen überprägten oder verstärkten diese jedoch den Witterungseinfluss. Aus diesem Grund standen die Stoffeinträge als Einflussfaktoren des Waldzustandes in den letzten zwei Jahrzehnten im Blickpunkt der Waldschadensforschung und der Waldzustandserhebungen. Nach Rückgang der Säureeinträge in den 90er Jahren und den aufwändigen Sanierungsmaßnahmen der Waldböden durch die Bodenschutzkalkung in den letzten Jahren bestimmten extreme Wetterereignisse und Witterungsperioden als Ursachen für negative Veränderungen den Zustand der sächsischen Wälder.

Als Beispiele können die trocken-heißen Witterungsperioden des Jahrhundertssommers 2003, die fast zwei Monate anhaltende Trockenheit 2006 und der sommerwarme April 2007 angeführt werden. Der Wassermangel führte vor allem bei älteren Bäumen und in zahlreichen Verjüngungen zu Vitalitätseinbußen.

Neben dem Ausbleiben der Niederschläge führte auch deren tendenzielle Verlagerung in das Winterhalbjahr zu wiederholten Belastungssituationen. Ergiebige Schneefälle, die vor allem bei Temperaturen um den Gefrierpunkt schwere Nassschneeeinlagen bedingen, beanspruchten im Winter 2005/06 zahlreiche Baumkronen über ihre Widerstandsfähigkeit hinaus und führten in entsprechenden Höhenlagen zu erheblichen Schneebruchschäden.

Derartige Belastungen für Bäume sind das Ergebnis des Wettergeschehens von Tagen bis Wochen. Unsere Atmosphäre besitzt jedoch eine solche Dynamik, das auch einzelne, wenige Stunden anhaltende Wetterextreme wie die Stürme „Kyrill“ und „Emma“ wiederholt den Wald intensiv beeinflussen.

Bei den genannten Beispielen ist es weniger eine einzelne meteorologische Größe, die zu der extremen Belastungssituation führt. In der Regel entscheidet erst das Zusammenspiel mehrerer Faktoren über das Ausmaß der Wirkung auf das

äußere Erscheinungsbild und die Lebenskraft der Bäume.

Ob ein einzelner Baum einen Sturm überstehen kann, hängt neben seinem Habitus nicht zuletzt auch von seiner Wurzelbeschaffenheit und damit seiner Standfestigkeit ab, die von den chemischen (Versauerungsgrad) und physikalischen Bodeneigenschaften beeinflusst wird. Haben Niederschläge den Boden aufgeweicht, so ist ein Baum zudem, unabhängig von der Größe und Ausprägung seines Wurzelsystems, aktuell schlecht im Boden verankert. Ist der Boden dagegen trocken oder gefroren, bedarf es wesentlich größerer Kräfte, ihn umzuwerfen. Führen die Windkräfte daraufhin lediglich zu einem Verlust von Teilen der Krone, so vermag der Baum den Sturm zu überstehen und kann seine Baumkrone sowie nicht sichtbare Wurzelabriss wieder regenerieren.

Die Trockenphasen der Jahre 2003 und 2006 haben gezeigt, dass in Bezug zum jährlichen Lebensrhythmus der Bäume der zeitliche Aspekt des Eintretens der ungünstigen Witterung von großer Bedeutung ist. Die bereits wenige Wochen nach Laubaustrieb auftretende Trockenheit 2006 wirkte sich in Sachsen sichtbar stärker auf die Vitalität aus als die heißen Tage im Hochsommer 2003.

Die Beurteilung von Witterungsverläufen und ihre nachhaltige Wirkung auf den Waldzustand sind aus den skizzierten Gründen heraus sehr komplex. Als langlebige Individuen besitzen Bäume vielfache Anpassungsmechanismen, um gegenüber den während ihres Lebens auftretenden klimatischen Wetterextremen als Individuum, aber auch als Art bestehen zu können.

Entsprechend der prognostizierten und nun auch registrierten Veränderungen des Klimas könnten die Stürme, Nassschneeeignisse und Trockenphasen der letzten Jahre immer häufigere Extreme in unseren Wäldern darstellen. Da Einzelbäume über die Reservestoffbildung Phasen hoher Belastung ausgleichen können und auch Wurf- und Bruchschäden in der Regel von strukturellen Anpassungen der Wälder begleitet werden, wird der Waldaufbau wie auch der Vitalitätszustand zukünftig von der

zeitlichen Wiederkehr der Extreme und der Dauer der zwischenzeitlichen Erholungsphasen bestimmt werden.

Zusammenfassend betrachtet, gestaltete sich der Witterungsverlauf vom Jahreswechsel 2008/09 bis zum August 2009 für den Stoffwechsel der Bäume günstig. Die Vegetationsperiode 2009 wurde landesweit von durchschnittlichen Lufttemperaturen und regelmäßigen, ausreichenden Niederschlägen bestimmt. Abbildung 30 zeigt dies anhand der Lufttemperaturen im Monatsmittel und der klimatischen Wasserbilanz ausgewählter Waldklimastationen. Die klimatische Wasserbilanz ist hierin ein berechneter Referenzwert und gibt an, inwieweit der aus der Verdunstung resultierende Wasserverbrauch einer Grasdecke durch den Niederschlag ausgeglichen wird.

Nach den beiden zurückliegenden milden und niederschlagsarmen Wintern 2006/07 sowie 2007/08 war der Winter 2008/09 deutlich kälter und niederschlagsreicher. Die Monatsmitteltemperaturen lagen im Januar und Februar zwischen 1 und 3 Kelvin (K) unter den langjährigen Mittelwerten von 1971–2000. Das Anfang Januar einsetzende und bis zur Monatsmitte anhaltende klare Frostwetter hatte extrem tiefe Temperaturen zur Folge. Die absolute Minimumtemperatur von  $-27,5\text{ °C}$  wurde am 7. Januar 2009 um 2 Uhr morgens an der Waldklimastation im Zellwald gemessen. Dabei handelt es sich sogar um das absolute Temperaturminimum der bisherigen Aufzeichnungen auf Waldklimastationen seit 1994.

Von Mitte Januar bis Ende März herrschte nasskaltes Winterwetter vor. Während im Tiefland entstehende Schneedecken durch zwischenzeitliches Tauwetter wiederholt verschwanden, stiegen die Schneedecken im Gebirge kontinuierlich an. Auf dem Fichtelberg wurde im Januar eine Schneehöhe von 82 cm gemessen, nach den ergiebigen Schneefällen in der letzten Märzdekade sogar 203 cm. Somit war der Winter 2008/09 ähnlich schneereich wie der Winter 2005/06.

Eine über den gesamten April anhaltende Hochdruckwetterlage führte zu überdurchschnittlichen Werten bezüglich Sonnenschein-

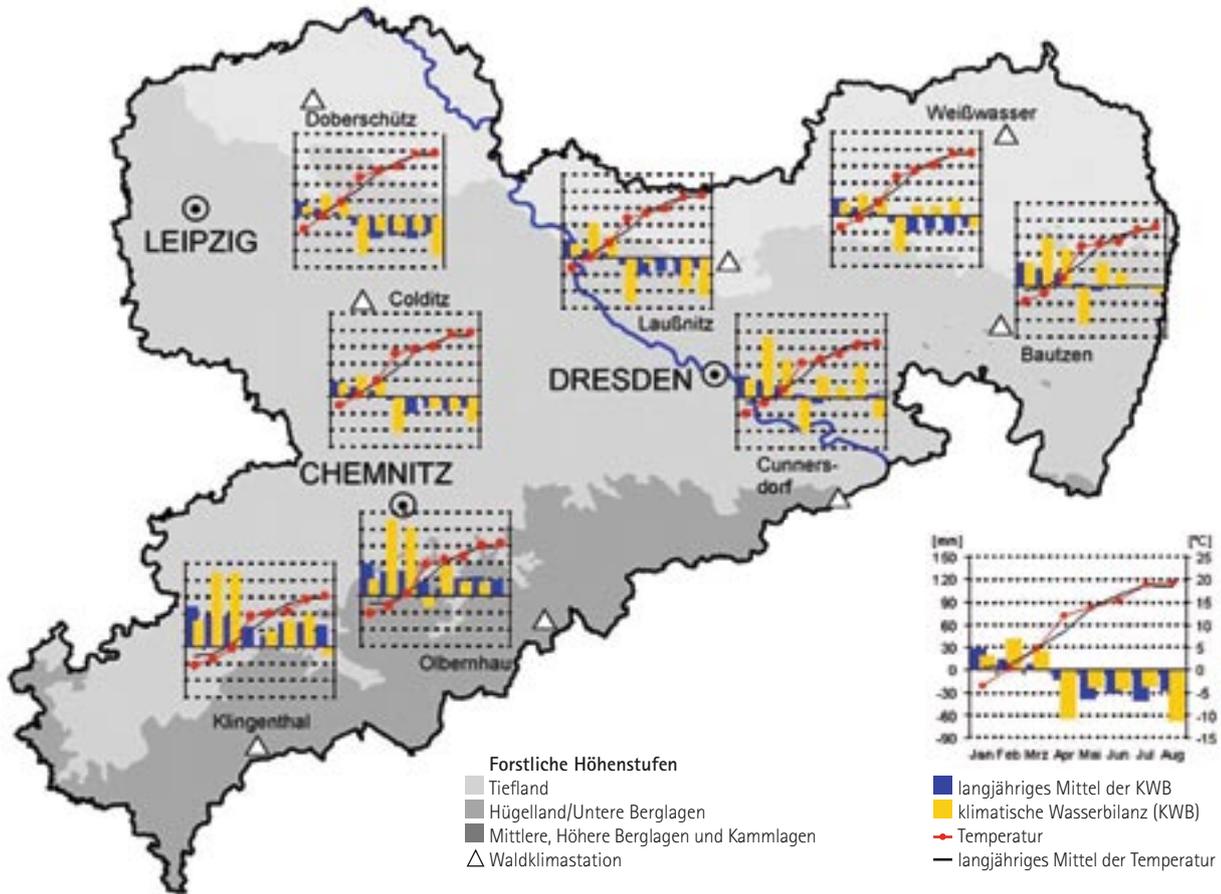


Abb. 30: Monatsmittel der Lufttemperaturen und die klimatische Wasserbilanz von Januar bis August 2009 für ausgewählte Waldstandorte

dauer und Lufttemperatur. Letztere lag auf den Waldklimastationen zwischen 3,5 und 5 Kelvin über den langjährigen Mittelwerten. In den höheren Gebirgslagen setzte aufgrund der Beschattung durch die vorherrschenden Fichtenwälder und die Strahlungsreflexion der geschlossenen Schneedecken eine nur langsame und anhaltende Tauperiode ein. Bei Lufttemperaturen mit Tagesmaxima von annähernd 20 °C sind Fichten photosynthetisch aktiv und müssen das über die Spaltöffnungen verdunstende Wasser über die Wurzeln aufnehmen. In Verbindung mit Bodenfrost können deshalb derartige Witterungsperioden zu Trockenstress bei Nadelbäumen führen. Auf der höchstgelegenen Waldklimastation bei Klingenthal lagen die Bodentemperaturen jedoch bereits über dem Nullpunkt, so dass der bis Mitte April abschmelzende Schnee in tiefere Bodenschichten sickern konnte und den Fichten zur Verfügung stand.

Einzelne Tiefausläufer mit punktuellen, teils ergiebigen Regenereignissen am 7./8. und 16./17. April beschleunigten vielerorts die Schneeschmelze.

Nach dem warmen, trockenen und sehr sonnigen April verzögerte das Ende April einsetzende und fast den gesamten Mai andauernde kühl-feuchte und unbeständige Wetter den Laubaustrieb.

Die bereits für den Mai charakteristischen Wechsel zwischen kurzen Hochdruckwetterla-

gen und Tiefausläufern mit teilweise ergiebigen Niederschlägen hielten auch die Sommermonate bis in den August hinein an. Vor allem den Juni prägte eine, bezogen auf die Durchschnittswerte, etwas zu kühle und feuchte Sommerwitterung.

Bis auf wenige Ausnahmen liegen die auf der Basis von Lufttemperatur, Globalstrahlung und Niederschlagssummen berechneten klimatischen Wasserbilanzen über den langjährigen Mittelwerten. Vor allem auf den Stationen Weißwasser und Cunnersdorf fielen die Wasserbilanzen ungewöhnlich hoch aus und waren selbst im Sommer positiv.

Die Wuchsleistungen und Lebensprozesse der Bäume werden nicht allein durch die atmosphärischen Bedingungen beeinflusst. Erst ausreichende Bodenwassergehalte gewährleisten eine anhaltende Wasseraufnahme durch die Wurzeln und ermöglichen so hohe Photosyntheseraten. Das Wasserspeicherverhalten der Waldböden ist deshalb ein so wesentlicher Einflussfaktor, da es Perioden negativer Wasserbilanzen ausgleichen kann. Durch die Waldklimastationen werden Bodenwassergehalte im Hauptwurzelbereich gemessen. Da es sich bei den Standorten der Waldklimastationen um baumfreie, von Gräsern, Kräutern und Zwergsträuchern bedeckte Flächen handelt, können die dort gemessenen Bodenwassergehalte von den tatsächlichen in den Waldbeständen in Abhängigkeit von deren Bestandesstruktur deut-



Abb. 31: Waldklimastation Klingenthal am 2. April 2009



Ein Teil des im Boden enthaltenen Wassers ist so fest an die Bodenpartikel gebunden, dass es von Pflanzenwurzeln nicht mehr aufgenommen werden kann. Die entsprechende Bodenfeuchte wird Totwassergehalt genannt. Das den Pflanzen zur Verfügung stehende Bodenwasser wurde jedoch lediglich auf der Station Doberschütz bis Mitte Mai aufgebraucht. Auf allen anderen Stationen führten die wiederholten überdurchschnittlichen Sommerniederschläge zu Bodenwassergehalten im Bereich der nutzbaren Feldkapazität.

### Allgemeine Situation und regionale Ausprägung

#### Allgemeine Situation

Als langlebige und ortsfeste Lebewesen können sich Bäume Witterungsextremen und biotischen Angriffen sowie den anthropogenen Veränderungen ihrer geochemischen Umwelt nicht entziehen. Die vielfältigen Stressbelastungen bewirken sichtbare Veränderungen in der Kronendichte und -struktur, sobald das individuelle Toleranzniveau überschritten wird. Diese Veränderungen im Belaubungs-/Benadelungszustand erfasst die Waldzustandserhebung (WZE). Im zeitlichen Verlauf der Entwicklung des Kronenzustandes lassen sich in Abhängigkeit von der Reaktionsfähigkeit der Baumart und der akuten bis chronischen Wirkung des Stressfaktors kritische Belastungssituationen erkennen.

Die Waldzustandserhebung wurde im Jahr 2009 auf 283 Probepunkten mit 6.792 Probebäumen des 4x4-km-Rasters durchgeführt. Da die Stichprobenbestände natürlichen Differenzierungsprozessen und der forstlichen Bewirtschaftung unterliegen, ist es möglich, dass Stichprobenbäume aus dem Kollektiv ausscheiden. Streng systematisch wird in diesen Fällen ein Ersatzbaum ausgewählt. So wurden in diesem Jahr 89 Bäume (über 60 Jahre) aus folgenden Gründen ersetzt:

- 57 Bäume wurden im Rahmen regulärer forstlicher Eingriffe entnommen
- 21 Bäume wurden außerplanmäßig infolge von Insektenbefall oder anderen Ursachen aus forstsanitären Gründen entnommen
- 9 Bäume erfüllten nicht mehr die Anforderungen an einen Stichprobenbaum, i. d. R. gehörten sie nicht mehr zur herrschenden Bestandesschicht. Die Krone war damit von Nachbarbäumen überwachsen und somit nicht mehr bonitierbar
- 2 Bäume waren durch Wind gebrochen oder geworfen.

Der Ersatz von Stichprobenbäumen umfasst in diesem Jahr 2,7 % des Kollektivs und liegt damit geringfügig über der durchschnittlichen Dynamik der Stichprobe.

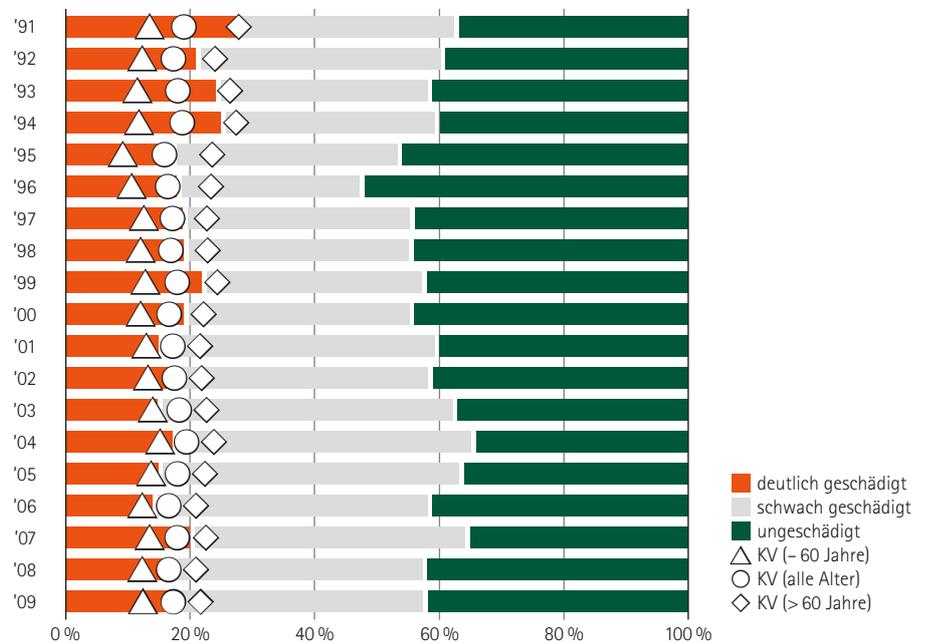
Ohne regionale und baumartenspezifische Unterschiede zu berücksichtigen, blieb der mittlere Nadel-/Blattverlust mit 17,4 % nahezu unverändert zum Vorjahreswert (16,6 %). Die Verteilung der Schadstufen weist auf die Differenziertheit der Kronenverlichtung in Kombination mit dem Auftreten von Verfärbungen hin. Demnach sind 2009 in Sachsen

- 18 % der Waldfläche als deutlich geschädigt (Schadstufen 2–4),
- 40 % als schwach geschädigt (Schadstufe 1) und
- 42 % ohne erkennbare Schadmerkmale (Schadstufe 0) einzustufen  
(vgl. Abbildung 33, Tabelle 4 und 6, Anhang).

Im Vergleich zum Vorjahr haben sich sehr geringe Verschiebungen von der Stufe schwach geschädigter zu deutlich geschädigten Bäumen ergeben, während die Anteile gesunder Bäume unverändert blieben. In der Gruppe der deutlichen Schäden (18 %) weist ein Großteil der Bäume (17 %) mittelstarke Schäden auf (Schadstufe 2), während lediglich 1 % stark geschädigt bzw. abgestorben (Schadstufen 3 und 4) sind.

Im 19-jährigen Beobachtungszeitraum zeichnen sich mehrere Phasen der Verbesserung und Verschlechterung des Kronenzustandes ab. Außergewöhnliche Witterungsverläufe (Winter 1995/96, Sommer 2003, Sommer 2006), deren Wirkungen zum Teil durch extreme atmosphärische Stoffkonzentrationen (z. B. hohe Schwefeldioxidkonzentrationen im Winter 1995/96) verstärkt wurden, führten zu Phasen mit hoher Stressbelastung und den damit verbundenen negativen Auswirkungen auf den Kronenzustand. In den sich anschließenden Erholungsphasen verbesserte sich der Kronenzustand jeweils wieder.

Abb. 33: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) aller Baumarten von 1991 bis 2009



Über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg zeigte der Kronenzustand aller Stichprobenbäume jedoch keine eindeutige positive oder negative Tendenz. Erst ein detaillierter Blick auf die verschiedenen Baumarten, Wuchsgebiete und Baumalter lässt die Dynamik im Kronenzustand der Bäume in Sachsen erkennen.

### Regionale Ausprägung des Kronenzustandes

Aussagen zur regionalen Ausprägung des Kronenzustandes können auf der Basis der forstlichen Wuchsgebiete im 4x4-km-Raster nur teilweise statistisch abgesichert werden. Aus diesem Grund wurden einige kleine Wuchsgebiete zusammengefasst. Bei Wuchsgebieten, die über die Landesfläche Sachsens hinausgehen, beziehen sich die Angaben ausschließlich auf den sächsischen Teil. Für die Wuchsgebiete Sachsen-Anhaltinische-Löss-Ebenen (WG 23), Leipziger-Sandlöss-Ebene (WG 24) und Erzgebirgsvorland (WG 26) ist der Stichprobenumfang infolge des geringen Waldanteiles für eine sinnvolle Auswertung allerdings zu gering.

Die Ergebnisse der Wuchsgebietsauswertung sind in Abbildung 34 sowie Tabelle 9 (Anhang) veranschaulicht. Die Diagramme in Abbildung 34 zeigen die Entwicklungstrends der Schäden in den Wuchsgebieten. Zu berücksichtigen ist, dass die Ergebnisse für die Wuchsgebiete neben den vorherrschenden Boden- und Klimatypen vor allem von der dort jeweils vorherrschenden Baumarten- und Altersklassenverteilung geprägt werden (vgl. Tabelle 8, Anhang).

Während in den beiden Vorjahren kaum regionale Unterschiede im Kronenzustand auftraten, unterscheiden sich die in diesem Jahr beobachteten Häufigkeiten deutlicher Schäden merklich zwischen den Wuchsgebieten. Geringe Nadel- und Blattverluste kamen im Vogtland und in den beiden Wuchsgebieten im Tiefland (Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland) vor. Im Sächsisch-Thüringischen Löss-Hügelland und in den östlichen Gebirgen (Elbsandsteingebirge/Oberlausitzer Bergland/Zittauer Gebirge) sind die höchsten Anteile deutlicher Schäden zu verzeichnen. Mit Ausnahme des Tieflandes, des Vogtlandes und des östlichen Hügellandes (Westlausitzer Platte und Elbtalzone/Lausitzer Löss-Hügelland) stiegen die deutlichen Schäden an.

Die regionale Ausprägung des Kronenzustandes unterstreicht die in den vergangenen 19 Jahren eingetretene Veränderung der Belastungssituation und gibt die in den Wuchsgebieten vorhandenen Baumartenunterschiede wieder.

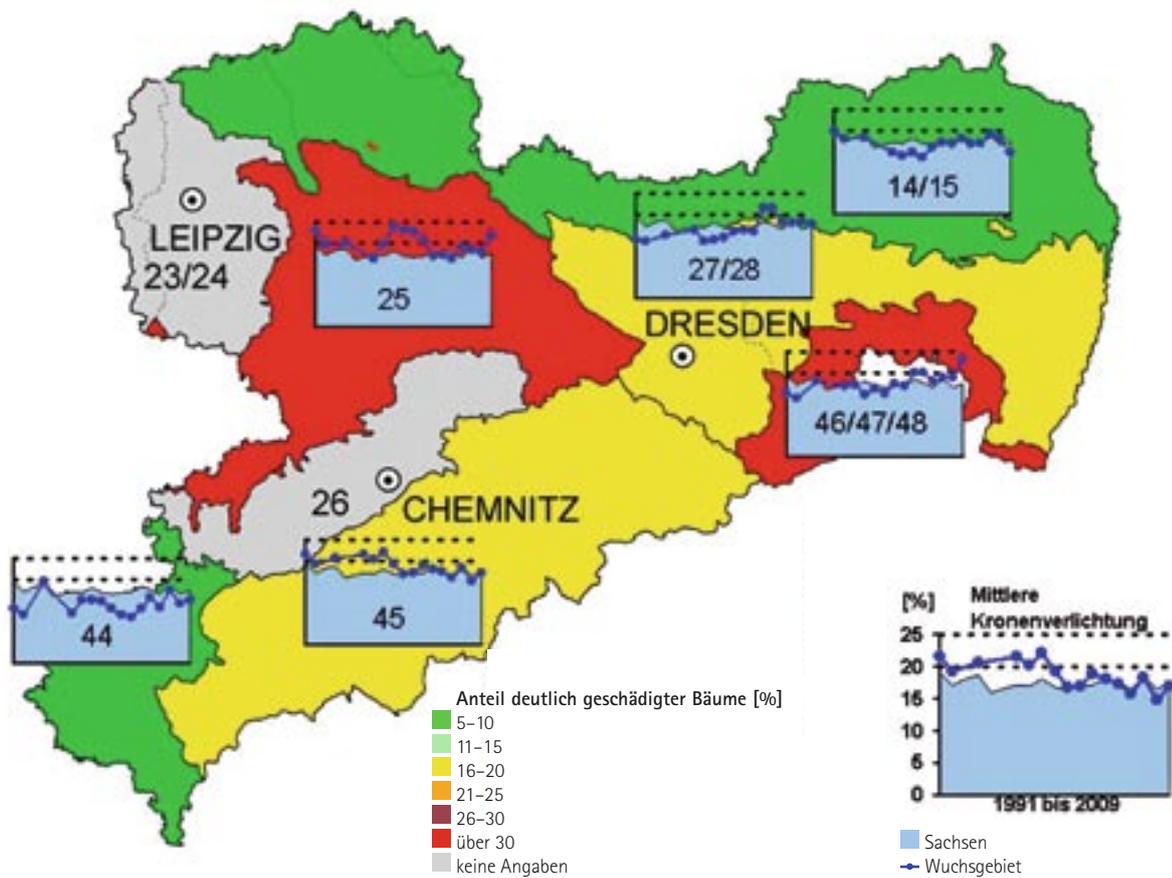


Abb. 34: Anteil deutlicher Schäden 2009 und Veränderung der mittleren Kronenverlichtung von 1991 bis 2009 in den Wuchsgebieten (WG)

- WG 14 – Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland
- WG 15 – Dübener-Niederlausitzer Altmoränenland
- WG 23 – Sachsen-Anhaltinische-Löss-Ebenen
- WG 24 – Leipziger-Sandlöss-Ebene
- WG 25 – Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland
- WG 26 – Erzgebirgsvorland
- WG 27 – Westlausitzer Platte und Elbtalzone
- WG 28 – Lausitzer Löss-Hügelland
- WG 44 – Vogtland
- WG 45 – Erzgebirge
- WG 46 – Elbsandsteingebirge
- WG 47 – Oberlausitzer Bergland
- WG 48 – Zittauer Gebirge

Die vor allem in den höheren Lagen des Erzgebirges (WG 45) aufgetretenen hohen Belastungen durch atmosphärische Stoffeinträge nahmen aufgrund der restriktiven Luftreinhaltepolitik und den anhaltenden Anstrengungen bei der Sanierung der stark versauerten Waldböden ab. In diesem walddominanten Wuchsgebiet Sachsens wurden noch bis 1999 überdurchschnittlich hohe Kronenverlichtungen und/oder Verfärbungen registriert. Auch der in diesem Jahr zu verzeichnende leichte Anstieg deutlich geschädigter Bäume um 2 Prozentpunkte hebt die sichtbaren Verbesserungen der letzten Jahre nicht auf.

Im ebenfalls Fichten dominierten Vogtland (WG 44) liegen die deutlichen Schäden weiterhin auf einem etwas geringeren Niveau. Der im Trockenjahr 2003 einsetzende Trend zu hohen Werten deutlich geschädigter Bäume veränderte sich auch 2009 nicht grundlegend. Hier und noch deutlicher in den östlichen Gebirgen (Elbsandsteingebirge/Oberlausitzer Bergland/Zittauer Gebirge) wird der zunehmende Einfluss trocken-warmer Witterungspe-

rioden spürbar. Im Elbsandsteingebirge und im Zittauer Gebirge herrschen außerdem Böden vor, die gegenüber dem Erzgebirge geringere Wasserspeicherkapazitäten aufweisen. Insofern scheinen sich hier der durch mehrere sehr kurze Trockenphasen gekennzeichnete Sommer 2008 und der trockene April 2009 stärker ausgewirkt zu haben.

Der positive Trend im sächsischen Tiefland (WG 14/15) und in den Wuchsgebieten Westlausitzer Platte und Elbtalzone/Lausitzer Löss-Hügelland (WG 27/28) basiert auf den Verbesserungen im Kronenzustand der hier dominierenden Kiefern. Das von Eichen und anderen Laubbaumarten dominierte Sächsisch-Thüringische Löss-Hügelland (WG 25) erreicht wieder die hohen Werte der Jahre 1998/99. Heute wie damals scheinen vor allem biotische Einflussfaktoren und eine verstärkte Fruktifikation die erhöhten Blattverluste zu bewirken.

#### Kronenzustand an Nadelbäumen

Nadelbäume dominieren mit einem Anteil von insgesamt 68,2 % die Baumartenzusammen-

setzung der sächsischen Wälder (vgl. Tabelle 5, Anhang). Die häufigste Baumart ist die Gemeine Fichte mit einem Anteil von 34,6 %. Damit bestimmt sie insbesondere in den Mittelgebirgen das Bild des Waldes. Zweithäufigste Baumart ist die Gemeine Kiefer mit 30,0 % Anteil an der Waldfläche. Sie tritt vor allem in den Wäldern des Tief- und Hügellandes prägend auf.

Sonstige Nadelbäume besitzen in Sachsen einen Anteil an der Waldfläche von 3,6 %. Die zu dieser Baumartengruppe zählenden Arten sind hier meist nicht autochthon und wurden erst im Zuge der Umsetzung spezieller waldbaulicher Konzepte, z. B. der Aufforstung des Erzgebirgskammes nach dem flächigen Absterben der Fichte, angepflanzt. Folglich sind etwa 3/4 der begutachteten sonstigen Nadelbäume jünger als 40 Jahre, wobei die Europäische Lärche mit etwa 50 % die häufigste Baumart in dieser Gruppe darstellt.

Mit Ausnahme der Lärche verbleiben bei diesen Baumarten die Nadeln mehrere Jahre an den Zweigen, bevor diese sich verfärben, absterben und abfallen. Dieser natürliche Alterungsprozess vollzieht sich weitgehend unbemerkt an den inneren Zweigen. In der Folge von Stressbelastungen werden bevorzugt ältere, photosynthetisch weniger aktive Nadeln abgeworfen. Im Extremfall sind nur noch die im laufenden

Jahr gebildeten Triebe benadelt. Während derart hohe Nadelverluste unmittelbar registriert werden, ist die Regeneration nur schrittweise durch die jährlichen Neuaustriebe möglich. Dies führt dazu, dass der Regenerationsprozess bei Baumarten mit einer hohen Anzahl von Nadeljahrgängen, beispielsweise Fichten- und Tannenarten, langsamer erfolgt als bei Kiefern, die nur drei oder vier Nadeljahrgänge aufweisen.

### Fichte

Die aktuelle Waldzustandserhebung weist für die Fichte einen mittleren Nadelverlust von 17,1 % auf. In die Gruppe mit deutlichen Nadelverlusten und/oder Verfärbungen sind 20 % der Bäume eingestuft. Ausgehend vom Minimum der mittleren Kronenverlichtung (14,7 %) im Jahr 2006 setzt sich damit der im vergangenen Jahr mit 15,3 % unterbrochene Trend mit leicht zunehmender Verlichtung der letzten Jahre weiter fort (vgl. Abbildung 35).

Die weit über ihr natürliches Verbreitungsgebiet hinaus angebaute Fichte tritt auf 61 % der Stichprobenpunkte der Kronenzustandserhebung auf. Diese reichen von den kühl-feuchten höheren Lagen der Gebirge, die zuletzt im Winter 1995/96 unter hohen Immissionen litten, bis in die deutlich wärmeren und trockeneren Unteren Berglagen und das Hügelland. Die

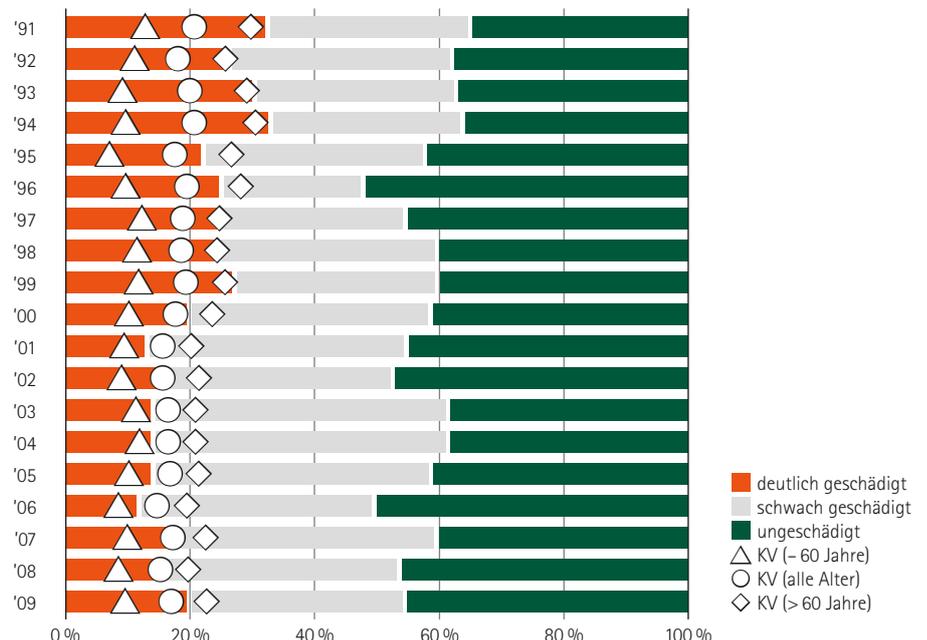


Abb. 35: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Fichte von 1991 bis 2009

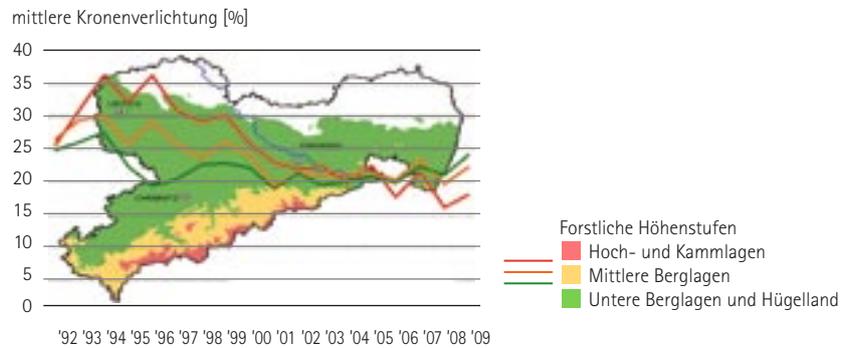


Abb. 36: Mittlere Kronenverlichtung der Fichte von 1992 bis 2009 in Abhängigkeit der forstlichen Höhenstufen

positive Entwicklung im Verlauf der Zeitreihe basiert vor allem auf der kontinuierlichen Verbesserung des Kronenzustandes älterer Fichten, vor allem in den oberen Lagen der Gebirge. So nahmen die mittleren Nadelverluste bei den über 60-jährigen Fichten in den Höheren Berglagen von 36,2 % im Jahr 1996 auf nunmehr 16,1 % ab (vgl. Abbildung 36). In den Unteren Berglagen, die 1994 mit 27,6 % ihr Maximum in der mittleren Kronenverlichtung aufwiesen, ist dieser Trend deutlich schwächer. Während in den 1990er Jahren mit zunehmender Höhenlage auch höhere Nadelverluste einhergingen, kehrte sich dieses Verhältnis mit einem Wendepunkt im Jahrhundertssommer 2003 um. Auch in diesem Jahr weisen gerade die Fichten in den Unteren Berglagen die höchsten Steigerungsraten und Nadelverluste auf. Der Behang der Fichten mit Zapfen war 2009 wieder sehr ausgeprägt. Nach auffällig starker Blüte, die durch auffällige und gut sichtbare Pollenwolken im Frühjahr erkennbar war, trugen lediglich 30 % aller älteren Fichten keine Zapfen. Mit 47 % wies der überwiegende Teil der Fichten wenige Zapfen auf, 22 % der Fichten trug sogar mittleren bis starken Zapfenbehang (vgl. Tabelle 7, Anhang).

Bis Ende Mai 2009 wurde in den Fichtenbeständen der durch Buchdrucker (*Ips typographus* L.), z. T. in Kombination mit dem Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus* L.) im Jahr 2008 verursachte Schädlingsbefall sichtbar. Insgesamt wurden für das Jahr 2008 landesweit an nahezu 10.500 Waldorten 130.000 Kubikmeter bzw. über 200.000 befallene und absterbende Fichten registriert (vgl. Abbildung 37). Damit hatte der Befall aus 2008 den bisherigen Rekordwert aus dem Trockenjahr 2003 überschritten und war so stark wie in den letzten 40 Jahren nicht mehr.

Durch die Kombination von sehr hohen Käferdichten aus dem Jahr 2008 und den in Folge der Stürme „Kyrill“ (2007) und „Emma“ (2008) sowie von Schneebrüchen aus dem Winter 2008/09 vielerorts aufgerissenen und in ihrem Gefüge noch destabilisierten Fichtenbeständen bestand in diesem Frühjahr eine sehr angespannte Situation des Waldschutzes. Diese wurde durch den außergewöhnlich zeitigen Flugbeginn der Käfer in diesem Jahr, ausgelöst durch den sehr warmen April, noch verschärft. Die wechselhaften Witterungsverhältnisse in der Hauptschwärmzeit der Borkenkäfer ab Mai wirkten sich schließlich jedoch hemmend auf

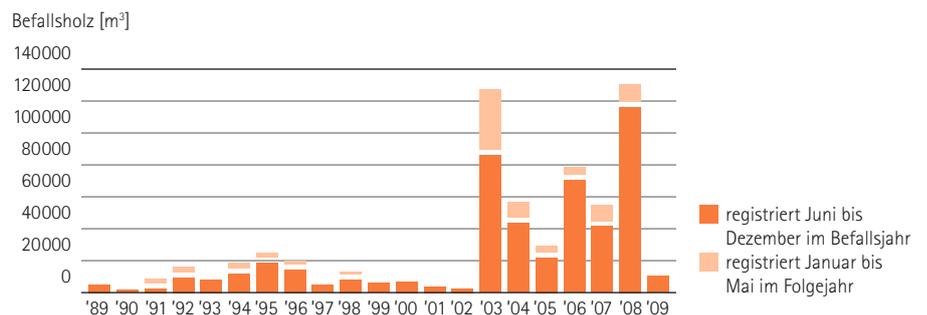
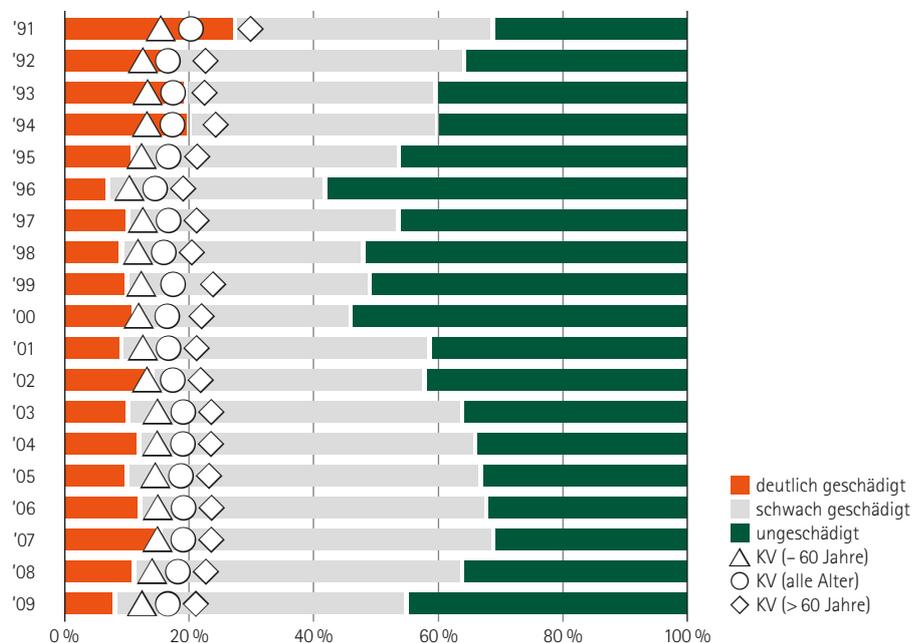


Abb. 37: Durch Buchdrucker (*Ips typographus* L.) zum Teil in Kombination mit Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus* L.) befallene Holzmenge von 1989 – 2009 (\*Angaben für 2009 auflaufender Stand bis Monat August)



Abb. 38: Nadelbräune durch Fichtennadelritzenschorf (*Lirula macrospora* [Hartig] Darker)

Abb. 39: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Kiefer von 1991 bis 2009



die Befallsentwicklung aus. Insbesondere die Anlage von Geschwisterbruten und der Folgegeneration erfolgte daher in diesem Jahr bei diesem Schädling unter ungünstigen Bedingungen. Die Tage mit optimalen Schwarmbedingungen waren begrenzt, die Fichten gut wasserversorgt und damit widerstandsfähig gegenüber dem Befall durch Borkenkäfer. Dies galt vor allem für die mittleren und höheren Lagen. Damit hatte sich im Jahresverlauf die Borkenkäfersituation entgegen den Befürchtungen deutlich entspannt, aber nicht richtig aufgelöst. Die bis Ende August registrierten Befallsmengen lagen bei weniger als einem Drittel des Niveaus aus dem „Rekordjahr“ 2008. Sie ordnen sich damit in das Niveau der Jahre 2004–2007 ein. Die Fortsetzung der bewährten „sauberen Waldwirtschaft“ sowie der intensiven Borkenkäferüberwachung und raschen Sanierung eventuell festgestellter Neubefallsherde ist nach wie vor erforderlich. Alle Waldbewirtschafter sollten die Chance, die uns die Natur in diesem Jahr bietet, nutzen, um zukünftig wieder möglichst geringe Borkenkäferdichten in unseren Wäldern zu erreichen und damit wieder steuernd und gezielt agierend und weniger reagierend die Waldbewirtschaftung durchzuführen. Dabei sollten die im letzten Waldzustandsbericht angeführten Argumente zu einem forcierten Waldumbau vor allem in den durch erwartete Klimaänderungen für die

Fichte kritischen unteren Lagen (Berglagen und Hügelland) beachtet werden, um in der künftigen Waldgeneration eine gewisse Risikoreduzierung zu erreichen.

In vielen Regionen trat in diesem Jahr eine auffällige Nadelbräune durch Fichtennadelritzenschorf (*Lirula macrospora* [Hartig] Darker) auf. Begünstigt durch die Niederschläge im Mai, befiel dieser Pilz die vorjährigen Nadeln vor allem jüngerer und mittelalter Fichten im unteren Kronenbereich. In Verbindung mit dem Neuaustrieb führte der Befall des einen Nadeljahrganges zu typischen Symptomen in Form eines Wechsels von grünen zu braunen Nadeln (vgl. Abbildung 38).

### Kiefer

Der Nadelverlust bei der Kiefer beträgt in diesem Jahr im Mittel 14,6 %. Damit bestätigt sich der Verbesserungstrend, der bereits im letzten Jahr einsetzte. Nachdem zu Beginn der 90er Jahre eine beachtenswerte Verbesserung des Kronenzustandes mit einer Zunahme der als vollständig benadelt angesehenen Bäume von 31 % (1991) auf 58 % (1996) festgestellt wurde, nahmen die Nadelverluste bis zum Jahr 2007 wieder zu. Schon im letzten Jahr stieg der Anteil der Bäume mit Nadelverlusten bis 10 % wieder auf 36 % an, was sich in diesem Jahr bis auf 45 % fortsetzte (vgl. Abbildung 39).

Zwar ist auch bei der Kiefer der Kronenzustand zwischen den Altersbereichen differenziert. Anders als bei der Baumart Fichte fanden die Veränderungen im Kronenzustand jedoch in gleichem Maße bei älteren und jüngeren Kiefern statt.

Auch 2009 fruktifizierte die Kiefer wiederum stark. An nahezu jeder zweiten Kiefer wurde ein geringer und an 40 % aller Kiefern ein mittlerer bis starker Zapfenbehang registriert. Lediglich 11 % der älteren Bäume hatten keine Zapfen (vgl. Tabelle 7, Anhang).

Im sächsischen Tiefland traten in den zurückliegenden Jahren, insbesondere an der Kiefer, wiederholt Massenvermehrungen von Schadinsekten auf. Deren Populationsdichten werden im Rahmen des Forstschutzmeldewesens kontinuierlich überwacht. Mit Ausnahme von lokal eng begrenzten Massenvermehrungen, z. B. der Rotgelben Kiefernbuschhornblattwespe (*Neodiprion sertifer* Geoffroy) in Nordostsachsen, lagen in diesem Jahr keine Hinweise vor, die eine kurzfristige Entwicklung der sogenannten „Kieferngrößschädlinge“ aus der Latenz heraus befürchten lassen. Ebenfalls lokal begrenzt traten pilzliche Schaderreger wie der Kiefern-Nadelrost (*Coleosporium sp.*), das Kiefern-Triebsterben (*Diplodia pinea* [Desm.] Kickx) und der Kieferndrehrost (*Melampsora pinitorqua* Rostrup) in Erscheinung.

### Sonstige Nadelbäume

Das Schadniveau der sonstigen Nadelbäume ist im Vergleich zur Fichte und Kiefer niedriger. Unter Berücksichtigung des Alters relativiert sich dieser Vergleich. Betrachtet man nur Bäume mit einem Alter unter 60 Jahren, so beträgt der Nadelverlust der sonstigen Nadelbäume im Mittel 11,6 % und liegt damit über dem Wert junger Fichten (8,7 %). Während bei der Hauptbaumart Fichte der Trend leicht fallend verläuft, steigt der mittlere Nadelverlust bei den sonstigen Nadelbäumen kontinuierlich an. Statistisch kann zwar die mittlere Kronenverlichtung von 15,5 % in diesem Jahr kaum vom Niveau des Vorjahres unterschieden werden. Dennoch zeigt sich ein Trend, der seit Beginn der Erhebungen mit leichten Unterbrechungen stetig leicht ansteigt. Der Anteil der Bäume, deren Nadelverlust über 25 % beträgt, befindet sich wie bereits im Jahr 1999 und im letzten Jahr auf dem Maximum des gesamten Zeitraumes von 15 % (vgl. Abbildung 40). Bei den sonstigen Nadelbäumen muss im Vergleich zu Fichte und Kiefer die stärkste Verschlechterung in diesem Jahr konstatiert werden.

Abb. 40: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der sonstigen Nadelbäume von 1991 bis 2009

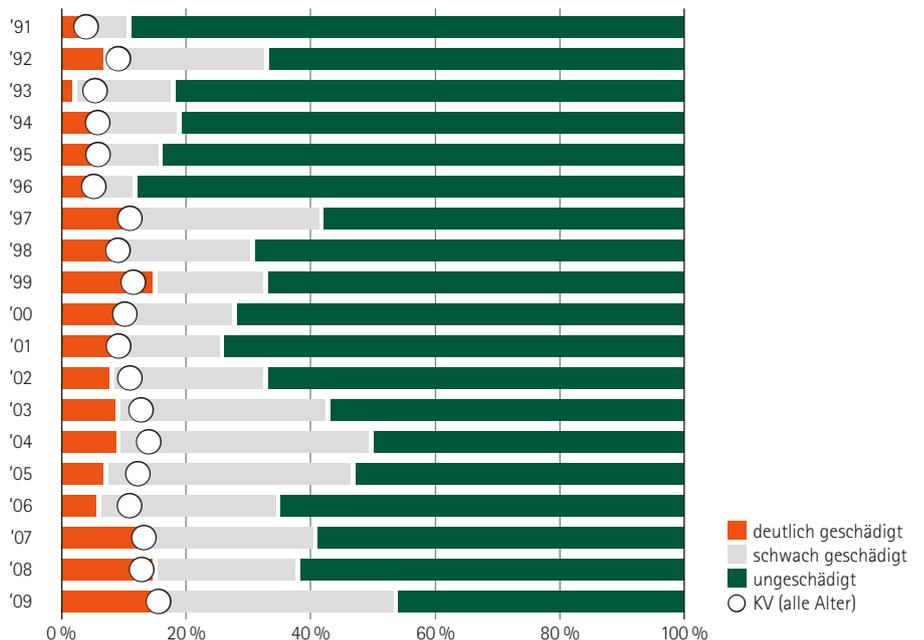


Abb. 41a: Befallsfläche von Lärchenbeständen durch Lärchenminiermotte (*Coleophora laricella* Hb.) von 1989 bis 2009

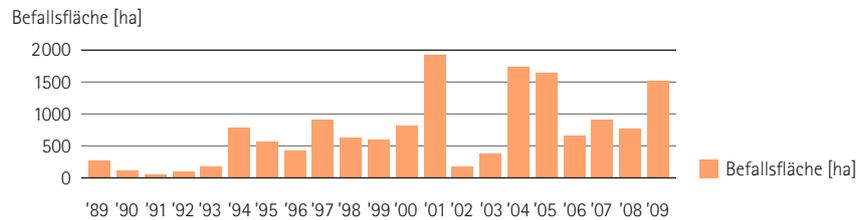
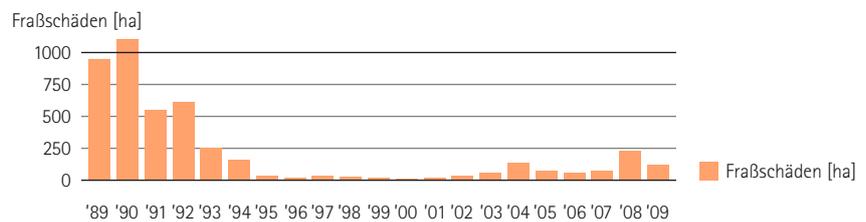


Abb. 41b: Fraßschäden in Kulturen durch den Großen Braunen Rüsselkäfer (*Hylobius abietis* L.) von 1989 bis 2009



Nach drei Jahren geringer Schäden stieg die durch die Lärchenminiermotte (*Coleophora laricella* Hb.) befallene Waldfläche wieder etwa auf das überdurchschnittliche Schadniveau der Jahre 2004 und 2005 an (vgl. Abbildung 41a). Damit war der Einfluss dieses Insekts auf den Benadelungszustand besonders im Frühjahr 2009 wieder wesentlich auffälliger als in den Vorjahren. Den betroffenen Lärchenbeständen geht beim Befall durch die Lärchenminiermotte erheblich photosynthetisch aktive Nadelmasse verloren, die den Bäumen entsprechende Vitalitätseinbußen zufügt.

Schon im letzten Jahr wurde darauf hingewiesen, dass die Schadflächen durch den Großen Braunen Rüsselkäfer (*Hylobius abietis* L.) aufgrund erheblicher Flächenzuwächse von Nadelbaumkulturen auf den durch die Stürme der Jahre 2007 und 2008 entstandenen Kahlfleichen deutlich zugenommen haben. Der Käfer frisst an der Rinde junger Forstpflanzen, vor allem von Nadelbaumarten, und schwächt damit die Pflanze. Sehr starker Fraß (Ringelung) kann zum Absterben führen. In der Vergangenheit und in einigen Ländern gilt auch heute noch diese Art als der „gefährlichste Kulturschädling“ für Nadelbaumkulturen überhaupt. Die Statistik zeigt, dass sich das Schadniveau auf einem, im Vergleich zu dem Latenzniveau von 1995 bis 2003, erhöhten Level stabilisiert. Neben temporären Einflüssen wie den Wiederaufforstungen nach „Kyrill“ und „Emma“ spiegelt die Entwicklung dieses Schädling die Waldbaustrategie wider (siehe Abbildung 41b).

In den Stechfichten- und Murraykiefernbeständen der Hoch- und Kammlagen des östlichen und mittleren Erzgebirges, die in den 80er Jahren als „Ersatzbaumarten“ für die in Folge der SO<sub>2</sub>-Immissionen abgestorbenen Fichtenbestände mit dem Ziel der Walderhaltung begründet wurden, traten in diesem Jahr intensive Schäden durch pilzliche Schaderreger auf. Das sind vor allem das Knospensterben an Stechfichte (*Gemmamyces piceae* [Borthw.] Cassagrande), das Triebsterben an Fichte (*Sirococcus conigenus* [DC.] Cannon und Minter) und der Fichtennadelrost (*Chrysomyxa abietis* [Wallr.] sowie an Murraykiefer die Scleroderris-Krankheit (*Gremmeniella abietina* [Lagerb.] Morelet). Die extremen Witterungsbedingungen in diesen Gebieten, vor allem die hohen Niederschläge und eine hohe Luftfeuchtigkeit, erhöhen die Prädisposition der nur bedingt standortsangepassten Baumarten für einen Befall durch die genannten Schaderreger. Das gleichzeitige Auftreten mehrerer Faktoren erhöht das Schadausmaß. Diese Entwicklung, die sich bereits im Vorjahr andeutete, unterstreicht, dass diese Bestockungen nur als eine „Übergangslösung“ anzusehen sind. Nach dem drastischen Rückgang der SO<sub>2</sub>-Immissionen ist hier der Waldumbau in naturnahe und standortsangepasste Bestandeszieltypen vordringlich.

### Kronenzustand an Laubbäumen

Laubbäume nehmen einen Anteil von 29,9 % der Waldfläche Sachsens ein (vgl. Tabelle 5, Anhang). Daran sind die Hauptbaumarten Eiche und Buche mit 7,4 bzw. 3,4 % beteiligt. Die Gruppe der



Abb. 42: Fraßschaden durch Lärchenminiermotte an Lärchennadeln



Abb. 43: Schäden an Stechfichte im mittleren Erzgebirge

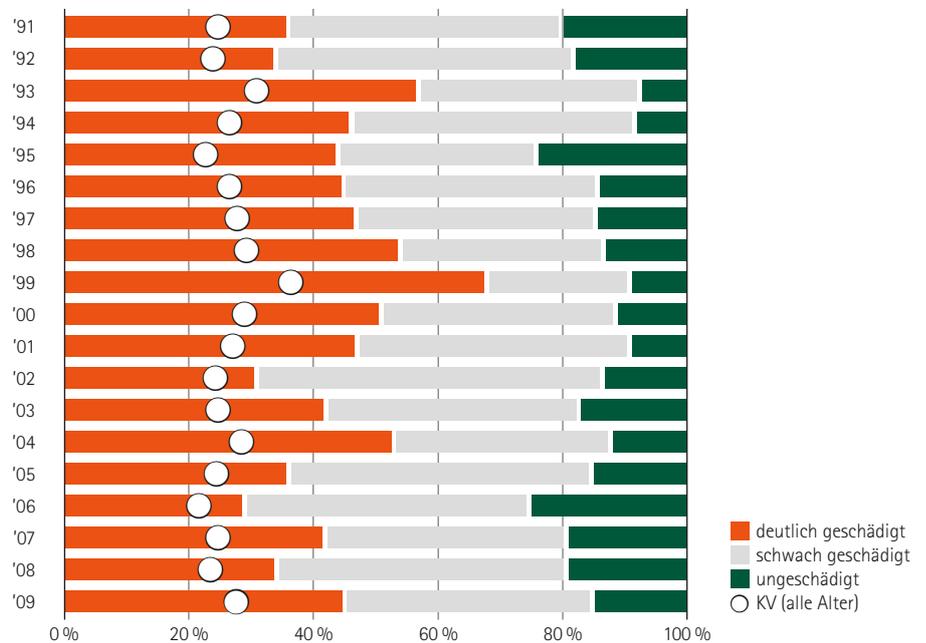


Abb. 44: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Eiche von 1991 bis 2009

sonstigen Laubbäume mit 19,1 % wird hauptsächlich von der Gemeinen Birke geprägt. Die im Rahmen der Kronenzustandsansprache festgestellten hohen Blattverluste können bei Laubbäumen nicht zwangsläufig mit einer verminderten Vitalität gleichgesetzt werden. Der jährliche Laubfall bedingt bei Laubbäumen gegenüber Nadelbäumen einen andersartigen Stoffwechsel. Die daraus resultierende intensivere Photosynthese ermöglicht einen raschen Aufbau der für den Laubaustrieb benötigten Assimilate. Darüber hinaus müssen Laubbäume jedoch auch genügend Reservestoffe für die Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen im Winter bilden. Diese werden in den lebenden Zellen im Holz und in der Rinde gespeichert. In der Regel reicht dieser Vorrat an Reservestoffen sogar für einen wiederholten Laubaustrieb nach partiellem bis vollständigem Blattverlust durch Insektenfraß oder Frostschäden.

### Eiche

Die Eiche (Stiel- und Traubeneiche) zeichnet eine hohe Varianz in der Belaubung aus. So kennzeichnet diese Baumart einerseits eine zum Teil vom Baum selbst ausgelöste rasche Entlaubung über Zweigabsprünge, andererseits aber auch eine ausgeprägte Regenerationsfähigkeit durch die Bildung von Sekundärtrieben. Die Zeitreihe der WZE bei den Eichenarten wird

infolgedessen von einer hohen Varianz der Anteile mit deutlichem Blattverlust und/oder Verfärbungen und sich wiederholenden Perioden zu- und abnehmender mittlerer Blattverluste charakterisiert.

Die geringsten mittleren Blattverluste mit Werten um 22 % wurden in den Jahren 1995 und 2006 registriert, die Maxima traten mit 36 % im Jahr 1999 und 31 % im Jahr 1993 auf. In diesem Jahr stieg der mittlere Blattverlust wiederum um 4 Prozentpunkte auf 27,6 % an. Bezogen auf die Anteile mit deutlichen Blattverlusten und/oder Verfärbungen muss nach dem Rückgang von 42 % im Jahr 2007 auf 34 % im vergangenen Jahr ein neuerlicher Anstieg auf 45 % konstatiert werden. Dieser Anstieg um 11 Prozentpunkte liegt in vergleichbarer Größenordnung wie die Veränderungen von 2006 auf 2007 (vgl. Abbildung 44).

Während die Verschlechterung des Belaubungszustandes der Eichen in den Jahren 2003 und 2006 auf die in diesen Jahren aufgetretenen ausgedehnten Trockenperioden zurückgeführt werden konnte, sind in diesem Jahr andere Faktoren hierfür verantwortlich.

In erster Linie können hierfür biotische Einflussfaktoren wie eine hohe Fruktifikationsrate oder der Befall durch Blattpilze vermutet werden. Mit Blick auf die in den meisten Fällen unvollständige Blattentfaltung an den sehr



Abb. 45a: Eichenmehltaubefall (*Microsphaera alphitoides* Griff. und Maubl.) auf Eichenblättern

langen und häufigen Johannistrieben des Jahres 2009 müssen hier aber auch Erschwernisse bei der Kronenansprache angeführt werden. In diesem Jahr trugen zwei Drittel der Eichen Früchte. Etwa 18 % dieser Eichen wiesen darüber hinaus einen mittleren bis starken Fruchtanhang auf. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Fruktifikation der Eichen während der Bonitierung im Sommer tendenziell unterschätzt wird. Dies liegt daran, dass die Früchte noch verhältnismäßig klein und somit auch mit dem Fernglas schlecht erkennbar sind.

Die routinemäßigen, über das Forstschutzkontrollbuch erfassten Fraßschäden durch die sogenannte „Eichenfraßgesellschaft“ (Eichenwickler [*Tortrix viridana* L.], Schwammspinner [*Lymantria dispar* L.] und Frostspanner-*Operophthera* sp. bzw. *Erannis* sp.) beliefen sich 2009 landesweit auf etwa 440 ha. Das Flächenausmaß einer physiologisch wirksamen Beeinflussung durch Fraßschäden war gering und beeinflusste den Belaubungszustand nicht nennenswert.

In diesem Jahr sind, begünstigt durch den feuchten Sommer, pilzliche Schäden stärker in Erscheinung getreten. Hervorzuheben ist dabei in erster Linie der Eichenmehltau (*Microsphaera alphitoides* Griff. und Maubl.), der vor allem die Johannestriebe befällt und im Rahmen der Waldschutzüberwachung landesweit mit knapp 300 ha Befallsfläche in diesem Jahr gemeldet wurde.

## Buche

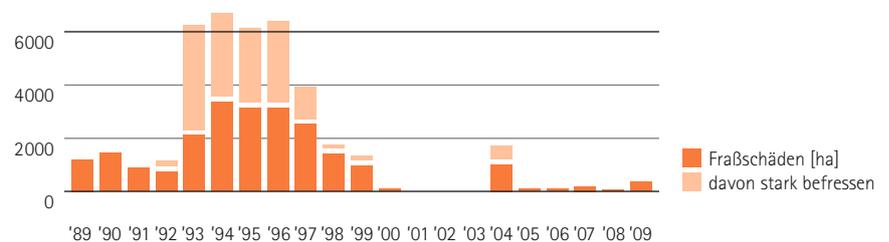
Mit zunehmendem Alter verschiebt sich bei Bäumen die Relation von produzierender Biomasse (grüne Blätter) zu verbrauchender Biomasse (Holzmasse in Stamm und Zweigen), womit gewisse Vitalitätseinbußen und aufwändigere Reaktionsmechanismen verbunden sind.

Die Rotbuche ist im Vergleich zu den anderen Baumarten die Baumart mit dem höchsten Durchschnittsalter in der Stichprobe. Aus diesem Grund reagierte sie besonders stark auf das extreme Trockenjahr 2003. Im darauf folgenden Jahr 2004 erreichte die mittlere Kronenverlichtung ihr bisheriges Maximum. Seit dieser Zeit setzte eine gewisse Erholung ein, die vor allem durch die geringe Fruchtbildung 2005 und 2008 positiv beeinflusst wurde.

Im Jahr 2009 war wieder eine erhebliche Zunahme der mittleren Blattverluste wie auch des Anteils deutlich geschädigter Bäume festzustellen (vgl. Abbildung 46). Beide Werte erreichen in diesem Jahr neue Maxima, die geringfügig über den hohen Werten aus dem Jahr 2004 liegen.

Einerseits vermögen die Buchen die durch die Trockenperioden im Sommer 2003 und 2006 erlittenen Kronenschäden nur schwer auszugleichen, andererseits verstärken die bereits im Sommer 2008 angelegten Blütenknospen die schlechte Belaubungssituation in diesem Jahr. Intensiv blühende Buchen treiben weniger Blätter aus, da die Anlage von Blüten- und

Fraßschäden [ha] – Eichenwickler



Fraßschäden [ha] – Frostspanner

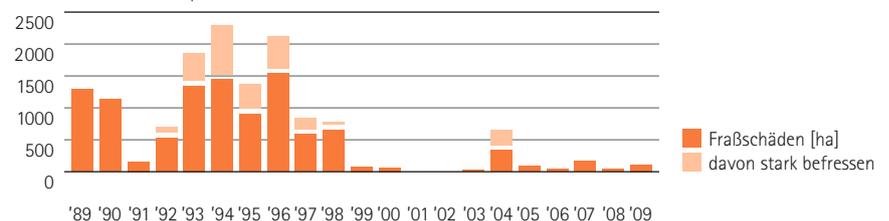
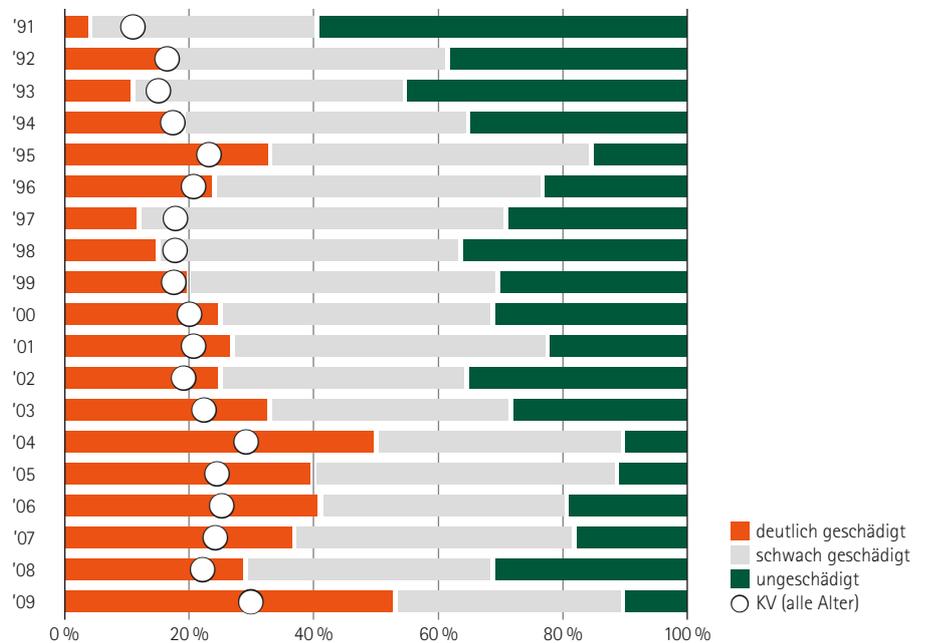


Abb. 45b: Befallsflächen [ha] durch Eichenwickler (*Tortrix viridana* L.; oben) und Frostspanner (*Operophthera* sp. bzw. *Erannis* sp.; unten) 1989 bis 2009

Abb. 46: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Buche von 1991 bis 2009



Blattknospen einander ausschließen. Zusätzlich erfordert die Ausbildung der schwersamigen und nährstoffreichen Bucheckern enorme Stoffmobilisierungen durch den Baum. Der Fruchtbehang 2009 erreichte in der Summe wieder die gleiche Ausprägung wie schon 2006 (vgl. Abbildung 47).

### Sonstige Laubbäume

Die Gruppe der sonstigen Laubbäume wird mit einem Anteil von mehr als 50 % von der Birke dominiert. Daneben treten die beiden heimischen Ahornarten, Gemeine Esche, Hainbuche, Winterlinde, Rot-Eiche, Rot-Erle, Eberesche, Pappeln und Aspe in der Stichprobe häufiger auf.

Der Schädigungsgrad der Baumartengruppe weist mit einer relativ hohen Schwankung der jährlichen Schadeinstufung über den Gesamtzeitraum hinweg eine leicht steigende Tendenz der mittleren Kronenverlichtung auf.

Seit dem Jahr 2004 ist zudem eine überdurchschnittlich hohe Mortalität in der Gruppe der sonstigen Laubbäume zu verzeichnen. Als kurzlebige Baumarten haben die in dieser Baumartengruppe dominierenden Birken und Aspen ihr physiologisches Optimum bereits überschritten. So ist es nur allzu natürlich, dass selbst Bäume mit einer hohen Standortstoleranz mit zunehmendem Alter auf die sommerlichen Trockenphasen kaum noch reagieren können. Diese Fähigkeit ist insbesondere in

Abb. 47: Fruktifikation der älteren (über 60-jährigen) Buchen von 1991 bis 2009

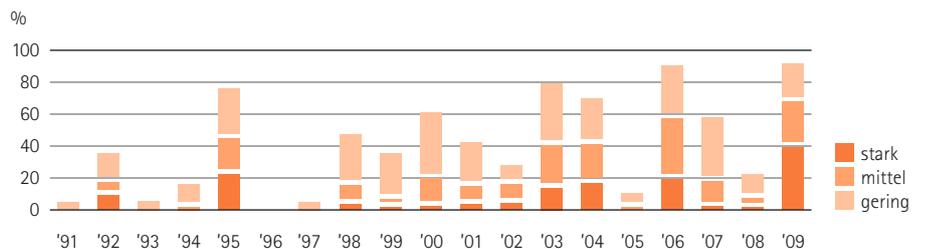


Abb. 48: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der sonstigen Laubbäume von 1991 bis 2009

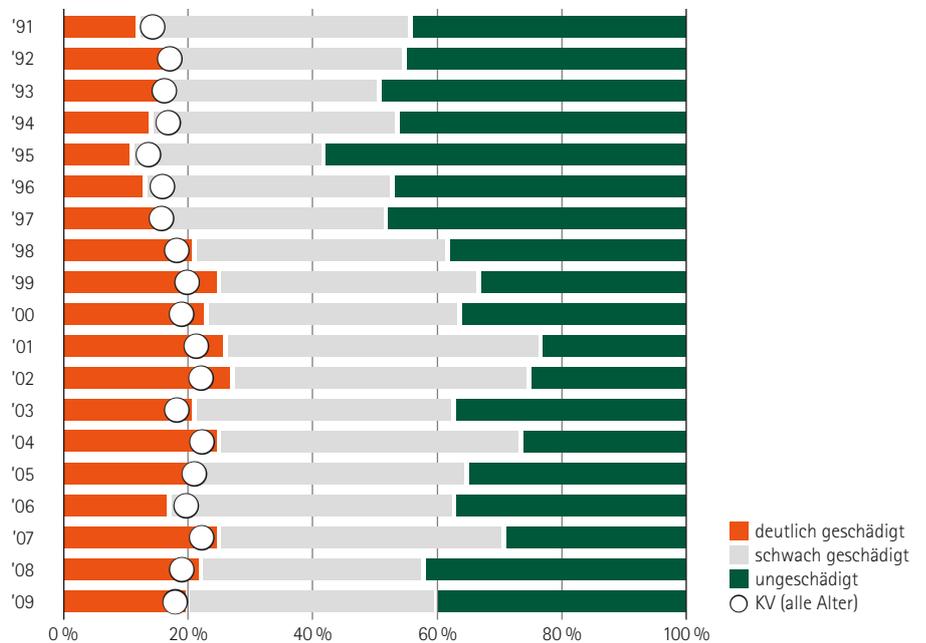


Abb. 49: Neuartiges Eschentriebsterben (*Chalara fraxinea* T. Kowalski sp. nov.)

den von wiederholten Trockenperioden gekennzeichneten Wuchsgebieten im sächsischen Tief- und Hügelland von Bedeutung, wo mehr als drei Viertel der sonstigen Laubbäume stocken.

Im Vergleich zum Vorjahr blieb der mittlere Blattverlust nahezu unverändert bei 18,7 %. Gleichzeitig hat die Gruppe der Bäume mit leichten Schäden um 4 Prozentpunkte auf 40 % zu Lasten der Bäume ohne sichtbare Kronenverlichtungen und der deutlich geschädigten Bäume zugenommen (vgl. Abbildung 48).

Die hohen Blattverluste und Mortalitätsraten traten bei den sonstigen Laubbäumen somit immer unmittelbar nach den Trockenjahren auf. Das Jahr 2009 stellte für diese Arten eine Erholungsphase dar. Verschiedene Baumarten dieser Gruppe fielen durch hohe Fruktifikationsraten auf.

Wie auch in anderen Bundesländern war im Jahr 2009 in sächsischen Eschenbeständen unterschiedlichen Alters das Auftreten des neuartigen Eschentriebsterbens auffällig. Der Kleinpilz *Chalara fraxinea* T. Kowalski sp. nov., der wahrscheinlich eine wesentliche Rolle bei dieser Krankheit spielt, wurde an einer Vielzahl von Proben aus verschiedenen Landesteilen nachgewiesen. An älteren Eschen sind Verbuschungen typische Schadsymptome. An jungen Bäumen kann das Verwelken von Trieben bis zum Absterben der gesamten Pflanze führen. Aufgrund des relativ geringen Flächenanteils dieser Baumart in den Wäldern traten die Schäden bislang auch nur lokal in Erscheinung.

# Tabellarische Übersichten

Tab. 4: Herleitung der kombinierten Schadstufe aus Kronenverlichtung und Vergilbung

Kronen- verlichtung [%]	Anteil vergilbter Nadeln/Blätter [%]			
	0-10	11-25	26-60	61-100
0-10	0	0	1	2
11-25	1	1	2	2
26-60	2	2	3	3
61-99	3	3	3	3
100	4	-	-	-

0 = ohne Schadmerkmale

1 = schwach geschädigt

2 = mittelstark geschädigt

3 = stark geschädigt

4 = abgestorben

} deutlich geschädigt

Tab. 5: Baumarten- und Altersklassenverteilung der Stichprobenbäume im 4x4-km-Raster (entspricht 283 Stichprobenpunkten bzw. 6.792 Bäumen; Angaben in %)

Baumart/ Baumartengruppe	Aktuelle Verteilung*	Stich- probe	Altersklasse					
			bis 20	21-40	41-60	61-80	80-100	>100
Buche	3,4	3	0	1	19	19	12	48
Eiche	7,4	5	0	12	19	11	9	49
Fichte	34,6	42	1	18	20	14	22	24
Kiefer	30,0	31	7	13	35	16	15	15
sonstige Laubbäume	19,1	14	9	18	29	29	7	9
sonstige Nadelbäume	3,6	5	5	58	19	9	4	5
<b>alle Baumarten</b>	<b>(98,1+1,9 Blößen)</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>20</b>

\*BW12 = Bundeswaldinventur II

Tab. 6: Schadstufenverteilung nach Baumarten/Baumartengruppen (Angaben in %)

Baumart / Baumartengruppe	Schadstufe				
	0 ohne Schadmerkmale	1 schwach geschädigt	2 mittelstark geschädigt	3 und 4 stark geschädigt/ abgestorben	2-4 deutlich geschädigt
Fichte	45	35	19	1	20
bis 60 Jahre	75	19	5	1	6
über 60 Jahre	24	46	28	2	30
Kiefer	45	47	8	0	8
bis 60 Jahre	55	40	5	0	5
über 60 Jahre	34	55	10	1	11
sonstige Nadelbäume	46	39	14	1	15
Nadelbäume	45	40	14	1	15
Buche*1	10	37	50	3	53
Eiche	15	40	43	2	45
sonstige Laubbäume	40	40	18	2	20
Laubbäume	31	39	28	2	30
alle Baumarten	42	40	17	1	18
bis 60 Jahre	60	31	8	1	9
über 60 Jahre	25	48	26	1	27

\*1 keine gesicherte Aussage, \*2 Fläche ohne Nichtholzboden

Tab. 7: Häufigkeit (%) des Auftretens von Nadel-/Blattvergilbungen nach Intensitätsstufen, Insekten- und Pilzbefall nach Intensitätsstufen und Blüte/Fruktifikation nach Intensitätsstufen

Baumart/ Baumartengruppe	Anteil vergilbter Nadeln/Blätter			Insektenbefall/ Pilzbefall			Blüte bzw. Fruktifikation alle Alter/über 60 Jahre		
	11-25 %	26-60 %	> 60 %	gering	mittel	stark	gering	mittel	stark
Fichte	0	1	0	1/0	0/0	0/0	39/47	16/20	3/3
Kiefer	1	0	0	1/0	0/0	0/0	49/49	28/36	3/3
sonstige Nadelbäume	1	1	0	9/0	0/0	0/0	27/37	18/34	8/14
Buche	0	0	0	9/1	2/0	0/0	20/21	25/30	34/41
Eiche	0	0	0	16/5	1/1	0/0	39/47	12/16	1/2
sonstige Laubbäume	6	1	0	7/1	0/0	0/0	19/27	10/13	10/15
alle Baumarten	1	0	0	3/1	0/0	0/0	39/44	19/24	5/6

Tab. 8: Baumartenverteilung der Stichprobe in den Wuchsgebieten (Angaben in %)

Wuchsgebiet		Gesamt	-60	>60	Fichte	Kiefer	sonstige Nadelbäume	Buche	Eiche	sonstige Laubbäume
14*	Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland	29	53	47	3	81	0	0	3	12
15*	Düben-Niederlausitzer Altmoränenland									
23*	Sachsen-Anhaltinische Löss-Ebenen	3	29	71	0	0	5	0	26	69
24*	Leipziger Sandlöss-Ebene									
25*	Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland	6	43	57	15	18	5	1	19	41
26*	Erzgebirgsvorland	2	71	29	64	1	13	1	13	9
27	Westlausitzer Platte und Elbtalzone	10	56	44	22	33	1	7	15	23
28	Lausitzer Löss-Hügelland									
44*	Vogtland	5	48	53	70	11	4	1	4	9
45	Erzgebirge	33	40	60	84	2	5	3	1	5
46	Elbsandsteingebirge	11	47	53	49	19	16	6	1	9
47	Oberlausitzer Bergland									
48	Zittauer Gebirge									
<b>Sachsen</b>		<b>100</b>	<b>48</b>	<b>52</b>	<b>42</b>	<b>31</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>14</b>

\* Wuchsgebiet erstreckt sich über mehrere Bundesländer; betrachtet wird der sächsische Teil

Tab. 9: Schadstufenverteilung in den Wuchsgebieten (Angaben in %)

Wuchsgebiet		Baumart/Alter	Schadstufen		
			0	1	2 bis 4
14*	Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland	alle	46	46	8
15*	Düben-Niederlausitzer Altmoränenland	Kiefer	49	46	5
23*	Sachsen-Anhaltinische Löss-Ebenen	keine Aussage möglich			
24*	Leipziger Sandlöss-Ebene	keine Aussage möglich			
25*	Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland	alle	28	41	31
26*	Erzgebirgsvorland	keine Aussage möglich			
27	Westlausitzer Platte und Elbtalzone	alle	43	37	20
28	Lausitzer Löss-Hügelland				
44*	Vogtland	alle	46	44	10
		Fichte	47	43	10
45	Erzgebirge	Fichte	47	34	19
		bis 60 Jahre	81	14	5
		über 60 Jahre	26	47	27
		alle	45	35	20
		bis 60 Jahre	77	16	7
über 60 Jahre	24	47	29		
46	Elbsandsteingebirge	alle	23	42	35
47	Oberlausitzer Bergland				
48	Zittauer Gebirge				
<b>Sachsen</b>			<b>42</b>	<b>40</b>	<b>18</b>

\* Wuchsgebiet erstreckt sich über mehrere Bundesländer; hier sächsischer Teil

Tab. 10a–h: Jährliche Raten des Stoffeintrags in Kilogramm pro Hektar mit der modellierten Gesamtdeposition in die Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen Sachsen in den Jahren 1999 bis 2008

**a) Fläche Klingenthal**

Jahr	H	K	Ca	Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>
1999	2,74	1,96	4,27	0,93	6,88	19,76	13,05	13,28	17,21
2000	1,42	2,62	3,00	0,74	5,26	14,05	11,88	10,11	13,05
2001	1,64	3,46	3,17	0,72	5,04	13,92	10,74	11,95	14,46
2002	2,07	3,53	6,17	2,01	4,59	14,34	11,97	15,57	13,73
2003	1,31	20,54	3,21	1,04	4,76	15,60	19,95	10,37	10,11
2004	1,55	27,01	3,71	1,04	6,00	11,24	22,25	9,66	11,22
2005	1,06	19,55	4,44	1,38	4,11	7,46	19,15	12,11	8,81
2006	1,47	18,25	4,79	1,54	4,67	15,35	25,81	10,47	9,21
2007	1,14	3,47	5,25	1,45	7,92	12,12	14,90	11,92	9,66
2008	1,07	3,02	3,71	1,10	5,20	8,84	10,54	10,95	6,93

**b) Fläche Olbernhau**

Jahr	H	K	Ca	Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>
1999	1,80	3,03	4,07	0,81	6,19	13,39	10,83	10,45	17,91
2000	2,36	4,77	4,08	1,07	9,01	15,85	17,90	16,50	24,43
2001	2,89	7,51	16,12	7,52	7,79	17,80	17,22	17,26	24,18
2002	2,68	4,67	9,04	3,75	6,33	28,74	11,48	16,00	26,47
2003	2,03	3,93	5,00	1,48	5,72	21,87	12,69	13,72	18,13
2004	1,59	4,14	8,10	2,54	8,22	13,72	16,42	12,52	16,47
2005	1,89	3,67	4,86	1,37	6,04	15,44	12,10	14,38	15,83
2006	1,63	5,82	5,61	1,61	5,80	15,60	14,15	13,05	14,64
2007	1,61	3,85	5,54	1,80	9,64	16,01	20,70	12,95	16,16
2008	1,54	3,47	5,98	1,52	7,53	11,87	13,62	13,34	15,66

**c) Fläche Cunnersdorf**

Jahr	H	K	Ca	Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>
1999	1,84	1,53	3,60	0,71	4,98	12,06	9,06	9,83	19,74
2000	1,77	1,85	2,80	0,60	4,86	12,01	10,22	10,46	16,35
2001	2,01	2,76	3,34	0,65	4,72	13,91	9,87	11,63	21,89
2002	1,58	2,23	4,94	1,02	3,92	12,64	8,00	10,18	17,06
2003	1,82	4,30	4,14	1,08	3,09	17,54	8,16	10,51	13,59
2004	1,62	3,56	5,13	1,18	5,41	14,92	12,56	9,72	18,20
2005	1,53	2,48	4,44	1,35	4,35	12,79	10,53	11,71	16,24
2006	1,72	2,62	4,04	0,93	4,12	14,39	10,94	11,49	18,19
2007	1,61	2,40	3,64	1,08	6,53	14,66	15,10	10,20	15,53
2008	1,26	4,05	5,42	1,24	5,20	10,53	9,42	9,53	16,64

**d) Fläche Bautzen**

Jahr	H	K	Ca	Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>
1999	2,31	3,99	4,12	0,93	5,99	18,47	12,67	14,49	21,93
2000	2,01	4,90	3,25	0,72	6,63	18,49	13,91	15,08	17,33
2001	2,62	7,37	3,83	0,74	7,31	25,18	15,60	16,16	23,18
2002	1,85	4,62	4,47	0,88	5,60	21,25	12,06	13,04	15,31
2003	1,60	4,73	4,52	1,11	4,13	16,95	11,27	12,59	14,03
2004	1,66	5,33	5,26	1,36	6,15	17,08	15,40	11,24	14,65
2005	1,71	2,64	3,91	1,07	5,23	17,87	12,55	13,79	14,57
2006	1,72	6,04	5,05	1,27	4,56	19,53	12,71	13,02	14,40
2007	1,67	4,77	4,74	1,60	7,58	21,34	16,75	12,79	14,40
2008	1,63	4,85	8,77	2,84	6,03	19,54	13,04	15,50	14,48

**e) Fläche Laußnitz**

Jahr	H	K	Ca	Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>
1999	1,47	1,96	3,00	0,63	3,83	9,38	7,31	8,32	10,10
2000	0,95	1,69	2,77	0,61	4,03	10,67	7,92	8,07	7,75
2001	1,01	1,75	2,19	0,49	3,75	9,45	8,01	8,43	8,04
2002	0,87	2,15	2,78	0,55	3,21	8,70	6,61	6,94	7,48
2003	0,81	2,36	4,64	0,79	2,66	9,26	5,87	7,68	5,78
2004	0,97	1,79	3,63	0,74	3,87	11,70	8,14	8,12	6,61
2005	0,84	1,42	2,49	0,76	4,04	11,25	8,59	7,69	6,14
2006	0,84	1,95	2,83	0,70	3,09	9,04	7,42	7,87	5,45
2007	0,80	2,27	3,81	0,95	5,18	11,34	10,84	7,30	6,01
2008	0,92	3,14	4,36	0,93	4,10	12,35	7,96	7,65	5,77

**f) Fläche Colditz**

Jahr	H	K	Ca	Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>
1999	1,50	1,70	2,38	0,41	2,88	12,85	6,63	9,28	9,72
2000	0,85	1,76	2,36	0,40	2,40	7,98	5,60	6,55	6,29
2001	0,91	2,86	2,22	0,45	2,57	7,73	5,45	7,28	6,59
2002	1,20	1,87	2,94	0,42	2,17	13,08	4,80	8,47	7,57
2003	0,78	2,98	3,18	0,62	2,02	10,07	4,81	5,77	5,54
2004	0,80	2,54	3,26	0,65	2,72	9,43	6,48	5,94	6,87
2005	1,12	1,97	2,98	0,65	2,87	5,86	7,04	8,99	5,85
2006	0,67	2,58	2,67	0,55	2,31	9,10	6,64	4,77	5,36
2007	0,69	2,14	2,98	0,70	3,64	9,66	8,25	4,82	6,22
2008	1,18	2,47	3,42	0,61	2,72	16,12	6,68	11,10	6,15

**g) Fläche Bad Schandau**

Jahr	H	K	Ca	Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>
1999	0,77	1,32	2,62	0,54	3,29	6,80	10,52	5,99	9,10
2000	0,76	1,91	1,56	0,35	2,70	6,15	5,29	6,38	6,42
2001	1,04	1,78	1,80	0,48	3,24	9,46	7,22	9,21	8,61
2002	1,22	1,38	1,69	0,33	2,47	8,31	4,85	7,65	7,43
2003	0,89	2,04	1,60	0,39	2,84	7,43	4,37	6,61	5,00
2004	1,49	2,70	2,41	0,57	3,19	10,42	6,12	7,79	7,34
2005	1,03	1,57	1,88	0,45	3,04	5,12	6,27	9,03	6,90
2006	0,80	2,09	1,97	0,58	2,31	7,72	5,54	5,69	5,88
2007	0,83	1,67	1,98	0,65	4,35	9,20	8,58	5,45	7,36
2008	0,64	1,85	2,08	0,49	2,89	5,28	5,27	9,21	6,11

**h) Fläche Altenberg**

Jahr	H	K	Ca	Mg	Na	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>
2001	2,02	3,19	7,95	1,99	5,25	15,51	10,67	13,05	18,87
2002	2,32	2,33	5,64	1,64	4,28	19,45	8,69	10,54	16,69
2003	2,14	2,98	4,18	1,32	3,62	15,91	9,76	10,08	13,71
2004	2,33	3,72	6,39	1,59	5,62	12,58	12,59	9,90	15,27
2005	1,80	4,14	3,60	1,01	4,78	12,52	10,71	11,38	13,35
2006	1,54	3,15	4,38	1,12	4,10	13,21	11,17	8,94	11,59
2007	1,88	4,42	4,26	1,29	6,19	16,90	13,50	8,36	11,14
2008	1,37	2,16	4,30	0,99	4,98	10,21	10,43	10,57	11,77

# Literaturverzeichnis

- [1] AD-HOC AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5. Auflage, Hannover.
- [2] BECKER, R.; SCHIMMING, C.G.; SPRANGER, T.; WELLBROCK, N. (2000): Critical Loads für Waldökosysteme – Methoden und Ergebnisse für Standorte des Level-II-Programms. 71 S. – BMELF, Bonn.
- [3] BOLTE, A.; WELLBROCK, N.; LUX, W.; STRICH, S.; STEINHAUSER, D. (2008): Waldmonitoring und Umweltpolitik: forstliches Umweltmonitoring zur internationalen Berichterstattung. AFZ – Der Wald, 63 (17), S. 921-923.
- [4] ELLENBERG, H.; WEBER, H. E.; DÜLL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W.; PAULIBEN, D. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica, Volume 18; Lehrstuhl für Geobotanik der Universität Göttingen. Göttingen: Erich Goltzke KG.
- [5] FRITZ, H.; ABIY, M.; MAKESCHIN, F. (2008): Einfluss von Industrieemissionen auf bodenchemische Kennwerte der Waldböden der Dübener Heide. In: Forst und Holz, Jg. 63, H. 7/8, S. 18.
- [6] GEHRMANN, J.; ANDREAE, H.; FISCHER, U.; LUX, W.; SPRANGER, T. (2001): Luftqualität und atmosphärische Stoffeinträge an Level-II-Dauerbeobachtungsflächen in Deutschland. – 94 S.; BMELF, Bonn.
- [7] GEROLD, D.; SCHULTZE, B.; RÖHLE, H., SCHERZER J. 2008: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Dynamik von Leitwaldgesellschaften im Klimawandel – Teilvorhaben: Referenzdatenerweiterung Leitwaldgesellschaften und Qualifizierung von Vitalität und Leistungsfähigkeit der Hauptbaumarten“ (Konzeption des Forschungsvorhabens Staatsbetrieb Sachsenforst; Auftraggeber: Freistaat Sachsen LfL) 130 S.
- [8] GRYSCHKO, R.; HORLACHER, D. (1996): Bodenversauerung – Ursachen, Auswirkungen, Maßnahmen – Literaturstudie. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Texte und Berichte zum Bodenschutz Bd. 3b/96, Karlsruhe.
- [9] KRAMER, W.; ANDREAE, H. (2009): Forstliche Bodenschutzkalkung in Sachsen – Kalkungsvollzug 1986 – 2004 digital erfasst. Tagungsband 3. Sächsisch-Thüringische Bodenschutztagung, S. 138; Erfurt.
- [10] LEUBE, F. (2000): Leitfaden Forstliche Bodenschutzkalkung in Sachsen. In: Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 21, 2000, Graupa.
- [11] MELLERT, K.; WEIS, W.; RÜCKER, G. (2007) Ermittlung der (potenziell) zu erwartenden Signalstärke von Bodenveränderungen – Grundlagen für die Bewertung und Interpretation von Ergebnissen der BZE II. – Literaturstudie im Auftrag der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH). 93 S.; Eberswalde.
- [12] NAGEL, D.; GREGOR, H. D. HRSG. (1999): Ökologische Belastungsgrenzen - Critical Loads & Levels: Ein internationales Konzept für Luftreinhaltungspolitik. Berlin – Heidelberg: Springer.
- [13] RABEN, G.; ANDREAE, H.; KARST, H.; SYMOSSEK, F.; LEUBE, F. (2000): Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (1992–1997), Schriftenreihe der Landesanstalt für Forsten, Heft 20, 200 S.; Graupa.
- [14] RABEN, G.; ANDREAE, H.; KARST, H.; SYMOSSEK, F.; LEUBE, F. (2004): Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (1992–1997), Schriftenreihe des Landesforstpräsidiums, Heft 28, 64 S.; Graupa.
- [15] RIEK, W. (2009): Erste Ergebnisse der Bodenzustandserhebung (BZE-2) in Brandenburg. In: Eberswalder Forstliche Schriftenreihe: Wissenstransfer für die Praxis – Beiträge zum 4. Winterkolloquium am 26. Februar 2009 in Eberswalde, S. 6–13.
- [16] RÖHLE, H. 1997: Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayerischen Fichtenbeständen, AFJZ 168 (6/7), S. 110–114.
- [17] RÖHLE H.; GEROLD, D. 2009: Klima-Zuwachsbeziehungen für die Hauptbaumarten in Sachsen. In: Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 82, S. 197–210, (Berichtsband zum Kolloquium des Arbeitskreises „Waldböden“ der DBG und der Sektion „Wald und Wasser“ im DVFFA in Freiburg vom 24. bis 25. April 2008).
- [18] WEIS, W. (2006): Versauerungstendenzen bei Fichte und Buche am Standort Höglwald. 10. Statusseminar des Kuratoriums für Forstliche Forschung am 11.05.2006, Freising-Weihenstephan.
- [19] WOLFF, B.; RIEK, W. (1997): Deutscher Waldbodenbericht 1996 – Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung in Wald (BZE) 1987 – 1993, Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, Band 1 u. 2.
- [20] ZWEIG, M.; BUFE, J.; ANDREAE, H.: Diffuse Belastung von Grundwasserkörpern in Sachsen. In: Wasserwirtschaft, Vol. 96, No. 6. 2006, S. 20–25.

# Glossar

## **Critical Loads**

sind Grenzwerte bzw. kritische Belastungsgrenzen, bei deren Überschreitungen negative Veränderungen an verschiedenen Ökosystemen auftreten können.

## **Feldkapazität**

ist diejenige Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden nach 3 bis 4 Tagen noch gegen die Schwerkraft halten kann.

## **Forstliche Vegetationszeit**

Zeitraum mit einer Tagesmitteltemperatur  $> 10\text{ °C}$ . Beginn und Ende ergeben sich, wenn das gleitende Mittel (7-Tages-Periode) der mittleren Tagestemperatur über  $5\text{ Tage}$  in Folge über bzw. unter  $10\text{ °C}$  liegt. Die Dauer der Vegetationszeit eines Ortes ist stark von seiner Höhenlage abhängig. (In der Literatur wird auch der Zeitraum Mai bis September als Forstliche Vegetationszeit bezeichnet. In diesem Fall bleiben aber die realen höhenlagenabhängigen Unterschiede unberücksichtigt.)

## **Klimatische Wasserbilanz**

Differenz aus realem Niederschlag und der potenziellen Verdunstung (d.h. der Verdunstung, die ohne Wassermangel stattfinden würde) für einen zu betrachtenden Zeitabschnitt. Als Referenzverdunstung wird standardmäßig die Verdunstung über Gras genutzt. Ist die klimatische Wasserbilanz negativ, verliert der Boden an Feuchtigkeit, ist sie positiv, kann Versickerung oder Abfluss stattfinden.

## **Klimatische Wasserbilanz pro Vegetationsmonat**

Zugrunde gelegt wird die Klimatische Wasserbilanz (KWB) der gesamten forstlichen Vegetationszeit (VZ). Dieser Wert wird auf einen Zeitraum von 30 Tagen normiert, als über alle Tage summierter Wert  $[ = \text{KWB in der ges. VZ} / \text{ges. Dauer VZ} * 30]$ .

## **Kronenraumbilanz**

ist die Differenz aus Bestandesniederschlag und Gesamtd deposition für ein bestimmtes chemisches Element. (Ist die Kronenraumbilanz positiv, liegt eine Quellfunktion der Krone vor [Ionen werden abgegeben, z. B. durch Blattauswaschung und Auflösung von Festpartikeln]. Eine negative Kronenraumbilanz liegt vor, wenn die Krone Ionen aufnimmt oder Säureionen abpuffert.)

## **Latenz**

(lat.: latens = verborgen) zeitweiliges Verborgensein

## **Lockersediment**

Sedimente und Sedimentgesteine, auch Ablagerungsgesteine oder Schichtgesteine, entstehen durch Sedimentation, also die Ablagerung von Bodenmaterial an Land und im Meer. Zur Unterscheidung werden unverfestigte Sedimente (Sande, Löss) Lockersediment genannt, während verfestigte Sedimente (z. B. Sandsteine) Sedimentgesteine genannt werden.

## **Löss**

Löss oder Löß (ö lang gesprochen) ist ein durch Wind herbeigetragenes Sediment, das aus abgelagertem Feinmaterial – vor allem aus Schluff – besteht.

## **Magmatit**

Magmatische Gesteine oder Magmatite (Erstarrungsgesteine) sind Gesteine, die durch Kristallisation aus Magma (glutflüssiger Gesteinsschmelze) entstanden sind.

## **Metamorphit**

Metamorphe Gesteine oder kurz Metamorphite entstehen aus Gesteinen beliebigen Typs durch die Anpassung an eine veränderte Druck- und Temperaturumgebung innerhalb der Erdkruste.

## **Nutzbare Feldkapazität**

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) eines Bodens ist die Wassermenge, die ein Boden nach ausrei-

chender Befeuchtung gegen die Schwerkraft zurückhalten kann und damit für die Vegetation verfügbar ist.

### **Ökologische Valenz**

beschreibt die Wertigkeit eines Umweltfaktors, der auf einen Organismus einwirkt

### **Pleistozän**

Das Pleistozän (früher auch Diluvium, manchmal auch Eiszeitalter genannt) bezeichnet in der Geologie die erdgeschichtliche Serie von vor etwa 2,6 Millionen bis ca. 10.000 Jahre vor Christi Geburt.

### **Potenzielle Verdunstung**

beschreibt die unter klimatischen Gegebenheiten maximal mögliche Verdunstung von einer Oberfläche.

### **Radialzuwachs**

Zunahme der Stärke eines Stammes durch angelegte Jahrringe (Dickenwachstum)

### **Radial-Zuwachschronologie**

Jahresweise Mittelwertbildung von Radialzuwachsen der Einzelbäume einer Stichprobe und anschließende Indizierung. Mit Hilfe der Indizierung können Werteschwankungen durch mittel- und langfristige Einflussgrößen mathematisch eliminiert werden, sodass die Wirkung von kurzfristig variierenden Einflüssen analysierbar ist.

### **Totwassergehalt**

Beim Totwassergehalt handelt es sich um die in den Feinporen des Bodens gebundene Wassermenge, die aufgrund der hohen Bindungskräfte unter natürlichen Temperaturbedingungen nicht von den Pflanzen aufgenommen werden kann.

### **Zeigerwert**

charakterisiert die Standortansprüche einer Pflanzenart

### **Zuwachskurve**

graphische Darstellung der jährlichen Radialzuwächse für den Messpunkt eines Baumes oder als Mittelwert für die Bäume einer Stichprobe



Im Rahmen des „LIFE+“-Projektes FutMon wurden die Untersuchungen auf den Intensivmessflächen Laußnitz und Olbernhau sowie die Waldzustandserhebungen auf 19 Rasterpunkten des 16x16-km-Netzes gefördert.

**Herausgeber:**

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft  
Postfach 10 05 10, 01076 Dresden  
Telefon: +49 351 564-6814  
Telefax: +49 351 5674-6817  
E-Mail: [info@smul.sachsen.de](mailto:info@smul.sachsen.de)  
[www.smul.sachsen.de](http://www.smul.sachsen.de)

**Redaktion:**

Staatsbetrieb Sachsenforst  
Referat Bodenmonitoring/Standortserkundung/Labor  
Referat Waldbau/Waldschutz  
Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Bonnewitzer Str. 34, 01796 Pirna, OT Graupa  
Telefon: +49 3501 542-0  
Telefax: +49 3501 542-213  
E-Mail: [poststelle.sbs@smul.sachsen.de](mailto:poststelle.sbs@smul.sachsen.de)  
[www.sachsenforst.de](http://www.sachsenforst.de)

**Gestaltung und Satz:**

Kommunikation Schnell GmbH

**Druck:**

Druckerei Thieme GmbH & Co. KG

**Redaktionsschluss:**

16.09.2009

**Auflagenhöhe:**

4.000 Exemplare

**Papier:**

chlorfrei gebleichtes Bilderdruckpapier matt

**Bezug:**

Diese Druckschrift kann kostenfrei bezogen werden bei:  
Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung  
Hammerweg 30, 01127 Dresden  
Telefon: +49 351 210367172  
Telefax: +49 351 2103681  
E-Mail: [publikationen@sachsen.de](mailto:publikationen@sachsen.de)  
[www.publikationen.sachsen.de](http://www.publikationen.sachsen.de)

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinarbeit des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

**Copyright**

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdruckes von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

