

umwelt.nrw

#wald

WALDZUSTANDSBERICHT 2021

Bericht über den ökologischen Zustand
des Waldes in Nordrhein-Westfalen

Langfassung

Die Waldzustandserhebung für Nordrhein-Westfalen ist Teil des forstlichen Umweltmonitorings NRW und trägt zur Umsetzung der Klimaanpassungsstrategie Wald NRW bei. Dieser Waldzustandsbericht ist zugleich Teil der Nachhaltigkeitsberichterstattung Nordrhein-Westfalen.

Wichtige Instrumente zur Umsetzung der Klimaanpassungsstrategie Wald sind das Waldbaukonzept NRW, das Wiederbewaldungskonzept NRW, das Internetportal Waldinfo.NRW mit seinen vielfältigen digitalen Karten sowie die waldbezogenen Inhalte der NRW-Fachinformationssysteme zum Klimawandel.

Weitere Informationen finden Sie online:



www.umwelt.nrw.de



www.waldinfo.nrw.de



VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,

nach drei Jahren zum Teil extremer Dürre vor allem in den Sommermonaten brachte das Jahr 2021 wieder ausreichende Niederschlagsmengen für die Vegetation der heimischen Wälder. Dennoch ist es um die Vitalität der Waldbäume weiterhin nicht gut bestellt.

So ist zwar die Kronenverlichtung gegenüber dem Vorjahr etwas zurückgegangen. Aber immer noch weisen 40 Prozent der untersuchten Bäume eine deutliche und 32 Prozent eine schwache Kronenverlichtung auf. Nur 28 Prozent zeigen keine entsprechenden Symptome. Die langfristige Entwicklung seit Beginn der Waldzustandserhebung im Jahr 1984 zeigt einen deutlich negativen Trend. Zu den Ursachen gehören vor allem die Belastung der Böden durch Schadstoffe, die aus der Luft und den Niederschlägen eingetragen werden, sowie die Folgen des Klimawandels.

Auf rund zehn Prozent der Waldfläche sind die Bestände sogar vollständig zusammengebrochen. Betroffen sind fast ausschließlich Bestände der Fichte. Ursache ist das Zusammenwirken von Stürmen, Sommerdürren und einer Massenvermehrung des Fichtenborkenkäfers seit dem Jahr 2018. Die Bewältigung dieser Schäden und die Wiederbewaldung der umfangreichen Kalamitätsflächen stellen eine große Belastung und Herausforderung für den Waldbesitz und die gesamte Forstwirtschaft dar.

Die nordrhein-westfälische Landesregierung unterstützt den Waldbesitz dabei fachlich und mit finanzieller Hilfe. Das Waldbaukonzept, das Wiederbewaldungskonzept und das Internetportal Waldinfo.NRW bieten fachliche Hilfestellungen, zu denen auch entsprechende Beratung und Schulung in Anspruch genommen werden können. Finanzielle Mittel der forstlichen Förderung stehen in großem Umfang zum Abruf bereit.

Ich bin daher sehr zuversichtlich, dass es uns in einem gemeinsamen Kraftakt aller Beteiligten gelingen wird, die aktuelle Situation zu bewältigen und neue, klimastabile Wälder zu entwickeln, aus denen nachfolgende Generationen ihren Nutzen ziehen werden.

Ihre

Ursula Heinen-Esser
Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

INHALT



6

Ökologischer Zustand des Waldes
– die wichtigsten Ergebnisse
im Überblick



10

Vitalität
der Baumkronen

32

Witterungs-
und Bodenwasser-
verhältnisse
bis zum Sommer

46

Schäden durch Fichtenborken-
käfer, Buchentrocknis
und Eichenfraßgesellschaft





56

Phänologische
Beobachtungen
an Waldbäumen



62

Forstliches Umweltmonitoring –
40 Jahre Waldbeobachtung
in NRW



66

Dritte Boden-
zustandserhebung
im Wald



70

Weiterführende
Informationen
Impressum



ÖKOLOGISCHER ZUSTAND DES WALDES – DIE WICHTIGSTEN ERGEBNISSE IM ÜBERBLICK

KRONENZUSTAND

- Leichte Besserung des Waldzustands, Verlichtungsprozente bleiben auf hohem Niveau, Anteil der deutlich verlichteten Bäume sinkt auf 40 Prozent
- Der Zustand der Buche hat sich deutlich verbessert, Eiche und Fichte verschlechtern sich leicht, die Kiefer stagniert



PHÄNOLOGIE

- Das kühle Frühjahr hat zu einem ungewöhnlich späten Austrieb der Bäume geführt



WITTERUNG

- Ausgiebige Niederschläge ab Mai, in den Sommermonaten 30 Prozent mehr Niederschlag als im Durchschnitt der Referenzperiode
- Wasserstress der Waldbäume spielte im Mittel keine wesentliche Rolle
- Die mittlere Sommertemperatur lag 1,4 °C über dem langjährigen Durchschnitt



BODENWASSER

- Bodenwasserspeicher in den oberen 1,5 m Bodentiefe zunehmend gefüllt



BORKENKÄFERSCHÄDEN

- Population der Fichtenborkenkäfer weiterhin auf einem hohen Niveau
- In den Höhenlagen zwei Generationen Borkenkäfer, in den niederen Lagen drei
- In den mittleren und höheren Lagen des Sauerlandes starke Zunahme der Buchdruckerschäden, Auflösung vieler Fichtenbestände, bessere Lage in der Eifel



SCHADHOLZVOLUMEN UND KALAMITÄTSFLÄCHE

- Bis September 8,1 Mio. Festmeter Schadh Holz (seit 2018 insgesamt ca. 40 Mio. Festmeter) und Wiederbewaldungsfläche ca. 86.000 ha (nach Forstamtsabfragen)
- Nach Satellitenbilddauswertung gesamte Schadh Fläche komplett ausgefallener Fichtenbestände ca. 113.000 ha, davon Wiederbewaldungsfläche ca. 90.000 ha



VITALITÄT DER BAUMKRONEN

Wie die Daten der Waldzustandserhebung zeigen, hat sich der Negativtrend der Dürrejahre 2018 bis 2020 dank der überdurchschnittlich hohen Niederschläge in den Sommermonaten 2021 nicht fortgesetzt. Der Zustand des Waldes verbessert sich im Vergleich zum Vorjahr leicht, der Grad der Kronenverlichtung sinkt knapp unter das Level des Jahres 2019.

Der Anteil der deutlich verlichteten Bäume sinkt um vier Prozentpunkte auf 40 Prozent, bei den gering verlichteten Bäumen zeigt sich eine minimale Verbesserung um einen Prozentpunkt auf 32 Prozent. In der Klasse der Bäume ohne Kronenverlichtung ist ein Zuwachs von fünf Prozentpunkten auf 28 Prozent eingetreten. Der durchschnittliche Nadel-/Blattverlust sinkt von 29,1 Prozent auf 27,7 Prozent.

Allerdings wiesen die Ergebnisse der Waldzustandserhebung in jedem Jahr der Periode 2018 bis 2021 einen schlechteren Wert auf, als in einem beliebigen Jahr zwischen der Einführung der WZE 1984 und dem Jahr 2017. Die Situation ist folglich nach wie vor sehr ernst, jedes weitere Dürrejahr würde die Lage voraussichtlich wieder verschärfen.

Nach der leichten Erholung im Jahr 2020 hat sich der Zustand der EICHE 2021 trotz der besseren Versorgung mit Wasser verschlechtert. Der Anteil der deutlich verlichteten Kronen nähert sich wieder dem Wert des Jahres 2019 an, in dem die Eiche das höchste

Schadniveau seit Einführung der Waldzustandserhebung erreichte. Im laufenden Jahr hat die Eiche nur sehr wenige Früchte ausgebildet.

Die BUCHE konnte sich 2021, nachdem ihre Kronen im vergangenen Jahr den zweitschlechtesten Zustand seit 1984 erreicht hatten, wieder erholen. Der durchschnittliche Blattverlust liegt niedriger als in den letzten drei Jahren. Günstig hat sich für sie das Ende der mehrjährigen Dürreperiode und ihre 2021 nur geringe Fruktifikation ausgewirkt.

Die FICHTE bereitet 2021, wie auch bereits in den drei vorangegangenen Jahren, den größten Anlass zur Sorge. Trotz häufiger und ergiebiger Niederschläge in den Sommermonaten konnte sie sich nicht erholen. Der mittlere Nadelverlust steigt seit 2017 ohne Unterbrechung. Die Fichtenborkenkäfer-Populationen haben sich zwar im vergangenen Winter verringert, sind aber immer noch zahlreich genug, auch vitale Fichten flächenweise absterben zu lassen. Die Fichte hat 2021 praktisch keine Zapfen gebildet.

Die KIEFER konnte sich im Jahr 2021 wieder erholen, nachdem ihr Kronenzustand 2020 den schlechtesten Wert seit Beginn der Waldzustandserhebung erreicht hatte. Von unseren Hauptbaumarten weist sie die geringsten Anteile deutlich verlichteter Bäume auf und zeigt die langsamste Schadentwicklung.



WITTERUNGS- UND BODENWASSERVERHÄLTNISSE BIS ZUM SOMMER

Die extreme Dürre in den vergangenen drei Vegetationsperioden wurde durch ausgiebige Niederschläge ab Mai 2021 beendet. Im Zeitraum Januar bis August fielen laut Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes etwa 11 Prozent und im für das Baumwachstum wichtigen Zeitraum April bis August 15 Prozent mehr Niederschläge als in der Referenzperiode 1961 bis 1990. Gleichzeitig wurde im Zeitraum April bis August die niedrigste mittlere Temperatur der letzten 25 Jahre gemessen. Insbesondere das Frühjahr war von ungewöhnlich niedrigen Temperaturen geprägt. Die Betrachtung des Bodenwasserhaushalts von Flächen aus dem intensiven forstlichen Umweltmonitoring zeigt, dass die kritischen Schwellenwerte

für Wasserstress bis Ende August nicht unterschritten wurden. Den Bäumen in Nordrhein-Westfalen stand in der Wachstumsperiode 2021 im Mittel ausreichend Wasser aus den Niederschlägen zur Verfügung. So verlief die diesjährige Wachstumsperiode im Vergleich zu den Vorjahren im Mittel wasser- und hitzestressfrei. Dennoch wirken die extremen Witterungssituationen der Vorjahre weiterhin nach. Die Bodenwasserspeicher des Oberbodens wurden zwar zunehmend aufgefüllt, für die Grundwasserneubildung steht jedoch weiterhin zu wenig Wasser in den tieferen Bodenschichten zur Verfügung. Weiterhin kommt es bei den Waldbäumen zu Vitalitätsverlusten bis hin zum Absterben als Folge der Dürre- und Hitzeschäden der Vorjahre.

SCHÄDEN DURCH FICHTENBORKENKÄFER, BUCHENTROCKNIS UND EICHENFRAßGESELLSCHAFT

Die im Jahr 2018 begonnene Borkenkäferkalamität an der Fichte hat sich auch in diesem Jahr ausgeweitet. Im Vergleich zu den Jahren zuvor führte die kühlere Frühjahrswitterung dazu, dass in diesem Jahr die Borkenkäferarten Buchdrucker und Kupferstecher relativ spät ihre Winterquartiere verlassen haben, um in den stehenden, gesunden Fichten neue Brutn anzulegen. Trotz der eisigen Wintertemperaturen konnten viele Borkenkäfer in der Rinde und insbesondere im Boden überleben und dieses Jahr vor allem im Mai/Juni vitale Fichtenbestände befallen. Gegenüber anderen Regionen Nordrhein-Westfalens ist in den Höhenlagen der Eifel der Befall dieses Jahr deutlich geringer ausgefallen.

Die im Jahr 2018 entstandene Borkenkäferkalamität an der Fichte hat sich auch in diesem Jahr ausgeweitet und in 2021 zu 8,1 Millionen Festmetern Schadholz geführt (Stand: September 2021). Somit summiert sich die Schadholzmenge im gesamten Wald von Nordrhein-Westfalen seit 2018 mittlerweile auf knapp 40 Millionen Festmeter.

Die Wiederbewaldungsfläche beträgt nach Forstamtsabfragen ca. 86.000 ha. Nach Satellitenbilddauswertung umfasst die gesamte Schadfläche komplett

ausgefallener Fichtenbestände ca. 113.000 ha; davon macht die Wiederbewaldungsfläche ca. 90.000 ha aus.

Die seit dem Herbst 2018 auftretenden Schäden in Buchenwäldern sind auch in diesem Jahr wieder in Form von absterbenden Kronen und ganzen Bäumen aufgetreten. Besonders betroffen sind Altbuchenbestände (älter als 120 Jahre).

Die Eichenwälder Nordrhein-Westfalens schädigt in periodischen Abständen eine Eichenfraßgesellschaft aus verschiedenen Schmetterlingsraupen. Sie konnten in diesem Jahr in der Westfälischen Bucht innerhalb der Eichenbestände an einzelnen Bäumen Kahlfraß verursachen.



PHÄNOLOGISCHE BEOBACHTUNGEN AN WALDBÄUMEN

Die phänologischen Entwicklungserscheinungen stellen aufgrund ihrer engen Beziehung zur Witterung wichtige Weiser im Rahmen der Untersuchungen zum Klimawandel dar. Infolge des außergewöhnlich kühlen Frühjahrs 2021 sind die Waldbäume auf den Flächen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings im Vergleich zum Mittel der 20-jährigen Zeitreihe ausgesprochen spät ausgetrieben. Die Fichte (1. Juni) ist fast zwei Wochen später ausgetrieben als üblich. Für die Buche (8. Mai) war es der späteste und für die Eiche (10. Mai) und Fichte jeweils der zweitspäteste Austriebstermin seit Beginn der Erhebungen. Der Trend zu einem früheren Austrieb bleibt bei der Buche und der Eiche trotz des späten Austriebs in

2021 bestehen. Überdies hat die Länge der Vegetationsperiode von Buche und Eiche seit 2001 um etwa zwei Wochen zugenommen. Eine längere Vegetationszeit führt dazu, dass auch der Wasserbedarf der Bäume steigt, was in warmen und trockenen Jahren zu einem erheblichen Trockenstress für die Bäume führen kann. Der Stress verstärkt sich in Jahren, in denen die Bäume stark blühen oder fruktifizieren. Im Frühjahr 2021 wurde an den meisten Waldbäumen der Dauerbeobachtungsflächen jedoch keine Blüte oder Fruktifikation beobachtet. Aufgrund des späten Austriebs ist überdies nicht mit einer ausgesprochen langen Vegetationsperiode in 2021 zu rechnen.

FORSTLICHES UMWELTMONITORING – 40 JAHRE WALDBEOBACHTUNG IN NRW

Das forstliche Umweltmonitoring ist aus der Debatte über den „sauren Regen“ und die „neuartigen Waldschäden“ zu Beginn der 1980er Jahre hervorgegangen und untersucht seit 40 Jahren den ökologischen Zustand und die Entwicklung der Wälder. Mittlerweile stehen die Auswirkungen des Klimawandels und die Spätfolgen der Schadstoffeinträge im Fokus des Monitorings. Die Langzeituntersuchungen des ForUm stellen eine bedeutende Informationsquelle und ein wichtiges Feedback-Instrument für Politik- und Forstbewirtschaftungsmaßnahmen dar. Das Verfahren basiert auf zwei sich ergänzenden Säulen, der lan-

desweit repräsentativen Erhebung mittels eines systematischen Stichprobennetzes (Level I) und dem intensiven Monitoring auf ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen (Level II). Das Level-I-Programm in NRW umfasst die Waldzustandserhebung, die Bodenzustandserhebung und die immissionsökologische Waldzustandserhebung. Das intensive Monitoring vertieft die Erhebungen und Erkenntnisse aus dem Level-I-Monitoring mit Fokus auf Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Seit 1985 ist die Erhebung in das europaweite Monitoring eingebunden.

DRITTE BODENZUSTANDSERHEBUNG IM WALD

Gesunde Waldböden bilden die Basis für vitale und widerstandsfähige Wälder. Die Erhaltung ihrer Funktionstüchtigkeit ist von zentraler Bedeutung und zu überwachen. Die Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung (2006–2008) im Wald belegen eine all-mähliche Erholung der Waldböden infolge der Maßnahmen zur Luftreinhaltung, der Bodenschutzkalkung und des Waldumbaus. Die Erholung beschränkte sich jedoch bisher auf den Oberboden. Zugleich wurde eine zunehmende Eutrophierung der Wälder beobachtet. Doch wie haben sich die Waldböden weiterentwickelt? Die dritte Bodenzustandserhebung im Wald beantwortet Fragen zum aktuellen

Zustand und der Entwicklung der Waldböden. Im Fokus stehen die Auswirkungen atmosphärischer Stoffeinträge und des Klimawandels. Die Geländeerhebungen erfolgen in den Jahren 2022 bis 2024 landesweit auf 330 Punkten des systematischen Level-I-Stichprobennetzes. Untersucht werden nicht nur der Boden, sondern auch die Bodenvegetation, die Waldbäume und das Totholz. Die Ergebnisse der umfassenden Erhebung werden 2029 zur Verfügung stehen. Die Bodenzustandserhebung ist eine Gemeinschaftsaufgabe von Landesumweltamt NRW (LANUV), Landesbetrieb Wald und Holz NRW und Geologischem Dienst NRW.

VITALITÄT DER BAUMKRONEN



Die Waldzustandserhebung (WZE) ist ein Instrument, um die Vitalität des Waldes einzuschätzen. Sie wurde im Jahr 1984 eingeführt und nutzt die Erkenntnis, dass sich der Gesundheitszustand von Bäumen gut über die Dichte ihrer Belaubung ablesen lässt.

Bewertet werden der Nadel-/Blattverlust, die Vergilbung der Blätter, die Fruktifikation sowie biotische und abiotische Faktoren.

In NRW wurden zu diesem Zweck auf einem Raster von 4x4 km 560 Stichprobenpunkte mit ca. 10.300 Einzelbäumen angelegt. Die Bäume sind dauerhaft markiert und werden jährlich von speziell geschulten Forstleuten begutachtet.

Durch die jährliche Wiederholung der Aufnahmen sind nicht nur Aussagen zum aktuellen Zustand des Waldes möglich, die Analyse der entstehenden Zeitreihen ermöglicht auch Einsichten zur Entwicklung des Zustandes der Baumarten und das Erkennen langjähriger Trends.

Die Daten der Waldzustandserhebung NRW gehen zusammen mit den Ergebnissen der anderen Bundesländer in den Bundeswaldbericht ein. Die bundesweiten Ergebnisse finden Eingang in europäische und internationale Erhebungen zum Waldzustand.

VERLICHTUNGSSTUFEN

Die Klassifizierung der Kronenverlichtung erfolgt gemäß der nachstehenden bundesweit einheitlichen Tabelle (Abb. 1). Unter Einbeziehung von Vergilbungsstufen entstehen daraus die kombinierten Schadstufen. Dabei werden die Stufen 2 bis 4 zur „deutlichen Kronenverlichtung“ zusammengefasst. In den folgenden Grafiken werden die Verlichtungsstufen zur besseren Übersicht gruppiert und in Ampelfarben dargestellt.

HAUPTERGEBNISSE

Das Jahr 2021 mit seinen überdurchschnittlich hohen Niederschlägen in den Sommermonaten konnte den Negativtrend der vorangegangenen drei Dürrejahre stoppen. Der Anteil der Bäume mit deutlicher Kronenverlichtung sinkt um vier Prozentpunkte auf 40 Prozent. Bei den schwach verlichteten Bäumen ist eine minimale Verbesserung eingetreten, sie sinkt um einen Prozentpunkt auf 32 Prozent. In der Klasse der nicht verlichteten Bäume dagegen kann ein Zuwachs von fünf Prozentpunkten auf 28 Prozent festgestellt werden (Abb. 2, S. 12).

Der Zustand des Waldes verbessert sich leicht im Vergleich zum Vorjahr.

Dies ist allerdings kein Zeichen der Entwarnung, die Schadprozente sind lediglich knapp unter das Niveau des Jahres 2019 zurückgefallen. In jedem der Jahre 2018 bis 2021 befinden sich unsere Wälder in einem schlechteren Zustand als in einem beliebigen anderen Jahr seit Beginn der Waldzustandserhebung 1984.

➔ ABBILDUNG 1

Kronenverlichtung in Stufen

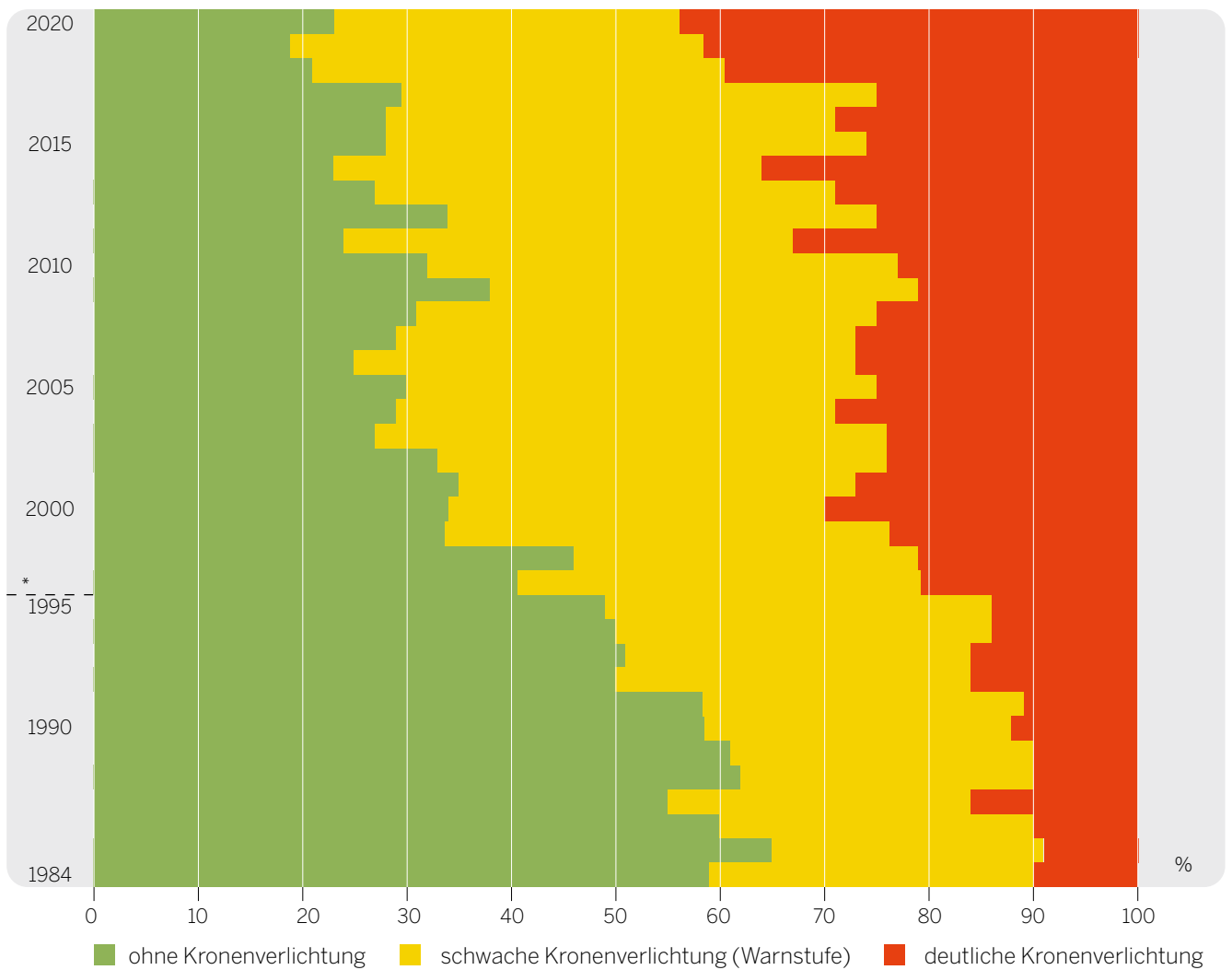
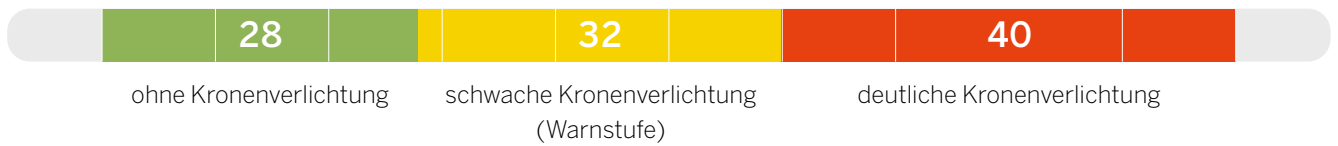
Schadstufe	Verlichtung	Bezeichnung
0	0–10 %	ohne Kronenverlichtung
1	11–25 %	Warnstufe (schwache Kronenverlichtung)
2	26–60 %	mittelstarke Kronenverlichtung
3	61–99 %	starke Kronenverlichtung
4	100 %	abgestorben



Buchen in verschiedenen Stadien der Kronenverlichtung

➔ **ABBILDUNG 2**

Entwicklung des Kronenzustandes aller Baumarten 1984 bis 2021



■ ohne Kronenverlichtung ■ schwache Kronenverlichtung (Warnstufe) ■ deutliche Kronenverlichtung

*1996 kein Landesergebnis



Abgestorbene Fichten, die Folge von Dürre und Borkenkäfer

Dass von einer Trendumkehr keine Rede sein kann, verdeutlicht ein Blick auf die Entwicklung der mittleren Nadel-/Blattverluste (Abb. 3, S. 14). Bei dieser Darstellung erfolgt keine Einteilung der Bäume in Schadstufen. Gut zu erkennen ist der ungebrochene langfristige Aufwärtstrend der Verlustprozent aller Baumarten (rot, hervorgehoben) von 1985 (10,0 %) bis 2021 (27,7 %).

Betrachtet man die Entwicklung des Nadel-/Blattverlustes getrennt nach Hauptbaumarten, so ist zu erkennen, dass zwar alle Baumarten einen Trend zu immer höheren Schadprozenten haben, die individuellen Kurvenverläufe aber sehr unterschiedlich sind (der sprunghafte Anstieg der Nadelverluste der Fichte seit 2018 oder die nur langsam voranschreitenden Verlustprozent der Kiefer).

ABSTERBERATE

Ein wichtiger Weiser für den Gesundheitszustand des Waldes ist auch die Absterberate. Die Absterberate erfasst nur Stichprobenbäume der Schadstufe 4 (abgestorben, Nadel-/Blattverlust 100 %). Solange diese Bäume noch Feinreisig in der Krone haben, werden sie auch in den Folgejahren nach dem Absterben weiterhin aufgenommen. Ist kein Feinreisig mehr in der Krone verblieben, werden sie gegen neue Bäume ausgetauscht. Die Absterberate entspricht folglich nicht der Anzahl der in der Periode zwischen WZE 2020 und WZE 2021 abgestorbenen Bäume, sondern stellt einen akkumulierten Wert der in den vergangenen Jahren abgestorbenen Bäume dar, abzüglich der Individuen, die infolge kompletten Feinreisigverlustes oder nach Nutzung nicht mehr bonitiert werden.

Der langjährige Mittelwert der Absterberate über alle Baumarten lag bis 2018 bei 0,21 Prozent mit einer Streuung zwischen 0,07 Prozent und 0,44 Prozent.

Im Jahr 2019 stieg die Absterberate auf 2,4 Prozent, 2020 lag sie bei 3,98 Prozent. Im laufenden Jahr hat sie einen Wert von 5,2 Prozent erreicht, das ist annähernd der 25-fache Wert des langjährigen Mittels (Abb. 4, S. 14).

Auch hier sind die Unterschiede zwischen den Baumarten augenfällig: Während die Kurven von Eiche, Buche und Kiefer auf geringem Niveau (unter 1 %) verharren, steigt sie bei der Fichte bedingt durch die Borkenkäferkalamität und die Trockenheit der letzten drei Jahre auf 16,48 Prozent an. (Das entspricht dem 78,5-fachen Wert des langjährigen Mittels.)

Durch den Vergleich der diesjährigen Absterberate mit den Vorjahreswerten erhält man den Anteil der innerhalb der letzten 12 Monate im Aufnahmekollektiv abgestorbenen Bäume (Abb. 5, S. 15). Dieser Wert unterschätzt die tatsächlichen Zahlen allerdings systematisch, da Bäume, die im vergangenen Jahr nach der WZE abgestorben sind und noch vor Beginn der diesjährigen Erhebung (Juli/August) entnommen wurden, hier nicht erfasst werden.

VERGILBUNG

Seit 2018 kommt es insbesondere bei der Eiche und der Buche zu einem signifikant erhöhten Auftreten von vergilbten Blättern. Da der Anteil der betroffenen Bäume bisher bei nur etwa 3 Prozent des Kollektivs liegt, ist momentan noch kein Anlass zur Sorge gegeben. Es lässt sich aber eine Tendenz erkennen, die weiter beobachtet werden muss (Abb. 6, S. 15).

ABBILDUNG 3

Mittlerer Nadel-/Blattverlust der Hauptbaumarten | 1985 bis 2021

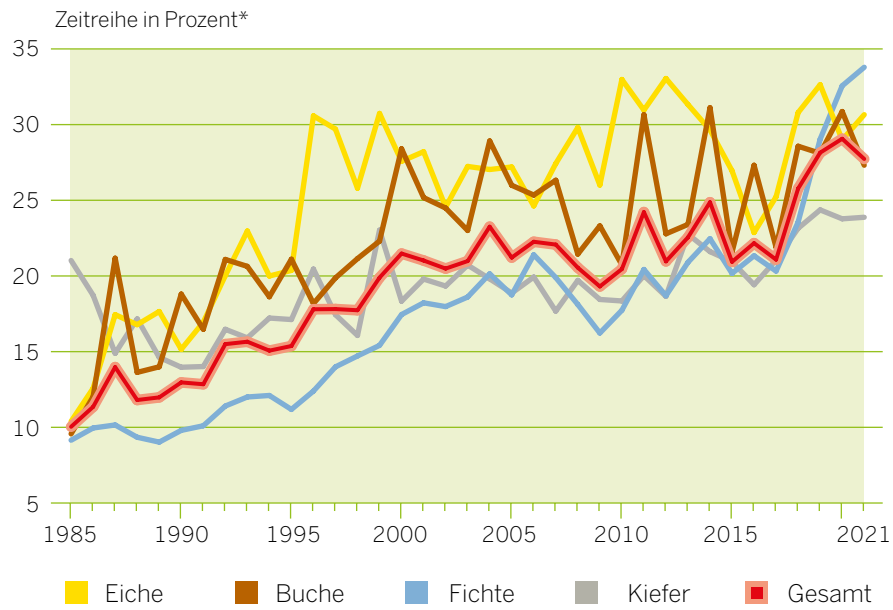


ABBILDUNG 4

Absterberaten aller Baumarten | 1985 bis 2021

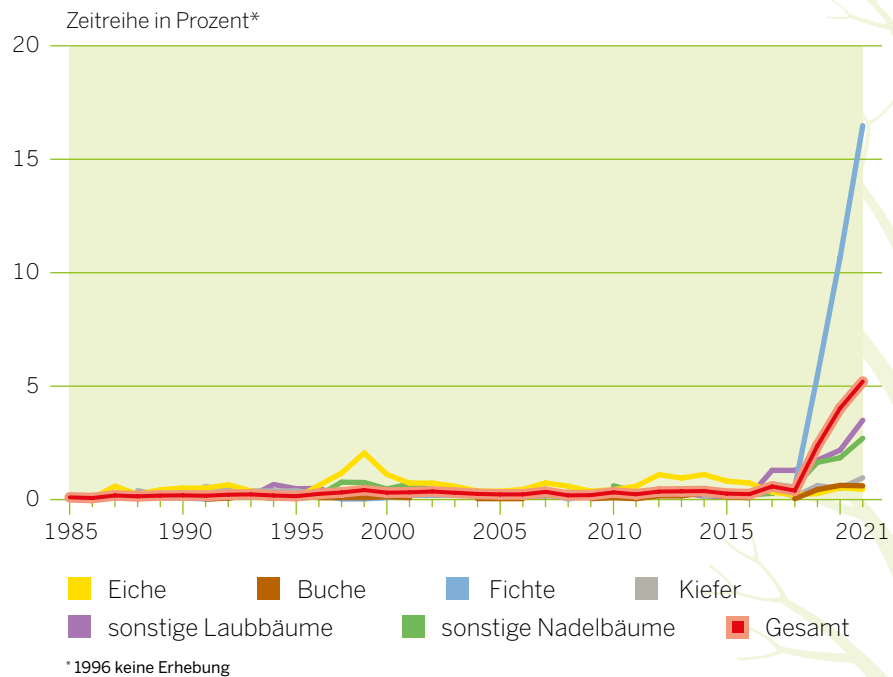


ABBILDUNG 5

Absterberaten nach Hauptbaumartengruppen | Veränderung zum Vorjahr

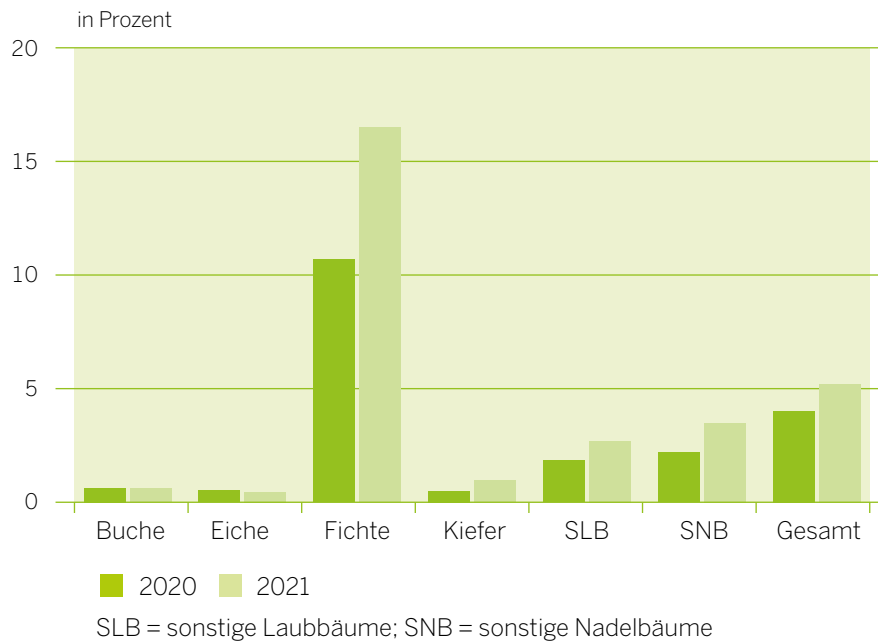
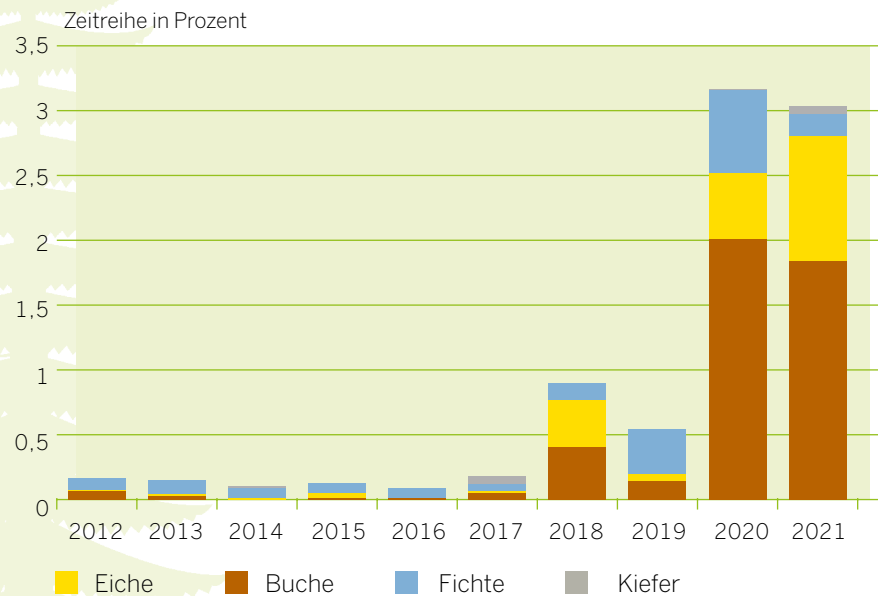


ABBILDUNG 6

Vergilbung an Blättern und Nadeln, getrennt nach Baumarten



DER KRONENZUSTAND DER HAUPTBAUMARTEN

Da sich zwischen den Baumarten hinsichtlich des Kronenzustandes teilweise große Unterschiede ergeben, werden die Ergebnisse der Waldzustandserhebung noch einmal getrennt nach Hauptbaumarten betrachtet.

EICHE

Der Zustand der Eiche hat sich 2021 nach der leichten Erholung des Vorjahres wieder verschlechtert. Die Werte liegen knapp unter dem Schadniveau des Jahres 2019, in dem der schlechteste Kronenzustand seit Bestehen der Waldzustandserhebung erreicht wurde.

Aufgrund ihres tief reichenden Wurzelsystems wurde die Eiche während der vergangenen drei Jahre nicht so sehr durch den Wasserstress beeinträchtigt wie die Buche, hat aber andererseits im laufenden Jahr auch nicht im gleichen Maß von der verbesserten Wasserversorgung profitiert.

Der Anteil der Eichen mit deutlich verlichteter Krone steigt um 4 Prozentpunkte auf 55 Prozent. Dies geschieht zulasten der gering verlichteten Bäume, die 4 Prozent-

punkte verlieren und 2021 bei 32 Prozent liegen. Die Gruppe der Bäume ohne Verlichtung verbleibt mit 13 Prozent auf Vorjahresniveau (Abb. 7, S. 17).

Der mittlere Blattverlust steigt von 29,0 Prozent im Vorjahr auf 30,7 Prozent (Abb. 10, S. 19).

Sowohl die Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft (in erster Linie bestehend aus blattfressenden Schmetterlingsraupen der Arten Frostspanner und Eichenwickler) (Abb. 8, S. 18) als auch der Befall mit dem Eichenmehltaupilz haben im Jahr 2021 wieder deutlich zugenommen (Abb. 9, S. 18).

Nach der starken Fruktifikation im Jahr 2020 hat die Eiche dieses Jahr nur sehr wenige Eicheln gebildet (Abb. 10, S. 19).



Eichenkrone



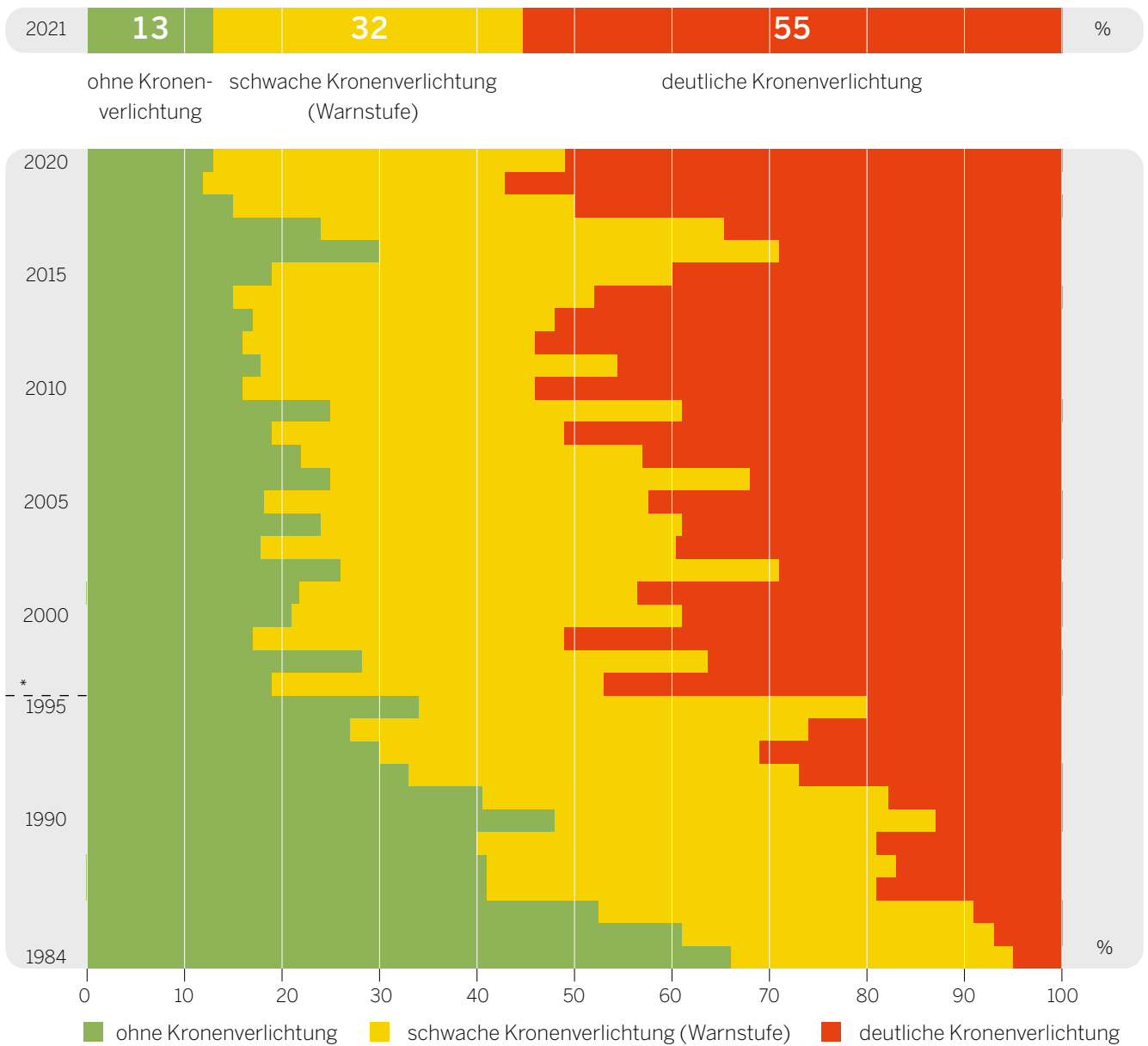
Blattfraß an Eiche



Mehltau und Nekrosen an Eiche

➔ ABBILDUNG 7

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Eichen 1984 bis 2021



*1996 kein Landesergebnis

ABBILDUNG 8

Blattfraß bei Eichen | 2012 bis 2021

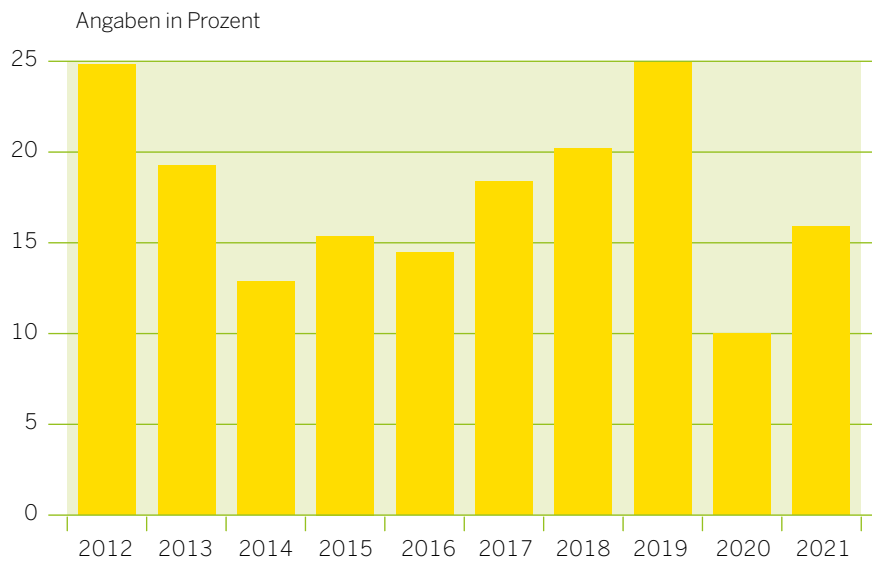
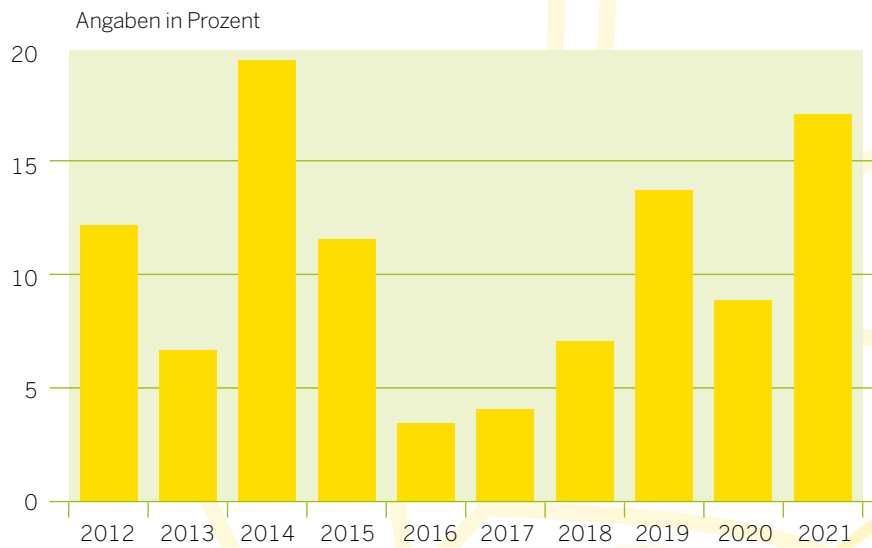
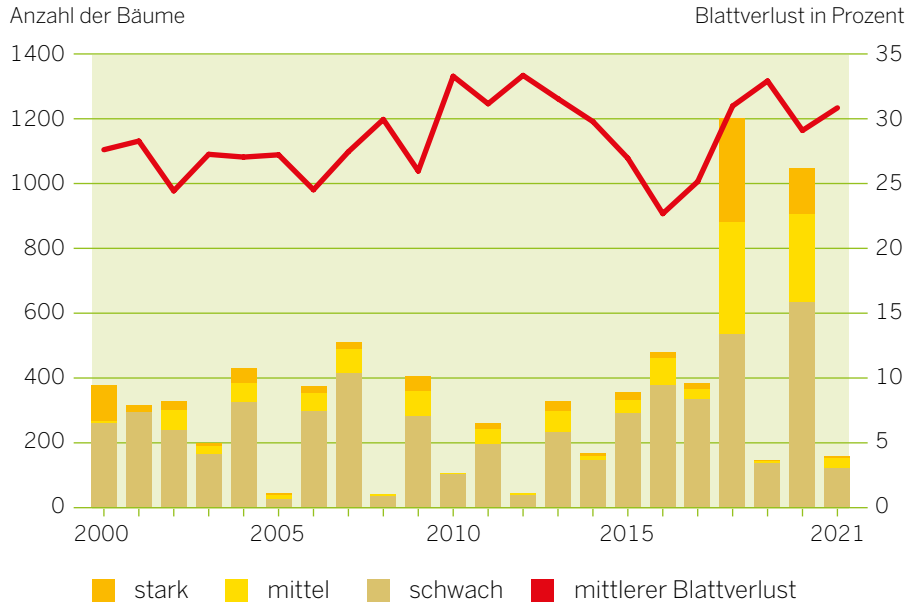


ABBILDUNG 9

Mehltau bei Eichen | 2012 bis 2021



Fruktifikation und mittlerer Blattverlust bei Eichen | 2000 bis 2021



Eichenkronen, mittlere bis deutliche Verlichtung

BUCHE

Die Buche konnte sich im Jahr 2021 nach der deutlichen Verschlechterung ihres Kronenzustandes im vergangenen Jahr wieder erholen. Die Ursachen hierfür sind das Ende der dreijährigen Dürreperiode und die Tatsache, dass die Buche in diesem Jahr nur eine sehr geringe Fruktifikation aufwies.

Im Jahr 2021 zeigen 45 Prozent der Buchen eine deutliche Verlichtung der Krone, das ist eine Abnahme um 10 Prozentpunkte. Der Anteil der schwach verlichteten Buchen steigt um 5 Prozentpunkte auf 33 Prozent, die Bäume ohne Verlichtung legen ebenfalls um 5 Prozentpunkte zu auf 22 Prozent (Abb. 11, S. 21).

Der mittlere Blattverlust sinkt von 30,9 Prozent auf 27,3 Prozent (Abb. 12, S. 22).

Im Jahr 2021 zeigt die Buche im Gegensatz zum Vorjahr nur eine sehr schwache Fruktifikation (Abb. 12, S. 22). Sehr deutlich wird in dieser Darstellung die starke Wechselwirkung, die bei der Buche zwischen dem Ausmaß der Fruktifikation und dem Grad der Kronenverlichtung besteht.

Der Buchenspringrüssler (*Orchestes fagi*) ist ein blattfressender Käfer und ständiger Begleiter der Buche. Seine Larven minieren in den Blättern und lösen damit Nekrosen aus. Typischerweise sterben dadurch die vorderen Partien

der Blätter ab. Der Käfer selbst verursacht durch seinen Lochfraß an den Blättern weitere Schäden. Der Befall durch den Buchenspringrüssler hat im Jahr 2020 stark nachgelassen und ist auch 2021 weiter rückläufig (Abb. 13, S. 22).

Das Blattrollen ist eine Schutzreaktion der Buche auf Hitze und Dürre. Im Jahr 2019 war es weit verbreitet (23,1 % der Buchen waren betroffen), hat sich aber im letzten und im laufenden Jahr (in 2021 8,1 %) wieder deutlich abgeschwächt und liegt im Bereich der Werte der vergangenen Jahre (Abb. 14, S. 23).

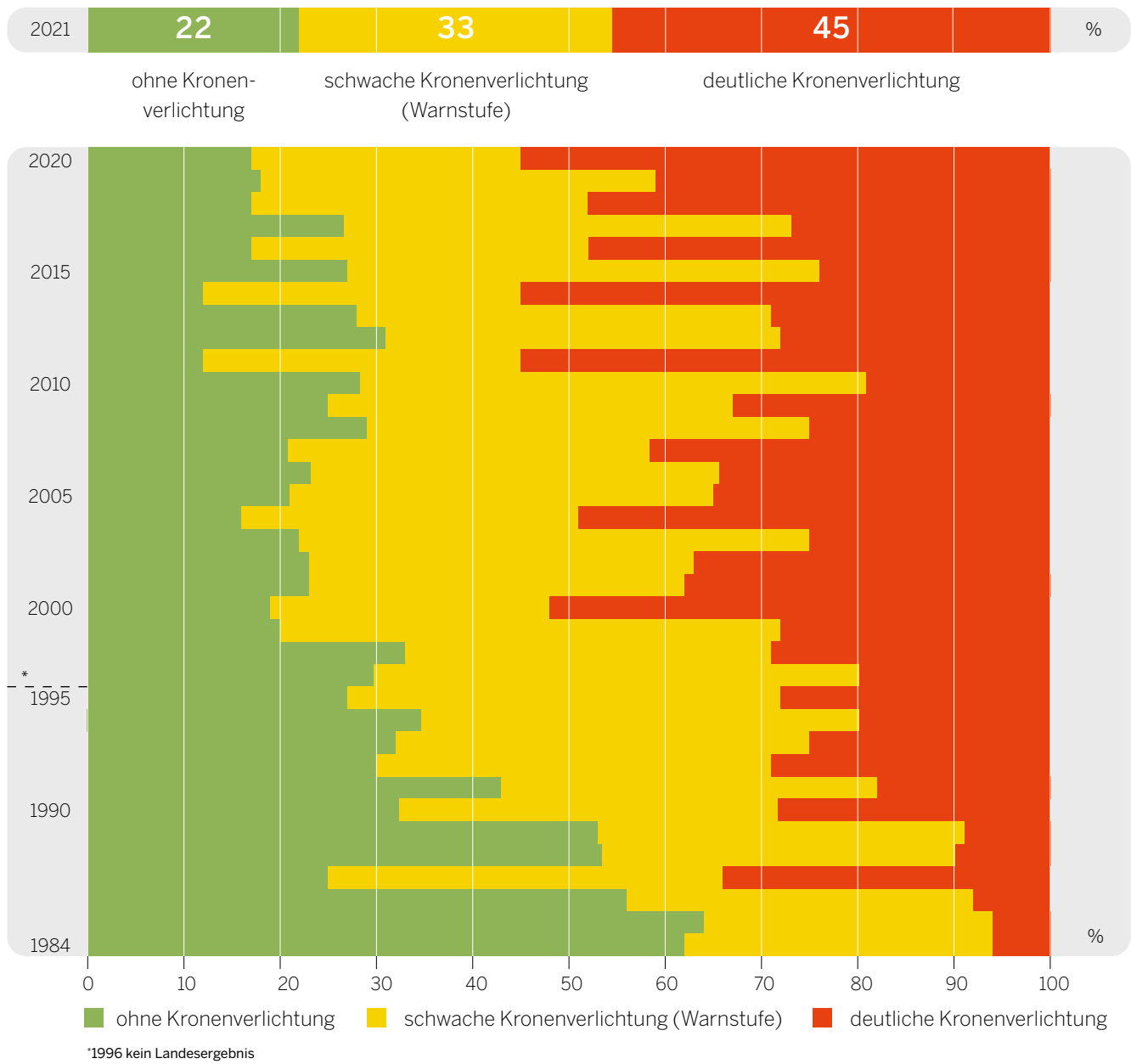
In den Jahren 2019 und 2020 fiel ein vermehrtes Auftreten des kleinen Buchenborkenkäfers (*Taphrorychus bicolor*) auf. Die Käfer profitieren von Dürrejahren und schädigen die durch Wasserstress geschwächten Bäume durch Fraß in der Kambialschicht. Die Anzahl der befallenen Buchen stieg zwar an, war in ihrer Gesamtheit aber zu gering, um Anlass zur Sorge zu sein.

Im Jahr 2021 ist die Anzahl der befallenen Buchen dank der geringeren Temperaturen und der verbesserten Wasserversorgung wieder stark rückläufig. Für die Zukunft ist, sollte sich der Trend zu größerer Trockenheit und höheren Temperaturen fortsetzen, aber wieder mit einer Ausweitung dieser Problematik zu rechnen.



Buche, Blick in die Krone

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Buchen 1984 bis 2021



Blick in eine absterbende Buchenkronen

ABBILDUNG 12

Fruktifikation und mittlerer Blattverlust bei Buchen | 2000 bis 2021

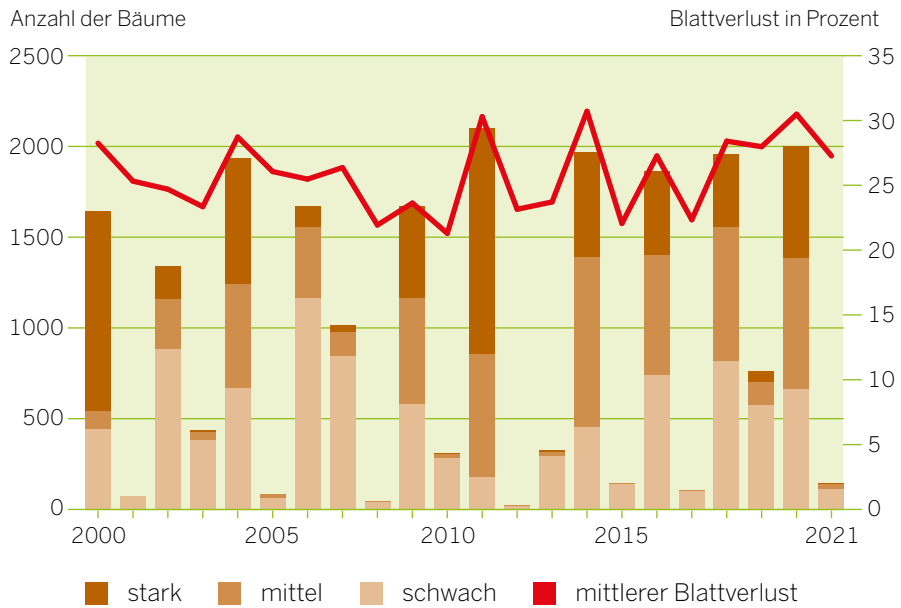
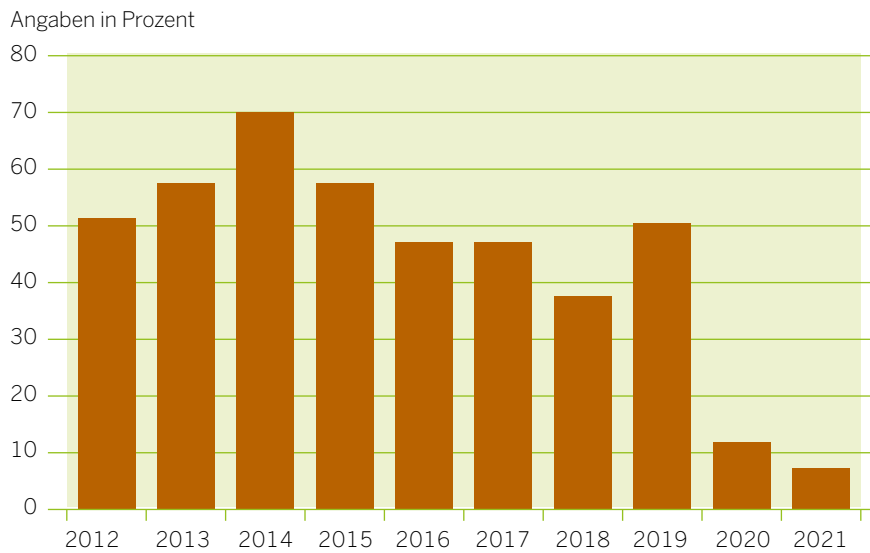
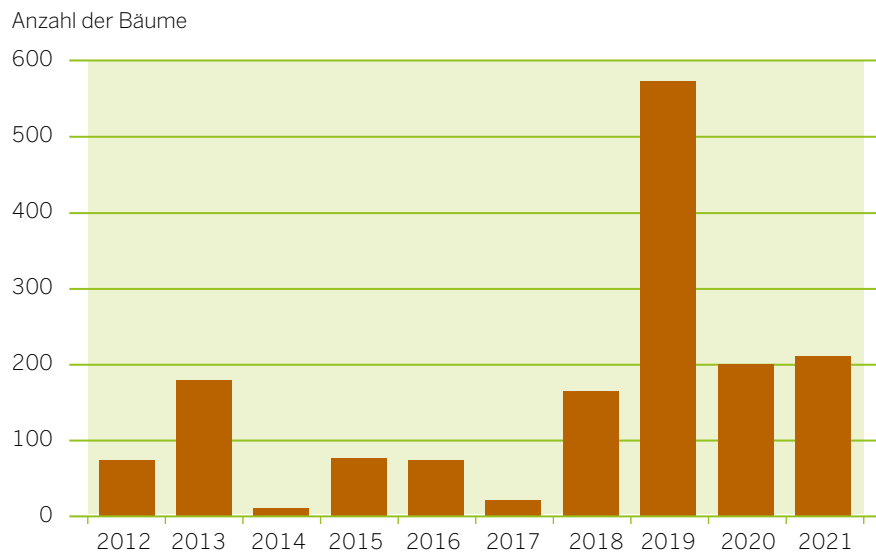


ABBILDUNG 13

Befall mit Buchenspringrüssler | 2012 bis 2021



Blattrollen bei Buchen | 2012 bis 2021



Fruktifikation an Buche

FICHTE

Die Fichte ist, wie in den drei vorangegangenen Jahren auch, das Sorgenkind in den Wäldern Nordrhein-Westfalens. Sie konnte sich im Jahr 2021 trotz häufiger Niederschläge und geringerer Sommertemperaturen nicht erholen. Die Populationsdichte der Fichtenborkenkäfer ist auch nach den Verlusten des vergangenen Winters hoch genug, vitale Fichten flächenweise absterben zu lassen. Der Anteil der Bäume mit deutlicher Kronenverlichtung sinkt um 3 Prozentpunkte auf 42 Prozent. Als schwach verlichtet wurden 26 Prozent der Fichten eingeschätzt, eine Reduzierung um 3 Prozentpunkte. Die Gruppe der als nicht geschädigt klassifizierten Bäume dagegen wächst von 26 Prozent auf 32 Prozent (Abb. 15, S. 25).

Der mittlere Nadelverlust an der Fichte steigt hingegen von 32,6 Prozent auf 33,8 Prozent (Abb. 20, S. 28).

Dieser augenscheinliche Widerspruch zwischen steigenden Nadelverlusten einerseits und sinkenden Anteilen gering und deutlich verlichteter Bäume andererseits

bedarf der Erläuterung: Seit 2018 kommt es durch Dürre und Hitze zu einer Massenvermehrung des Borkenkäfers, ein steigender Anteil der Probestämme der WZE wird befallen (Abb. 16, S. 26).

Mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung fällt ein Großteil der betroffenen Fichten aus und kann nicht mehr aufgenommen werden (Abb. 17, S. 27). „Biotische Einflüsse“ sind hier gleichzusetzen mit dem Ausfall durch den Borkenkäfer.

An den betroffenen Punkten der WZE werden die ausgefallenen Bäume ersetzt. Häufig sind dort infolge des bestandesweiten Absterbens keine Fichten der gleichen Altersklasse mehr verfügbar. In diesem Fall werden am Punkt andere Bäume des Hauptbestandes ausgewählt. Hierbei handelt es sich dann entweder um andere Baumarten oder um bestehende Naturverjüngung (i. d. R. Fichte). Sollte keine Bestockung mehr vorhanden sein, entfällt der WZE-Punkt, bis er sich wieder bewaldet hat. Dies hat zur Folge, dass das Kollektiv der aufgenommenen Fichten



Die Fichte leidet auch 2021 stark unter dem Borkenkäfer.

durch Wegfall von Punkten und Ausweichen auf andere Baumarten einerseits kleiner wird und andererseits das durchschnittliche Alter der aufgenommenen Fichten durch Ausweichen auf die Verjüngung sinkt (Abb. 18, S. 27).

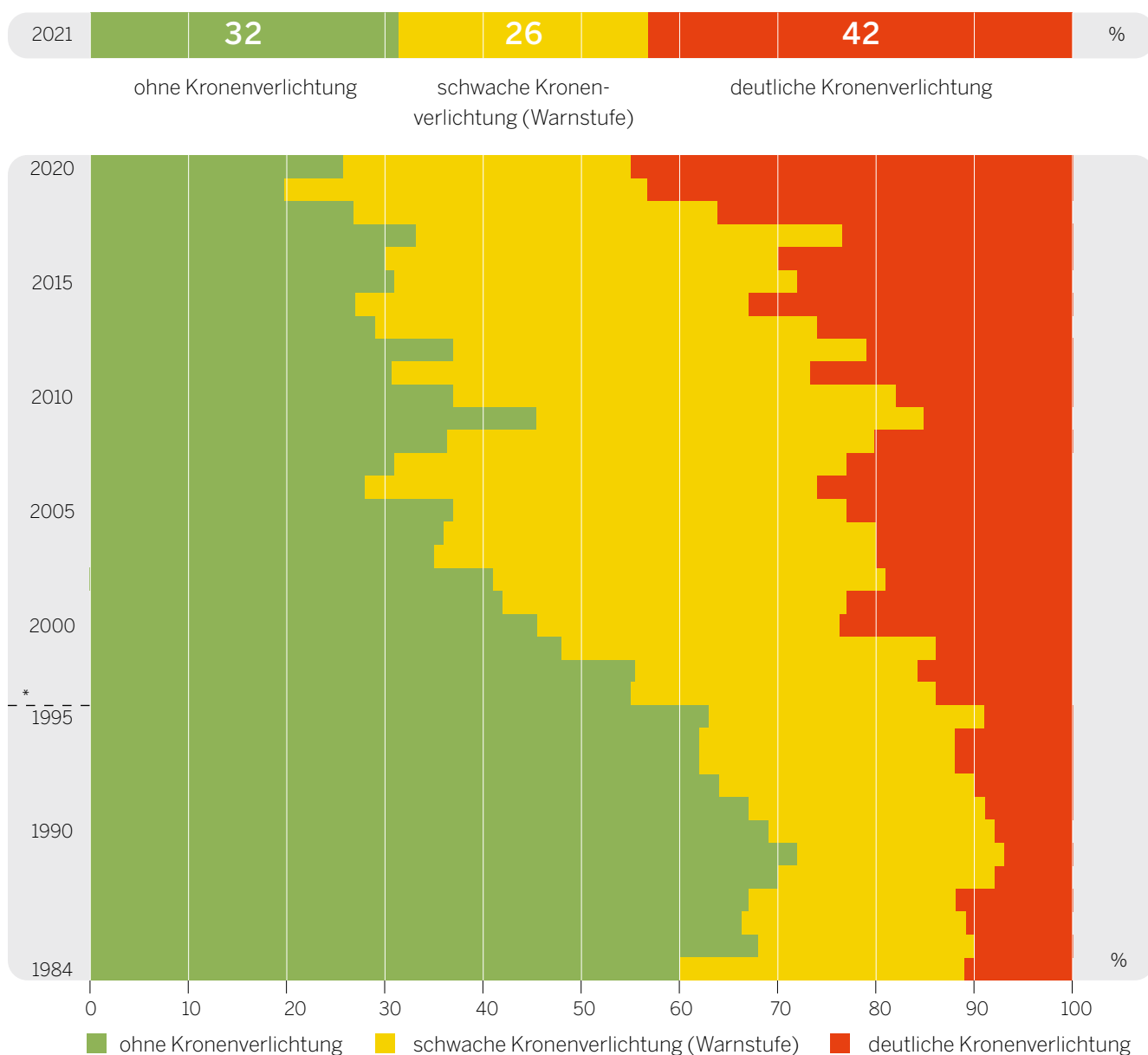
Da ältere Bäume in der Regel höhere Schadprozentage haben als Jungbäume, sinkt der Anteil der Fichten mit Verlustprozentagen zwischen 10 Prozent und 45 Prozent deutlich. Damit sinkt auch die relative Häufigkeit der gering und deutlich verlichteten Bäume im Aufnahme-kollektiv (Abb. 19, S. 28).

Der mittlere Nadelverlust dagegen steigt, weil bei gleichbleibenden Zahlen der nicht verlichteten Bäume und starker Abnahme der Bäume mit Verlustprozentagen zwischen 10 Prozent und 45 Prozent der Anteil der Fichten mit 100 Prozent Kronenverlichtung deutlich zunimmt.

Die Fichte hat nach der starken Fruktifikation im vergangenen Jahr 2021 praktisch nicht geblüht und keine Zapfen gebildet (Abb. 20, S. 28).

ABBILDUNG 15

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Fichten 1984 bis 2021



*1996 kein Landesergebnis



Borkenkäfer



Brutbild unter der Rinde

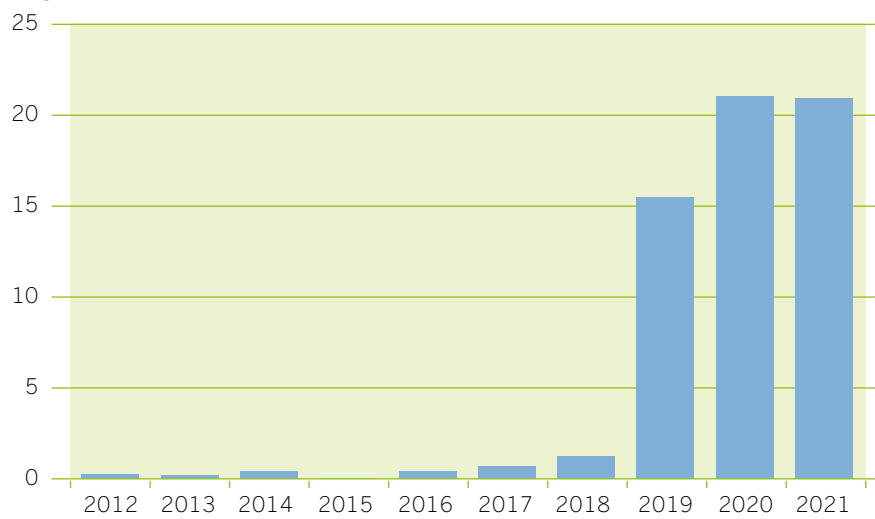


Einbohrlöcher in der Rinde

➔ ABBILDUNG 16

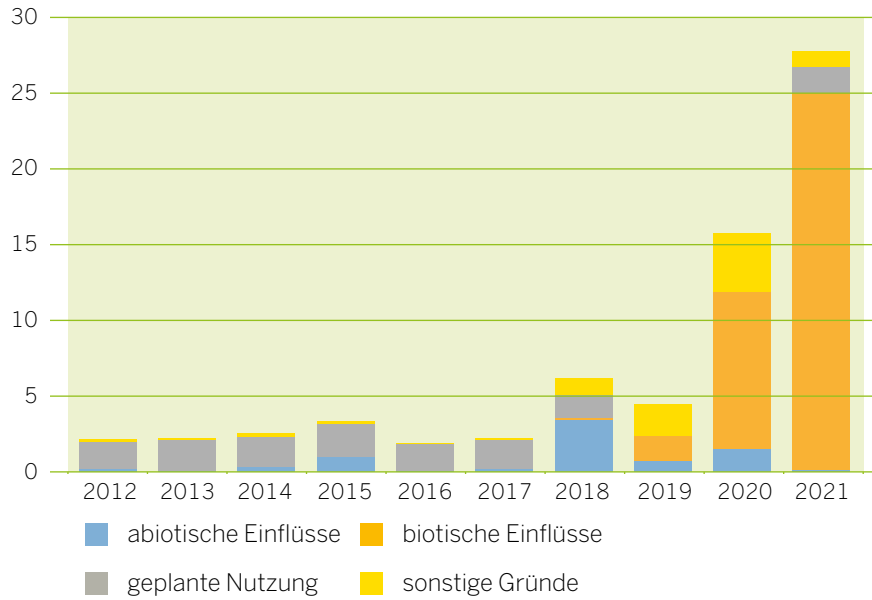
Borkenkäferbefall bei Fichten | 2012 bis 2021

Angaben in Prozent



Ausfallrate nach äußeren Einflüssen bei Fichten | 2012 bis 2021

Angaben in Prozent



Anzahl und mittleres Alter der aufgenommenen Fichten | 1997 bis 2021

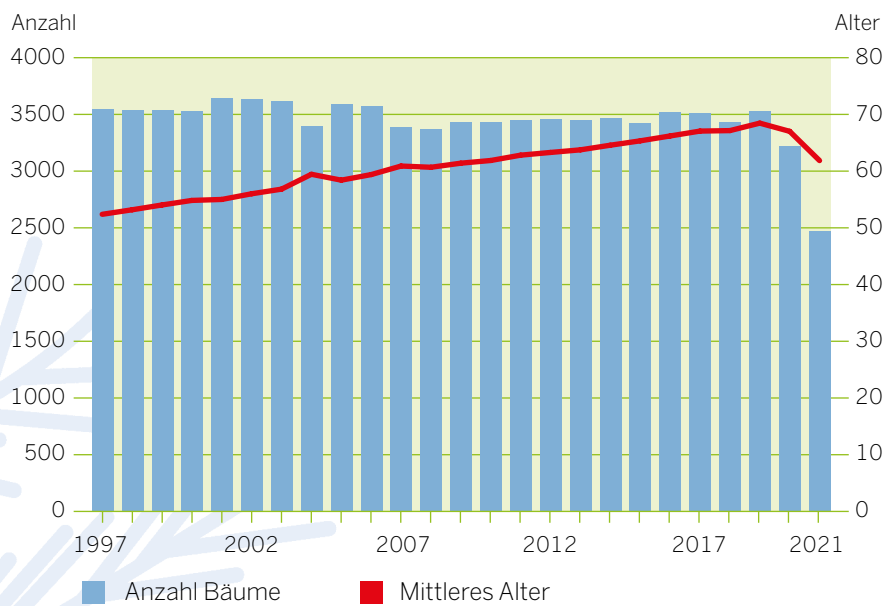


ABBILDUNG 19

Nadelverlust bei Fichten | 2020 und 2021

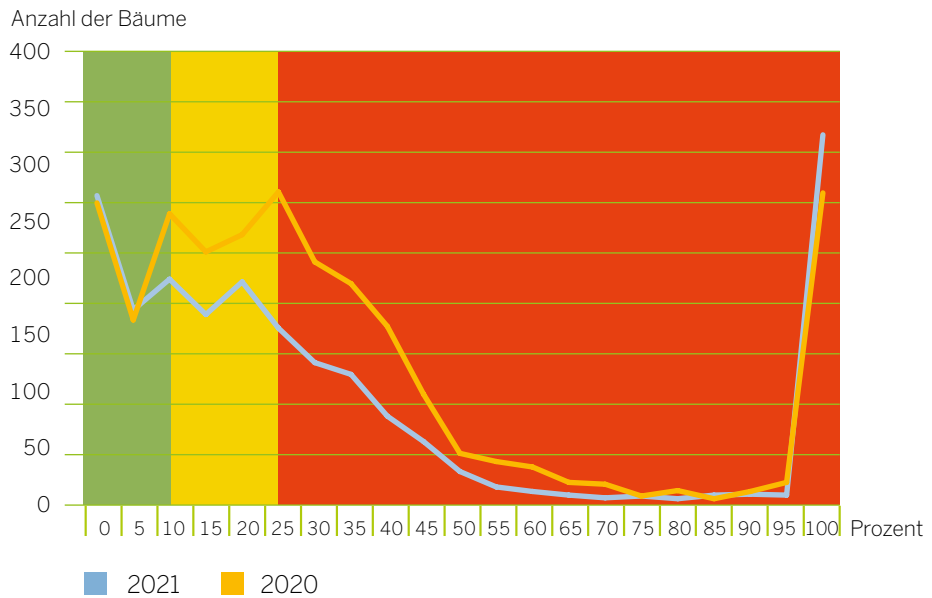
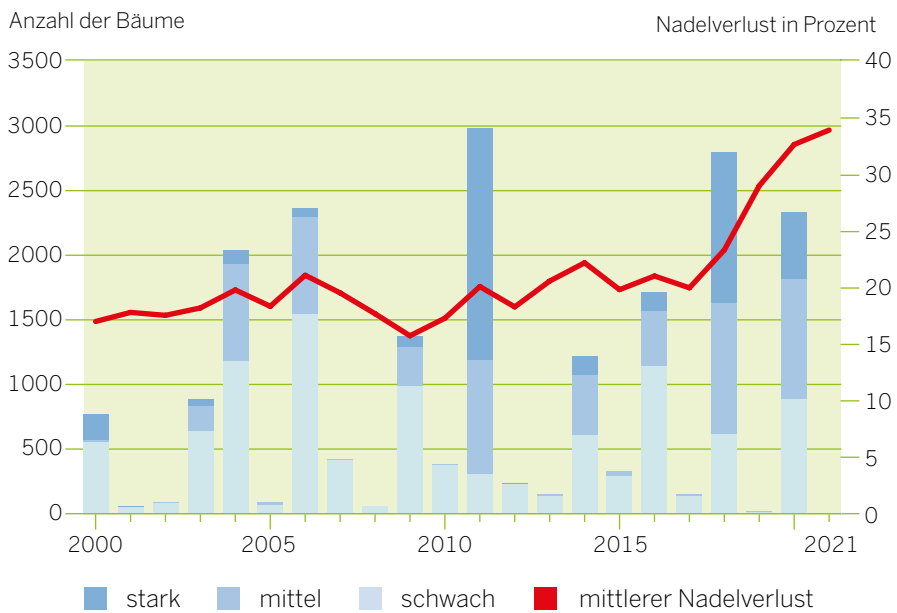


ABBILDUNG 20

Fruchtifikation und mittlerer Nadelverlust bei Fichten | 2000 bis 2021



RÜCKGANG DER FICHTE IN NORDRHEIN-WESTFALEN

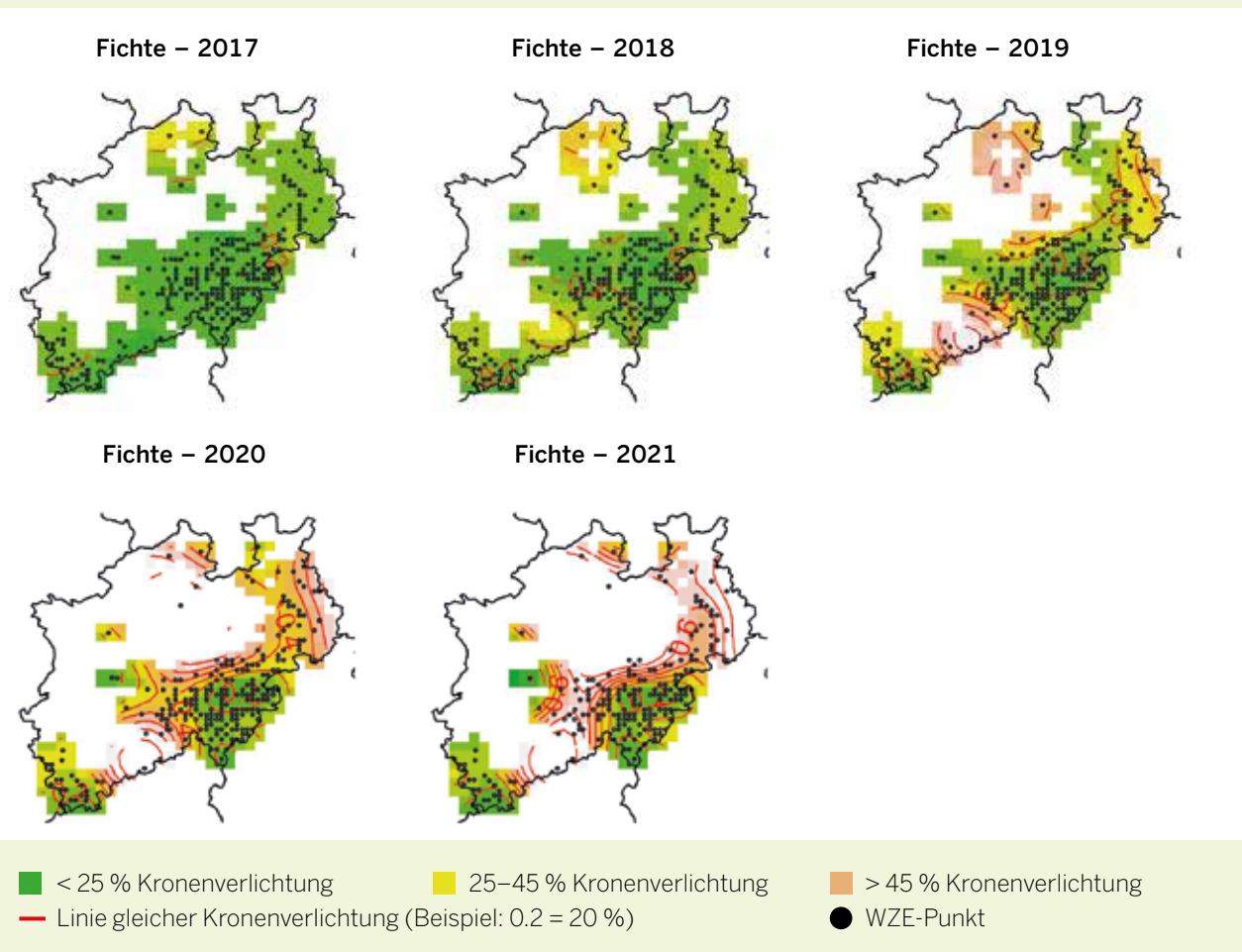
Der drastische Rückgang der Fichte in Nordrhein-Westfalen lässt sich anhand der räumlichen Muster der modellierten Kronenverlichtungsdaten der Fichte aus der Waldzustandserhebung visuell gut zeigen (zur Methodik s. Eickenscheidt et al. (2019) und MULNV (2020)). Im Jahr 2017, vor den drei aufeinanderfolgenden Dürrejahren, waren Fichtenbestände in allen Berglandregionen weit verbreitet und zeigten einen guten Vitalitätszustand (Abb. 21). In den Jahren 2018 bis 2021 nahm die Kronenverlichtung der Fichtenbestände nicht nur zu, sondern vitale Fichten-

bestände sind im Tiefland fast vollständig verschwunden und verschwinden auch zunehmend in den tieferen Berglandregionen (Weserbergland, Bergisches Land, nördliches Sauerland). Im Jahr 2021 beschränkt sich das Vorkommen vitaler Fichtenbestände im Wesentlichen auf die höheren Lagen im Sauer-/Siegerland sowie die Eifel. Hier finden sich durchweg auch noch gesunde Fichten. Der Borkenkäferbefall wird jedoch zunehmend auch in den höheren Lagen beobachtet.

➤ **ABBILDUNG 21**

Modellierte Kronenverlichtung für die Fichte | 2017 bis 2021

Die Darstellung zeigt die räumliche und zeitliche Entwicklung unter der Annahme, dass alle Bäume über den gesamten Zeitraum das mittlere baumartenspezifische Alter aus dem Jahr 2017 (vor der Dürre) besitzen. Diese Standardisierung ist für den Vergleich erforderlich.



KIEFER

Von unseren Hauptbaumarten zeigt die Kiefer die geringste Dynamik hinsichtlich der Schadentwicklung und weist die geringsten Anteile deutlich verlichteter Bäume auf. Im Jahr 2021 konnte sie sich wieder leicht erholen, nachdem ihr Kronenzustand 2020 den schlechtesten Wert seit Beginn der Waldzustandserhebung erreicht hatte.

Typisch für die Kiefer ist ein hoher Prozentsatz an gering verlichteten Bäumen, während nur wenige Kronen als nicht oder deutlich verlichtet eingeschätzt werden. Der Anteil der deutlich verlichteten Kiefern sinkt um drei Prozentpunkte auf 31 Prozent, die als nicht verlichtet

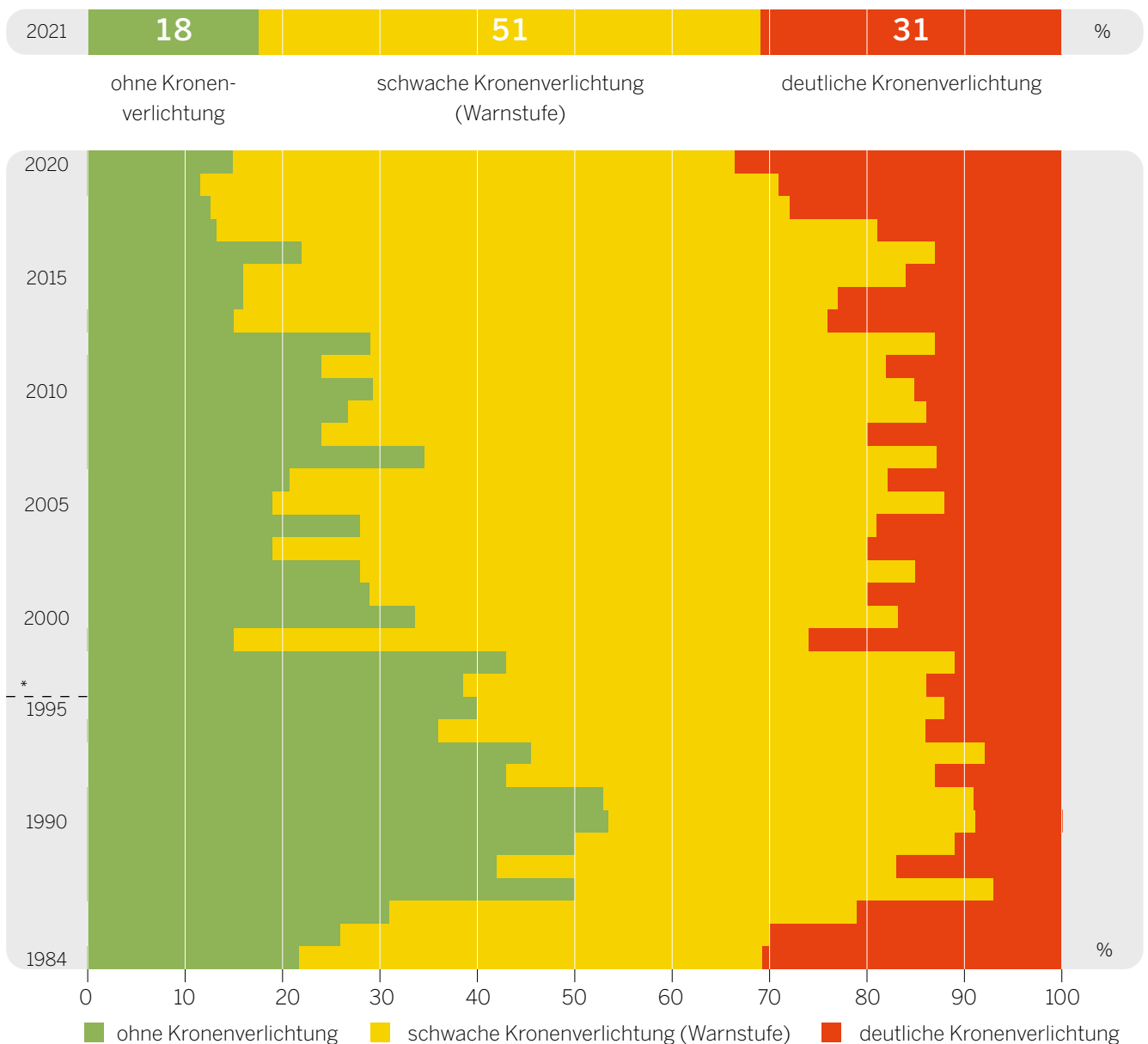
eingestuft Bäume legen um drei Prozentpunkte zu auf 18 Prozent, die schwach verlichteten Bäume verharren bei 51 Prozent (Abb. 22).

Der mittlere Nadelverlust steigt minimal von 23,8 Prozent auf 23,9 Prozent (Abb. 23, S. 31).

Die Fruktifikation der Kiefer fällt im laufenden Jahr deutlicher aus als in den beiden vorangegangenen Jahren. Die Gesamtzahl der Bäume mit Zapfen steigt zwar nur in geringem Ausmaß, aber es kommt zu einer Verlagerung, was die Stärke der Fruchtbildung angeht (Abb. 23, S. 31).

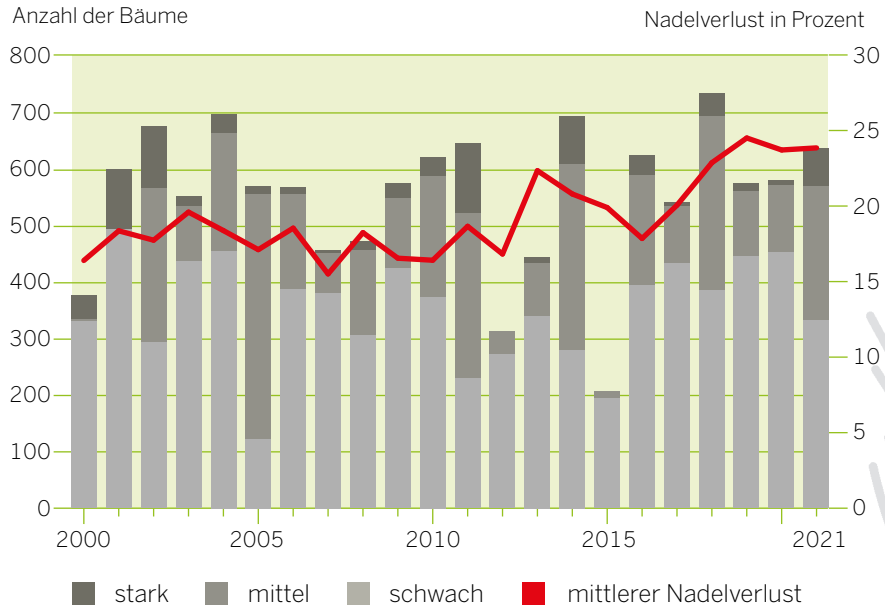
➔ ABBILDUNG 22

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Kiefern 1984 bis 2021



*1996 kein Landesergebnis

Fruktifikation und mittlerer Nadelverlust bei Kiefern | 2000 bis 2021



Kiefer

WITTERUNGS- UND BODENWASSERVERHÄLTNISSE BIS ZUM SOMMER



Die extreme Dürre in den vergangenen drei Vegetationsperioden in Nordrhein-Westfalen wurde durch ausgiebige Niederschläge ab Mai 2021 beendet. Im Zeitraum April bis August fielen laut Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) etwa 15 Prozent mehr Niederschläge als in der Referenzperiode 1961–1990. Gleichzeitig wurde 2021 die niedrigste mittlere Temperatur für diesen Zeitraum (April–August) in den letzten 25 Jahren gemessen. So verlief die diesjährige Wachstumsperiode für die Waldbäume im Vergleich zu den Vorjahren weitgehend wasser- und hitzestressfrei. Die Folgen der extremen Witterungssituation der Vorjahre wirken jedoch weiterhin nach.

Die Witterung spielt eine entscheidende Rolle für den Waldzustand, zum einen durch direkte Effekte wie Sommertrockenheit, Stürme sowie Früh- und Spätfröste, zum anderen gibt es indirekte Effekte, indem die Witterung z. B. die Anlage von Blütenknospen beeinflusst. Von

Relevanz ist nicht nur der Witterungsverlauf des aktuellen Jahres, sondern auch der Verlauf des Vorjahres. Die Wälder sind im Allgemeinen gut an die durchschnittlichen Bedingungen des jeweiligen Standorts angepasst. Daher ist durch den Vergleich der aktuellen Wetterverhältnisse mit dem langjährigen Mittel eine erste Einschätzung der aktuellen Situation möglich.

Im Folgenden werden die Witterungs- und Bodenwasserverhältnisse in NRW bis zum August 2021 im Detail betrachtet und Rückschlüsse auf mögliche Auswirkungen auf die Waldbäume gezogen. Als Datengrundlage dienen Wetteraufzeichnungen des DWD sowie Messungen des LANUV, die im Rahmen des bundesweiten forstlichen Umweltmonitorings auf den Level-II-Flächen in NRW (s. Kap. „Forstliches Umweltmonitoring – 40 Jahre Waldbeobachtung in NRW“, S. 62) durchgeführt werden.



Messung der Bodenwasserspannung mit manuellen Tensiometern auf der Kalamitäts-Level-II-Fläche Elberndorf



Einbau von Bodenfeuchtemesssonden auf der Level-II-Fläche Elberndorf

KLIMA UND WITTERUNGSVERHÄLTNISSE IN NRW

Das Klima in NRW unterliegt dem maritimen Einfluss und ist geprägt durch kühle Sommer und milde Winter. Der globale Klimawandel führt auch in NRW zu Veränderungen. Landesweit ist die Jahresmitteltemperatur seit Beginn der Aufzeichnungen des DWD im Jahr 1881 um 1,6 °C und die mittlere jährliche Niederschlagsmenge um 62 mm angestiegen. Bereits seit Mitte der 1980er Jahre liegt die Jahresmitteltemperatur fast durchgängig deutlich über den Werten der Referenzperiode 1961–1990 (aufgrund der Langlebigkeit der Bäume wird für die Beurteilung von Auswirkungen der Klimaänderungen weiterhin diese Referenzperiode verwendet). Die Jahre 2018 bis 2020 waren durch außergewöhnliche Dürre und überdurchschnittlich warme Temperaturen geprägt. So sind die Wälder in NRW mit deutlicher Vorbelastung in Bezug auf Wasser- und Hitzestress in das Jahr 2021 gestartet.

Die mittlere Temperatur von April bis August (Beginn der Vegetationsperiode bis zum Ende des jährlichen Aufnahmezeitraums der Waldzustandserhebung) zeigt ab Anfang der 1980er bis Ende der 1990er Jahre einen deutlichen Anstieg (Abb. 1, S. 35). Bis 2017 ist die Temperatur dann im Mittel auf dem hohen Level konstant geblieben. Im Jahr 2021 wurde mit 14,1 °C jedoch die niedrigste mittlere Temperatur für diesen Zeitraum (April–August) in den letzten 25 Jahren gemessen, die auch nur wenig über der Temperatur der Referenzperiode (13,8 °C) lag. Im Vergleich zu den hohen Temperaturen in den drei Vorjahren führt die kühlere Temperatur in 2021 zu einer niedrigeren Wasserverdunstung von der Bodenoberfläche sowie Verdunstung durch die Waldbäume (Transpiration).

Obwohl die Menge der Jahresniederschläge seit Messbeginn 1881 im Mittel zugenommen hat, gilt dies nicht für die Niederschlagsmengen innerhalb des für das Waldwachstum wichtigen Zeitraums von April bis August (Abb. 2, S. 35). Im Jahr 2021 fielen jedoch in diesen Monaten mit 428 mm etwa 15 Prozent mehr Niederschläge im Vergleich zum Referenzzeitraum (373 mm). Dies bedeutet, dass den Bäumen in der Wachstumsperiode 2021 im Mittel in NRW ausreichend Wasser aus den Niederschlägen zur Verfügung stand. In den Monaten Januar bis August sind mit 645 mm etwa 11 Prozent mehr Niederschläge gefallen als im Mittel im Referenzzeitraum (579 mm). Im Vergleich zum Referenzzeitraum lag jedoch im Mittel in NRW für das Jahr 2020 ein Niederschlagsdefizit von 134 mm vor und insgesamt aus den letzten drei

Jahren sogar ein Defizit von 450 mm. Alleine das Defizit aus dem Jahr 2020 konnte noch nicht durch den Niederschlagsüberschuss von 66 mm von Januar bis August 2021 ausgeglichen werden. Die klimatische Wasserbilanz, die neben den Niederschlagsmengen auch die Verdunstungsraten berücksichtigt, weist sogar ein noch höheres Defizit von 664 mm für die Jahre 2018 bis 2020 aus. Dies wirkt sich, trotz der leichten Erholung im Jahr 2021, weiterhin auf den Wasserhaushalt in tieferen Bodenschichten und die Grundwasserneubildung aus.

Das Jahr 2021 startete in NRW mit einem im Mittel 1,5 °C zu warmen Winter im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990 (Abb. 3, S. 36). Im Februar kam es zu einem extrem schnellen Wechsel von eisigen Wintertemperaturen mit großen Schneemengen zu überdurchschnittlich hohen frühlingshaften Temperaturen (vergleiche auch Abb. 7, S. 40). Der April war dann jedoch ungewöhnlich kühl und trocken. Der ebenfalls zu kühle Mai brachte überdies ausgiebige Niederschläge und beendete die zuvor drei Jahre anhaltende Dürre in der Vegetationszeit. Die Waldbäume, die aufgrund der niedrigen Temperaturen spät austrieben (s. Kap. „Phänologische Beobachtungen an Waldbäumen“, S. 56), starteten somit in eine niederschlagsreiche Wachstumsperiode. Der Juni war mit 19 °C und somit 3,7 °C über der Temperatur der Referenzperiode der zweitwärmste Juni seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1881. Gleichzeitig brachte der Juni durchschnittliche Niederschläge. Im Juli lag die Niederschlagsmenge 55 Prozent höher als im Referenzzeitraum (s. Box „Hochwasser“, S. 36) und NRW war im Juli das sonnenscheinärmste Bundesland. Auf diesen regenreichen Juli folgte ein durchschnittlicher August.

Neben den zeitlichen Schwankungen bestehen auch räumliche Unterschiede in den Witterungsbedingungen. Die Temperaturabweichungen unterschieden sich räumlich von April bis August 2021 jedoch vergleichsweise wenig (Abb. 4, S. 37). So war es im April, Mai und August landesweit zu kühl und im Juni zu warm. Die Niederschlagsabweichungen von April bis August waren regional verschieden und zeichnen je nach Monat ein anderes räumliches Muster (Abb. 5, S. 37). Die Extremniederschläge im Juli, die sich vom Sauerland über die Kölner Bucht bis zur Eifel erstreckten, wurden bereits erwähnt (s. Box „Hochwasser“, S. 36).

ABBILDUNG 1

Zeitverlauf der mittleren Temperatur der Monate April bis August | 1881 bis 2021

■ Mittel April bis August ■ 10-jähriger gleitender Durchschnitt

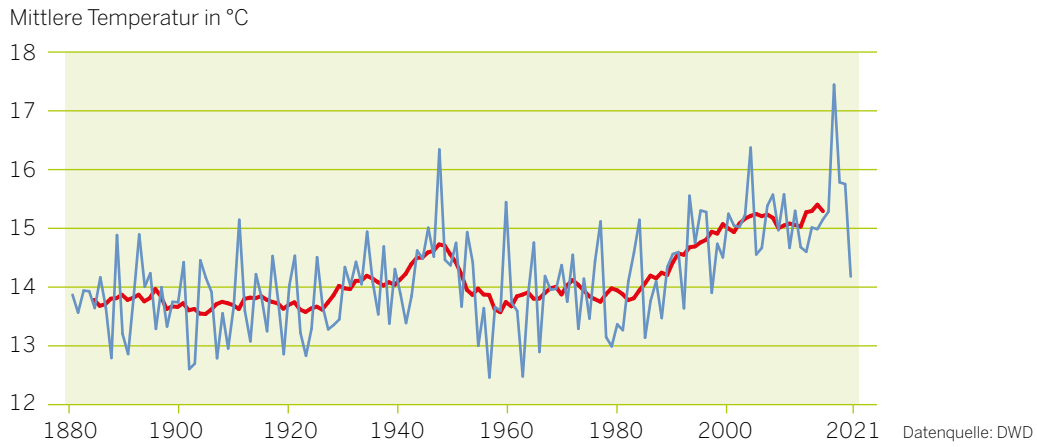
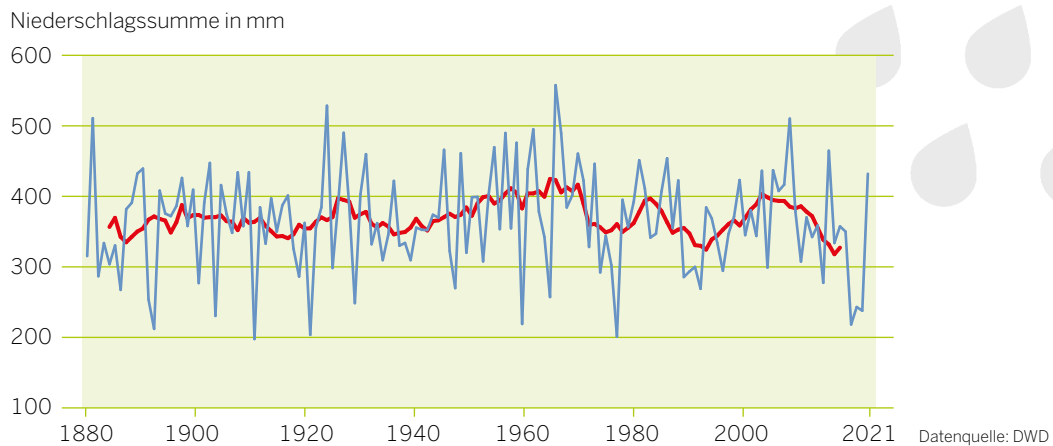


ABBILDUNG 2

Zeitverlauf der Niederschlagssumme der Monate April bis August | 1881 bis 2021

■ Summe April bis August ■ 10-jähriger gleitender Durchschnitt



HOCHWASSER

Das Tief „Bernd“ brachte am 13. und 14. Juli 2021 extreme und großflächige Regenfälle in NRW. Von der Kölner Bucht bis zur Eifel fielen allein am 14. Juli Rekordsummen von über 100 mm. Hierbei registrierte die Messstation Wipperfürth-Gardeweg mit 162,4 mm den deutschlandweit höchsten Tagesniederschlag. Zahlreiche Pegel verzeichneten noch nie dagewesene Abflussmengen. Der Regen löste vor allem an den Flüssen Erft und Rur verheerende Fluten aus, die viele Menschen das Leben kosteten. Auch wenn der Wald selbst durch die extremen Niederschlagsmengen und das Hochwasser wenig Schaden erleidet, so spielt

ein vitaler, intakter Wald jedoch eine wichtige Rolle im vorbeugenden Hochwasser- und Erosionsschutz. Insbesondere an Steilhängen wird der Abfluss reduziert und die Hochwasserspitzen werden gestreckt. Ein durch Vitalitätsschäden stark aufgelichteter Wald oder ein kahler Hang kann diese Funktion nur wenig wahrnehmen. Die Erhaltung und Schaffung intakter Wälder im Klimawandel hat auch aufgrund dieser Schutzfunktion eine hohe Priorität. Für das Fortbestehen und die Erhaltung von Auwäldern sind Überflutungs-episoden/-ereignisse sogar notwendig, d. h. die Auwälder profitieren von hohen Wasserständen.

ABBILDUNG 3

Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer | September 2020 bis August 2021

Abweichung von der Referenzperiode 1961 bis 1990

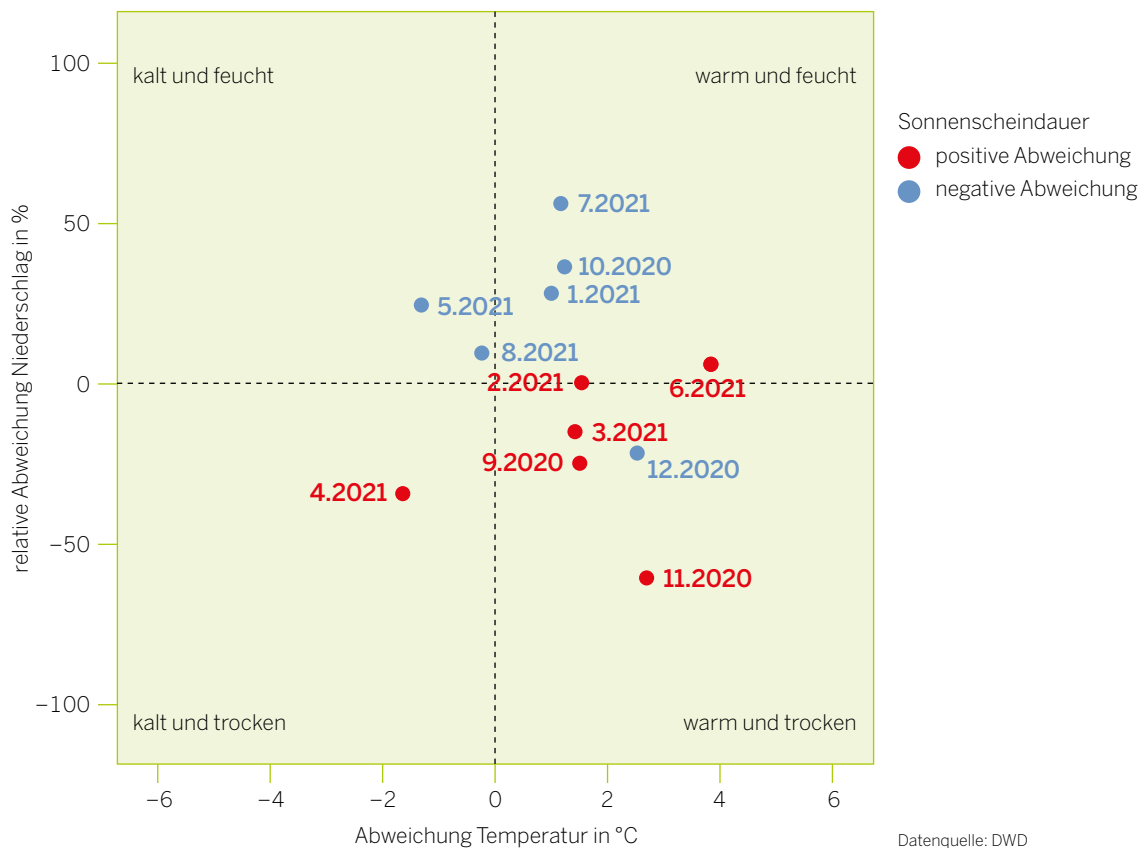


ABBILDUNG 4

Regionale Temperaturabweichungen | April bis August 2021

Abweichung in °C von der Referenzperiode 1971 bis 2000

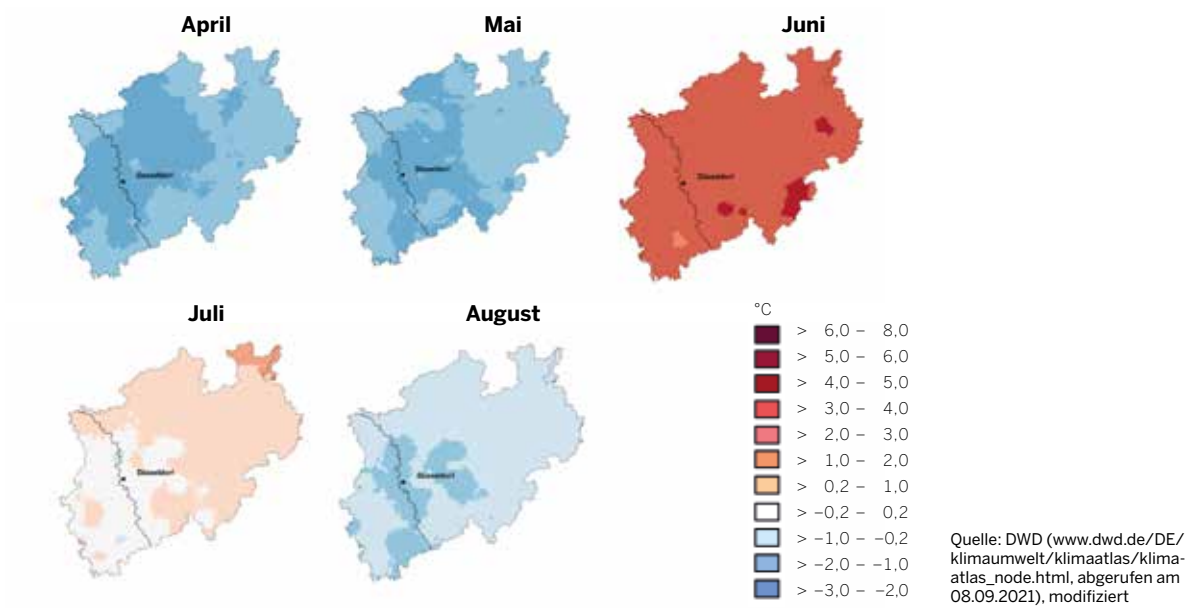
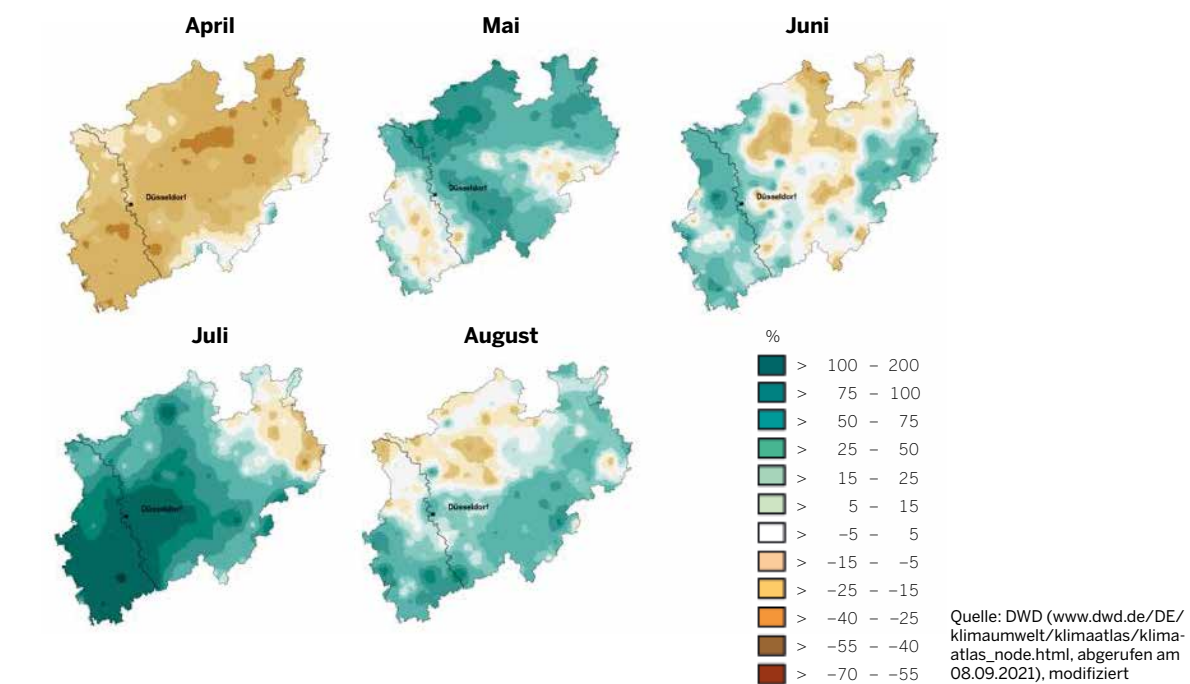


ABBILDUNG 5

Regionale Niederschlagsabweichungen | April bis August 2021

Abweichung in % von der Referenzperiode 1971 bis 2000



WITTERUNGSVERHÄLTNISSE DER LEVEL-II-FLÄCHEN

Die angesprochenen regionalen Unterschiede im Witterungsverlauf lassen sich anhand der vier nordrhein-westfälischen Level-II-Flächen (Tab. 1; s. Kap. „Schäden durch Fichtenborkenkäfer, Buchentrocknis und Eichenfraßgesellschaft“, S. 46) verdeutlichen und vertiefen. Auf den Level-II-Flächen werden u. a. meteorologische Größen sowie der Bodenwasserhaushalt erfasst.

Beispielhaft werden hier die Witterungsverläufe der Tiefland-Fläche Haard (Westfälische Bucht; Abb. 6a, S. 39) und der Bergland-Fläche Schwaney (Weserbergland/Egge; Abb. 6b, S. 39) dargestellt. In der Haard waren der Winter sowie der März in Bezug auf die mittleren Temperaturen und die Niederschlagsmengen durchschnittlich. Der April und der August waren zu trocken, während der Mai und der Juli deutlich zu nass waren (vgl. auch Abb. 5, S. 37). Im Zeitraum April bis August fielen insgesamt fast 10 Prozent mehr Niederschläge als im langjährigen Mittel (1995–2020) und es war um 0,8 °C kühler. Die Situation an der Tiefland-Fläche Kleve-Tannenbusch (Niederrheinisches Tiefland) war weniger wechselhaft, insgesamt betrachtet jedoch vergleichbar (ohne Abb.). In Schwaney (Weserbergland) war der Juli, ganz im Gegensatz zu den übrigen Landesteilen von NRW (vgl. Abb. 5, S. 37), der einzige zu trockene Monat in der Vegetationsperiode bis August 2021. Im Zeitraum April bis August insgesamt fielen jedoch auch hier mehr Niederschläge als üblich (ca. 26 %) und es war 1,1 °C kühler. Die Bergland-Fläche Elberndorf (Sauer-/Siegerland) startete

dagegen mit ähnlich großen Niederschlagsdefiziten in die Vegetationsperiode wie bereits in dem extremen Dürrejahr 2018 (ähnlicher Verlauf der Niederschlagssummenkurven). Die Monate Mai bis August wiesen dann jedoch überdurchschnittliche Niederschlagsmengen auf (ohne Abb.).

Der Nadel-/Blattaustrieb der Bäume im Frühjahr wird primär durch die Temperaturbedingungen gesteuert (s. Kap. „Phänologische Beobachtungen an Waldbäumen“, S. 56). In Abb. 7 (S. 40) sind forstmeteorologische Schwellenwerte (Tage mit Tagesmitteltemperaturen größer oder gleich 10 °C und Tage mit Maximaltemperaturen größer oder gleich 20 °C) exemplarisch für die Level-II-Fläche Haard abgebildet.

Abgesehen von dem extremen Temperaturwechsel um 38,5 °C von eisigen Wintertemperaturen zu frühlinghaften 20 °C binnen sieben Tagen im Februar, war der gesamte Frühling 2021 von außergewöhnlich niedrigen Temperaturen geprägt (Abb. 7, S. 40). Diese Situation wurde seit Beginn der Zeitreihe zuvor nicht beobachtet und hat zu einem späten Austrieb der Waldbäume geführt (s. Kapitel „Phänologische Beobachtungen an Waldbäumen“, S. 56). Die kurze Hitzewelle Mitte Juni 2021, die am 17. Juni mit 35,4 °C ihren Höhepunkt erreichte, hatte in diesem Jahr aufgrund der andersartigen Niederschlags-situation keine vergleichbaren negativen Auswirkungen auf die Waldbäume wie die Hitzewellen der Vorjahre.

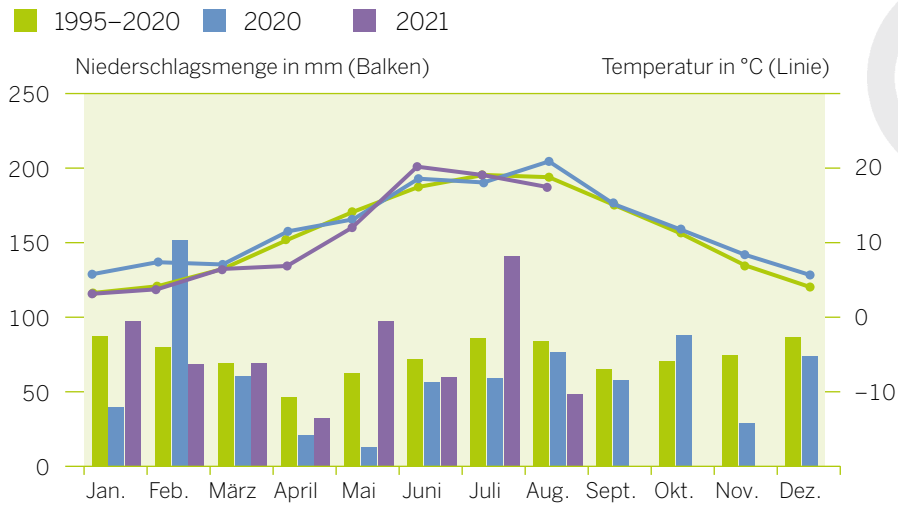


Wetterstation der Level-II-Freifläche Elberndorf

➔ ABBILDUNG 6 a

Monatliche Niederschlagsmengen und mittlerer Temperaturverlauf | Level-II-Fläche Haard | 2020 bis August 2021

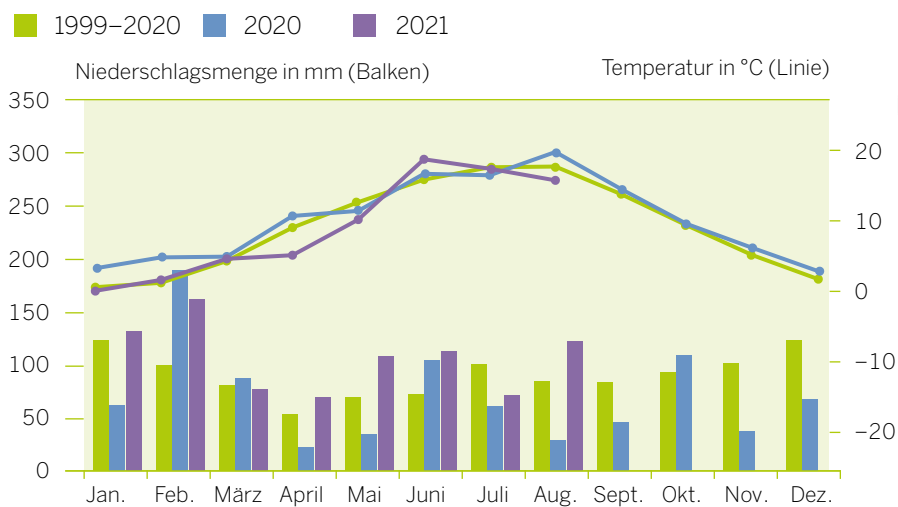
Vergleich mit dem langjährigen Mittel der Untersuchungsfläche (1995–2020)



➔ ABBILDUNG 6 b

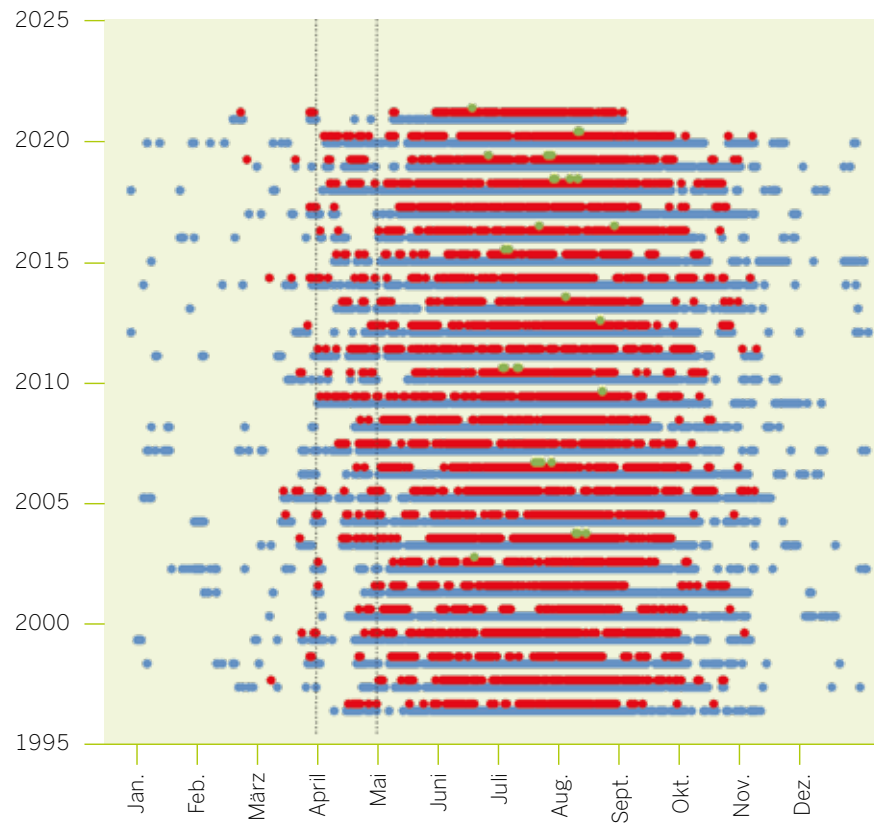
Monatliche Niederschlagsmengen und mittlerer Temperaturverlauf | Level-II-Fläche Schwaney | 2020 bis August 2021

Vergleich mit dem langjährigen Mittel der Untersuchungsfläche (1999–2020 ohne 2006–2008)



Tage mit Tagesmitteltemperaturen größer oder gleich 10 °C und Tagesmaximaltemperaturen größer oder gleich 20 °C bzw. 35 °C | Level-II-Fläche Haard | 1996 bis 2021 (bis 31.08.2021)

- Tagesmitteltemperatur größer oder gleich 10 °C
- Tagesmaximaltemperatur größer oder gleich 20 °C
- Tagesmaximaltemperatur größer oder gleich 35 °C



Messung der Bodenwasserspannung mit Tensiometern auf der Level-II-Fläche Schwaney

BODENWASSERHAUSHALT DER LEVEL-II-FLÄCHEN

Der Bodenwasserhaushalt wird nicht nur von der Witterung beeinflusst, entscheidend sind auch die Bodenverhältnisse und der Wasserverbrauch der aufstockenden Waldbestände. Die vier Level-II-Flächen weisen verschiedene Eigenschaften auf und repräsentieren typische Wälder Nordrhein-Westfalens (Tab. 1).

Im Winterhalbjahr füllt sich der Bodenwasservorrat üblicherweise auf. Im Frühjahr beginnen die Bäume wieder vermehrt Wasser aus dem Boden aufzunehmen, um den Wasserverbrauch, der beim Austrieb der Bäume und durch die Verdunstung der Nadeln und Blätter entsteht, auszugleichen (s. Kap. „Phänologische Beobachtungen an Waldbäumen“, S. 56). Der Wasserentzug durch die Bäume führt zu einem Anstieg der Wasserspannung in den durchwurzelteten Bodenschichten (Bodensaugspannung). Als Indikator für die Wasserversorgung von Waldbäumen kann zum einen die relative Bodenwasserverfügbarkeit und zum anderen die Transpirationsdifferenz herangezogen werden. Die Transpirationsdifferenz ist die Differenz zwischen potenziell möglicher (nicht

durch den Bodenwassergehalt eingeschränkt) und tatsächlich realisierter Verdunstung der Bäume (ggf. durch Bodentrockenheit eingeschränkt). Eine relative Bodenwasserverfügbarkeit von ≤ 40 Prozent der nutzbaren Feldkapazität (nFK; maximale Speicherfähigkeit an pflanzenverfügbarem Wasser im Boden) (z. B. Bréda et al. 2006) sowie eine Transpirationsdifferenz von > 2 mm am Tag (z. B. Schultze et al. 2005) werden häufig als Schwellenwerte für Einschränkungen des Wachstums der Bäume und damit für Wasserstress angesehen. Entscheidend sind jedoch die Dauer des Wasserstresses sowie die fehlende absolute Wassermenge. Außerdem beeinflussen die Eigenschaften des Bodens und des Bestandes, ab wann tatsächlich Wasserstress bei den Bäumen auftritt.

Die Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2021 werden exemplarisch für die Tiefland-Fläche Haard (Abb. 8a, S. 43) und die Bergland-Fläche Schwaney (Abb. 8b, S. 43) dargestellt. Die Bodenwasserspeicher in den oberen 90 cm des Bodens in der Haard wurden über den Winter 2020/2021 annähernd aufgefüllt. Mit Beginn

➔ TABELLE 1

Ausgewählte Eigenschaften | vier nordrhein-westfälische Level-II-Flächen

	Haard	Kleve-Tannenbusch	Elberndorf	Schwaney
Wuchsgebiet	Westfälische Bucht	Niederrheinisches Tiefland	Sauer-/Siegerland	Weserbergland (Egge)
Jahresmitteltemperatur [°C]*	10,2	10,1	6,8	8,5
Jahresniederschlags-summe [mm]*	847	818	1432	1117
Baumart(en)	Rotbuche	Stieleiche, Traubeneiche, Rotbuche	Gemeine Fichte	Rotbuche mit Eiche, Bergahorn, Esche
Bodentyp	Braunerde-Podsol, pseudovergleyt	Pseudogley-Braunerde, schwach podsoliert	Pseudogley-Braunerde, schwach podsoliert	Braunerde, Braunerde-Pseudogley
Gründigkeit	tiefgründig	tiefgründig	mittel	mittel
Grundwassereinfluss	nein	nein	nein	nein
Bodenart	tonig-lehmiger Sand	toniger Schluff	schluffiger Lehm	schluffiger Ton
Beispieltiefe**	12–45 cm (Bhv):	30–50 cm (Bv1):	10–29 cm (Bv):	20–40 cm (Sd)
Porosität [Vol. %]	39	45	45	42
Permanenter Welkepunkt [Vol. %]	4	8	16	30
Nutzbare Feldkapazität [Vol. %]	22	31	19	8

*langjähriges Mittel der Untersuchungsflächen: 1995–2020 für Haard, Kleve, Elberndorf und 1999–2020 ohne 2006–2008 für Schwaney

**Die Eigenschaften der Beispieltiefen sind typisch für den gesamten Boden.

der Vegetationszeit sank der Bodenwasservorrat Ende April zunächst leicht ab, die ausgiebigen Niederschläge im Mai sorgten jedoch dafür, dass die Bäume zu Beginn der Wachstumszeit mit ausreichend Wasser versorgt wurden (Abb. 8a, S. 43). Die fehlenden Niederschläge in der ersten Junihälfte, die mit einer Hitzewelle einhergingen, führten zu einem kurzzeitigen Abfall der Wasservorräte im Boden. Die Grenze für Wasserstress der Bäume wurde jedoch nicht unterschritten und die hohen Niederschlagsmengen im Juli sorgten wieder für Entspannung in der Haard. Messungen der Bodensaugspannungen in 150 cm Tiefe auf diesem tiefgründigen Standort zeigen, dass über die gesamte Vegetationsperiode bis August ausreichend Wasser in den tieferen Bodenschichten zur Verfügung stand (ohne Abb.).

Die Bodenwasserspeicher in den oberen 90 cm des Bodens in Schwaney waren über die Wintermonate gefüllt (Abb. 8b, S. 43). Auch hier kam es zunächst zu einem Abfall des Bodenwasservorrats mit dem Austrieb der Waldbäume und die niedrigsten Vorräte wurden im Juni erreicht. Bereits im Juli waren die Bodenwasserspeicher in den oberen 90 cm wieder vollständig gefüllt. Diese Berglandfläche zeichnet sich durch einen tonigen und flachgründigen Boden aus, der daher im Vergleich zu den anderen Flächen eine geringe nutzbare Feldkapazität (nFK) aufweist (s. Tab. 1, S. 41). Absolut gesehen wurde hier in den letzten drei Jahren die stärkste Bodenaustrocknung über die gesamte Profiltiefe beobachtet. Im Jahr 2020 lag von Mitte Juli bis Ende September durchgehend ein erheblicher Wassermangel (unter 10 % der nFK) vor (Abb. 8b, S. 43).

Auf der Bergland-Fläche Elberndorf wurde im September der Fichtenbestand aufgrund von Borkenkäferkalamität entnommen. Die fehlende Wasseraufnahme durch die Bäume bei gleichzeitig hohen Niederschlägen und geringer Verdunstung von der Bodenoberfläche durch die niedrigen

Sommertemperaturen haben dazu geführt, dass der Boden der Kalamitätsfläche seit der Entnahme bis Ende August 2021 durchgängig feucht war (ohne Abb.).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in der Vegetationsperiode 2021 bis Ende August an allen vier Level-II-Flächen weder die kritische Grenze der relativen Bodenwasserverfügbarkeit unterschritten noch die Grenze der Transpirationdifferenz überschritten wurde. Die Speicher der oberen Bodenschichten konnten sich wieder füllen und die Wasserhaushaltssituation stellte sich anders als in den drei Vorjahren entspannt dar. Für die Waldbäume bestand 2021 kein Wasserstress. Dennoch wirken die extremen Bedingungen der Vorjahre in Bezug auf Wasser- und Hitzestress im Wald weiter nach. Auf den Dauerbeobachtungsflächen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings sind auf den Laubholz-Flächen insbesondere Buchen vom Absterbeprozess betroffen. Dies betrifft einzelne ältere Buchen der Fläche Haard, die nach Entnahme der angrenzenden, abgestorbenen Fichten massive Sonnenbrandschäden in 2019 und 2020 erlitten haben (vgl. Waldzustandsbericht 2020), sowie Buchen im Unterstand unter Eiche auf verschiedenen Dauerbeobachtungsflächen. Insbesondere auf der Eichen-Fläche in Viersen, auf der die unterständigen Buchen im Vorjahr bereits im August ihr Laub abgeworfen haben (vgl. Waldzustandsbericht 2020), ist die Buche abgängig. Landesweit spielt die Fichtenmortalität weiterhin die größte Rolle (s. Kap. „Schäden durch Fichtenborkenkäfer, Buchentrocknis und Eichenfraßgesellschaft“, S. 46). Im intensiven forstlichen Umweltmonitoring sind die Fichten auf vier der ursprünglich fünf Fichten-Flächen bereits 2019 und 2020 abgestorben. Folgen aus den Vorjahren ergeben sich auch für die Grundwasserneubildung, da die Wasserdefizite der Vorjahre noch nicht ausgeglichen werden konnten und somit in tieferen Bodenschichten weiterhin nicht ausreichend Wasser zur Verfügung steht.



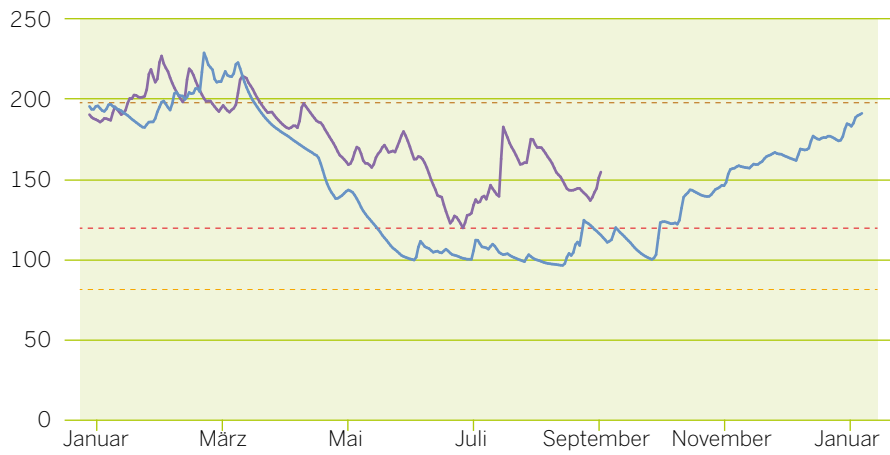
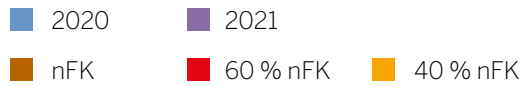
Messung der Bodenwasserspannung mit Tensiometern auf der Level-II-Fläche Kieve-Tannenbusch

Aktueller Bodenwasservorrat in 0 bis 90 cm Tiefe | exemplarisch für zwei Level-II-Flächen | 2020 bis 2021

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) sowie 60 Prozent (Wasserstress auf den Böden in Elberndorf), 40 Prozent und 10 Prozent der nFK (erheblicher Wasserstress auf den Böden in Schwaney) sind eingezeichnet.

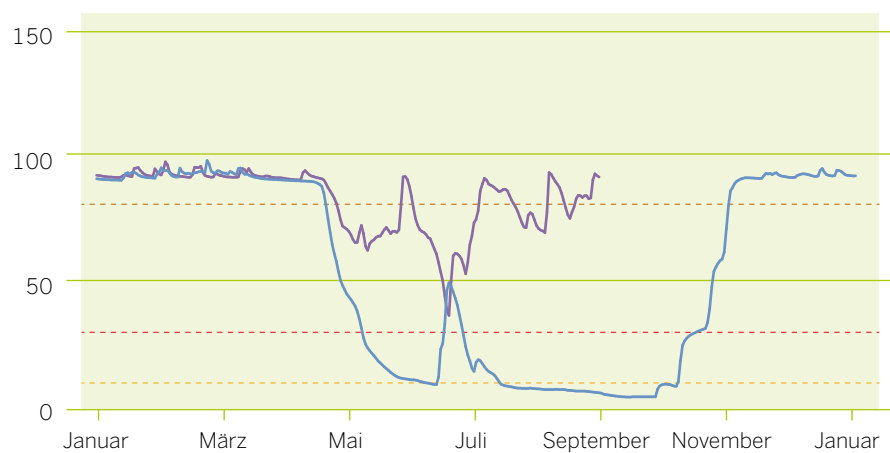
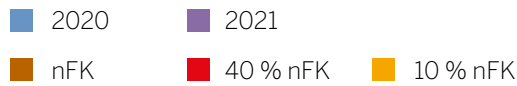
a) Haard

relative Bodenwasserverfügbarkeit in mm



b) Schwaney

relative Bodenwasserverfügbarkeit in mm





Absterbende Buche im Unterstand unter Eiche auf der Dauerbeobachtungsfläche Viersen im Sommer 2021



Bodenfeuchtemessstation des Geologischen Dienstes auf einer Dauerbeobachtungsfläche des forstlichen Umweltmonitorings (Viersen)



Wetterstation der Level-II-Freifläche Haard

DÜRREMPFINDLICHKEIT DER WALDSTANDORTE IN NRW

Der Geologische Dienst NRW (GD NRW) erarbeitet auf Grundlage seiner Bodenkarten in Verbindung mit Klima- und Reliefdaten Forstliche Standortkarten (FSK) in zwei verschiedenen, unterschiedlich stark differenzierenden Maßstäben: die FSK50 landesweit, die FSK5 für die Gebiete in NRW, für die bereits eine großmaßstäbige Bodenkarte vorliegt. Diese Karten sind online verfügbar und auch in das Portal Waldinfo.NRW integriert.

Auf Grundlage der Forstlichen Standortkarte (FSK50) kann für die Wälder in NRW die Dürreempfindlichkeit der Standorte abgeschätzt werden (Abb. 9). Dabei werden die Standorte nach ihrem Potenzial bewertet, wie sehr sie auf regelmäßige Niederschläge in der Vegetationsperiode angewiesen sind bzw. wie empfindlich sie gegenüber ausbleibenden Niederschlägen in der Vegetationsperiode (meteorologische Dürre) sind. Als hoch dürrerempfindlich sind z. B. sickerwasser-geprägte Standorte einzuordnen, deren Wasserhaus-

haltsklasse aufgrund ihres geringen Wasserspeichervermögens oder geringer Niederschläge, als mäßig trocken (oder trockener) eingestuft wird. Standorte, die aufgrund von oberflächennahem Grundwasser oder des Wasserspeichervermögens und klimatischer Bedingungen als frisch oder sehr frisch eingestuft werden, bieten eine stetige Versorgung der Bäume mit Wasser, sodass diese Standorte eine deutlich geringere Dürreempfindlichkeit aufweisen.

Die Dürrerisiken für Wälder auf den verschiedenen Standorten hängen vom konkreten Witterungsverlauf und von den jeweiligen Waldbeständen ab und können mit dieser Karte nicht bewertet werden!

Weiterführende Links:

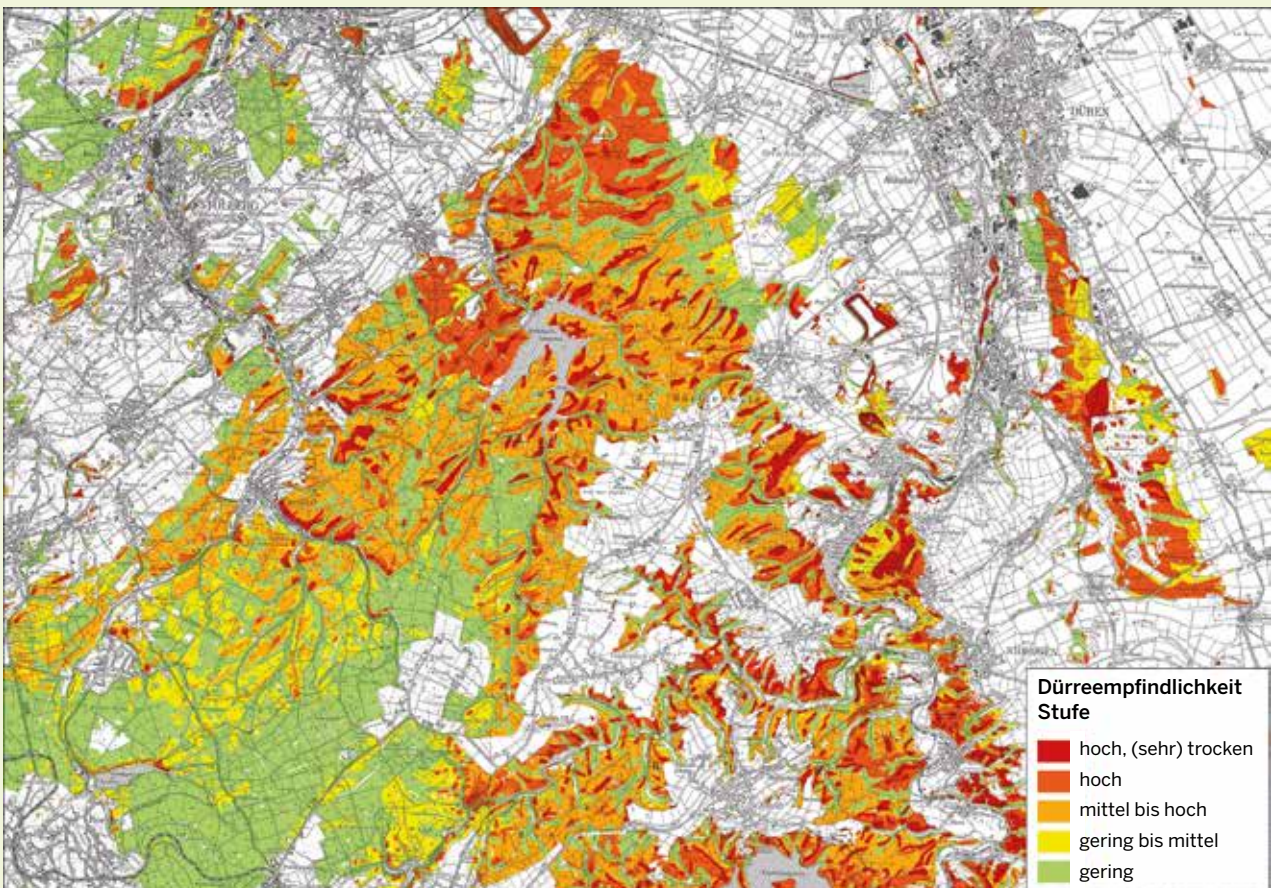
Online-Dienste des GD NRW:

www.gd.nrw.de/pr_kd.htm

www.gd.nrw.de/bo_dk.htm

➔ ABBILDUNG 9

Ausschnitt der Dürreempfindlichkeitskarte von Waldstandorten auf der Basis der FSK50





**SCHÄDEN DURCH
FICHTENBORKENKÄFER,
BUCHENTROCKNIS UND
EICHENFRAßGESELLSCHAFT**

BORKENKÄFER AN FICHTEN

Die für die Borkenkäfer günstigen klimatischen Bedingungen der Jahre 2018 bis 2020 haben in Nordrhein-Westfalen zu sehr hohen Populationsdichten und zum Absterben von vielen Fichtenwäldern geführt. Im Gegensatz zu den zwei Wintern zuvor waren die Wintertemperaturen 2020/21 sehr frostig. Es gab mehrere Kältewellen mit tiefen und im Februar mit sehr tiefen Temperaturen bis zu -17 Grad Celsius. Dies führte zur Reduzierung der sich unter der Rinde befindenden Borkenkäfer. Untersuchungen (Abb. 1, S. 48) zeigen, dass die Larven und Puppen des Buchdruckers (*Ips typographus*) unter der Rinde fast vollständig abstarben. Allerdings überlebten erstaunlicherweise trotz der Kälte etwa die Hälfte der Käfer. Weiterhin konnten auch im Boden Buchdrucker den Winter überstehen. So kam es aufgrund der sehr hohen Käferzahlen des Vorjahres trotz des kalten Winters zu einem extrem starken Frühjahrsflug und zum Befall vieler weiterer Fichtenbestände. Das kühlere Frühjahr hatte den ersten Schwärmflug zwar verzögert, das abrupt einsetzende Borkenkäferflugwetter allerdings wiederum zu sehr hohen Käferflugzahlen geführt. Überall in den Landesteilen Nordrhein-Westfalens konnten durch den unermüdlichen Einsatz des Forstpersonals und der Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer vom Herbst bis zum Ausflug der Borkenkäfer im Frühjahr viel Kalamitätsholz eingeschlagen und somit in der Rinde überwinterte Borkenkäfer durch den

Abtransport in die Sägewerke aus dem Wald geschafft werden. Trotzdem gelang es aus den beschriebenen Gründen nicht, den Fortgang der Kalamität zu verhindern.

Vor allem in Teilen des Sauerlandes breitete sich die Kalamität scheinbar ungehemmt bis in sämtliche Höhenlagen aus. Von dieser Befallssituation unterscheiden sich die Höhenlagen der Eifel: Hier sind zwar ebenfalls neue Käferbefallsherde entstanden, im Vergleich zu anderen Landesteilen sind die Befallsflächen allerdings absolut und relativ kleiner.

In diesem Jahr sind in den Fallen des Borkenkäfermonitorings NRW wieder hohe Fangwerte gefunden worden. So wurden wöchentlich häufig über 10.000 Buchdrucker in den Prallfallen ausgezählt (Abb. 2, S. 48). Die Buchdrucker flogen in diesem Jahr aufgrund der kühleren Frühjahrs-temperaturen mindestens zwei Wochen später aus ihren Winterquartieren als in den Jahren zuvor. Der Borkenkäferflug war zudem von der Höhenlage abhängig. Während in den tiefer gelegenen Landesteilen der Schwärmflug bereits im April begann, startete er in den Höhenlagen erst Mitte Mai. Ein sehr starker Flug des Buchdruckers war nach einer kühleren Witterungsperiode Anfang Juni zu beobachten. In dieser Zeit wurden viele neue Fichtenbestände befallen, die mittlerweile abgestorben sind.



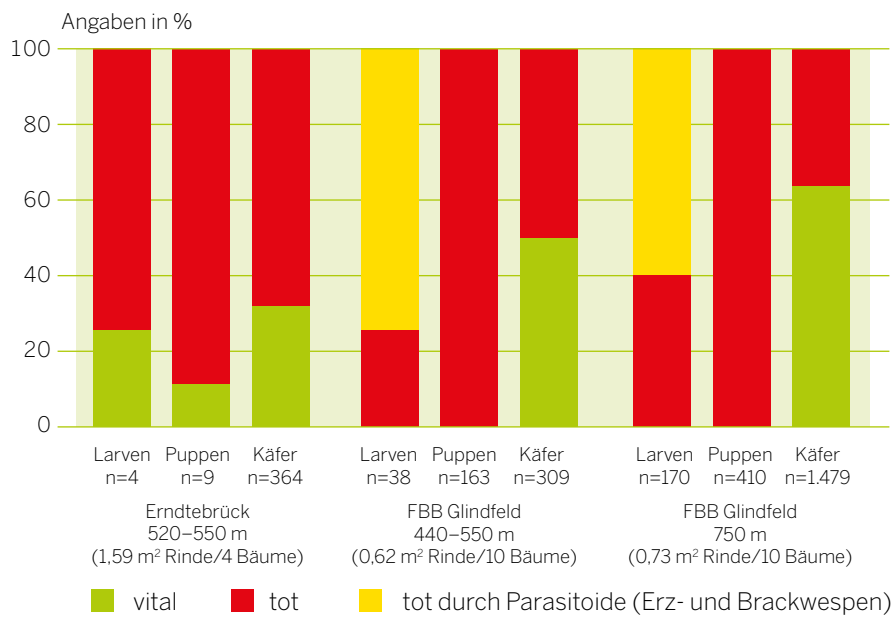
Borkenkäferbrutbild aus dem Sommer 2021: Neben den hellbraunen Buchdruckerjungkäfern sind weiße Käferpuppen zu sehen. Die größeren Gänge werden von den Weibchen angelegt (Muttergänge), die kleinen Fraßgänge sind Larvengänge.

Unterschiede gab es auch zwischen der Eifel und vielen Bereichen des Sauerlandes. So breitete sich der Käferbefall in den meisten Höhenlagen des Sauerlandes deutlich stärker aus. Dies zeigt auch ein Vergleich der Buchdruckermonitoringstandorte Hürtgen (Eifel) und Kreuztal (Sauerland). Im Gegensatz zum Standort Kreuztal nahmen die Fangwerte in den Fällen in Hürtgen im Laufe des Jahres deutlich ab (Abb. 3, S. 49).

Dieses Jahr bildeten die Buchdrucker in Abhängigkeit der Höhenlage zwei bis drei Generationen. In den Niederungen sind überall drei vollständige Generationen ausgebildet worden. Die etwas kühleren, für die Buchdrucker ungünstigeren Bedingungen in höheren Lagen führten zu einer Verzögerung der Insektenentwicklung und somit nur zu zwei Käfergenerationen. Dies zeigt auch das Phänologiemodell Phenips für Lüdenscheid (Abb. 4, S. 49).

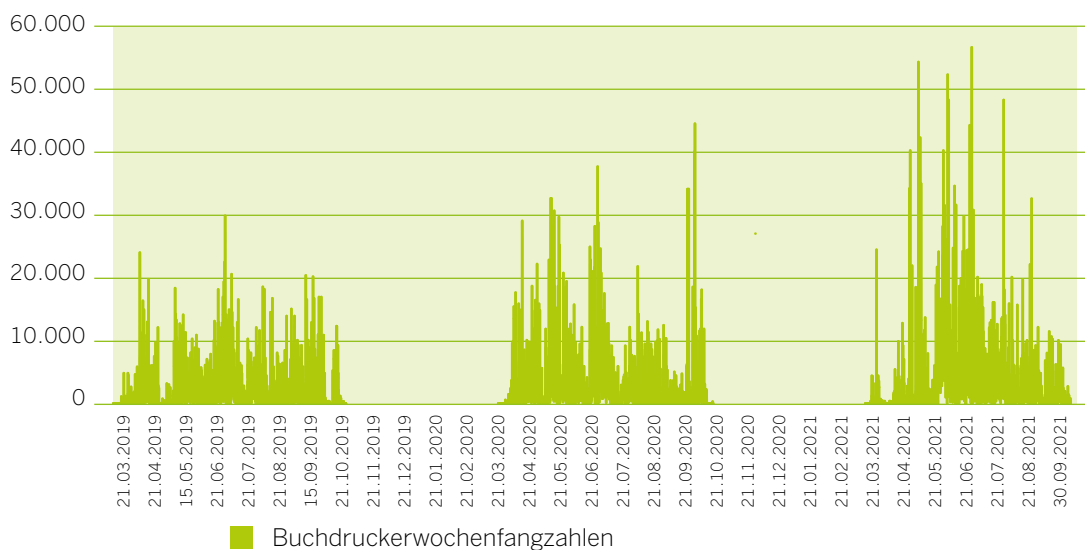
➔ ABBILDUNG 1

Buchdruckervitalität an drei Standorten | Probennahme 23.02.2021 und 03.03.2021



➔ ABBILDUNG 2

Fangzahlen des Borkenkäfermonitorings | 2019 bis 20. September 2021



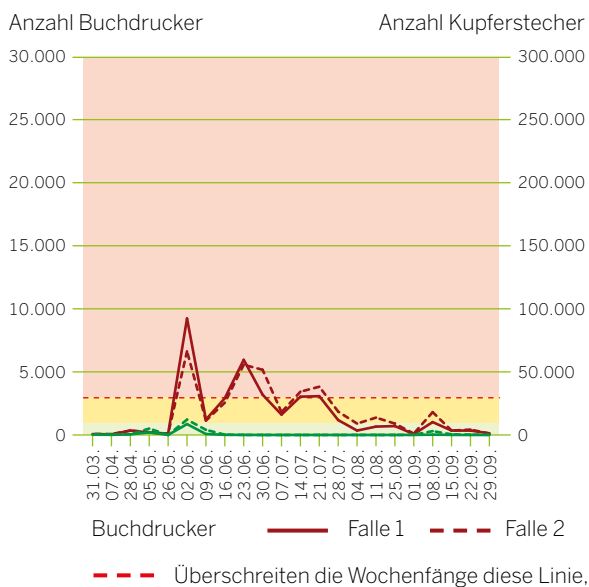


In diesem Jahr durch den starken Juni-Borkenkäferflug befallene, sich braun färbende und absterbende Fichten

ABBILDUNG 3

Vergleich der Standorte Hürtgen in der Eifel mit Kreuztal im Sauerland | 2021

Fallenstandort Hürtgen (Eifel) 350 m üNN



Fallenstandort Kreuztal (Sauerland) 400 m üNN

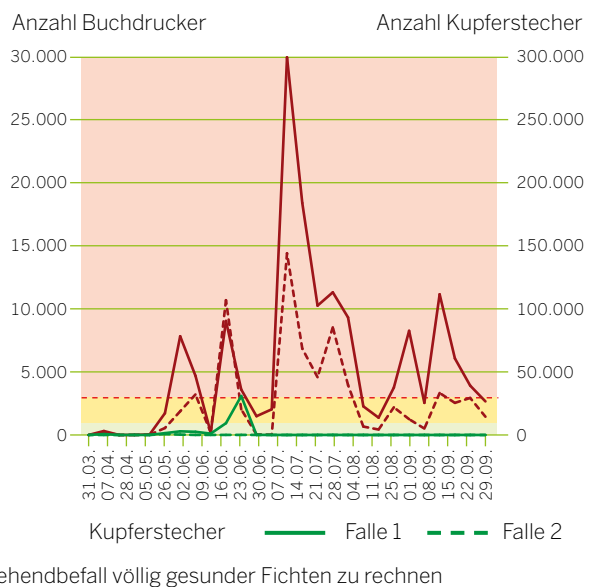
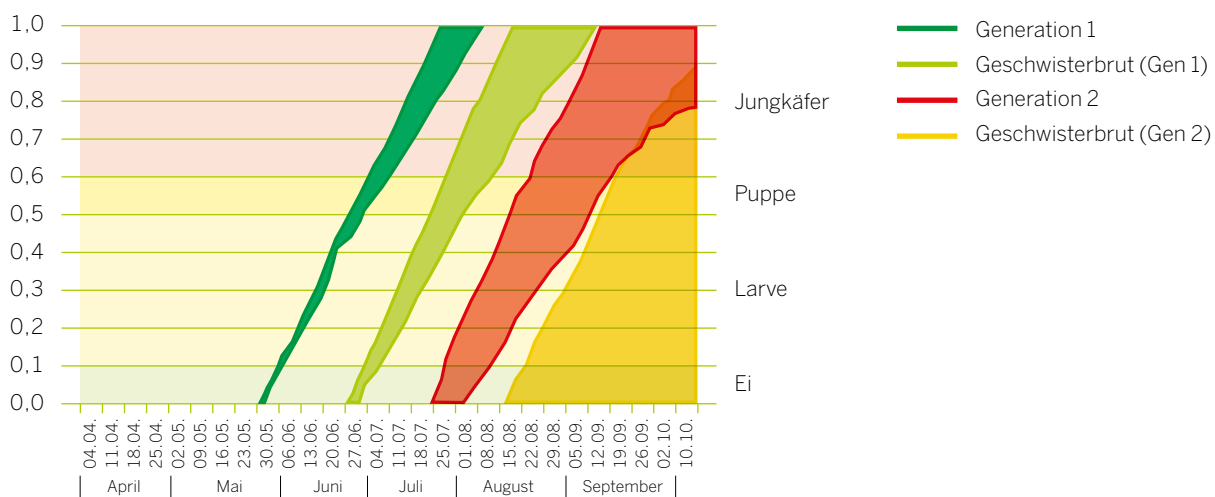


ABBILDUNG 4

Generationsentwicklung des Buchdruckers | Lüdenscheid | 387 m | 2021

Entwicklungsstand



Phänologiemodell PHENIPS der Universität für Bodenkultur Wien

SCHADHOLZMENGEN BEIM NADELHOLZ

Wald und Holz NRW führt seit dem Jahr 2018 regelmäßig eine Kalamitätsmengenerhebung in den Forstämtern durch. Die Mengenabfrage beruht auf den qualifizierten Einschätzungen der Revierleitungen vor Ort. Der Fokus liegt dabei auf dem Staatswald und dem durch Wald und Holz NRW betreuten Privat- und Kommunalwald. Werden die Ergebnisse der Kalamitätsmengenabfrage für die Baumart Fichte durch Sturm, Trocknis oder Borkenkäfer von Anfang 2018 bis zum September 2021 zusammengefasst, ergibt sich eine Schadh Holzgesamtmenge von knapp 40 Mio. Festmetern.

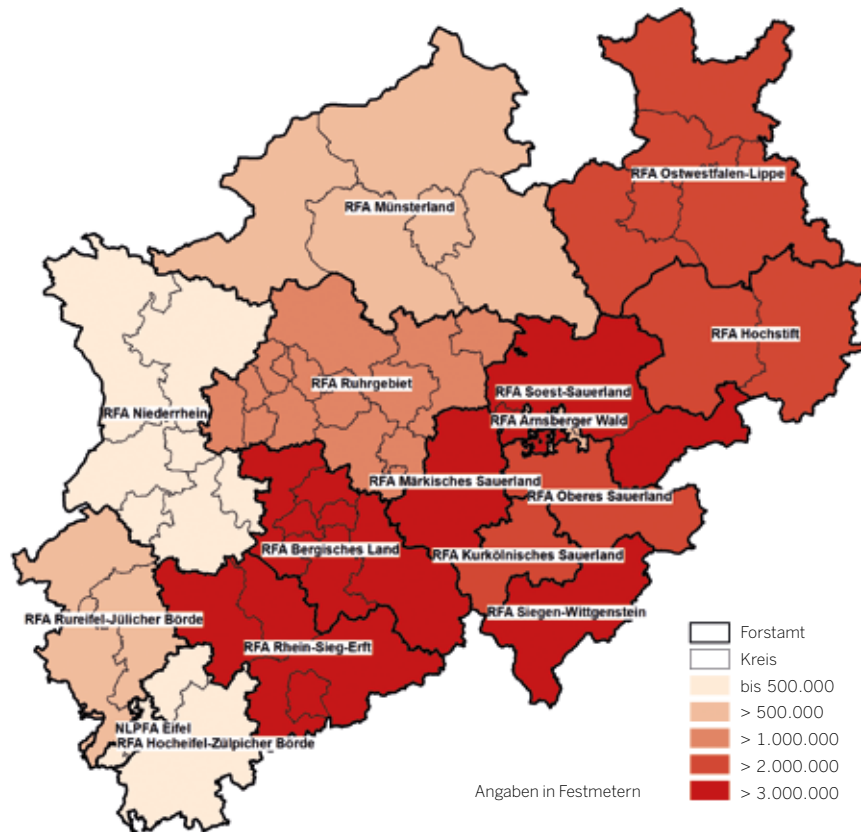
Ausgehend von einem Niveau in 2018 mit rund 2 Mio. Festmetern Sturmholz durch den Sturm „Friederike“ und 1 Mio. Festmetern Käferholz, wurde im Folgejahr 2019 mit rund 15,6 Mio. Festmetern die bisher höchste Kalamitätsmenge verzeichnet, die durch den Borkenkäfer verursacht worden ist. Die Menge des Jahres 2020 lag mit 12,8 Mio. Festmetern zwar darunter, aber weiterhin auf

einem sehr hohen Niveau. Bis September dieses Jahres 2021 wurde eine Käferholzmenge von rund 8 Mio. Festmetern gemeldet. Diese war geprägt von einem zeitlich eng konzentrierten Befallsgeschehen im ersten Käferflug. NRW-weit betrachtet, sind die Mengen im Vergleich zu den Vorjahren damit rückläufig. Die Menge 2021 ist schwerpunktmäßig u. a. in den Regionen Siegen-Wittgenstein, dem Kurkölnischen und auch dem Märkischen Sauerland angefallen. Andere Regionen wie das Rheinland oder Ostwestfalen haben bereits in den Vorjahren hohe Vorratsverluste in der Baumart Fichte erlitten. In der Eifel sind die gemeldeten Käferholz mengen im Vergleich zu anderen Regionen weiterhin auf einem niedrigeren Niveau.

Mittlerweile summieren sich die Vorratsverluste in der Baumart Fichte auf ca. 50 Prozent des Fichtenvorrats in Nordrhein-Westfalen (Abb. 5, Abb. 6, S. 51). Die Wiederbewaldungsfläche beträgt nach Forstamtsabfragen ca. 86.000 ha.

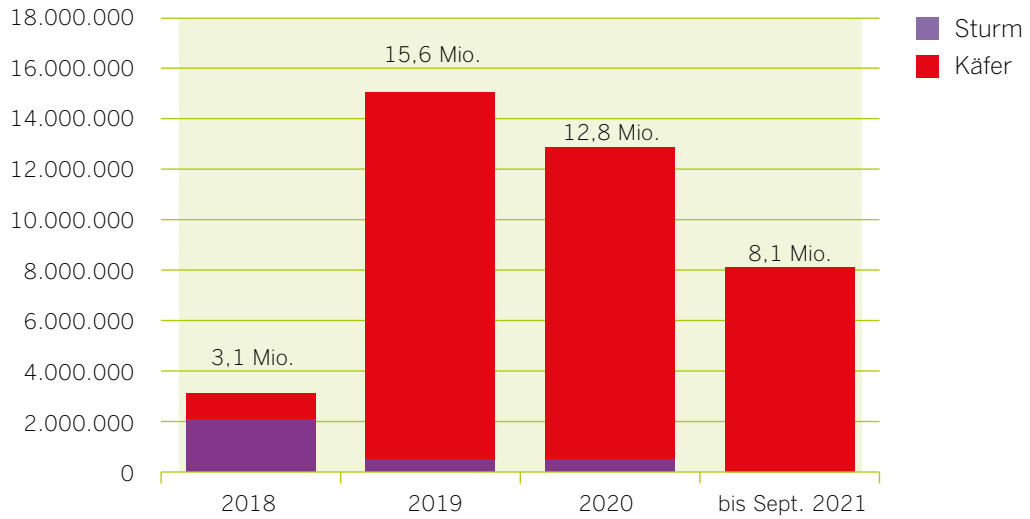
ABBILDUNG 5

Fichtenborkenkäfer-Schad mengen in den Regionalforstämtern | Fichte, alle Besitzarten | 2018 bis September 2021



Schadholzmengen durch Borkenkäfer und Sturmschäden an der Fichte | 2018 bis September 2021

Angaben in Festmeter



Durch Borkenkäferbefall entstandene Kahlfläche

KALAMITÄTSFLÄCHENERMITTLUNG IM NADELWALD MIT HILFE VON SATELLITENDATEN

Grundlage für die Ableitung von Kalamitätsflächen im Nadelwald sind landesweit laufende Fernerkundungsverfahren, welche die flächendeckend verfügbaren Sentinel-2-Satellitendaten des Copernicus-Programms der Europäischen Weltraumorganisation nutzen, um daraus zum einen die Verteilung von Laub- und Nadelwald zu bestimmen und zum anderen in den als Nadelwald erkannten Waldflächen ein Vitalitätsmonitoring durchzuführen.

Die Kalamitätskarte auf der Grundlage der Satellitenbilddaten erlaubt trotz der gegebenen methodischen Einschränkungen landesweite Aussagen zum Umfang und zur regionalen Verteilung der Kalamitätsflächen. Zudem

sind Verschneidungen mit verschiedenen Themenkarten und entsprechende inhaltliche Auswertungen für strategische Zwecke möglich.

Die Darstellung zeigt beispielhaft, dass räumliche Fragestellungen (z. B. Verteilung nach Regierungsbezirken oder Regionalforstämtern), Fragen nach dem Rechtsstatus der Gebiete (Betroffenheit von Schutzgebieten nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie)) oder auch waldökologische Fragestellungen (z. B. Verteilung nach Höhenstufen bzw. Vegetationszeitbereichen, Verteilung nach Wasserhaushaltsstufen der forstlichen Standorte) beantwortet werden können (Tab. 1, S. 53).

Methodische Anmerkungen:

Beim Vitalitätsmonitoring wird anhand von Referenzdaten zu geschädigten und gesunden Nadelwaldbeständen ein Vegetationsindex berechnet. Durch den Vergleich der aktuellen Werte mit einem Vergleichszeitpunkt z. B. aus 2017 lassen sich Veränderungen der Vitalität (u. a. Chlorophyll-Produktivität) ableiten. Bei steigender Abnahme der Vitalität werden die Flächen als geschädigt klassifiziert. Stark beeinflusste Flächen lassen auf bereits aufgearbeitete oder geräumte Kahlfelder schließen. Die Ergebnisse werden als digitale Karten im Internetportal Waldinfo.NRW veröffentlicht. In den über die Copernicus-Satelliten als Nadelwald erkannten Flächen (im Rahmen der Fernerkundung wurden durch Auswertung von Satellitendaten rund 340.500 ha als Nadelwald klassifiziert; diese Fläche ist rund 5 Prozent geringer als die bei der Landeswaldinventur als Nadelwald ausgewiesene Fläche von 359.000 ha) wurden mit dem geschilderten Verfahren bisher die Kalamitätsflächen der Jahre 2018 bis September 2021 abgeleitet und aggregiert. Dabei sind einige methodische Aspekte zu beachten:

- Aufgrund von Bewölkung, überlagernden Randstrukturen oder Unterschreitung einer auf 0,1 ha festgesetzten Mindestflächengröße pro Kalamitätsfläche liefert das Verfahren für bestimmte Waldflächen keine Ergebnisse (6,6 % der als Nadelwald erkannten Fläche bzw. insgesamt rund 22.500 ha).
- Als gesicherte Kalamitätsfläche werden nur solche Flächen berücksichtigt, die entweder der Schadstufe 2 „sichtbarer bis schwerer Käfer-/Trocknisschaden“ oder der Schadstufe 3 „aufgearbeitete oder geräumte Kahlfelder“ angehören (rund 33,1 % der als Nadelwald erkannten Fläche bzw. insgesamt rund 112.600 ha).
- Die Schadstufe 1 „Verdacht; gering oder erste sichtbare Symptome“ mit einer Fläche von rund 27.200 ha wurde bislang nicht als gesicherte Kalamitätsfläche betrachtet und deshalb keiner weiteren Auswertung unterzogen (diese Fläche könnte bei einem negativen Verlauf der Kalamität anteilig oder vollständig zur Gesamtkalamitätsfläche hinzukommen).

Die Verfahren zur Erfassung der Vitalitätsabnahme und zur Erstellung der Kalamitätskarte werden periodisch mit aktualisierten Daten durchgeführt und methodisch weiterentwickelt.



Aufgearbeitetes Fichtenstammholz auf einer Borkenkäferbefallsfläche

TABELLE 1

Beispielhafte landesweite Auswertung der aus Fernerkundungsverfahren abgeleiteten Kalamitätsflächen | bis September 2021

nur als gesichert erfasst angesehene Kalamitätsfläche im Nadelholz											
rd. 112.600 ha											
Verteilung auf Regierungsbezirke											
Münster		Detmold		Arnsberg		Köln		Düsseldorf			
rd. 3.100 ha		rd. 16.400 ha		rd. 65.800 ha		rd. 25.200 ha		rd. 2.100 ha			
3 %		15 %		58 %		22 %		2 %			
Verteilung auf Regionalforstämter											
01	rd. 900 ha	1 %	05	rd. 14.200 ha	13 %	09	rd. 2.600 ha	2 %	13	rd. 3.200 ha	3 %
02	rd. 2.700 ha	3 %	06	rd. 13.700 ha	12 %	10	rd. 8.000 ha	7 %	14	rd. 1.400 ha	1 %
03	rd. 2.600 ha	2 %	07	rd. 7.200 ha	7 %	11	rd. 14.900 ha	13 %	15	rd. 2.600 ha	2 %
04	rd. 5.500 ha	5 %	08	rd. 16.700 ha	15 %	12	rd. 9.300 ha	8 %	16	rd. 7.100 ha	6 %
Legende der Regionalforstämter											
1	Nationalparkforstamt Eifel	7	Kurkölnisches Sauerland	13	Ruhrgebiet						
2	Hocheifel-Zülpicher Börde	8	Siegen-Wittgenstein	14	Niederrhein						
3	Rureifel-Jülicher Börde	9	Arnsberger Wald	15	Münsterland						
4	Rhein-Sieg-Erft	10	Oberes Sauerland	16	Ostwestfalen-Lippe						
5	Bergisches Land	11	Soest-Sauerland								
6	Märkisches Sauerland	12	Hochstift								
Betroffenheit von Schutzgebieten nach der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-Gebiete)											
Fläche innerhalb von FFH-Gebieten					Fläche außerhalb von FFH-Gebieten						
rund 10.900 ha					rund 101.700 ha						
10 %					90 %						
Verteilung auf Höhenstufen (bzw. Vegetationszeitbereiche)											
planar (> 160 Tage)		kollin (145–160 Tage)		submontan (130–144 Tage)		obermontan/montan (< 130 Tage)					
rd. 60.100 ha		rd. 38.700 ha		rd. 12.600 ha		rd. 1.200 ha					
54 %		34 %		11 %		1 %					
Verteilung auf die Gesamtwasserhaushaltsstufen (nach FSK50, als eine Grundlage für die Auswahl von Waldentwicklungstypen bei der Wiederbewaldung)											
mäßig trocken bis sehr trocken, wechseltrocken		mäßig frisch		frisch bis sehr frisch, grund- frisch bis grundfeucht		mäßig wechselfeucht bis wechselfeucht		hangfeucht, feucht		nass, staunass	
rd. 10.500 ha		rd. 10.900 ha		rd. 66.500 ha		rd. 8.500 ha		rd. 4.100 ha		rd. 2.100 ha	
9 %		19 %		59 %		7 %		4 %		2 %	

BUCHENTROCKNIS

Die von Wald und Holz NRW in 2019 landesweit durchgeführte Abfrage zur Buchenvitalität wurde in 2021 wiederholt. Im Ergebnis haben sich die Schadensflächen und die Schadensausprägungen wie folgt vergrößert (Abb. 7):

1. Der Schadensanteil bei Altbuchenflächen (älter als 120 Jahre) stieg von 30 auf 46 Prozent.
2. Die partielle Kronentrocknis nahm um ca. 4 Prozentpunkte zu, die komplette Kronentrocknis stieg um das 18-fache und das Vorkommen des Kleinen Buchenborkenkäfers um das 11-fache an.
3. Der unspezifische Schleimfluss an der Rinde, als Indiz der „Klassischen Buchenrindennekrose“, bei der Schleimfluss dann auftritt, wenn sich ein Rindenschaden bis zum Kambium erstreckt, schnellte von 3 Prozent auf ca. 21 Prozent hoch.
4. Der Befall durch den Buchenprachtkäfer, der für seine Entwicklung in der Regel zwei Jahre benötigt, hat sich verdoppelt.

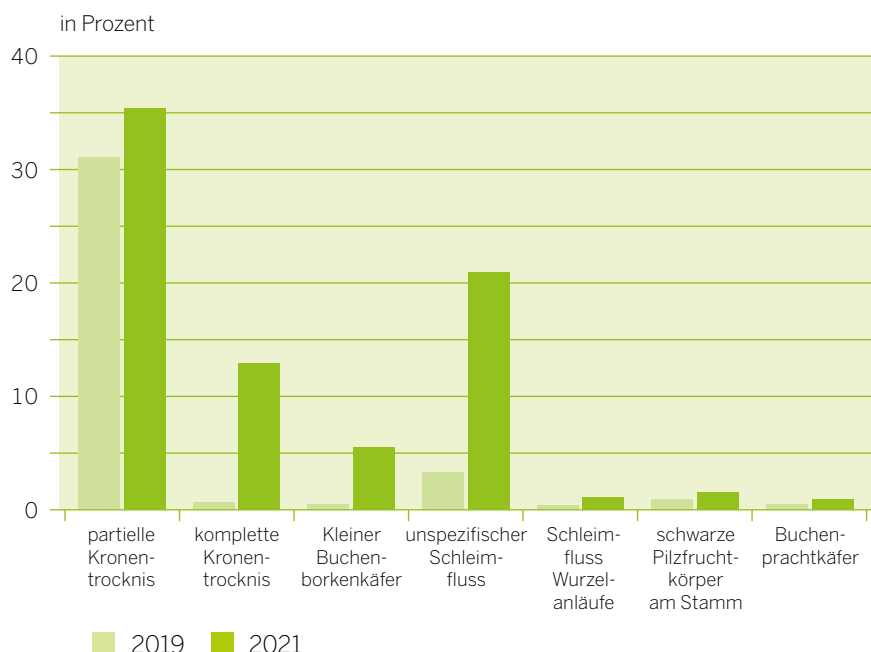
Buchen wachsen sowohl in den Niederungen (ca. 20 %) als auch in den Mittelgebirgsregionen (ca. 80 %) Nord-

rhein-Westfalens. Unter allen Rückmeldungen zur Lage der Buchenschadensflächen im Gelände dominierten die südlich exponierten Bergflanken mit 41 Prozent, gefolgt von Kuppenbereichen (20 %) und westlich orientierten Hängen (19 %). Bei der Frage nach dem Zusammenhang von Schäden und dem Standort wurden in 51 Prozent der Fälle wasserbeeinflusste Standorte (Pseudogleye und Gleye) in erster Priorität genannt. 25 Prozent der Schäden wurden auf Braunerden und 24 Prozent auf Kalkstandorten, einschließlich Rendzinen, gefunden. Demnach kommen Schäden vor allem auf physiologisch oder tatsächlich flachgründigen Standorten in besonders starken Ausprägungen vor, auf Standorten also, auf denen die Buchen bei längerer Trockenheit schneller und intensiver unter Trockenstress leiden.

Im August 2019 wurden vor allem aus den Regionalforstämtern Ostwestfalen Lippe, Hochstift und Ruhrgebiet teils erhebliche Schäden gemeldet – seit 2020 liegen landesweit Schadensmeldungen vor. Dies spiegelt sich auch in den Meldungen der Forstämter wider. Im Jahr 2020 umfasste das gesamte Laubholz-Schadholzvolumen für den Zeitraum 2019–2020 ca. 870.000 Festmeter.

➔ ABBILDUNG 7

Schadensmerkmale der zurückgemeldeten Schadflächen | Vergleich 2019 mit 2021



EICHENFRAßGESELLSCHAFT

Die Überwachung der Populationsdichten des Großen Frostspanners (*Erannis defoliaria*) und des Kleinen Frostspanners (*Operophtera brumata*) erfolgt in Nordrhein-Westfalen mithilfe von Leimringen, die im Herbst in ausgewählten Eichenbeständen angelegt werden. Wie in der Abbildung 8 zu erkennen ist, zeigt das durchgeführte Monitoring für das Wuchsgebiet Westfälische Bucht seit 2017 einen deutlichen Anstieg der Belagsdichten und somit der Frostspannerpopulationen. So kam es dort in den Folgejahren 2018, 2019 und 2020 in Eichenbeständen lokal zu einem verstärkten Fraßgeschehen. Auch die Prognose für das Jahr 2021 lag für die Westfälische Bucht im Gegensatz zum Sauerland und den niederrheinischen Wuchsgebieten über der Warnschwelle. In den Eichenwäldern kam es allerdings nur vereinzelt zu Kahlfraß-situationen. Ein Grund kann der diesjährige relativ späte Austrieb der Eichen gewesen sein, wodurch der zeitliche Abstand zwischen dem Schlupf der Raupen und dem Laubaustrieb zu groß gewesen ist.

Eine weitere am Fraßgeschehen beteiligte Art ist der Eichenwickler (*Tortrix viridana*). Auch er konnte in Nordrhein-Westfalen in diesem Jahr in den untersuchten Beständen nur vereinzelt stärkeren Fraß an der Eichenbelaubung verursachen.

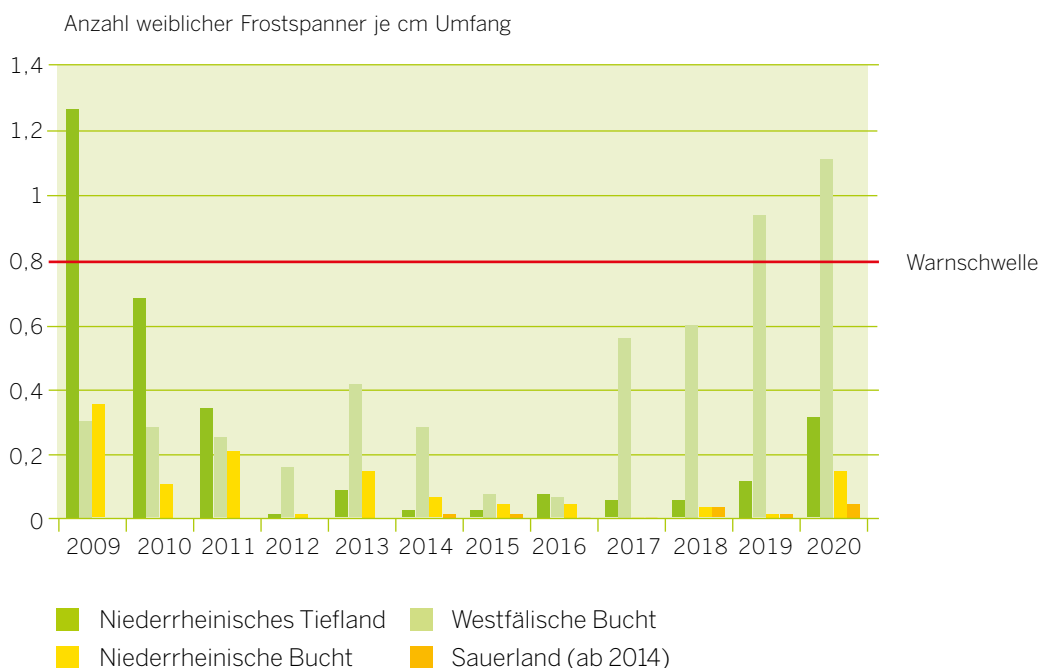


Absterbende Eichenkrone

Eine weitere blattfressende Schmetterlingsart ist der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*). In den letzten Jahren breitete sich dieser Schädling in Nordrhein-Westfalen weiterhin von Westen nach Osten aus. Zu erkennen ist darüber hinaus, dass er auch zunehmend in den Eichenwäldern und nicht nur an sonnigen Waldrändern, Eichenalleen und Solitärbäumen vorkommt.

➔ ABBILDUNG 8

Frostspanner-Leimringprognose in ausgewählten Eichenbeständen | 2009 bis 2020



PHÄNOLOGISCHE BEOBACHTUNGEN AN WALDBÄUMEN



Das Austriebsverhalten der Waldbäume und die Länge ihrer Vegetationszeit stellen wichtige Weiser im Rahmen der Untersuchungen zum Klimawandel dar, da die phänologischen Entwicklungserscheinungen in einer engen Beziehung zur Witterung stehen. Der Zeitpunkt des Nadel-/Blattaustriebes und die Länge der Vegetationszeit werden im Wesentlichen durch die Temperatur bestimmt. Der Eintritt der Herbstphasen dagegen wird von zahlreichen anderen Faktoren (z. B. Niederschlagsmenge im Sommer, Einstrahlung) mitbestimmt. Die Beobachtungen erfolgen seit 2001 im Rahmen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings und werden durch das LANUV in Zusammenarbeit mit dem Landesbetrieb Wald und Holz NRW durchgeführt. Die Ergebnisse von den Buchen- und Eichenflächen gehen in den Indikator „Phänologie der Buche“ bzw. „Phänologie der Eiche“ des Klimafolgenmonitorings des Landes Nordrhein-Westfalen ein. Im Jahr 2021 erfolgen die phänologischen Beobachtungen zum Nadel-/Blattaustrieb, zur Blüte und zur herbstlichen Blattverfärbung auf 16 Dauerbeobachtungsflächen an insgesamt 672 Waldbäumen (Tab. 1).

TABELLE 1

Anzahl der Dauerbeobachtungsflächen und Untersuchungsbäume 2021

Auf einem Teil der Flächen wird mehr als eine Baumart untersucht.

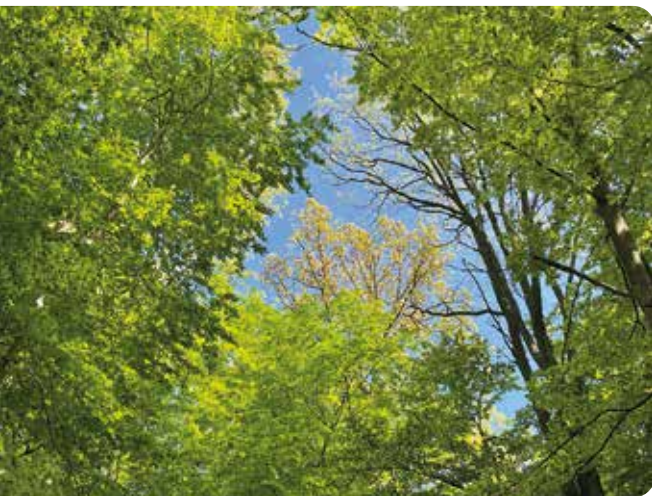
Baumart	Anzahl Flächen	Anzahl Bäume
Buche	9	309
Eiche	9	226
Fichte	2	50
Kiefer	1	30
Esche	1	11
Bergahorn	1	16
Douglasie	1	30



Herbstverfärbung auf der Dauerbeobachtungsfläche Duisburg



Blattaustrieb bei der Buche



Blattaustrieb bei der Stieleiche



Blattentfaltung bei der Esche

NADEL-/BLATTAUSTRIEB 2021

Der Austrieb der Bäume wird neben genetischen und baumartspezifischen Veranlagungen insbesondere durch den Temperaturverlauf im Frühjahr gesteuert, wobei sowohl die mittleren Temperaturen als auch die Tagesmaxima eine entscheidende Rolle spielen. An den Tiefland-Wetterstationen des forstlichen Umweltmonitorings lag ab dem 13. April durchgängig eine Tagesmaximaltemperatur von deutlich über 10 °C vor. In der Folge begannen die Waldbäume im Tiefland (Buche, Eiche, Kiefer) auszutreiben. Im Bergland wurden länger anhaltende Tagesmaximaltemperaturen von deutlich mehr als 10 °C erst ab dem 8. Mai erreicht. Dies führte zum Austrieb von Buche, Eiche und Bergahorn im Bergland. Die Fichten, Eschen und Douglasien auf den Berglandflächen begannen erst Ende Mai mit dem Austrieb, nachdem auch die Tagesmitteltemperaturen im Bergland konstant über 10 °C lagen. Das Datum, an dem die Bäume zu 50 Prozent ausgetrieben hatten (mittlerer Austriebstermin), war bei der Buche im Mittel über alle Buchenflächen der 8. Mai und bei der Eiche der 10. Mai (Abb. 1, S. 59). Im Jahr 2021 hatte die Kiefer im Tiefland den frühesten mittleren Austriebstermin am 7. Mai, während die Douglasie im Bergland diesen Termin erst fast einen Monat später (4. Juni) erreichte.

Der mittlere Austrieb bei Buche, Eiche und Fichte war im Jahr 2021 aufgrund des außergewöhnlich kühlen Frühjahrs ausgesprochen spät im Vergleich zum Mittel der 20-jährigen Zeitreihe (Tab. 2). Die Fichte trieb im Mittel erst am 1. Juni aus und damit fast zwei Wochen später als üblich. Für die Buche war es der späteste und für die Eiche und die Fichte jeweils der zweitspäteste Austriebstermin seit Beginn der Erhebungen.

Der Trend zu einem generell früheren Austrieb bleibt bei der Buche und der Eiche trotz des späten Austriebs in 2021 bestehen (Abb. 2, S. 59). Bei der Kiefer lässt sich ebenfalls ein leichter Trend zu einem früheren Austrieb erkennen, während die Fichte tendenziell später austreibt. Die beobachteten Trends sind für alle vier Arten statistisch jedoch nicht signifikant.

TABELLE 2

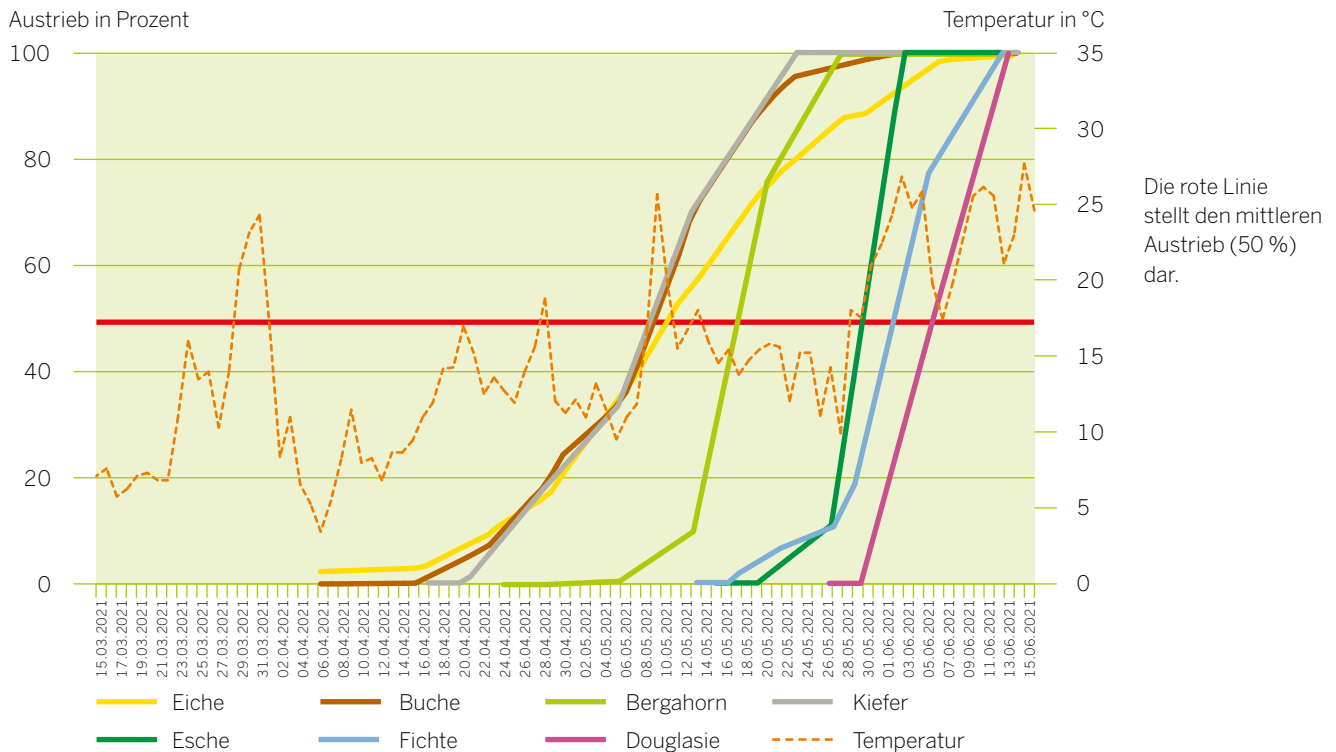
Mittlere Austriebstage 2021 im Vergleich zum langjährigen Mittel 2001–2020

Baumart ¹⁾	Buche	Eiche	Fichte	Kiefer
Mittel des mittleren Austriebstages ²⁾ 2001–2020	120	120	139	128
Mittlerer Austriebstag ²⁾ 2021	131	131	152	127
Differenz Anzahl Tage	11	11	13	-1

1) In der Zeitreihenbetrachtung sind nicht alle aktuell aufgenommenen Bäume vertreten.
2) Kalendertag ab Jahresbeginn (120 = 30. April)

ABBILDUNG 1

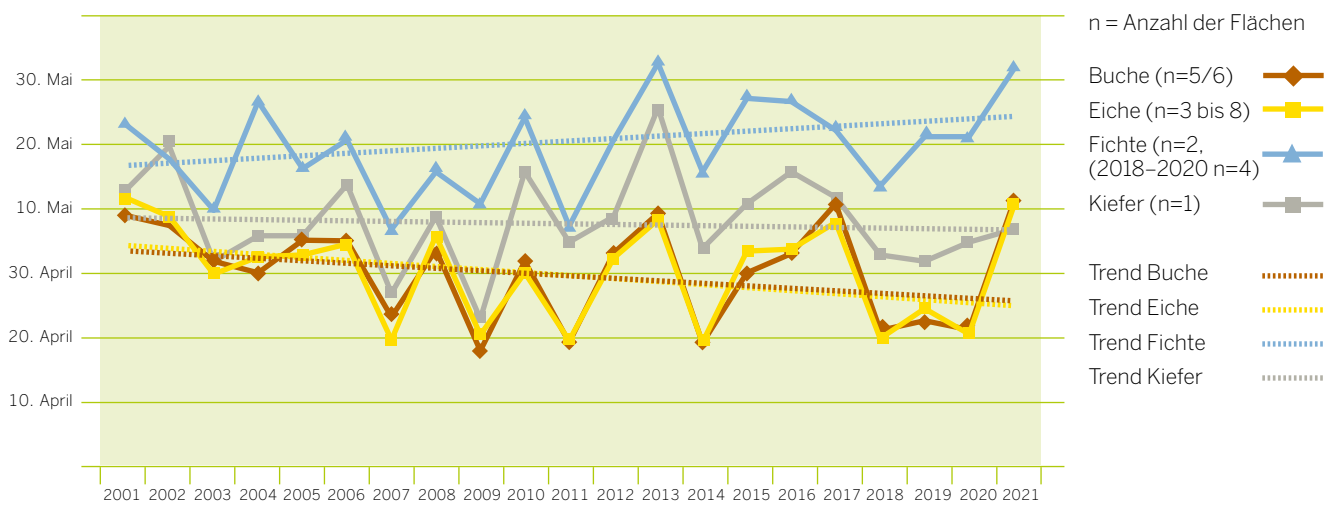
Mittlerer Verlauf der Tagesmaximumtemperatur* und des Austriebs aller Baumarten auf den Dauerbeobachtungsflächen | 2021



* Mittelwert der Temperaturen von den Intensivmonitoring-Tiefendflächen (Kleve, Haard) und den Bergendflächen (Schwaney, Elberndorf und Lammersdorf/Eifel, vgl. Kapitel „Witterungs- und Bodenwasserverhältnisse bis zum Sommer“, S. 32).

ABBILDUNG 2

Mittlerer Austriebstermin der Hauptbaumarten auf den Dauerbeobachtungsflächen | 2001 bis 2021



VEGETATIONSZEIT

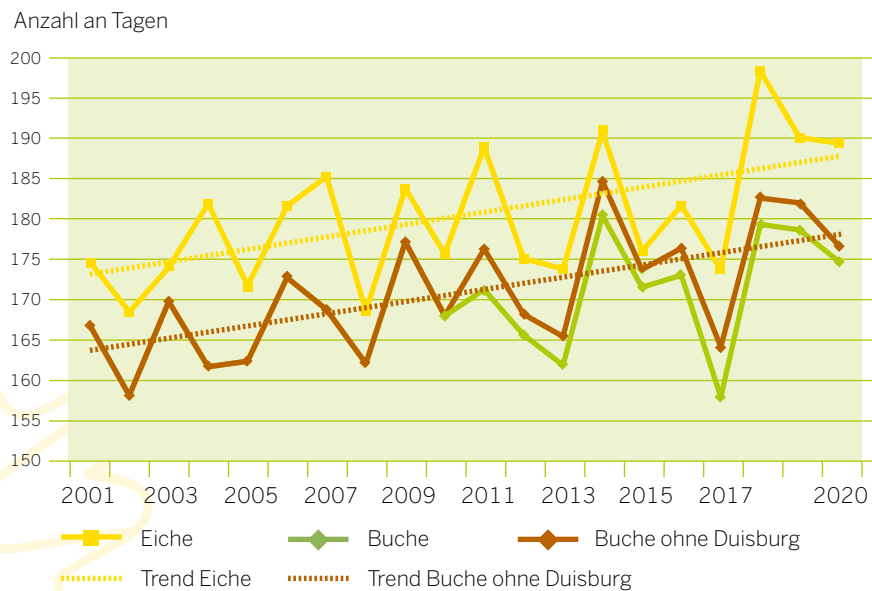
Die für den Wald relevante Vegetationszeit ist aus meteorologischer Sicht definiert als der Zeitraum (Anzahl Tage) mit einer Mitteltemperatur $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beginn und Ende der forstlichen Vegetationsperiode ergeben sich, wenn das gleitende Mittel der mittleren Tagestemperatur über 7 Tage in Folge über bzw. unter $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt. Aus phänologischer Sicht ergibt sich die Länge der Vegetationszeit aus der Differenz des mittleren Tages von Blattverfärbung und Austrieb.

Die extremen Witterungsbedingungen der Jahre 2018 bis 2020 führten bei der Eiche zu ungewöhnlich langen Vegetationsperioden (Abb. 3). Im Zeitreihenverlauf hatte die Eiche mit einer Vegetationsperiode von 199 Tagen im Jahr 2018 ihren bisher höchsten Wert erreicht. Die Buche wies in den Jahren 2018 und 2019 im zeitlichen Vergleich ebenfalls eine ausgesprochen lange Vegetationsperiode von rund 179 Tagen auf (Abb. 3). Infolge der erneuten Dürre in 2020 und der späten Hitzewelle im August zeigten einige Buchen bereits im August 2020 eine „herbstliche“ Blattverfärbung und zum Teil auch Laubfall (vgl. Wald-

zustandsbericht 2020). Die Konsequenzen, die sich aus dem frühen Ende der Photosynthese-Aktivität und dem daraus resultierenden Defizit von Energiereserven ergeben, werden im Kapitel „Witterungs- und Bodenwasserverhältnisse bis zum Sommer“ (ab S. 32) angesprochen. Einige der betroffenen Buchen sind abgestorben. Trotz der frühen Blattverfärbung auf einzelnen Buchenflächen gehörte die Vegetationsperiode 2020 mit 175 Tagen zu den längsten in der Zeitreihe der Buche, sie war jedoch nicht so lang wie die Vegetationsperioden der beiden Vorjahre. Der Trend der Vegetationszeit-zunahme ist für Buche und Eiche signifikant und liegt bei fast einem Tag pro Jahr. In den letzten 20 Jahren hat sich die Vegetationszeit also um mehr als zwei Wochen verlängert. Diese Verlängerung der Vegetationszeit ist wesentlich stärker auf einen früheren Blattaustrieb als auf eine spätere herbstliche Verfärbung zurückzuführen. Eine längere Vegetationszeit führt dazu, dass auch der Wasserbedarf der Bäume steigt, was in warmen und trockenen Jahren zu einem erheblichen Stress der Bäume führen kann.

➤ ABBILDUNG 3

Länge der Vegetationsperiode auf den Buchen- und Eichen-Dauerbeobachtungsflächen | 2001 bis 2020



Da auf der Buchenfläche in Duisburg erst 2011 mit den phänologischen Aufnahmen begonnen wurde und sich diese Fläche von den anderen Flächen durch ihren frühen Austrieb stark unterscheidet, wird sie bei Trendberechnungen noch ausgenommen.

BLÜTE UND FRUKTIFIKATION AUF DEN DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN 2021

Im Frühjahr 2021 wurde an den meisten Waldbäumen der Dauerbeobachtungsflächen (70 % der Bäume) anders als im Vorjahr keine Blüte beobachtet. Eine geringe, mittlere oder starke Blüte kam jeweils etwa an 10 % der Bäume vor. Mittlere und starke Blüte traten insbesondere bei Eiche und Kiefer auf, während diese Intensitätsstufen bei der Buche in 2021 nicht beobachtet wurden (Tab. 3).

Bei der Blüte wird die männliche Blüte aufgenommen, während die Fruktifikation aus der weiblichen Samenanlage hervorgeht. Beides ist von Jahr zu Jahr unterschiedlich

ausgeprägt. Die Intensität der Blüte entspricht deshalb nicht unbedingt dem Ausmaß der Fruktifikation. Im Sommer 2021 wurde bei keiner Baumart starke Fruktifikation und mittlere Fruktifikation nur bei der Kiefer in nennenswertem Umfang beobachtet (Tab. 4, S. 61). Bei der Kiefer sind die im jeweiligen Untersuchungsjahr frisch angelegten Zapfen sehr unscheinbar. Die Zapfen entwickeln sich zu ihrer endgültigen Größe erst im Folgejahr. Die Fruktifikation wird bei der Kiefer deshalb anhand der im Sommer noch grünen Zapfen aus der Anlage des Vorjahres eingeschätzt.

TABELLE 3

Prozentuale Anteile der Bäume in den vier Intensitätsstufen der Blüte | 2021

Baumart	keine Blüte	geringe Blüte	mittlere Blüte	starke Blüte
Buche	96	4	0	0
Eiche	42	10	27	21
Fichte	62	36	2	0
Kiefer	3	47	43	7
Douglasie	90	7	3	0



Männliche Blüte bei der Eiche

TABELLE 4

Prozentuale Anteile der Bäume in den vier Intensitätsstufen der Fruktifikation | 2021

Baumart	keine Fruktifikation	geringe Fruktifikation	mittlere Fruktifikation	starke Fruktifikation
Buche	85	12	2	0
Eiche	67	32	1	0
Fichte	92	8	0	0
Kiefer	0	73	27	0
Douglasie	100	0	0	0



Männliche Blüte bei der Kiefer

FORSTLICHES UMWELTMONITORING – 40 JAHRE WALDBEOBACHTUNG IN NRW



Bereits seit der Debatte über den „sauren Regen“ und das „Waldsterben“ zu Beginn der 1980er Jahre besteht ein großer Informationsbedarf zur Vitalität der Wald-ökosysteme. Als Reaktion darauf wurde das forstliche Umweltmonitoring (ForUm) zur Beobachtung des ökologischen Zustandes und der Entwicklung der Wälder ins Leben gerufen.

In NRW begann das forstliche Umweltmonitoring mit dem „Pilotprojekt saure Niederschläge“ vor genau 40 Jahren. Damals wurden erstmals Waldschäden systematisch erfasst und der Eintrag von Luftverunreinigungen über die Niederschläge an ausgewählten Standorten gemessen. Da die Vitalität der Waldökosysteme durch verschiedene Faktoren gesteuert wird (Abb. 1), wurde nach kurzer Zeit das Untersuchungsspektrum ausgeweitet, um die Komplexität der Waldschäden hinreichend zu berücksichtigen. Die Daten tragen dazu bei, das Ausmaß der Effekte des Klimawandels zu quantifizieren, Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu verstehen und die zukünftigen Auswirkungen

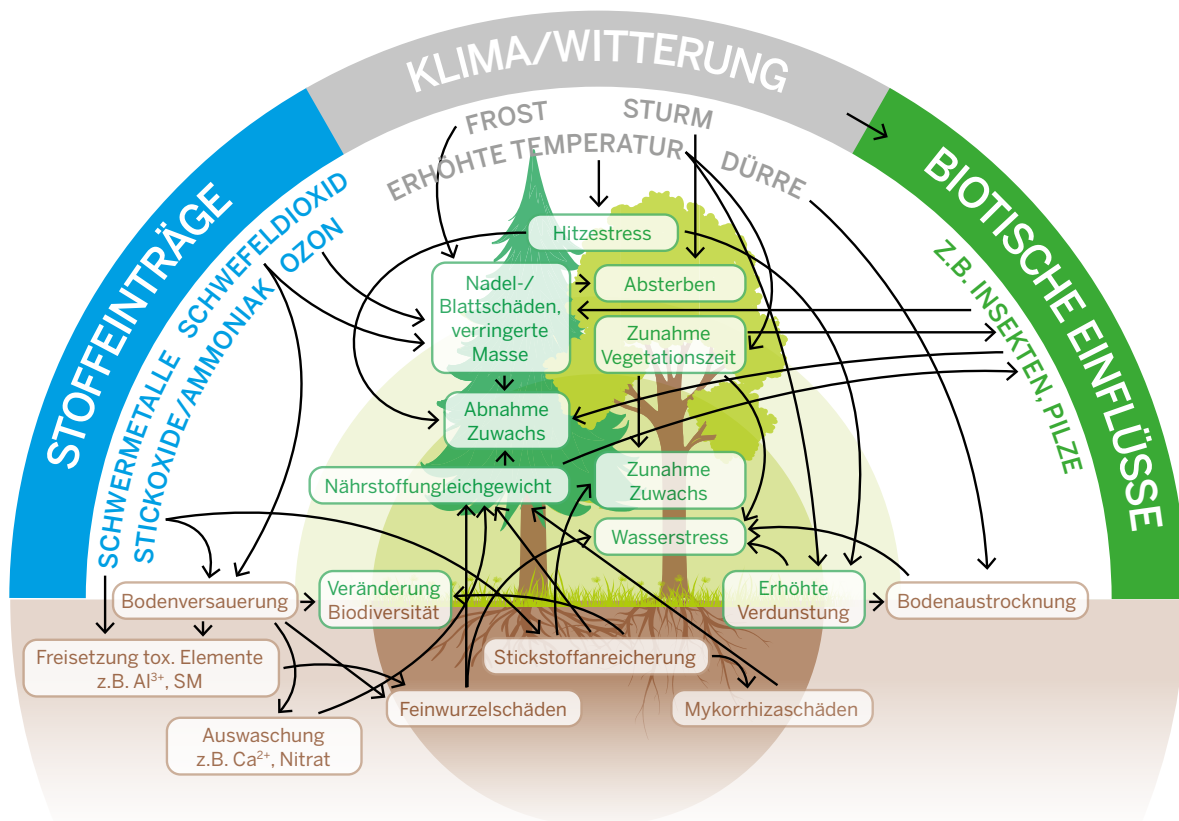
heutiger Handlungsoptionen abzuschätzen. Die intensiven Messungen und langen Zeitreihen erlauben es, Wechselwirkungen zwischen bestehenden Umweltproblemen wie der Eutrophierung und Bodenversauerung zu erfassen. Die zunehmende Dynamik in unseren Waldökosystemen unterstreicht die Bedeutung des forstlichen Umweltmonitorings als Informationsquelle und Feedback-Instrument für Politik- und Forstbewirtschaftungsmaßnahmen.

Die Monitoringaktivitäten finden seit 1985 europaweit harmonisiert im Rahmen des „Internationalen Kooperationsprogramms zur Erfassung und Überwachung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder“ (ICP Forests) unter dem Dach der „Vereinbarung über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen“ (CLRTAP) der UNECE statt. Die Rechtsgrundlage für das forstliche Umweltmonitoring in Deutschland stellt die Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV) zu § 41a Absatz 6 Bundeswaldgesetz dar.

➔ ABBILDUNG 1

Schematische Darstellung der Ursache-Wirkungs-Beziehungen in einem Waldökosystem

Im Fall von zweifarbigter Beschriftung trifft die Wirkung sowohl auf das oberirdische (grün) als auch das unterirdische (braun) Waldökosystem zu.



Quelle: Eickenscheidt, unveröffentlicht

Die übergeordneten Ziele des forstlichen Umweltmonitorings liegen in

- der Untersuchung des Status und der Entwicklung der erfassten Waldökosysteme,
- der Analyse von Ursache-Wirkungs-Beziehungen.

Zur Erreichung dieser Ziele wird das forstliche Umweltmonitoring auf der Basis von zwei sich ergänzenden Säulen umgesetzt, der landesweit repräsentativen Erhebung mittels eines systematischen Stichprobennetzes (Level I) und dem intensiven Monitoring auf ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen (Level II).

LEVEL I

Das Level-I-Programm in NRW beinhaltet die Waldzustandserhebung (WZE), die immissionsökologische Waldzustandserhebung (IWE) und die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE). Die Basis für die Level-I-Untersuchungen bildet ein systematisches 4 x 4 km-Stichprobennetz mit rund 560 Stichprobenpunkten (Abb. 2, S. 65). In diesem Raster sind die 16 x 16 km-Rasterpunkte des Bundes und des ICP Forests (40 Punkte) eingebettet. Der Landesbetrieb Wald und Holz NRW (LB WH NRW) koordiniert die Umsetzung der WZE und das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) die Umsetzung der BZE und der IWE.

Die Waldzustandserhebung wird seit 1984 jährlich von Juli bis August auf dem Basisraster durchgeführt. Sie untersucht den aktuellen Zustand der Waldbäume und deren Veränderung im Laufe der Zeit. Neben der Kronenverlichtung und der Vergilbung/Verfärbung von Nadeln/Blättern

werden weitere Parameter wie die Fruchtbildung sowie biotische und abiotische Schäden (z. B. Insektenbefall oder Sturmschäden) und die Absterberate erfasst.

Die IWE erfasst den Belastungs- und Ernährungszustand der Waldbestände. Untersucht werden Nadel-/Blattproben von den vier Hauptbaumarten. Dies wird seit 1988 in unregelmäßigen Zeitintervallen auf dem Basisraster durchgeführt. Die nächste IWE ist im Rahmen der dritten Bodenzustandserhebung geplant.

Die Bodenzustandserhebung wird periodisch alle 15 bis 20 Jahre durchgeführt. Die dritte BZE (BZE III) findet nun in den Jahren 2022 bis 2024 statt (s. Kap. „Dritte Bodenzustandserhebung im Wald“, S. 66).

LEVEL II

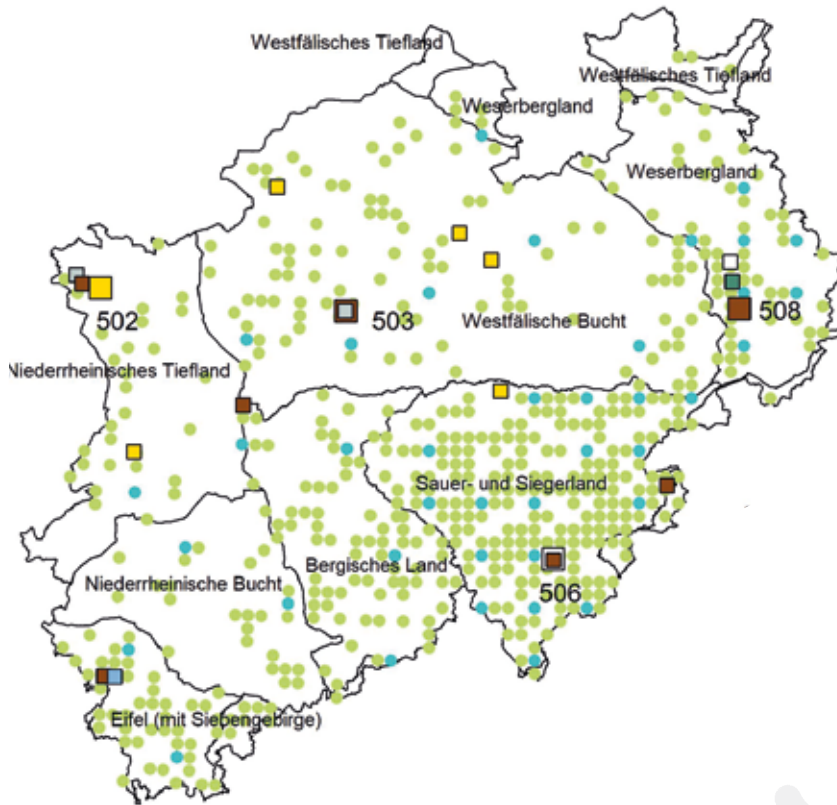
Das intensive Monitoring (IM) auf Dauerbeobachtungsflächen zielt insbesondere auf dynamische Prozesse im Waldökosystem und eine detaillierte Analyse der Wirkungsbeziehungen zwischen den Beobachtungsparametern. Das IM vertieft die Erhebungen und Erkenntnisse aus dem Level-I-Monitoring durch eine höhere zeitliche Auflösung und ein breiteres Erhebungsspektrum (Abb. 3, S. 65). Thematische Schwerpunkte bilden insbesondere atmosphärische Stoffeinträge und der Klimawandel. Die Daten des IM tragen zur Ableitung von Schwellenwerten und Nachhaltigkeitsindikatoren bei und dienen zur Kalibrierung und Validierung von Simulationsmodellen.

Die Messrhythmen für die verschiedenen Parameter variieren zwischen minütlich (z. B. Meteorologie, Wasserhaushalt) bis hin zu alle zehn Jahre (Bodenzustand). In NRW gibt es derzeit vier Flächen, auf denen das gesamte Level-II-Messprogramm seit 1995 durchgeführt wird (Kernflächen) (Abb. 2, S. 65). Sie gehören auch zu dem Programm des Bundes (§ 3 ForUmV) und des ICP Forests. Die Kernflächen bestehen jeweils aus einer Bestandes- und einer Freifläche (Waldlichtung) (Abb. 3, S. 65). Daneben gibt es 15 Flächen (Abb. 2, S. 65), auf denen ein Teil des Messprogramms durchgeführt wird. Auf zwei Flächen sind die Fichten in 2020 in Folge von Borkenkäferbefall abgestorben. Betroffen ist auch die Kernfläche 506. Diese Flächen werden als Kalamitätsflächen fortgeführt. Das LANUV koordiniert die Umsetzung des IM. Die IM-Flächen sind eng mit den Bodendauerbeobachtungsflächen in NRW verknüpft, die sich in direkter Nachbarschaft befinden. Überdies betreibt der GD NRW seit 2020 Bodenfeuchtemessstationen auf drei IM-Dauerbeobachtungsflächen im Rahmen der Kooperation zwischen GD NRW, LANUV und LB WH NRW zum Aufbau eines landesweiten Bodenfeuchtemessnetzes im Wald.



Bodenwasserhaushaltsmessungen auf der Level-II-Fläche Haard

Systematisches Stichprobennetz (Level I) und Dauerbeobachtungsflächen (Level II) des forstlichen Umweltmonitorings



Das 4 x 4 km-Basisraster beinhaltet das 16 x 16 km-Raster des Bundes und von ICP Forests. Zu den 19 Dauerbeobachtungsflächen des intensiven Monitorings gehören vier Kernflächen (502 Kleve-Tannenbusch, 503 Haard, 506 Elberndorf und 508 Schwaney), die mit einem größeren Quadrat dargestellt sind als die übrigen Dauerbeobachtungsflächen.

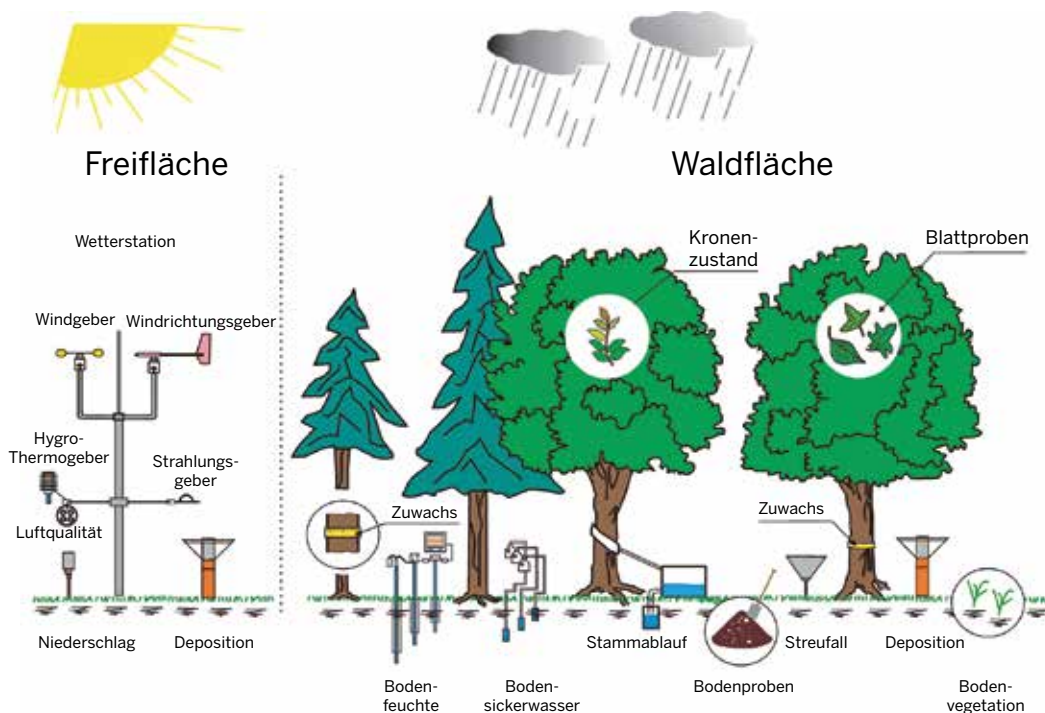
Level II

- Buche
- Eiche
- Fichte
- Kiefer
- Douglasie
- Kalamität

Level I

- 4 x 4 km-Raster
- 16 x 16 km-Raster

Aufbau und Erhebungsparameter auf einer Level-II-Kernfläche des intensiven forstlichen Umweltmonitorings





**DRITTE BODENZUSTANDSERHEBUNG
IM WALD**

Gesunde Waldböden bilden die Basis für vitale und widerstandsfähige Wälder. Sie sind die Lebensgrundlage von Waldbäumen und vielen anderen Lebewesen und erfüllen vielfältige Regelungsfunktionen im Naturhaushalt. Auch bei der Anpassung der Wälder an den Klimawandel kommt den Waldböden eine wichtige Rolle zu. Die Erhaltung ihrer Funktionstüchtigkeit ist von zentraler Bedeutung und entsprechend zu überwachen. Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) setzt hier an und untersucht den Zustand und die Entwicklung der Waldböden. Anlass für die erste Bodenzustandserhebung im Wald (BZE I; 1989–1991) war insbesondere die Sorge um eine flächendeckende Nährstoffverarmung und Versauerung der Waldböden durch menschengemachte Stoffeinträge („Saurer Regen“). Die erste Wiederholung (BZE II) erfolgte zwischen 2006 und 2008. In den Jahren 2022 bis 2024 finden nun die Geländeerhebungen zur dritten BZE (BZE III) statt. Die BZE III ist durch die Verordnung über Erhebungen zum Zustand des Waldbodens zu § 41a Absatz 6 Satz 1 des Bundeswaldgesetzes geregelt.

ZIELE DER BZE III

Die BZE liefert wichtige Informationen

- zum Zustand und der Entwicklung von Waldböden, Bodenvegetation und Waldbäumen,
- zur Identifizierung von Ursachen von Veränderungen,
- zu Auswirkungen von natürlichen und menschengemachten Umwelteinflüssen auf den Wald, u. a.
 - zu Bodenversauerung, Stickstoff- und Schwermetallbelastung durch Stoffeinträge mit der Luft und
 - zu Veränderungen unter sich wandelnden Klimabedingungen
- zur Kohlenstoffspeicherung in Waldböden und ihrer Veränderung,
- zur Risikoeinschätzung für die Qualität von Grund-, Quell- und Oberflächenwasser,
- über die Biodiversität und ihre Veränderung,
- zur Kontrolle von Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Bodenzustands sowie der Nährstoffversorgung der Waldbäume,
- für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung,
- für forst- und umweltpolitische Entscheidungen.

Die Ergebnisse der BZE III fließen in nationale und internationale Berichtspflichten ein, u. a. Berichtspflichten zum Treibhausgasinventar und zum Kyoto-Protokoll unter der UN-Klimarahmenkonvention.

ERHEBUNGSRASTER

In NRW erfolgte die BZE I auf dem 4 km x 4 km-Basisraster. Bei der BZE II wurde das bundesweite 8 km x 8 km-Raster im Tiefland sowie in Wuchsbezirken des Weserberglandes, des Bergischen Landes und der Eifel systematisch auf das 4 x 4-km Raster verdichtet (etwa 300 Punkte). Dadurch wurde die Repräsentanz der parzellierten Waldflächen und typischen Böden des Tieflandes sowie von linienförmigen Bergzügen verbessert und hoch stickstoffbelastete Waldgebiete besser erfasst. Das Erhebungsnetz der BZE II wurde aktualisiert, sodass insgesamt etwa 330 Punkte bei der BZE III untersucht werden (Abb. 1, S. 68).

ERHEBUNGEN UND PROBENAHMEDESIGN

Die BZE III wird bundesweit nach einheitlichen Methoden und Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchgeführt. Sie umfasst folgende Untersuchungen:

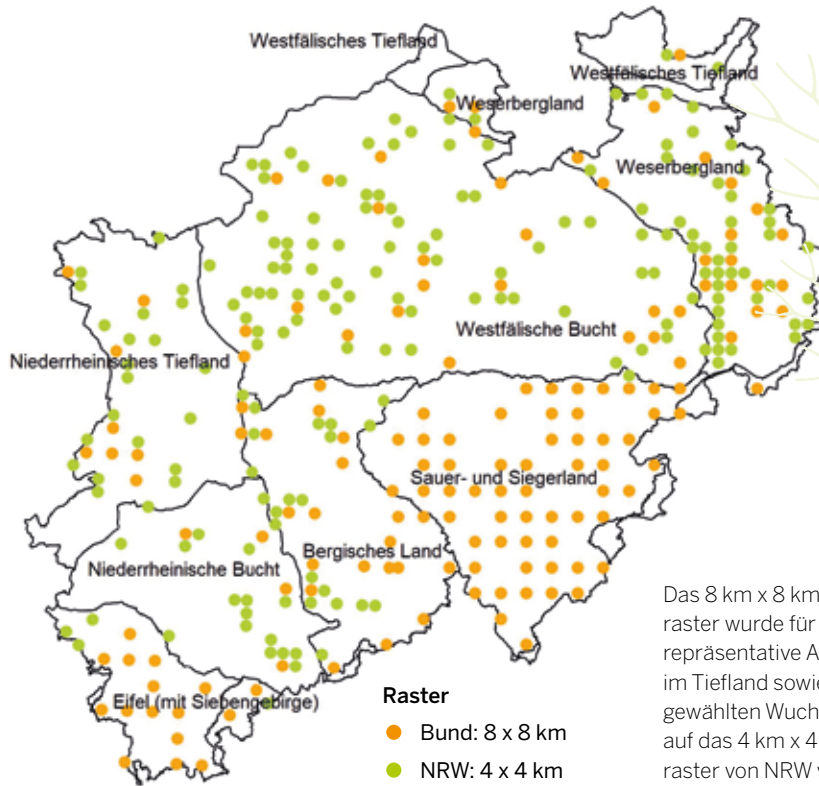
- Bodenkunde:
 - Beschreibung des Bodenprofils und der Humusformen
 - Probenahme für Bodenchemie und -physik der Humusaufgabe und des Mineralbodens
- Waldernährung:
 - Nadel-/Blattprobenahme und -analytik inkl. Kronen- und Schadansprache
- Kronenzustand:
 - Entspricht der Erhebung im Rahmen der Waldzustandserhebung
- Bestockung inkl. Totholz
- Bodenvegetation

Die Aufbereitung und Analyse der Proben erfolgt im Labor.

Das Probenahmedesign der BZE baut auf dem Design der Waldzustandserhebung (WZE) auf (Abb. 2, S. 68). Im Gegensatz zu den übrigen Bundesländern erfolgen die Erhebungen in NRW auf Basis von „Linientrakten“. Dabei wird der Mittelpunkt des BZE-Traktes ausgehend von der mittleren Baumgruppe des WZE-Linientraktes angelegt. An dieser Stelle wird das Bodenprofil erstellt. Der BZE-Aufnahmepunkt erstreckt sich in einem 30 m-Radius um den Mittelpunkt. Innerhalb dieses Radius werden der Bestand und das Totholz in verschiedenen großen Aufnahmekreisen erhoben. Die Bodenbeprobung für die chemische Analytik erfolgt an acht Punkten („Satelliten“), die auf einem Radius von 10 m um das Bodenprofil liegen. Die Vegetationskartierung erfolgt auf einer 400 m² großen Fläche. Die drei Probestämme pro Baumart, von denen Baumkletterer Nadel- oder Blattproben nehmen, liegen ebenfalls innerhalb des 30-m-Radius um den BZE-Mittelpunkt.

➔ ABBILDUNG 1

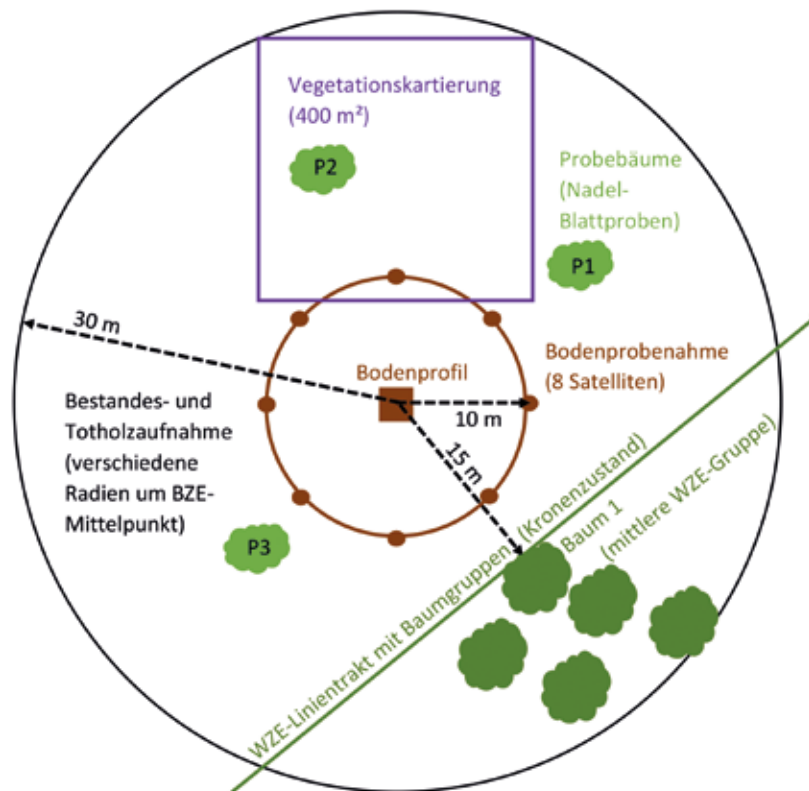
Untersuchungspunkte der dritten Bodenzustandserhebung im Wald



Das 8 km x 8 km-Bundes-raster wurde für landes-repräsentative Aussagen im Tiefland sowie in aus-gewählten Wuchsbezirken auf das 4 km x 4 km-Basis-raster von NRW verdichtet.

➔ ABBILDUNG 2

Probenahmedesign und Erhebungen im Rahmen der BZE III



ZUSTÄNDIGKEITEN UND KONTAKT

Das LANUV koordiniert die Durchführung der BZE III im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Zusätzlich sind der Landesbetrieb Wald und Holz NRW sowie der Geologische Dienst NRW beteiligt. Auf Bundesebene koordiniert das Thünen-Institut für Waldökosysteme die BZE.

Weitere Informationen zur BZE III in NRW:
www.lanuv.nrw.de/bze



Blattprobengewinnung durch Baumkletterer

DER BODENZUSTAND IN NRW

Die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) belegt eine allmähliche Erholung der immissionsbelasteten Waldböden in NRW, die primär auf die Maßnahmen zur Luftreinhaltung, aber auch auf die Bodenschutzkalkung und den Waldumbau hin zu Laubmischbeständen zurückgeführt werden kann. Demnach hat sich der Auflagehumus im Mittel zu biologisch aktiveren Humusformen entwickelt. Diese Entwicklung zeigt sich insbesondere auf den Schiefergebirgslehmen, die zumeist gekalkt wurden, während eine Verschlechterung der Humusform in erster Linie auf Kalk-, Lehm- und Sandböden beobachtet wurde. Der Grad der Versauerung (pH-Wert) und die Nährstoffversorgung (Basensättigung) in den oberen 30 cm des Mineralbodens haben sich ebenfalls im Mittel verbessert und der Säurestress für die Baumwurzeln hat sich hier verringert. Im Unterboden wird jedoch eine weiter fortschreitende Versauerung beobachtet. Insbesondere im Sauer- und Siegerland, im Bergischen Land sowie in der Eifel herrscht auf den dort überwiegenden Schiefergebirgslehmen eine geringe Basensättigung im Ober- und Unterboden vor. Hier sind die absoluten Nährstoffvorräte an Calcium, Magnesium sowie Kalium sehr gering. Insgesamt liegt die Versorgung der Waldbäume in NRW mit den Hauptnährelementen überwiegend im Normalbereich, ein akuter Mangel an Calcium bzw. Magnesium wurde nur selten beobachtet, die Versorgung der Waldböden

mit Kalium hat jedoch abgenommen. Die weiterhin hohen atmosphärischen Stickstoffeinträge tragen zur Versauerung und insbesondere zur Eutrophierung der Waldböden bei. Von der BZE I zur BZE II haben die Stickstoffvorräte im Oberboden zugenommen. Im Unterboden deutet sich tendenziell eine Abnahme an. Die Beobachtungen gehen mit Stoffausträgen primär von Nitrat mit dem Sickerwasser einher. Die Stickstoffübersversorgung der Waldbäume ist überdies deutlich angestiegen. Dies kann zu Schäden an symbiotischen Wurzelpilzen (Mykorrhiza) führen und dadurch Ungleichgewichte in der Baumernährung verstärken. Die Schwermetallkonzentrationen zeigen eine Umverteilung: Während im Auflagehumus eine Abnahme zu verzeichnen ist, wird im oberen Mineralbodenbereich eine Anreicherung beobachtet. Die Erholung der Waldböden in NRW beschränkte sich zum Zeitpunkt der BZE II (2006–2008) somit vorwiegend auf den Oberboden. Auch wenn dadurch noch kein intakter Bodenzustand erreicht ist, bedeutet dies bereits einen Stabilitätsgewinn für die Waldökosysteme in NRW. Gleichzeitig wirken sich die Spätfolgen der chronisch hohen Stoffeinträge und vielerorts eine zusätzliche Belastung durch tiefgründige und lang anhaltende Bodenaustrocknung jedoch negativ auf die Waldbäume aus (s. Kap. „Witterungs- und Bodenwasserverhältnisse bis zum Sommer“, S. 32).

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

INTERNETSEITEN

- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW: Waldzustandserhebung
www.umwelt.nrw.de/naturschutz/wald/untersuchungen-zum-wald/waldzustandserhebung
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW: Wald und Klima
www.umwelt.nrw.de/naturschutz/wald/wald-und-klima/
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW: Waldbaukonzept Nordrhein-Westfalen
www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/waldbaukonzept_nrw.pdf
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW: Waldinformationen/Karten
www.waldinfo.nrw.de/waldinfo.html

- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen: Waldzustand/Waldzustandsberichte
www.wald-und-holz.nrw.de/wald-in-nrw/waldzustand/
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen: Waldschutzmanagement
www.wald-und-holz.nrw.de/ueber-uns/forschung/waldschutzmanagement/
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen: Borkenkäfermonitoring
www.wald-und-holz.nrw.de/ueber-uns/forschung/borkenkaefermonitoring/

- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Forstliches Umweltmonitoring
www.lanuv.nrw.de/natur/forstliches-umweltmonitoring/
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Bodenzustandserhebung Wald
www.lanuv.nrw.de/natur/forstliches-umweltmonitoring/level-i-landesweite-stichproben/bodenzustandserhebung
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Klimaatlas Nordrhein-Westfalen
www.klimaatlas.nrw.de
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: FIS Klimaanpassung NRW
www.lanuv.nrw.de/klima/klimaanpassung-in-nrw/fis-klimaanpassung-nordrhein-westfalen
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Klimafolgenmonitoring
www.lanuv.nrw.de/kfm-indikatoren/

- Geologischer Dienst NRW: Forstliche Boden- und Standortkarten
www.gd.nrw.de/bo_dk_forst-standortkarten.htm

- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Waldzustandserhebung Deutschland
www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/waldzustandserhebung.html

- Johann Heinrich von Thünen-Institut für Waldökosysteme
www.thuenen.de/de/wo/arbeitsbereiche/

- Deutscher Wetterdienst (DWD): Wetter und Klima im Überblick
www.dwd.de/DE/Home/home_node.html
- Deutscher Wetterdienst (DWD): Deutscher Klimaatlas
www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html
- Deutscher Wetterdienst (DWD): Waldbrandgefahrenindex
www.dwd.de/DE/leistungen/waldbrandgef/waldbrandgef.html
- International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests): Informations on Forests in Europe
<http://icp-forests.net/>

LITERATUR

Vitalität der Baumkronen

- Eickenscheidt, N., Augustin, N. H., Wellbrock, N. (2019): Spatio-temporal modelling of forest monitoring data: modelling German tree defoliation data collected between 1989 and 2015 for trend estimation and survey grid examination using GAMMs. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, vol. 12, pp. 338-348.
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV NRW) (2020): Waldzustandsbericht 2020 – Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen.

Witterungs- und Bodenwasserverhältnisse bis zum Sommer

- Bréda, N., Huc, R., Granier, A., Dreyer, E. (2006): Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaption processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.* 63: 625-644.
- Schultze, B., Kölling, C., Dittmar, C., Rötzer, T. und Elling, W. (2005): Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern: Modellierung – Regression – Regionalisierung. *Forstarchiv* 76: 155-163.

IMPRESSUM

Herausgeber

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Referat Öffentlichkeitsarbeit
40190 Düsseldorf

Fachredaktion

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Referat III-2 Waldbau, Klimawandel im Wald, Holzwirtschaft

Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen
Fachbereich V – Zentrum für Wald- und Holzwirtschaft,
Team 4 – Waldplanung, Sachgebiet 42 – Großrauminventuren

Fachtexte

Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen:
Johannes Bürvenich
Norbert Geisthoff
Lutz Jaschke
Andre Liefertz
Dr. Berthold Mertens
Dr. Mathias Niesar

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen:
Dr. Nadine Eickenscheidt

Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb:
Dr. Stefan Schulte-Kellinghaus

Fotonachweis

Carsten Arndt: S. 8; Stefan Befeld: S. 4 rechts, 20, 26 links; Dr. Nadine Eickenscheidt: S. 4 unten,
5 oben u. rechts, 32, 33, 38, 42, 44, 56, 57, 58, 61, 62, 64, 66, 69; Norbert Geisthoff: S. 47, 49, 51,
53, 55; Anke Jacob: S. 3; Landesbetrieb Wald und Holz NRW: S. 7, 10, 12, 13, 16, 17, 19, 21, 23, 24,
26 rechts u. unten, 31; MULNV NRW / Dr. Thorsten Mrosek: S. 1, S. 4 links, S. 5 rechts außen, 46;
Andreas Schmitz: S. 40

Abbildungsnachweis

Soweit nicht anders angegeben, liegen die Rechte der Abbildungen bei den jeweiligen Autoren.

Gestaltung

setz it. Richert GmbH, Sankt Augustin, www.setz.it.de

Stand

November 2021

umwelt.nrw.de

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
40190 Düsseldorf
Telefon 0211 45 66-0
poststelle@mulnv.nrw.de