

# Forstliches Umweltmonitoring

Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Henning Meeseburg,  
Nils König, Jörg Weymar und Inge Dammann

## Aufgaben

Die natürliche zeitliche Veränderung der Waldbestände, Managementmaßnahmen und vor allem biotische und abiotische Einflüsse der Umwelt führen zu Veränderungen in Waldökosystemen. Hinzu kommt, dass die Ansprüche der Gesellschaft an den Wald weit gefächert sind und gesellschaftliche Veränderungen widerspiegeln. Während noch vor wenigen Jahrzehnten z. B. der Kohlenstoffspeicherung in Waldböden keine besondere Bedeutung zugemessen wurde, erlangt heute der Kohlenstoffvorrat in Waldböden und seine Veränderung ein zunehmendes wissenschaftliches, politisches und wirtschaftliches Interesse. Waldfunktionen als Ausdruck der gesellschaftlichen Erwartungen können nur dann nachhaltig entwickelt und gesichert werden, wenn sie in ihrem Zustand und in ihrer Veränderung zahlenmäßig darstellbar sind.

Das Forstliche Umweltmonitoring leistet dazu einen wesentlichen Beitrag. Es erfasst mittel- bis langfristig Einflüsse der Umwelt auf die Wälder wie auch deren Reaktionen, zeigt Veränderungen von Waldökosystemen auf und bewertet diese



Foto: J. Evers

auf der Grundlage von Referenzwerten. Die Forstliche Umweltkontrolle leistet Beiträge zur Daseinsvorsorge, arbeitet die Informationen bedarfsgerecht auf, erfüllt Berichtspflichten, gibt Entscheidungshilfen für die Forstpraxis und berät die Politik auf fachlicher Grundlage.

Die Forstliche Umweltkontrolle geht ursprünglich von den Fragestellungen der Genfer Luftreinhaltekonvention (1979) aus. In deren Mittelpunkt stehen Belastungen der Gesellschaft und des Waldes durch Umweltveränderungen in Folge einer Nutzung fossiler Energieträger, insbesondere im Hinblick auf die damit verursachten Säureeinträge. Das Handwerkszeug zur Erfassung der Säurebelastung geht dabei im Wesentlichen auf die Arbeiten von Prof. Ulrich (Göttingen) zur Bodenkunde und Waldernährung zurück (Ulrich et al. 1979). In der Folgezeit hat sich das Forstliche Umweltmonitoring als inhaltlich flexibel und breit angelegt erwiesen, um auch Informationen zum Stickstoffhaushalt, zur Kohlenstoffspeicherung und zu möglichen Risiken infolge des Klimawandels zu gewinnen.

Durch die Einbindung des Forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland in das Europäische Waldmonitoring unter ICP Forests (Level I seit 1984, Level II seit 1994) und die Orientierung an den dort definierten Standards (ICP Forests 2010) ist ein hinsichtlich inhaltlicher Tiefe, räumlicher Repräsentanz, Langfristigkeit, Datenqualität und internationaler Vergleichbarkeit weltweit beispielhaftes Monitoringprogramm entstanden.

## Konzept

Grundsätzlich werden im Forstlichen Umweltmonitoring waldfächenrepräsentative Übersichtserhebungen auf Rasterebene (Level I), die intensive Dauerbeobachtung ausgewählter Waldökosysteme im Rahmen verschiedener Beobachtungsprogramme (Bodendauerbeobachtungsprogramm (BDF), Level II, Waldökosystemstudie Hessen (WÖSSH)) sowie Experimentalflächen unterschieden.

Das Konzept umfasst folgende Monitoringprogramme, wobei einzelne Monitoringflächen mehreren Programmen zugeordnet sein können:

- Level I (Übersichtserhebungen)
- BDF (Bodendauerbeobachtungsprogramm)
- Level II (ICP Forests Intensive Monitoring Plots)
- Level II Core (Level II mit intensivierten Erhebungen)
- WÖSSH (Waldökosystemstudie Hessen)
- Experimentalflächen; dazu zählen:  
Forsthydrologische Forschungsgebiete, Flächen zur Bodenschutzkalkung und zur Nährstoffergänzung sowie zur wasser- und stoffhaushaltsbezogenen Bewertung von Nutzungsalternativen.

An den Level I-Punkten werden folgende Erhebungen durchgeführt:

- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren (auf allen Stichprobenpunkten der Waldzustandserhebung (WZE) und der Bodenzustandserhebung (BZE)).
- Auf den BZE-Punkten werden zusätzlich Baumwachstum, Nadel-/Blatternährung, Bodenvegetation und der morphologische, physikalische und chemische Bodenzustand untersucht. Auf dem BZE-Netz erfolgt zusätzlich eine Erhebung von Daten entsprechend dem Verfahren der Bundeswaldinventur.

# Forstliches Umweltmonitoring

Auf Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) werden langfristig standorts-, belastungs- und nutzungsspezifische Einflüsse auf Waldböden erfasst. BDF dienen als Eichstelle in Katastrophenlagen und der Vorsorge für rechtzeitige Maßnahmen zum Schutz von Böden in ihrer Substanz und ihren Funktionen. Das BDF-Programm umfasst für forstlich genutzte Flächen folgende Erhebungen (Höper & Meesenburg 2012):

- Chemischer und physikalischer Bodenstatus, Nadel-/Blatternahrung, Baumwachstum, Bodenvegetation, Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren.

Auf Intensiv-BDF werden zusätzlich Erhebungen zum Wasser- und Stoffhaushalt von Waldböden durchgeführt:

- Deposition, Bodenlösung, Streufall, Meteorologie und Bodenhydrologie.

Auf den Flächen der Waldökosystemstudie Hessen (WÖSSH) werden auf repräsentativen Standorten Waldökosystemzustände und -prozesse beobachtet, um Veränderungen von Waldfunktionen durch Umwelteinflüsse zu detektieren. Die Erhebungen auf WÖSSH-Flächen beinhalten folgende Indikatoren:

- Deposition, Bodenlösung, Nadel-/Blatternahrung, Baumwachstum, Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren, chemischer und physikalischer Bodenstatus sowie Bodenvegetation.

Das Monitoring auf Level II-Flächen (Standard) umfasst nach der Modifizierung im Rahmen der ICP Forests Manualrevision 2010 folgende Erhebungen:

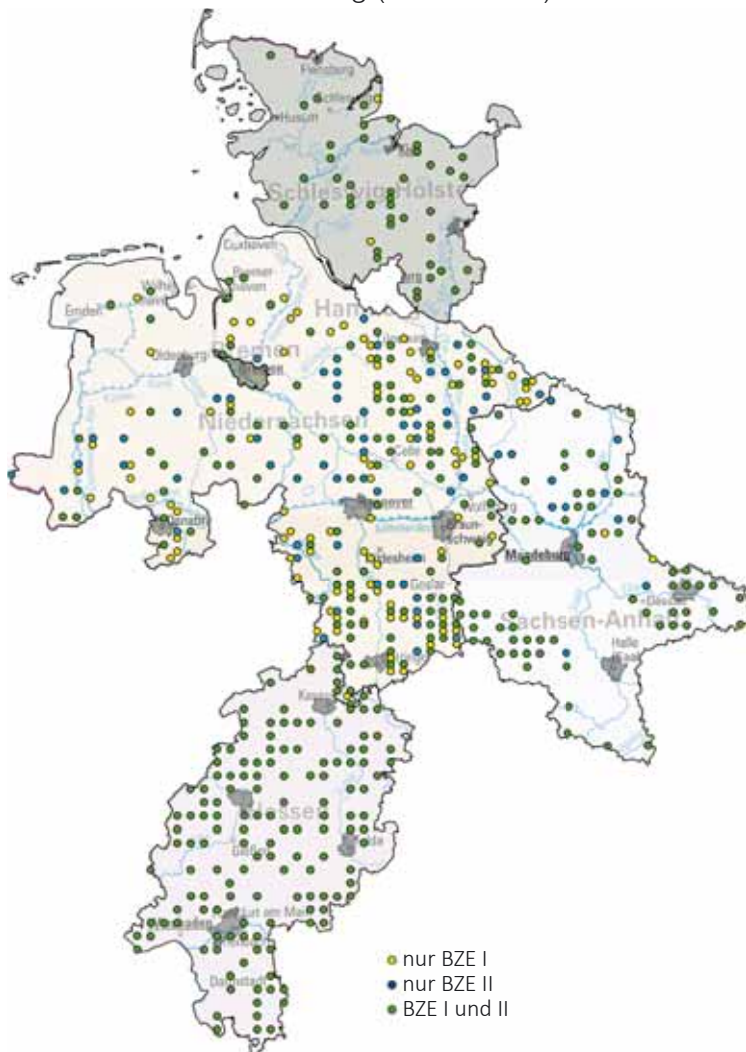
- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren, Baumwachstum, Nadel-/Blatternahrung, Bodenvegetation, Deposition, Bodenstatus.

Level II Core-Flächen sind eine Unterstichprobe der Level II-Flächen. Sie haben die Zielsetzung einer möglichst umfassenden Beobachtung. Neben den Erhebungen auf Level II-Standardflächen sind hier folgende Erhebungen verpflichtend durchzuführen (ICP Forests 2010):

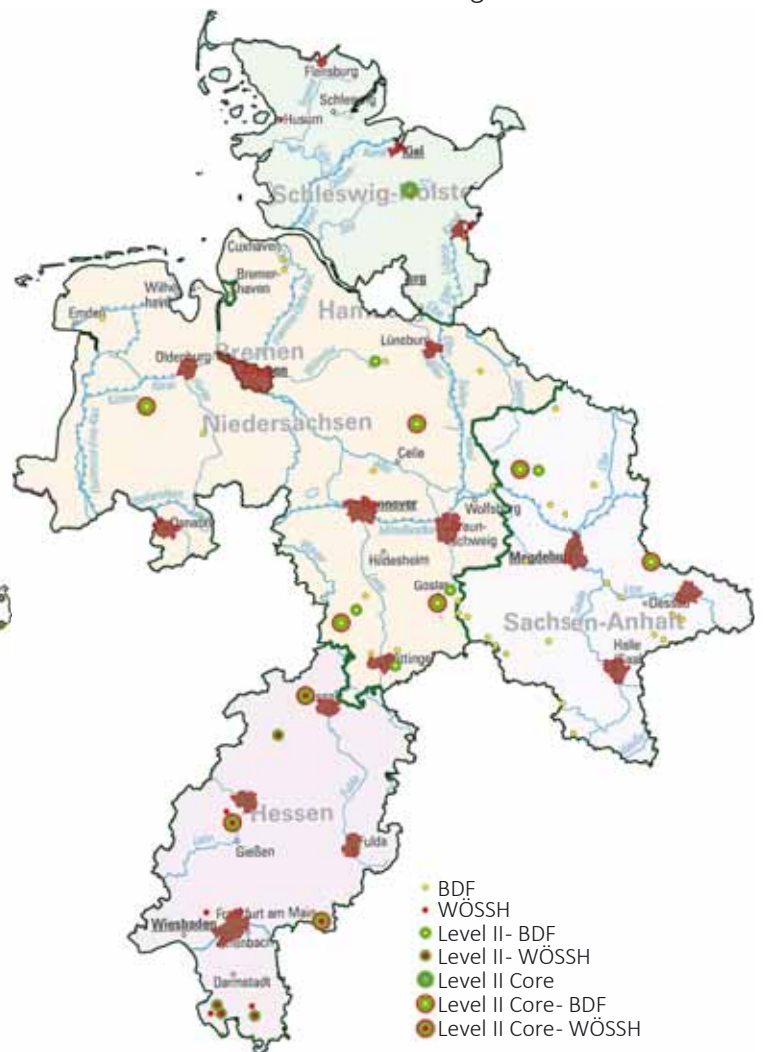
- Streufall, Baumphänologie, Baumwachstum (intensiviert), Bodenlösung, Bodenfeuchte, Luftqualität, Meteorologie.

Anhand von Übersichtserhebungen (Level I) können frühzeitig Entwicklungen und Störungen aufgezeigt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Als erfolgreiches Beispiel ist hier die Bodenschutzkalkung zu nennen, die den Waldböden wesentlich vor anthropogenen Säureeinträgen schützt und positiv zum Nährstoffhaushalt der Wälder beiträgt. Das Intensive Monitoring ermöglicht einen viel detaillierteren Blick auf die Abläufe im Ökosystem als es Übersichtserhebungen leisten könnten und trägt somit wesentlich zum Verständnis der Entwicklungen bei. Im Falle von umweltpolitischen Maßnahmen ermöglicht das Forstliche Monitoring eine wirksame Kontrolle der Erfolge.

Übersichtserhebung (Level I - BZE)



Intensives Monitoring



# Forstliches Umweltmonitoring



Foto: J. Evers

Die im Forstlichen Umweltmonitoring verwendeten Instrumente der Ökosystemüberwachung stehen europaweit harmonisiert nach den Grundsätzen des ICP Forests (Methoden: <http://icp-forests.net>; Manual: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual>), der BDF-Arbeitsanleitung (Barth et al. 2000), der BZE-Arbeitsanleitung (Wellbrock et al. 2006) sowie dem Handbuch Forstliche Analytik (BMELV (Hrsg.) 2005) zur Verfügung. Qualitätssichernde und -prüfende Maßnahmen sind danach verbindlich vorgeschrieben. Sie bestätigen die Qualität und die Nutzbarkeit der Ergebnisse.

Das Untersuchungsdesign der Forstlichen Umweltkontrolle für die Bereiche Level I, Intensives Monitoring und Experimentalfächen für die Länder Hessen, Niedersachsen, Bremen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeigen die Abbildungen auf den Seiten 6 und 7 unten.

## Qualitätsmanagement in der forstlichen Analytik

Seit nunmehr 25 Jahren werden im Umweltlabor der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt die chemischen Analysen von Wasser-, Boden- und Pflanzenproben aus den langjährigen Umweltmonitoring-Programmen und zahlreichen Versuchen zur Kalkung, Düngung, Bodenbearbeitung oder unterschiedlichen Nutzungsformen durchgeführt. Insbesondere bei Untersuchungen für langfristige Zeitreihen muss sichergestellt sein, dass die angewandten Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden vergleichbare Ergebnisse liefern. Um dies zu gewährleisten, sind nicht nur eine umfangreiche Methodendokumentation, sondern auch eine kontinuierliche Anpassung der Methoden an die jeweils neuste Analysegeräte-Generation und ein umfangreicher Methodenvergleich bei wechselnden Methoden nötig. Aus diesem Grund hat das Labor der NW-FVA bereits sehr früh ein sogenanntes Labor-Informations- und Management-System (LIMS) entwickelt und eingeführt, das nicht nur den Laborablauf steuert und als Datenbank für alle im Labor erhobenen Daten dient, sondern auch für jeden Arbeitsschritt (Probenvorbereitung, Aufschluss- oder Extraktionsverfahren, Parameter-Messung) die angewandte Methodik eindeutig dokumentiert. In Kombination mit den bei Methodenwechseln immer durchgeführten Methodenvergleichen können so auch jahrzehntealte Untersuchungsergebnisse mit heutigen Daten verglichen und gemeinsam ausgewertet werden. Da alle seit 1989 angewandten Methoden in aktuell 15 Bänden der Berichtsreihe Waldökosystemforschung veröffentlicht worden sind, können nachträglich Untersuchungen zur Vergleichbarkeit von Daten oder Methoden durchgeführt werden.

Neben der langfristigen Datenhaltung in Datenbanken und der damit verknüpften Methodendokumentation mit einem durch den Gutachterausschuss Forstliche Analytik (GAFA) eingeführten, bundesweit einheitlichen Methoden-Code stellt ein laborinternes und -externes Qualitätskontrollsystem sicher, dass nur qualitätsgeprüfte Analyseergebnisse in die Datenbanken und an die auswertenden Wissenschaftler/-innen weitergegeben werden. Dazu wurde dem LIMS ein im Hause entwickeltes Datenprüf- und Übertragungsprogramm RELAQs vorgeschaltet, das die Messdaten der Analysegeräte nach verschiedenen Kriterien überprüft und dann an das LIMS überträgt. So werden fehlerträchtige Übertragungen von

## Experimentalfächen



# Forstliches Umweltmonitoring



Messungen von Wasser-, Boden- und Humusproben im Labor der NW-FVA  
Foto: N. König

Analysedaten per Hand weitestgehend vermieden. Im LIMS werden weitere methodenübergreifende Qualitätsprüfungen durchgeführt. Neben den Standardmaterialprüfungen und der dazugehörigen Führung von Blindwert- und Mittelwertkontrollkarten erfolgen diverse Bilanzprüfungen (Stickstoffbilanz, Kohlenstoffbilanz, Na/Cl-Verhältnis, Ionen- und Leitfähigkeitsbilanz bei Wasserproben), pH-Wert-Plausibilitätsprüfungen und eine Kontrolle der Wiederholungsproben. Im Falle der Nichteinhaltung vorgegebener Kriterien werden automatisch Nachmessungen vom System angefordert, die dann im Labor durchgeführt werden.

Die externe Qualitätssicherung des Labors ist durch die regelmäßige Teilnahme an zahlreichen Ringanalysen sichergestellt. Neben den zweijährigen Bodenringanalysen des GAFA und den Boden-, Pflanzen- und Wasserringanalysen im Rahmen des europäischen ICP Forests-Programms beteiligt sich das Labor an den europäischen ISE- und EMEP-Ringanalysenprogrammen für Boden- bzw. Wasserringanalysen.

Für spezielle Analysenprogramme, an denen viele Labore in Deutschland oder Europa beteiligt sind, werden darüber hinaus programmbegleitende Ringanalysen und Kontrollprobenuntersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse Aussagen über die Datenvergleichbarkeit zulassen. So wurde z. B. bei der 2. Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) neben der genauen Festlegung der zu verwendenden Untersuchungs- und Analysemethoden ein sechsjähriges Kontrollprogramm mit fünf Ringanalysen und sechs von allen Labors kontinuierlich mitzumessenden Kontrollstandards durchgeführt und danach die Vergleichbarkeit der Daten ermittelt.

Ein weiteres wichtiges Element des Qualitätsmanagements ist der kontinuierliche Informationsaustausch über Methoden- und Geräteentwicklungen sowie Methodenvergleiche zwischen den Laborleiter/-innen der bundesdeutschen forstlichen Labore GAFA und in der Arbeitsgruppe Qualitätskontrolle im europäischen ICP-Forests-Programm.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich das aufwändige Qualitätsmanagement des Umweltlabors der NW-FVA bewährt hat, wie die immer wieder hervorragenden Ergebnisse des Labors bei Ringanalysen auf deutscher und europäischer Ebene zeigen.

## Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Die Waldzustandserhebung ist Teil des Forstlichen Umweltmonitorings in Schleswig-Holstein. Sie liefert als Übersichtserhebung Informationen zur Vitalität der Waldbäume unter dem Einfluss sich ändernder Umweltbedingungen.

## Aufnahmeumfang

Die Waldzustandserhebung erfolgt auf mathematisch-statistischer Grundlage. Auf einem systematisch über Schleswig-Holstein verteilten Rasternetz werden seit 1984 an jedem Erhebungspunkt 24 Stichprobenbäume begutachtet. In einseharen Beständen sind Kreuztrakte mit markierten Stichprobenbäumen angelegt. In dichten, nicht einseharen Beständen werden in Quadrattrakten Stichprobenbäume ausgewählt. Für den Zeitraum 1984-2012 beträgt die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes 2x2 km, 2x4 km, 4x2 km und 4x4 km mit 148-200 Erhebungspunkten. Alle Stichprobenbäume wurden mit gleicher Gewichtung bei der Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt. Im Vorfeld der Erhebung 2013 wurde ein landesweit einheitliches Erhebungsraster (4x2 km) mit jetzt 129 Stichprobenpunkten eingerichtet. Dabei konnten 90 bisherige Stichprobenpunkte beibehalten werden, 39 Erhebungspunkte sind 2013 zum ersten Mal erfasst worden. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene sowie Zeitreihen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer.

2014 konnten fünf der 129 Stichprobenpunkte nicht in die Erhebung einbezogen werden, weil die Waldbestände an diesen Erhebungspunkten durch die Orkane Christian und Xaver im Herbst/Winter 2013 zerstört wurden.

Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle auf Seite 9 unten die 95 %-Konfidenzintervalle (Vertrauensbereiche) für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2014. Je weiter der Vertrauensbereich, desto unschärfer sind die Aussagen. Die Weite des Ver-

trauensbereichs



Mit Unterdruck wird Bodenlösung aus verschiedenen Bodentiefen gewonnen  
Foto: NW-FVA

# Forstliches Umweltmonitoring



Dr. Henning Meesenburg ist Leiter des Sachgebietes Intensives Monitoring  
Foto: NW-FVA

trauensbereiches wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Anzahl der Stichprobenpunkte in der jeweiligen Auswerteeinheit und die Streuung der Kronenverlichtungswerte. Für relativ homogene Auswerteeinheiten (z. B. Eiche bis 60 Jahre) mit relativ gering streuenden Kronenverlichtungen sind enge Konfidenzintervalle auch bei einer geringen Stichprobenanzahl sehr viel leichter zu erzielen als für heterogene Auswerteeinheiten (z. B. Eiche, alle Altersstufen), die sowohl in der Altersstruktur als auch in den Kronenverlichtungswerten ein breites Spektrum umfassen. Mit dem 4x2 km-Raster werden – mit Abstrichen bei Eiche (alle Alter, über 60 Jahre), Kiefer (bis 60 Jahre, über 60 Jahre) und bei den anderen Laubbäumen (bis 60 Jahre) – belastbare Ergebnisse für die Kronenverlichtungswerte der Baumartengruppen erzielt.

Elemente der Qualitätssicherung im Rahmen der Waldzustandserhebung an der NW-FVA sind:

- der Einsatz langjährig erfahrenen Fachpersonals bei den Außenerhebungen
- bundesweit erarbeitete Referenzbilderserien
- internationale Abstimmungskurse
- gemeinsame Schulungen der Aufnahmeteams der NW-FVA-Partnerländer vor Beginn der Erhebungen im Juli
- Plausibilitätsanalysen und Kontrollerhebungen
- bundeslandübergreifend vereinheitlichte, personenunabhängige Datenhaltung in einer relationalen Datenbank (ECO) mit darauf aufsetzenden, zentralen Prüf- und Auswertungsfunktionen.

## Aufnahmeparameter

Bei der Waldzustandserhebung erfolgt eine visuelle Beurteilung des Kronenzustandes der Waldbäume, denn Bäume reagieren auf Umwelteinflüsse u. a. mit Änderungen in der Belaubungsdichte und der Verzweigungsstruktur. Wichtigstes Merkmal ist die Kronenverlichtung der Waldbäume, deren Grad in 5 %-Stufen für jeden Stichprobenbaum erfasst wird. Die Kronenverlichtung wird unabhängig von den Ursachen bewertet, lediglich mechanische Schäden (z. B. das Abbrechen von Kronenteilen durch Wind) gehen nicht in die Berechnung der Ergebnisse der Waldzustandserhebung ein.

Die Kronenverlichtung ist ein unspezifisches Merkmal, aus dem nicht unmittelbar auf die Wirkung von einzelnen Stressfaktoren geschlossen werden kann. Sie ist daher geeignet, allgemeine Belastungsfaktoren der Wälder aufzuzeigen. Bei der Bewertung der Ergebnisse stehen nicht die absoluten Verlichtungswerte im Vordergrund, sondern die mittel- und langfristigen Trends der Kronenentwicklung. Zusätzlich zur Kronenverlichtung werden weitere sichtbare Merkmale an den Probestämmen wie der Vergilbungsgrad der Nadeln und Blätter, die aktuelle Fruchtbildung sowie Insekten- und Pilzbefall erfasst.

## Mittlere Kronenverlichtung

Die mittlere Kronenverlichtung ist der arithmetische Mittelwert der in 5 %-Stufen erhobenen Kronenverlichtung der Einzelbäume.

## Starke Schäden

Unter den starken Schäden werden Bäume mit Kronenverlichtungen über 60 % sowie Bäume mittlerer Verlichtung (30-60 %), die zusätzlich Vergilbungen über 25 % aufweisen, zusammengefasst.

95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2014 in Schleswig-Holstein. Das 95 %-Konfidenzintervall (= Vertrauensbereich) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.

Baumarten-gruppe	Altersgruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenz-intervall (+-)
Buche	alle Alter	730	65	4x2 km	4,4
	bis 60 Jahre	195	22	4x2 km	2,5
	über 60 Jahre	535	45	4x2 km	3,7
Eiche	alle Alter	469	59	4x2 km	5,3
	bis 60 Jahre	173	21	4x2 km	1,5
	über 60 Jahre	296	43	4x2 km	5,1
Fichte	alle Alter	518	53	4x2 km	3,8
	bis 60 Jahre	219	24	4x2 km	3,7
	über 60 Jahre	299	29	4x2 km	4,5
Kiefer	alle Alter	184	23	4x2 km	4,3
	bis 60 Jahre	66	7	4x2 km	6,1
	über 60 Jahre	118	16	4x2 km	6,5
andere Laubbäume	alle Alter	666	67	4x2 km	3,9
	bis 60 Jahre	401	34	4x2 km	6,2
	über 60 Jahre	265	39	4x2 km	3,9
andere Nadelbäume	alle Alter	409	43	4x2 km	2,1
	bis 60 Jahre	226	22	4x2 km	2,7
	über 60 Jahre	183	22	4x2 km	2,8
alle Baumarten	alle Alter	2976	124	4x2 km	2,0
	bis 60 Jahre	1280	61	4x2 km	2,4
	über 60 Jahre	1696	78	4x2 km	2,4