



#waldNRW

Waldzustandsbericht 2022

Bericht über den ökologischen Zustand
des Waldes in Nordrhein-Westfalen | Langfassung

www.mlv.nrw.de/wald

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

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.wald-und-holz.nrw.de/wald-in-nrw/waldzustand



www.waldinfo.nrw.de



Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

der Wald ist der Klimaschützer Nummer eins in Nordrhein-Westfalen. Er ist wichtiger CO₂-Speicher, ein Ort der Erholung und er liefert den wertvollen Rohstoff Holz. Deswegen ist es wichtig, auf unseren Wald und seine Naturschätze achtzugeben. In den vergangenen Jahren haben wir lernen müssen, wie anfällig Wälder für Hitze und Borkenkäfer sind. Auch im Jahr 2022 haben Dürre, Waldbrände und Käferkalamitäten unserem Wald zugesetzt.

Nur rund ein Drittel der Waldbäume haben eine kräftige, dichte Baumkrone. 34 Prozent der Bäume weisen eine geringe und 38 Prozent eine deutliche Verlichtung der Baumkrone auf, also den Verlust von Blättern oder Nadeln. Seit Beginn der Waldzustandserhebung 1984 wird die Lage immer ernster, auch weil die Folgen des Klimawandels im Wald immer spürbarer werden.

Es gibt aber auch Positives zu vermelden: Es verringert sich mit bisher etwa 4,4 Millionen Festmetern Schadholz (Stand September 2022) das Schadausmaß durch Borkenkäferbefall, Dürre und Sturm voraussichtlich deutlich gegenüber den Vorjahren.

Mehr als jemals zuvor ist nun die Wiederbewaldung notwendig. Es ist eine langfristige Aufgabe, die wir gesamtgesellschaftlich angehen müssen. Hier sehen wir die Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer als enge Partner beim Aufbau vielfältiger, artenreicher und klimaanpassungsfähiger Mischwälder.

Deshalb hat mein Ministerium entsprechende Förderprogramme zur Unterstützung aufgestellt. Wir haben ebenfalls konkrete Hilfestellungen erarbeitet, die über die Internetseite Waldinfo.nrw frei zur Verfügung stehen. Wir haben die Förderrichtlinien Extremwetterfolgen umfassend erneuert und vereinfacht. Mit dem Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen haben wir zudem im ganzen Land kompetente Fachleute vor Ort, die dem Waldbesitz zur Seite stehen. Die Frage nach den richtigen Baumarten beantwortet letztlich der Standort. Unser Wiederbewaldungskonzept bietet im Übrigen auch die nötige Freiheit einer vielfältigen Umsetzung.

Wir müssen zusammen mit den Waldbesitzerinnen und Waldbesitzern alle Möglichkeiten zur Stabilisierung der Waldökosysteme nutzen.

Ich bin zuversichtlich, dass es uns gemeinsam gelingen wird, klimaangepasste Wälder zu entwickeln. Wälder, die auch in Zukunft ihre vielfältigen wichtigen Aufgaben für Natur und Gesellschaft erbringen können.

Ihre

Silke Gorißen
Ministerin für Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Inhalt

6

Ökologischer Zustand des Waldes –
die wichtigsten Ergebnisse im Überblick

10

Vitalität der Baumkronen

30

Witterungs- und Bodenwasserverhältnisse

42

Stoffeinträge und ihre Auswirkungen auf die Waldökosysteme

48

Phänologische Beobachtungen an Waldbäumen

54

Schäden durch Fichtenborkenkäfer, Stürme,
Buchentroeknis und Waldbrände | Wiederbewaldung

68

Forstliches Umweltmonitoring

72

Weiterführende Informationen

Impressum

Ökologischer Zustand des Waldes – die wichtigsten Ergebnisse im Überblick



Kronenzustand

- 28 Prozent der untersuchten Bäume weisen keine Kronenverlichtung auf, 34 Prozent eine geringe und 38 Prozent eine deutliche
- Die Verschlechterung der Vitalitätswerte seit 2018–2020, aber auch langfristig seit Beginn der Erhebung 1984, setzt sich fort
- Der Zustand der Eiche bessert sich leicht; Buche und Kiefer stagnieren; der Zustand der Fichte bessert sich, was aber methodisch bedingt ist (Aufnahme jüngerer Bäume als Ersatz für abgestorbene Altbäume)



Witterung

- Erneut ausgeprägte Dürre- und Hitzeperioden; im Mittel nur 60 Prozent der Niederschläge der Referenzperiode im Zeitraum April bis August; die mittlere Temperatur lag im Zeitraum April bis August 2,3 °C über dem Referenzwert; wärmster und mit 24 Prozent des Referenzniederschlags trockenster August seit Beginn der Wetteraufzeichnung 1881



Bodenwasser

- Längste und stärkste bisher beobachtete Bodenaustrocknung bis Ende August führt zu erheblichem Wassermangel der Bäume; die Transpirationsdifferenz übertraf das extreme Dürrejahr 2018



Phänologie

- Im Jahr 2022 entsprach der Austriebstermin der Waldbäume überwiegend dem langjährigen Mittel
- Der mittlere Austriebstermin und die Länge der Vegetationsperiode von Buche und Eiche haben seit 2001 tendenziell zugenommen
- Die Hauptbaumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer fruktifizieren mittel



Stoffeinträge

- Deutlicher Rückgang von Säure-, Stickstoff- und Schwermetalleinträgen in die Wälder bei jedoch weiterhin hoher vorhandener Belastung für Waldböden und Bäume
- Die Spätfolgen der chronisch hohen Stoffeinträge stellen eine zusätzliche Belastung für die Waldökosysteme in Zeiten des Klimawandels dar



Schäden durch Borkenkäfer, Stürme und Waldbrände

- Die Population der Fichtenborkenkäfer ist weiterhin auf einem hohen Niveau, z. T. wurden drei Generationen angelegt; der Schwerpunkt der Kalamität liegt nun im Sauerland und Siegerland; in der Eifel ist die Situation besser; weitgehend aufgelöste Fichtenbestände im Tiefland
- Frühjahrsstürme verursachten einen Schadholzanfall von über 660.000 Fm, insbesondere in Nadelwäldern des Sauer-/Siegerlandes und in Ostwestfalen
- Im Jahr 2022 liegt die Schadholzmenge beim Nadelholz bei rund 4,4 Mio. Fm (Stand Sept. 2022); seit 2018 sind insgesamt 44,7 Mio. Fm angefallen
- Die seit 2018 gesamt entstandene Nadelholz-Kalamitätsfläche liegt nach Satellitenbildauswertungen bei etwa 135.000 ha (Stand Sept. 2022)
- Bis August ereigneten sich 50 Waldbrände mit einer Brandfläche von insgesamt etwa 56 ha



Wiederbewaldung

- Auf der Grundlage einer Forstamtsabfrage wird von einer bisher erfolgten Wiederbewaldung (durch Pflanzung und Naturverjüngung) auf rund einem Viertel der Kalamitätsfläche ausgegangen

Vitalität der Baumkronen

Im Jahr 2022 weisen nur 28 Prozent der untersuchten Bäume keine Kronenverlichtung auf. 34 Prozent zeigen eine geringe und 38 Prozent sogar eine deutliche Verlichtung.

Die Verschlechterung der Vitalitätswerte insbesondere seit den Jahren 2018–2020, aber auch die langfristig negative Entwicklung seit Beginn der Waldzustandserhebung im Jahr 1984, setzt sich fort.

Der durchschnittliche Nadel-/Blattverlust liegt bei 26,0 Prozent. Deutlich erkennbar ist auch hier die seit 1985 ungebrochene Tendenz zu immer höheren Verlustprozenten.

Die vier Hauptbaumarten hatten 2022 eine mittlere Fruktifikation.

Hauptursache für die schlechten Vitalitätswerte sind die Dürre- und Hitzeperioden im Sommer, Wasserstress durch eine verlängerte Vegetationszeit infolge gesteigerter Temperaturen, Insektenkalamitäten (in erster Linie bei der Fichte) und die langfristige Belastung der Waldböden durch Stoffeinträge sowie z. T. auch die Fruktifikation.

Die **Eiche** konnte sich 2022, bezogen auf die Werte der Jahre 2018–2021, trotz der Dürre leicht erholen. Die Verlichtungswerte sinken knapp unter das Niveau des Jahres 2018, dem ersten Jahr der Dürreperiode. Positiv für sie ausgewirkt hat sich der nur geringe Insektenfraß und ihr Vermögen, besser auf Trockenheit reagieren zu können als andere Baumarten. Zudem kann sie sich über ihr tiefreichendes Wurzelsystem auch Wasser in tiefer liegenden Bodenschichten erschließen.

Die **Buche** leidet im extrem trockenen Jahr 2022 unter der seit 2018 anhaltenden Dürre. Ihr Zustand stagniert auf den hohen Werten der Jahre 2018–2021. Nach der nur sehr schwachen Fruchtbildung 2021 fruktifiziert sie 2022 wieder deutlich stärker.

Der Kronenzustand der **Fichte** hat sich erstmals seit 2017 wieder leicht gebessert. Das ist aber darauf zurückzuführen, dass als Ersatz für die infolge der Borkenkäferkalamität abgestorbenen Altbäume jüngere Nachbarbäume aufgenommen wurden, was methodisch bedingt ist. In den tieferen Lagen ist die Fichte infolge der Borkenkäferkalamität inzwischen fast vollständig verschwunden.

Seit Beginn der Dürreperiode zeigt sie die schnellste Schadentwicklung, die höchste Absterberate und seit 2020 auch die höchsten Nadel-/Blattverluste aller Baumarten. Mit ihrem nur flach entwickelten Wurzelsystem steht sie 2022 auf vielen Standorten während der gesamten Vegetationsperiode unter Wasserstress.

Von den Hauptbaumarten weist die **Kiefer** den geringsten Nadel-/Blattverlust auf. Sie gilt als trockenheitsverträglicher als die meisten anderen heimischen Baumarten und zeigt eine langsame Dynamik der Schadentwicklung und einen hohen Anteil gering verlichteter Bäume. Trotzdem zeigt sie in jedem Jahr der Periode 2018–2022 einen höheren Nadelverlust als in jedem beliebigen vorausgegangenen Jahr seit 1984. Nach der 2020 zu beobachtenden leichten Erholung von den 2019 erreichten neuen Höchstwerten verharrt sie 2022 auf Vorjahresniveau.

Witterung und Bodenwasser

Die extremen Witterungsbedingungen der Vorjahre setzen sich im Jahr 2022 nach einer kurzen Erholungsphase im Vorjahr weiter fort. Bereits im sonnenscheinreichsten März seit Aufzeichnungsbeginn des Deutschen Wetterdienstes (DWD) (1881) fielen nur 25 Prozent der Referenzniederschläge. Der für das Baumwachstum wichtige Zeitraum April bis August wies mit 16,1 °C die vierthöchste mittlere Temperatur seit Messbeginn auf (Referenzperiode 1961–1990: 13,8 °C). Überdies fielen mit 223 mm nur etwa 60 Prozent der Niederschläge im Vergleich zur Referenzperiode. Der August stellte sogar den trockensten (24 % der Referenzniederschläge) und mit im Mittel 20,6 °C wärmsten August (1961–1990: 16,6 °C) seit Aufzeichnungsbeginn dar. Aufgrund des hitzebedingt erhöhten Wasserbedarfs bei gleichzeitig geringerer Wasserverfügbarkeit sind die Waldbäume damit im

Jahr 2022 erneut großem Wasserstress ausgesetzt. Die exemplarische Betrachtung des Bodenwasserhaushaltes von Flächen aus dem intensiven forstlichen Umweltmonitoring zeigt, dass die Bodenwasserspeicher im Tiefland zum Beginn der Vegetationsperiode 2022 bereits weniger gefüllt waren als in den Vorjahren. Bis Ende August lag die am längsten anhaltende und stärkste Waldbodenaustrocknung vor, die in diesem Zeitraum seit Messbeginn beobachtet wurde. Die Transpirationsdifferenz, die den Wassermangel der Bäume widerspiegelt, übertraf sogar das bisherige Rekordjahr 2018. Die Belastungssituation hat sich somit weiter verschärft und es muss mit weiteren Vitalitätsverlusten und höherer Baum mortalität gerechnet werden. Das sich aufbauende Wasserdefizit hat überdies Folgen für die Grundwasserneubildung.

Stoffeinträge

Das „Waldsterben“ der 1980er Jahre wurde primär auf die menschengemachten Stoffeinträge („Saurer Regen“) zurückgeführt. Seit den 1980er Jahren werden der Stoffeintrag in die Wälder in NRW sowie die Auswirkungen auf die Waldböden und auf die Stoffzusammensetzung in den Nadeln und Blättern der Waldbäume im Rahmen des forstlichen Umweltmonitorings erfasst. Einträge von Stickstoff, Säuren und Schwermetallen sind in den letzten 40 Jahren zum Teil deutlich zurückgegangen. Die Waldböden weisen jedoch ein langes Gedächtnis auf, so

spielen die Bodenversauerung und Eutrophierung immer noch eine wichtige Rolle. Während Schwefel und Schwermetalle in den Waldbäumen zurückgehen, sind die Waldbäume im Mittel in NRW weiterhin mit Stickstoff übersorgt. Die Spätfolgen der chronisch hohen Stoffeinträge stellen vielerorts eine zusätzliche Belastung für die Waldökosysteme in Zeiten des Klimawandels dar. Die dritte Bodenzustandserhebung im Wald wird neue Daten und Erkenntnisse zur aktuellen Entwicklung unserer Waldböden und Ernährungssituation unserer Waldbäume liefern.

Phänologie

Die phänologischen Entwicklungserscheinungen stellen aufgrund ihrer engen Beziehung zur Witterung wichtige Weiser im Rahmen der Untersuchungen zum Klimawandel dar. Im Jahr 2022 entsprach der Austriebstermin der Waldbäume auf den Flächen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings überwiegend dem langjährigen Mittel. Der mittlere Austriebstermin und die Länge der Vegetationsperiode von Buche und Eiche haben seit 2001

tendenziell zugenommen. Eine längere Vegetationszeit kann dazu führen, dass auch der Wasserbedarf der Bäume steigt, was in warmen und trockenen Jahren wie 2022 zu einem erhöhten Trockenstress für die Bäume führen kann. Der Stress kann sich in Jahren verstärken, in denen die Bäume stark blühen oder fruktifizieren. In 2022 wurde an den meisten Waldbäumen der Intensivmonitoringflächen eine geringe bis mittlere Blüte beobachtet.

Schäden durch Fichtenborkenkäfer, Stürme, Buchentrocknis und Waldbrände

Erneut hat die seit dem Sommer 2018 andauernde Borkenkäferkalamität auch in diesem Jahr zu hohen Populationsdichten und vor allem im Sauer- und Siegerland zu großen Schäden an den dort stehenden Fichten geführt. Wie im letzten Jahr sind dort mittlerweile massiv die Höhenlagen betroffen. Ebenfalls in den Höhenlagen der Eifel sind in diesem Jahr in bisher vitalen Fichtenbeständen neue Käferbefallsflächen entstanden. Im Vergleich zum Sauer- und Siegerland sind diese allerdings kleiner. Somit ist in Nordrhein-Westfalen die Befallsituation in der Eifel bisher landesweit am günstigsten. In anderen Teilen des Rheinlandes sowie im Münsterland, in Ostwestfalen und dem Ruhrgebiet sind bereits viele Fichten abgestorben. Buchdrucker und Kupferstecher sind in diesem Jahr zeitlich versetzt und in Abhängigkeit der Höhenlage aus ihren Überwinterungsorten ausgeflogen. Der Hauptflug begann Mitte April und hatte das durch die Februarstürme angefallene Windwurfholz massiv befallen. Die sommerlichen, hohen Temperaturen führten anschließend in diesem Jahr zu einer schnellen Brutentwicklung der Fichtenborkenkäfer. Vor allem der Buchdrucker profitierte hiervon und bildete in den Niederungen drei Generationen aus. In den mittleren Lagen wurde die dritte Generation angelegt und diese wird sich – zeitlich gesehen – bis zum Frühjahr vollständig weiterentwickeln können.

Im Jahr 2022 liegt die Fichtenkalamitätsmenge aus Sturm- und Käferholz im Gesamtwald von NRW geschätzt bei rund 4,4 Mio. Festmetern (Stand Sept. 2022). Somit verringert sich die Käferholzmenge gegenüber dem Vorjahr deutlich. Dies ist vor allem auf die seit dem letzten Sommer gestiegene Vitalität der Fichten (deutlicher Harzdruck), den Verlust der vielen Fichtenflächen und des dort stockenden Vorrats, die schnellere Aufarbeitung sowie Abfuhr (aufgrund des aufnahmefähigen Holzmarktes) zurückzuführen.

Forstliches Umweltmonitoring

Das forstliche Umweltmonitoring (ForUm) ist aus der Debatte über die „neuartigen Waldschäden“ und den „sauren Regen“ zu Beginn der 1980er Jahre hervorgegangen und untersucht seit über 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 Forstwirtschaftsmaßnahmen dar. Das ForUm basiert auf zwei sich ergänzenden

NRW-weit betrachtet sind die Mengen im Vergleich zu den Vorjahren damit rückläufig. Somit ergibt sich von 2018 bis zum September 2022 eine Schadholzgesamtmenge von rund 44,7 Mio. Festmetern. Mittlerweile summieren sich die Vorratsverluste in der Baumart Fichte auf ca. 57 Prozent des Fichtenvorrats in Nordrhein-Westfalen. Die durch Satellitendaten ermittelte Nadelholzkalamitätsfläche ist insgesamt in diesem Jahr auf ca. 135.000 ha angestiegen (Stand Sept. 2022).

Auch in diesem Jahr traten bei der Rotbuche zunehmend Absterbeerscheinungen auf, die auf die Hitze- und Trockenjahre 2018 bis 2020 zurückzuführen sind. In den seit Jahren durch die Buchentrocknis aufgelichteten Beständen hat sich der Zustand dort wachsender Rotbuchen weiterhin verschlechtert. Der Schwerpunkt dieser Schäden liegt weiterhin in älteren Altersklassen. Typisch für die Buchentrocknis ist ein in der Krone beginnendes Absterben der Bäume. Die diesjährige Trockenheit und intensive Sonneneinstrahlung hat zusätzlich standortabhängig bei Buchen zu Stresssituationen und einem daraus resultierenden frühzeitigen Blattverlust geführt.

Aufgrund der diesjährigen anhaltenden Trockenheit im Frühjahr und Sommer bestand bis Mitte September eine bedeutende Waldbrandgefährdung. Diese zeigt sich durch die hohe Anzahl von mehr als 50 Waldbränden mit einer Brandfläche von insgesamt etwa 56 ha Größe. Durch die gute Zusammenarbeit von Ordnungskräften der Feuerwehr, Forstverwaltung und Polizei konnten diese Brände erfolgreich unter Kontrolle gebracht werden.

Säulen, der landesweit repräsentativen Erhebung auf einem systematischen Stichprobennetz (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-Zusammenhängen. Seit 1985 ist das ForUm in das europaweite Monitoring eingebunden.



Vitalität der Baumkronen

Die Waldzustandserhebung (WZE) wurde 1984 eingeführt als Instrument zur Einschätzung des Gesundheitszustandes der Wälder. Sie nutzt die Erkenntnis, dass sich die Vitalität von Bäumen gut anhand des Belaubungszustandes ihrer Kronen ablesen lässt. Neben dem Nadel-/Blattverlust gehen dabei auch die Vergilbung der Blätter, die Fruktifikation sowie biotische und abiotische Faktoren in die Bewertung der Vitalität der Kronen ein.

Die WZE bildet zusammen mit der Bodenzustandserhebung (BZE) und der immissionsökologischen Waldzustandserhebung (IWE) das Level-I-Programm des forstlichen Umweltmonitorings (ForUm).

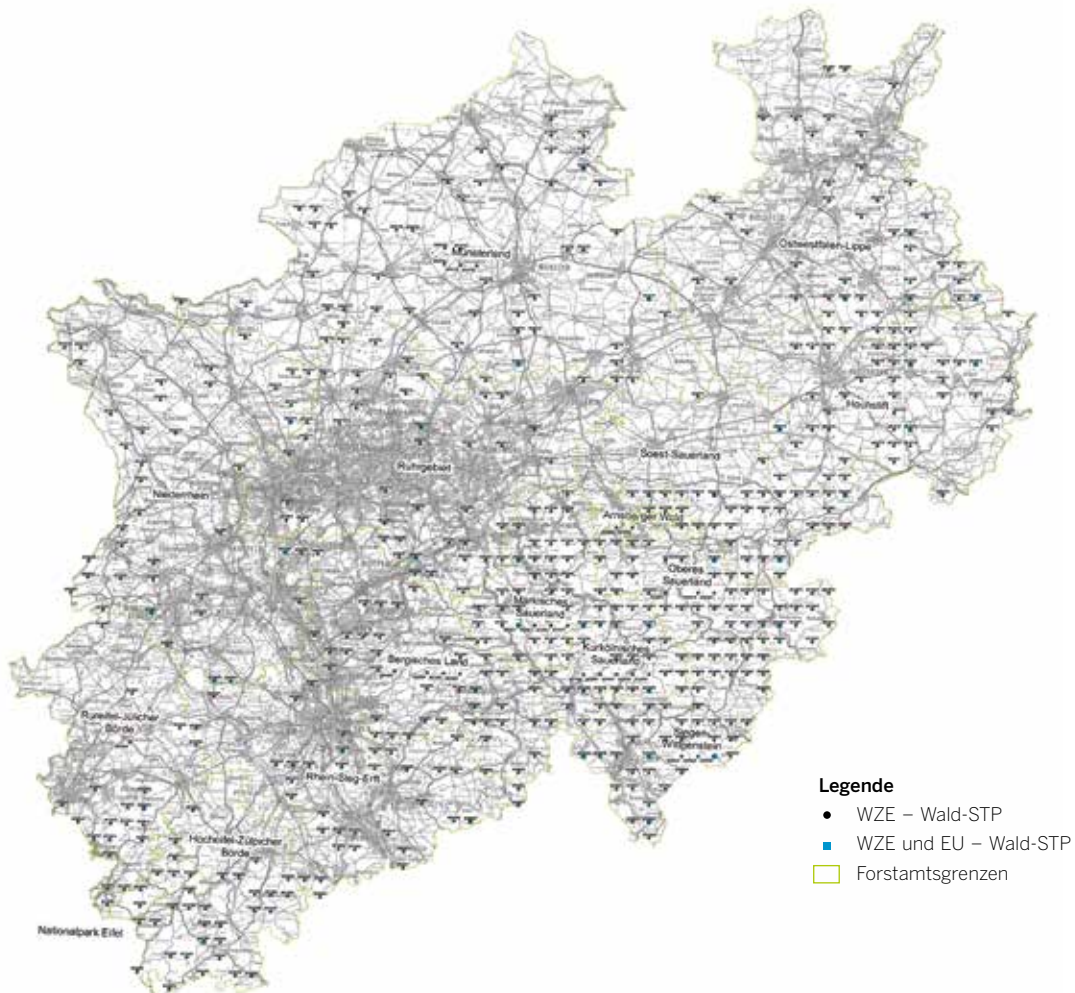
Die durch die jährliche Wiederholung der WZE seit 1984 entstehenden Zeitreihen ermöglichen sowohl Aussagen zum aktuellen Zustand des Waldes als auch das Erkennen langjähriger Trends. Die Zusammenführung mit Witterungs- und Klimadaten erlaubt eine Analyse von Reaktionen- und Wechselwirkungen.

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

In NRW wurden im Rahmen der WZE auf einem Raster von 4x4 km 563 Stichprobenpunkte mit ca. 10.000 Einzelbäumen angelegt (Abb. 1). Die Bäume sind dauerhaft markiert und werden jährlich zwischen Mitte Juli und Ende August von speziell geschulten Forstleuten begutachtet. Die Erhebung ist eine Momentaufnahme, Auswirkungen aktueller Verhältnisse manifestieren sich teilweise erst im Folgejahr. Genauso beeinflussen aber auch Bedingungen des Vorjahres das Erscheinungsbild der Bäume zum Zeitpunkt der Aufnahme.

➔ Abbildung 1

Das WZE-Stichprobennetz in NRW



Hauptergebnisse

Im Jahr 2022 weisen nur 28 Prozent der untersuchten Bäume keine Kronenverlichtung auf. 34 Prozent zeigen eine geringe und 38 Prozent sogar eine deutliche Verlichtung (Abb. 3, S. 13). Die Verschlechterung der Vitalitätswerte insbesondere seit den Jahren 2018–2020, aber auch die langfristig negative Entwicklung seit Beginn der Waldzustandserhebung im Jahr 1984, setzt sich fort.

Hauptursachen sind die Dürre- und Hitzeperioden im Sommer, Wasserstress durch eine verlängerte Vegetationszeit aufgrund gestiegener Temperatur, Insektenkatastrophen (in erster Linie bei der Fichte) und die langfristige Belastung der Waldböden durch Stoffeinträge, z. T. auch Fruktifikation.

Untermauert wird diese Aussage durch den Blick auf die Entwicklung der mittleren Nadel-/Blattverluste (Abb. 4, S. 14). Deutlich erkennbar ist hier die seit 1985 ungebrochene Tendenz zu immer höheren Verlustprozenten (von 10 % 1985 auf 26 % 2022).

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 deutliche Unterschiede aufweisen (z. B. der sprunghafte Anstieg der Nadelverluste der Fichte seit 2018 oder die nur langsam voranschreitenden Verlustprozente der Kiefer).



Die Aufnahmeteams werden jährlich intensiv geschult.

Die Klassifizierung der Kronenverlichtung erfolgt gemäß der nachstehenden bundesweit einheitlichen Tabelle (Abb. 2). 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 (Abb. 2).

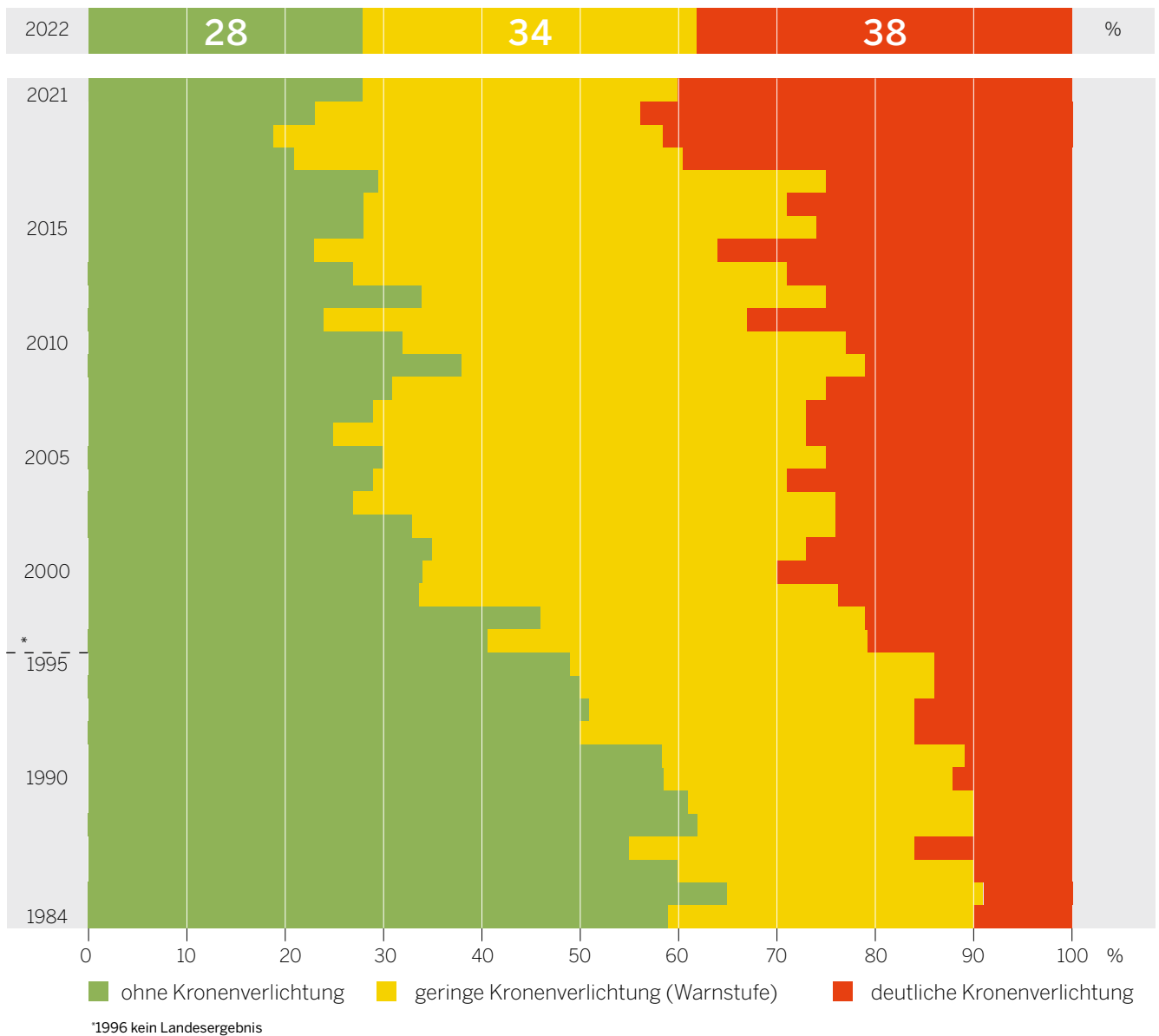
➔ Abbildung 2

Das System der Verlichtungsstufen

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

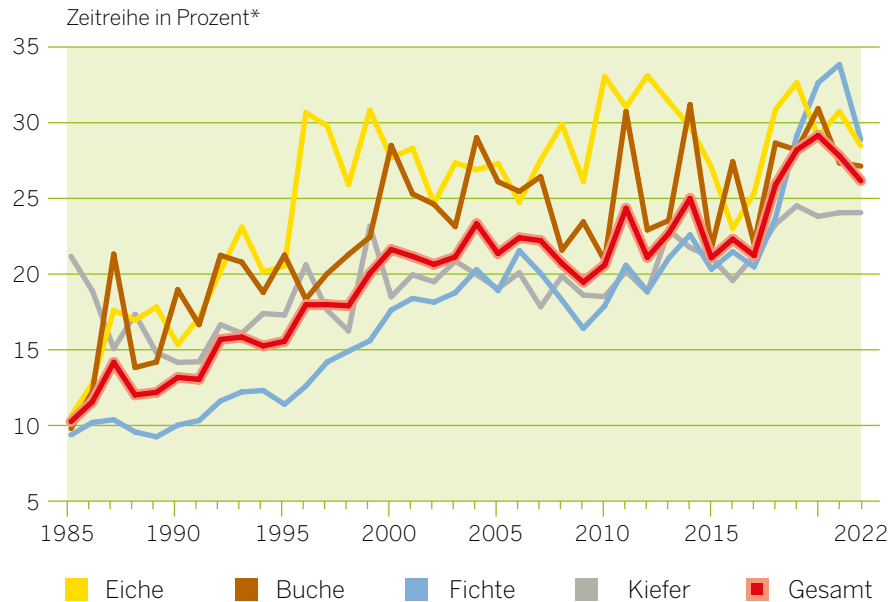
➤ **Abbildung 3**

Entwicklung des Kronenzustandes aller Baumarten | 1984 bis 2022



➔ Abbildung 4

Mittlerer Nadel-/Blattverlust der Hauptbaumarten | 1985 bis 2022



Absterberate und jährliche Absterberate

Die WZE beschreibt die Entwicklung der Vitalität von Waldbeständen. Eine gewisse Fluktuation innerhalb des Aufnahmekollektivs durch Absterben einzelner Bäume ist normal und hat keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Erhebung.

Durch großräumige Schadereignisse (wie die seit 2018 anhaltende Borkenkäferkalamität an der Fichte) ändert sich das zur Verfügung stehende Aufnahmekollektiv rapide hinsichtlich der Anzahl und des Alters der in der WZE erfassten Bäume.

Es gibt zwei Indikatoren für das Ausmaß dieser Veränderung:

Die **Absterberate**; sie erfasst abgestorbene Stichprobenbäume, solange sie noch feinreisig haben. Es handelt sich um einen akkumulierten Wert der vergangenen Jahre.

In der **jährlichen Absterberate** hingegen werden nur die in der Periode zwischen WZE 2021 und WZE 2022 abgestorbenen Bäume erfasst.

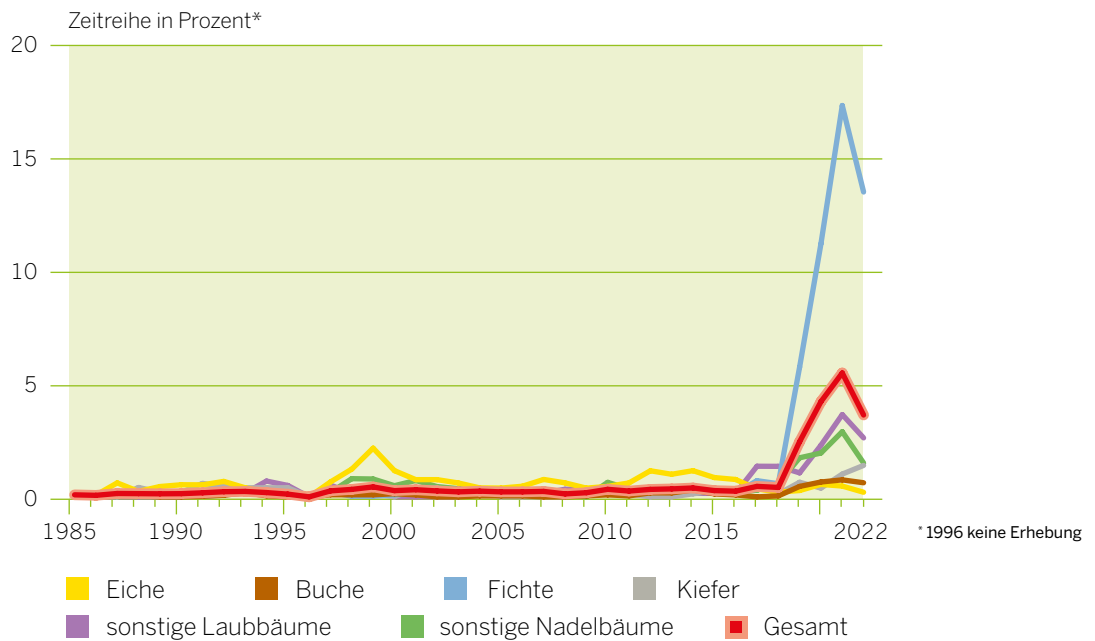
Der langjährige Mittelwert der Absterberate über alle Baumarten lag bis 2018 bei 0,21 Prozent. Ab 2019 stieg sie an und kulminierte 2021 bei 5,2 Prozent, dem annähernd 25-fachen Wert des langjährigen Mittels. Im Jahr 2022 sank der Wert wieder auf 3,5 Prozent (Abb. 5, S. 15).

Auffällig sind auch hier die Unterschiede zwischen den Baumarten: Während die Kurven von Eiche und Buche bei unter 1 Prozent verharren und die Werte für die Kiefer geringfügig auf über 1 Prozent ansteigen, stieg die Kurve bei der Fichte bis 2021 bedingt durch die Borkenkäferkalamität und die Trockenheit steil an auf 16,5 Prozent und sank 2022 wieder leicht auf 12,86 Prozent.

Die jährliche Absterberate zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Absterberate auf niedrigerem Niveau: In der WZE-Periode 2022 sind, gemittelt über alle Baumarten, 1,39 Prozent des Aufnahmekollektivs abgestorben. Bei Eiche, Buche und Kiefer lag die Rate jeweils unter 1 Prozent, bei der Fichte kulminierte der Wert im Jahr 2021 bei 7,89 Prozent und liegt aktuell bei 5,02 Prozent.

➔ **Abbildung 5**

Absterberaten aller Baumarten | 1985 bis 2022



Baumartenverteilung

Seit dem Jahr 2019 ist es innerhalb des Aufnahme-kollektivs zu einer signifikanten Verschiebung der Baumartenverteilung gekommen: Durch die anhaltende Borkenkäferkalamität sind zahlreiche Blößen entstanden, die Anzahl der aufgenommenen Fichten hat sich um 45 Prozent vermindert, der Anteil der Buche hingegen wächst sowohl relativ als auch absolut. Die Buche löst 2021 erstmals die Fichte als häufigste Baumart ab (Abb. 6, S. 16).

Vergilbung

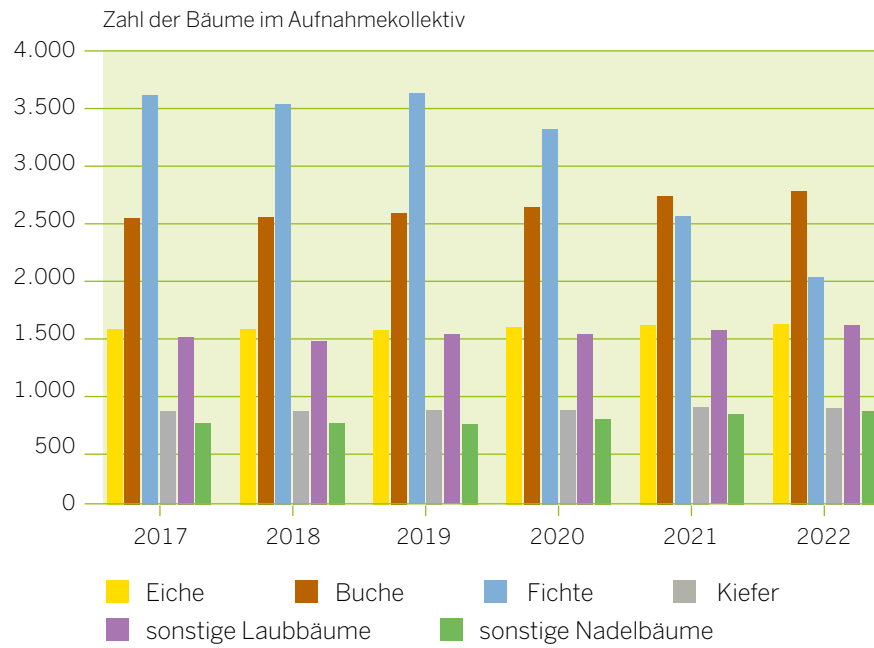
Bei der Buche, aber auch bei der Eiche und der Fichte kommt es seit Beginn der Dürreperiode 2018 zu einem signifikant erhöhten Auftreten von vergilbten Blättern und Nadeln. Dieses Phänomen ist eine Reaktion der Bäume auf Trockenstress während der Vegetationszeit, die durch vorzeitiges Abstoßen der Blätter versuchen, ihren Wasserbedarf zu verringern. Abschließend beobachten lässt sich die Vergilbung bedingt durch die auf Mitte Juli bis Ende August festgelegte Inventurzeit im Rahmen der WZE allerdings nicht. Bedrohlich ist diese Entwicklung noch nicht, mit 2,2 Prozent betroffenen Bäumen zeigt sich aber immerhin eine Verzehnfachung des langjährigen Mittelwertes (Abb. 7, S. 16).



Vorzeitig abgeworfene Blätter von Buche und Eiche

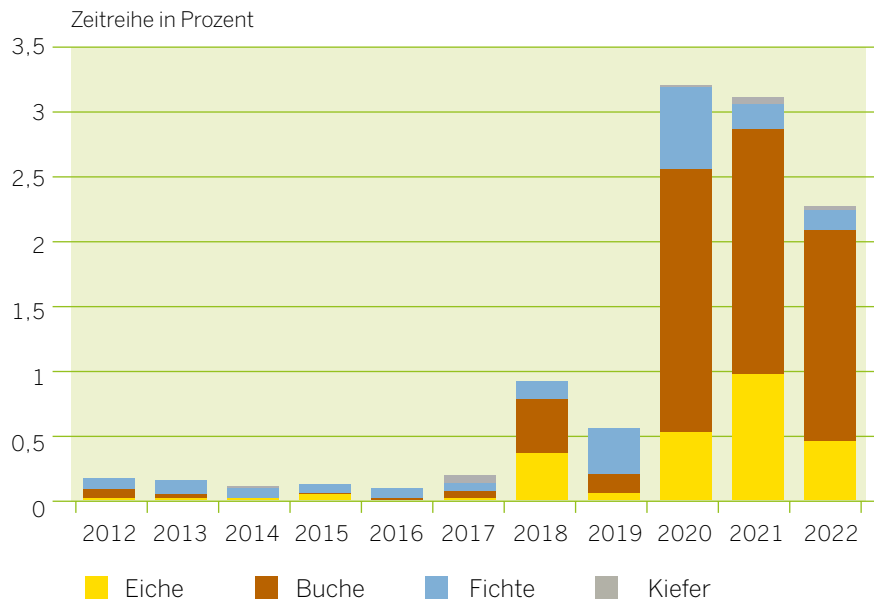
➔ **Abbildung 6**

Baumartenverteilung | 2017 bis 2022



➔ **Abbildung 7**

Vergilbung an Blättern und Nadeln | getrennt nach Baumarten | 2012 bis 2022



Der Kronenzustand der Hauptbaumarten

Für alle Baumarten lässt sich in der Langzeitbetrachtung seit Beginn der WZE 1984 ein Trend zu immer höheren Verlichtungsgraden feststellen. Da sich aber zwischen den Baumarten hinsichtlich der kurz- und mittelfristigen Entwicklung, der Stärke der Verlichtung sowie der Geschwindigkeit des Schadfortschrittes teilweise große Unterschiede ergeben, werden die Ergebnisse der Waldzustandserhebung noch einmal getrennt nach Hauptbaumarten betrachtet.

Eiche

Im Jahr 2022 weisen 14 Prozent der untersuchten Eichen keine Kronenverlichtung, 39 Prozent eine geringe Kronenverlichtung und 47 Prozent eine deutliche Kronenverlichtung auf (Abb. 8, S. 18).

Die Eiche konnte sich trotz der anhaltenden Dürre bezogen auf die Werte der Jahre 2018–2021 leicht erholen. Die Verlichtungswerte sinken knapp unter das Niveau des Jahres 2018. Der mittlere Blattverlust sinkt von 30,7 Prozent auf 28,4 Prozent (Abb. 4, S. 14).

Der langfristige Trend zu einer immer höheren Verlichtung der Baumkronen aber setzt sich fort.

Verschiedene Faktoren tragen zu diesem positiven Effekt bei: Zum einen kann die Eiche durch ihr tief reichendes Wurzelsystem auch Wasser in tiefer liegenden Bodenschichten erschließen und gerät damit später unter Wasserstress. Zum anderen ist der Befall mit blattfressenden

Insekten 2022 auf sehr niedrigem Niveau. Darüber hinaus war die Wasserversorgung im vergangenen Jahr zur Zeit der Knospenbildung verhältnismäßig gut, die Belaubung 2022 entsprechend dicht. Die Dürre der Sommermonate 2022 hingegen hatte bis zum Zeitpunkt der WZE-Aufnahme Mitte Juli bis Ende August noch keinen gravierenden Einfluss auf die Belaubung.

Sowohl die Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft (in erster Linie bestehend aus blattfressenden Schmetterlingsraupen der Arten Frostspanner und Eichenwickler) als auch der Befall mit dem Eichenmehltaupilz haben nach der deutlichen Zunahme 2021 im Jahr 2022 wieder deutlich abgenommen und liegen auf geringem Niveau (Abb. 9, S. 19).

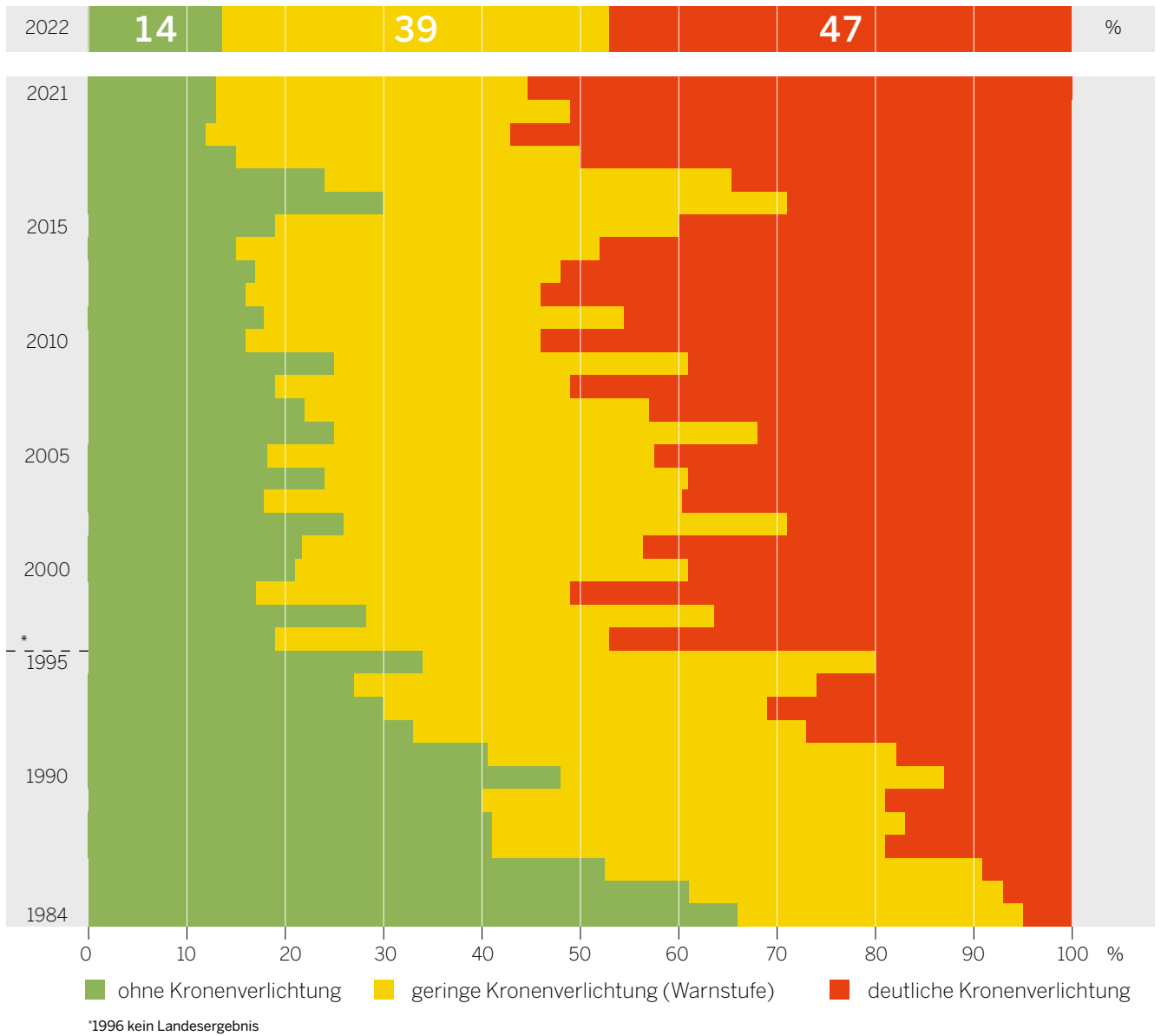
Nach der sehr geringen Fruchtbildung des Jahres 2021 zeigt die Eiche 2022 eine mittlere Fruktifikation (Abb. 10, S. 19).



Fruktifizierende Traubeneiche

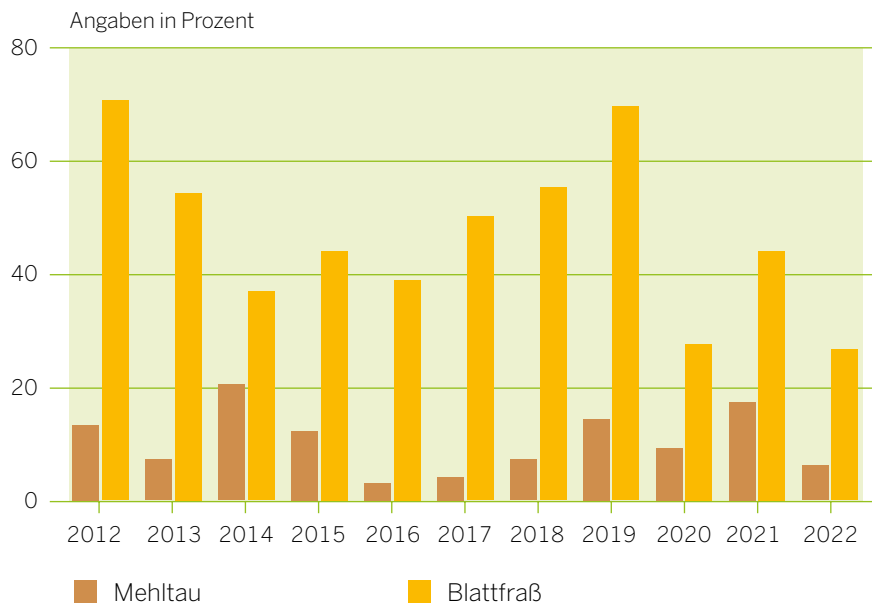
➤ **Abbildung 8**

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Eichen | 1984 bis 2022



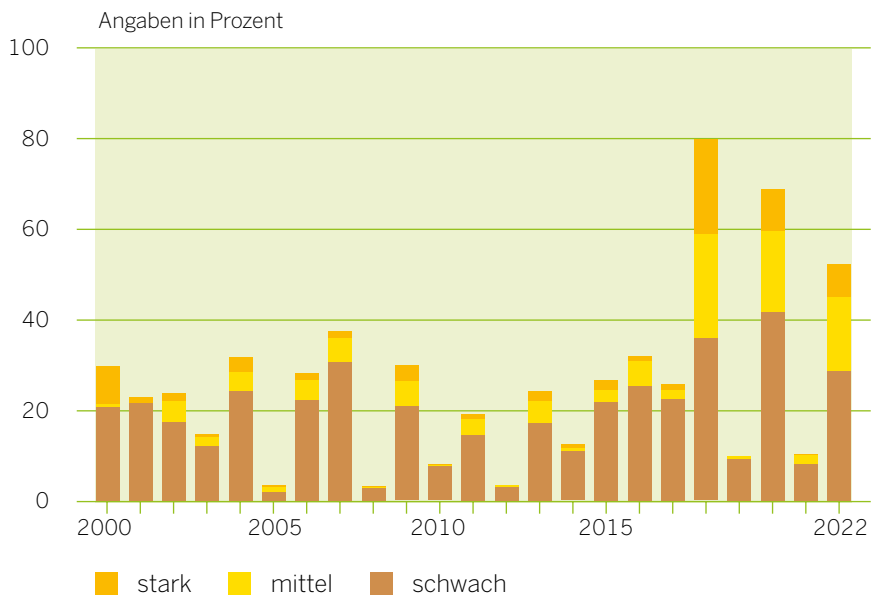
➔ Abbildung 9

Mehltau und Blattfraß bei Eichen | 2012 bis 2022



➔ Abbildung 10

Fruchtifikation bei Eichen | 2000 bis 2022



Buche

Im Jahr 2022 weisen 24 Prozent der untersuchten Buchen keine Kronenverlichtung auf, 32 Prozent galten als gering verlichtet und 44 Prozent als deutlich verlichtet (Abb. 11, S. 21).

Der Zustand der Buche stagniert im Jahr 2022 nach der deutlichen Erholung 2021 auf den hohen Werten der Dürrejahre 2018–2021.

Der langfristige Negativtrend ist seit 1984 ungebrochen.

Der mittlere Blattverlust sinkt minimal auf 27,0 Prozent (Abb. 4, S. 14).

Die WZE NRW beschreibt den Zustand der Buche, wie auch den der anderen Baumarten, aus landesweiter Sicht. Regional betrachtet kann es Abweichungen geben, die aber durch die großräumige Betrachtung überlagert werden.

Nachdem die Buche im vergangenen Jahr nur eine sehr schwache Fruktifikation aufwies, fruktifiziert sie 2022 wieder stärker (Abb. 12, S. 22).

Die bei der Buche häufig mit einer stärkeren Fruktifikation einhergehende Erhöhung des Nadel-/Blattverlustes konnte in diesem Jahr nicht beobachtet werden.

Erklären lässt sich diese Entkopplung mit dem in der Vegetationsperiode des letzten Jahres gut gefüllten Bodenwasserspeicher: Zur Zeit der Knospenbildung für das Jahr 2022 herrschten positive Bedingungen, dementsprechend gut war die Blattanlage in den Knospen. Die Effekte der anhaltenden Dürre während der Sommermonate 2022 hingegen hatten bis zum Zeitpunkt der Vegetationsaufnahme für die WZE noch keinen gravierenden Einfluss auf die Belaubung. Zwar war, wie auch schon in den beiden vorangegangenen Jahren, eine verstärkte Vergilbung der Blätter festzustellen (Abb. 7, S. 16), es kam aber während der Erhebungsphase noch zu keinem nennenswerten vorzeitigen Blattabfall.

Die relativ guten Bedingungen des Vorjahres überkompensieren also den Effekt der Fruktifikation, während sich die negativen Folgen der Dürre des Jahres 2022 noch nicht spürbar auswirken.



Buche mit Fruktifikation

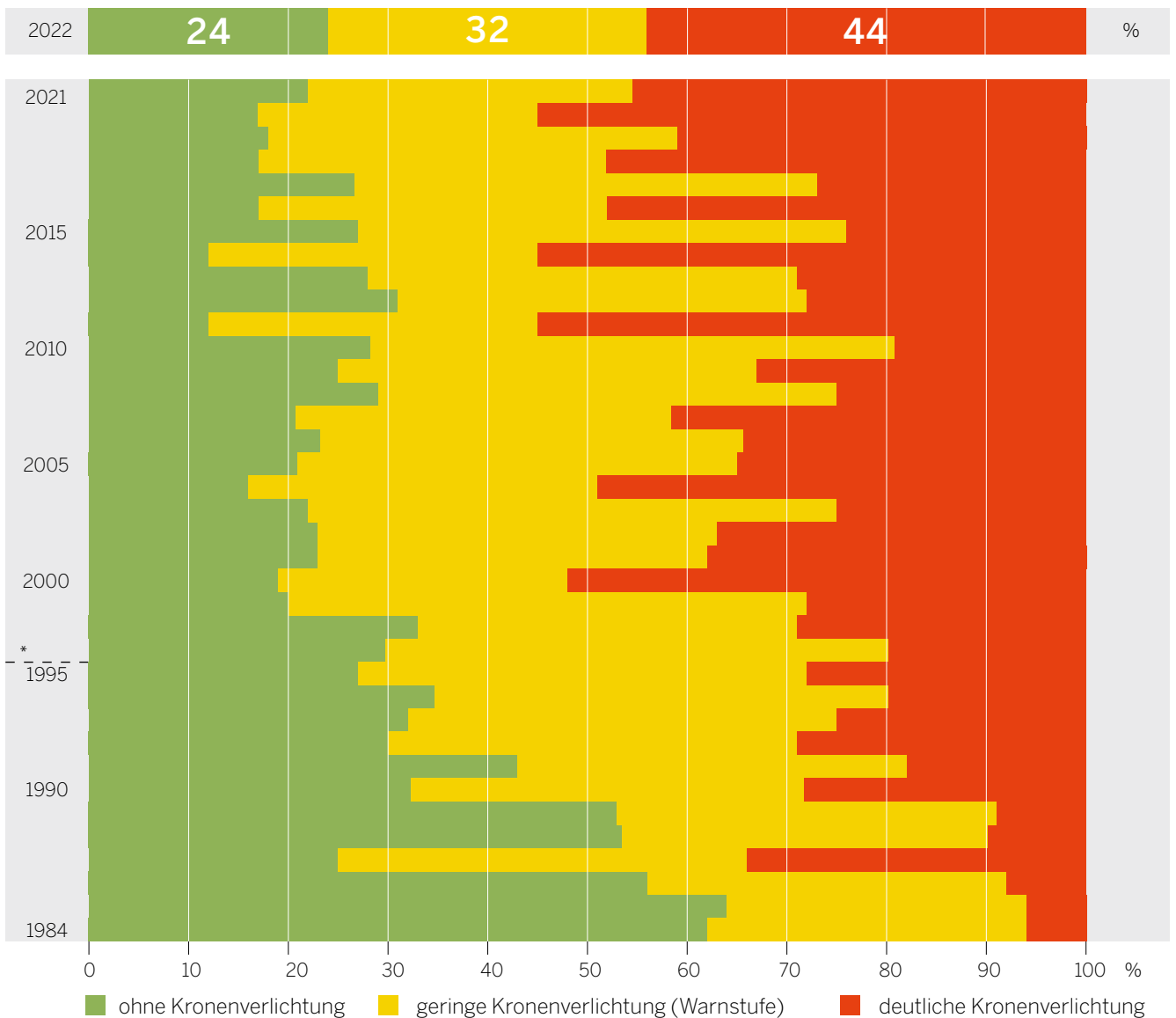
Bei Buchen mit lichten Oberkronen kommt es bei starker Sonneneinstrahlung schnell zu Hitzeschäden an Ästen und Trieben. Diese Erscheinung ist bei älteren Bäumen leider immer häufiger zu beobachten.

Da die Buche bekanntermaßen auf äußere Einflüsse mit einer gewissen Verzögerung reagiert, werden sich die Folgen der diesjährigen Dürre voraussichtlich 2023 manifestieren.

Das Blattrollen, eine Schutzreaktion der Buche auf Hitze und Dürre, war im Jahr 2019 weit verbreitet (23,1 % der Buchen waren betroffen), hat sich aber in den beiden letzten und im laufenden Jahr (2022: 6,01 %) wieder deutlich abgeschwächt und liegt im Bereich der Werte der vergangenen Jahre.

➔ **Abbildung 11**

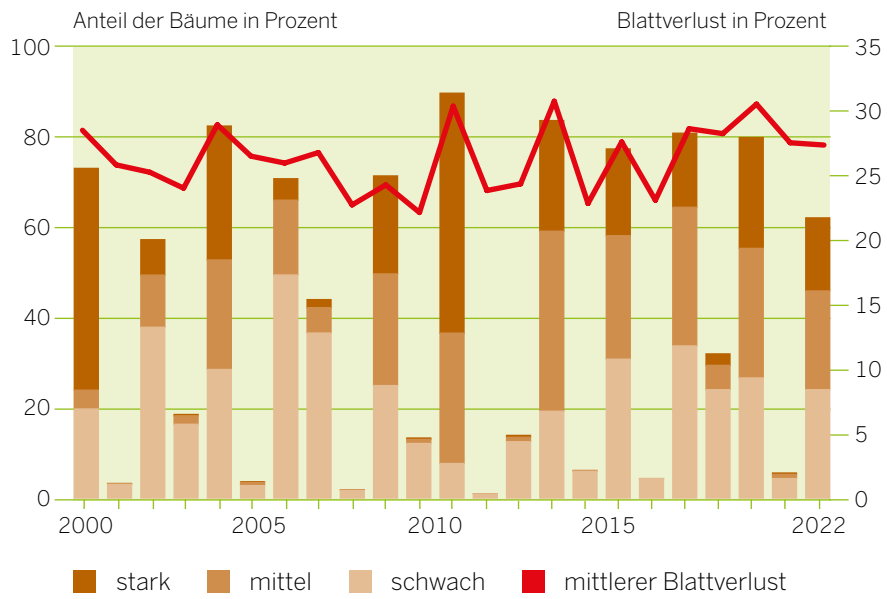
Entwicklung der Kronenverlichtung bei Buchen | 1984 bis 2022



*1996 kein Landesergebnis

➤ **Abbildung 12**

Fruktifikation und mittlerer Blattverlust bei Buchen | 2000 bis 2022



Buchen unterschiedlicher Verlichtungsstufen

Fichte

Im laufenden Jahr sind 41 Prozent der untersuchten Fichten nicht verlichtet, 23 Prozent sind gering verlichtet, 36 Prozent zeigen deutliche Kronenverlichtung (Abb. 13, S. 24).

Gegenüber den Vorjahren hat sich der Zustand dem Eindruck nach verbessert. Dies ist aber methodisch bedingt, da als Ersatz für abgestorbene Altbäume oftmals nur deutlich jüngere Nachbarbäume, oder auch überhaupt keine Bäume, aufgenommen werden konnten. So zeigt die Fichte die mit Abstand größte Absterberate aller Baumarten. Die Anzahl der aufgenommenen Fichten hat sich um 45 Prozent verringert. In den tieferen Lagen ist die Fichte inzwischen fast vollständig verschwunden.

In der langfristigen Betrachtung hingegen ist bei der Fichte, wie bei allen anderen Baumarten auch, die Tendenz zu immer höheren Verlichtungsprozenten seit 1984 ungebrochen.



Fruktifizierende Fichte

Der mittlerweile seit 2018 anhaltenden Borkenkäfer-Kalamität sind viele, in erster Linie ältere Fichtenbestände zum Opfer gefallen. An den betroffenen Punkten der WZE werden die ausgefallenen Bäume, soweit möglich, ersetzt. Häufig sind aber infolge des bestandesweiten Absterbens der Fichte an den festliegenden Probepunkten keine Bäume der gleichen Altersklasse mehr verfügbar und die Inventur muss in die junge Bestandesschicht verlegt werden, soweit sie vorhanden ist.

In der Folge ist das Durchschnittsalter des WZE-Aufnahmekollektivs der Fichte seit 2018 um 12 Jahre gesunken (von 69 auf 57 Jahre) (Abb. 16, S. 27).

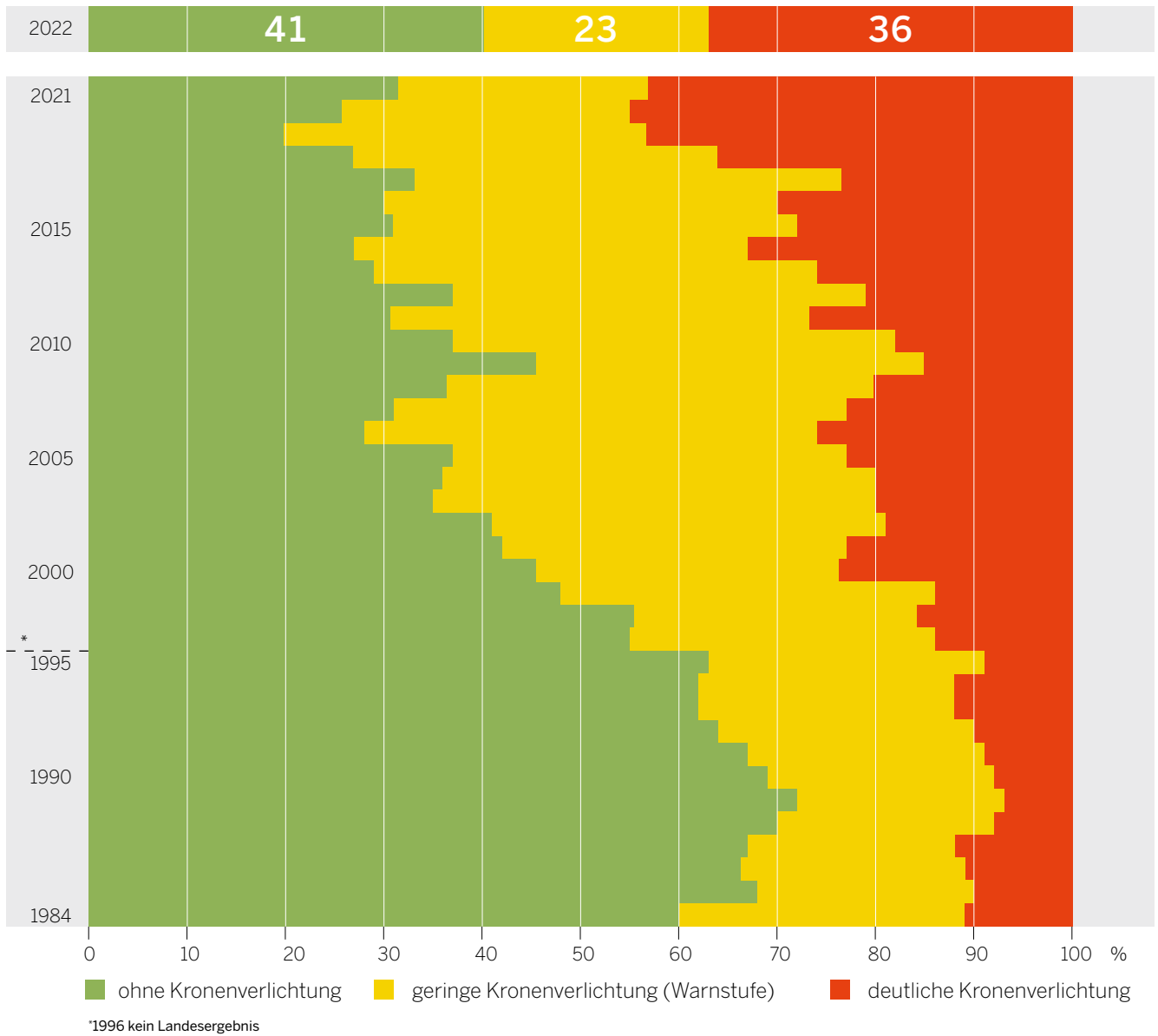
Ist keine junge Bestandesschicht vorhanden, so ruht der WZE-Punkt, bis er sich wieder bewaldet hat. Bedingt dadurch hat sich das Kollektiv von 2018 bis 2022 um 45 Prozent verkleinert (von 3.525 auf 1.952) (Abb. 16, S. 27).

Im genannten Zeitraum sind auf diese Weise 52 mit Fichten bestockte WZE-Punkte zu Blößen geworden. Wir haben es hier, verfahrenstechnisch korrekt, mit einer überproportionalen Zunahme von Jungbäumen im Aufnahmekollektiv zu tun, die in der Regel noch keine nennenswerte Verlichtung aufweisen.

Die augenscheinliche Erholung der Fichten ist also die Folge einer Verkleinerung und Verjüngung des zur Verfügung stehenden Aufnahmekollektivs infolge mehrjähriger Dürre und Borkenkäferkalamität. Es handelt sich hier nicht um einen seit dem Vorjahr verbesserten Zustand des jeweiligen Baumes.

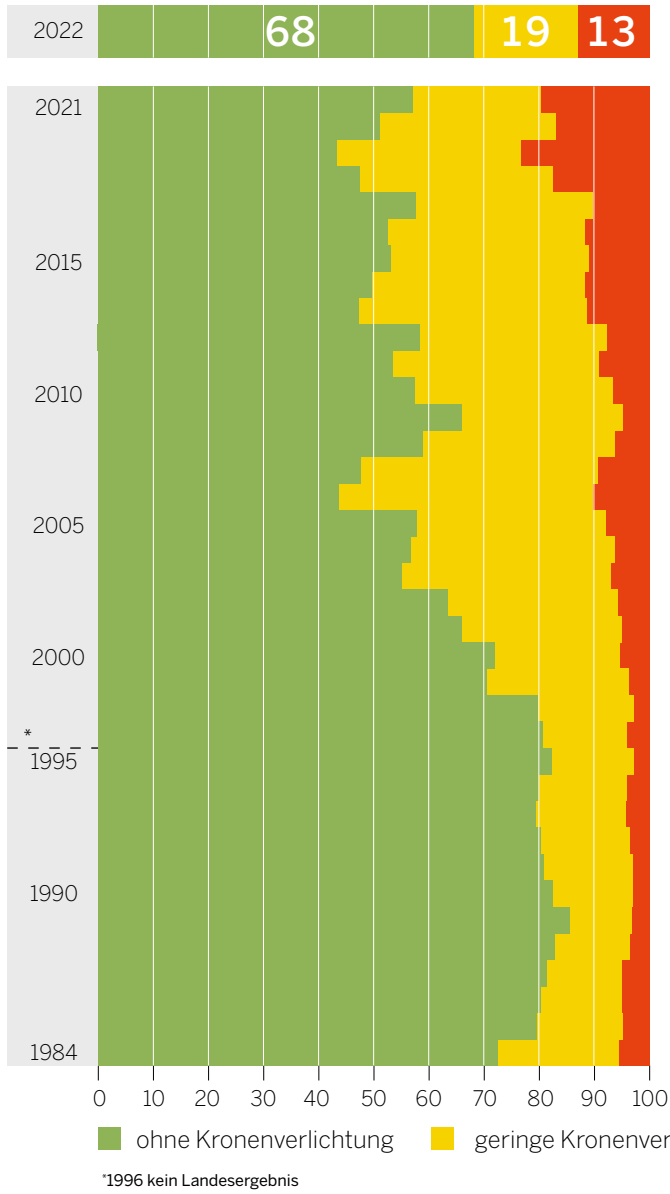
Abbildung 13

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Fichten | 1984 bis 2022



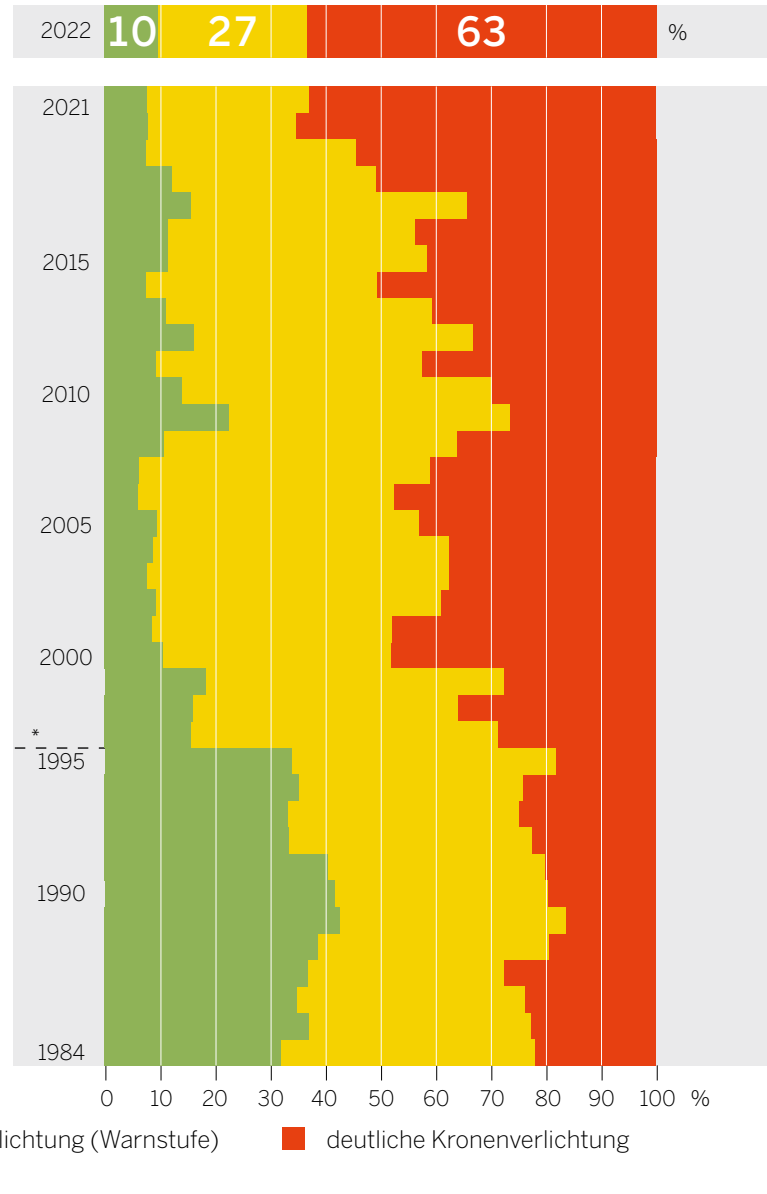
➤ **Abbildung 14**

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Fichten | bis 60 Jahre | 1984 bis 2022



➤ **Abbildung 15**

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Fichten | über 60 Jahre | 1984 bis 2022



■ ohne Kronenverlichtung ■ geringe Kronenverlichtung (Warnstufe) ■ deutliche Kronenverlichtung

Die Fichte verfügt über kein tief reichendes Wurzelsystem und gerät dadurch besonders leicht unter Wasserstress. Seit Beginn der Dürreperiode zeigt sie die schnellste Schadentwicklung, die höchste Absterberate und seit 2020 auch die höchsten Nadel-/Blattverluste aller Baumarten.

Gerät die Fichte in Wasserstress, wie in den letzten Jahren, wirkt sich das besonders negativ auf die Abwehr von Borkenkäfern aus. Sie ist dann nicht in der Lage, die sich in die Rinde einbohrenden Käfer durch erhöhten Harzfluss abzutöten.

Infolgedessen kommt es bei der Fichte seit 2018 infolge von Dürre und der Borkenkäferkalamität zu starken Verschiebungen hinsichtlich der Größe und des Durchschnittsalters des Aufnahmekollektivs.

Betrachtet man die Zeitreihe der Fichte, so scheint im Vergleich zum Vorjahr eine deutliche Verbesserung

erkennbar zu sein: Der Anteil der nicht verlichteten Bäume wächst um 9 Prozentpunkte auf 41 Prozent, die Gruppe der schwach verlichteten Bäume verkleinert sich um 3 Prozentpunkte auf 23 Prozent. Die Gruppe der als deutlich geschädigt klassifizierten Bäume schrumpft um 6 Prozentpunkte auf 36 Prozent (Abb. 13, S. 24).

Der mittlere Nadelverlust bei der Fichte sinkt von 33,8 Prozent auf 28,8 Prozent (Abb. 4, S. 14).

Bei getrennter Auswertung der Altersklassen der Fichten jünger und älter als 60 Jahre hingegen zeigt sich, dass der Kronenzustand der unter 60-jährigen Fichten sich stark verbessert, während bei den über 60-jährigen kaum eine positive Entwicklung festzustellen ist (Abb. 14 und 15, S. 25).

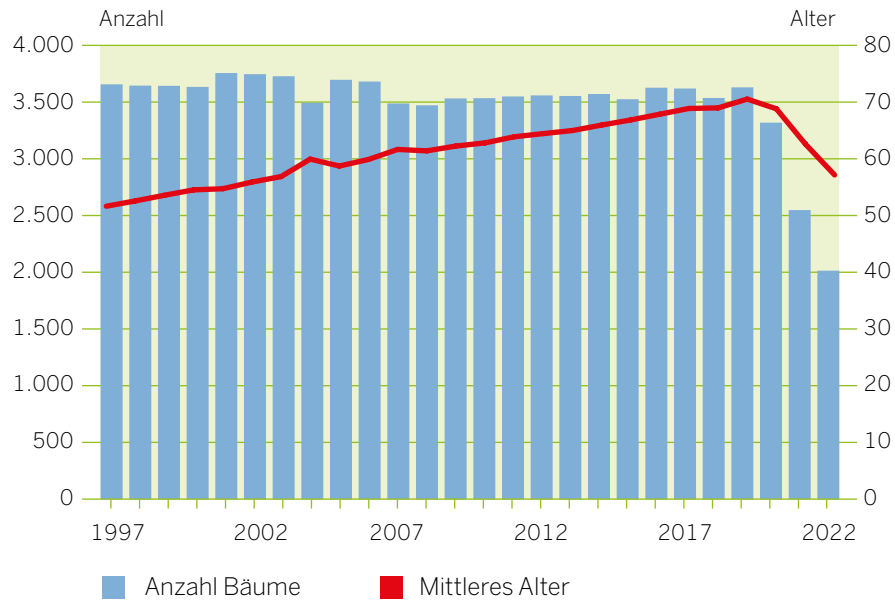
Die Fichte wies 2022 wieder eine mittlere Fruktifikation auf, nachdem sie im Vorjahr nur sehr wenige Zapfen gebildet hatte (Abb. 17, S. 27).



Zahlreiche Fichtenbestände sind infolge der Borkenkäferkalamität abgestorben.

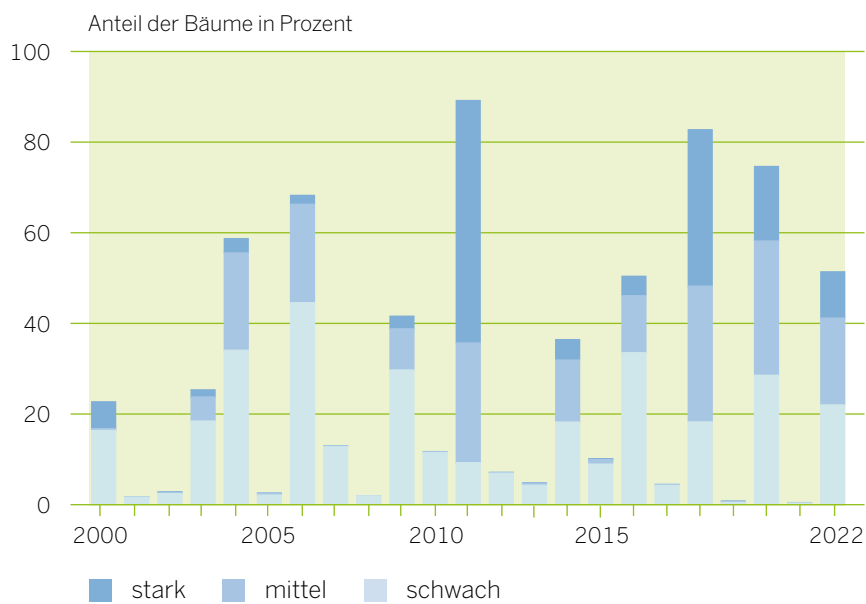
➤ **Abbildung 16**

Anzahl und mittleres Alter der aufgenommenen Fichten | 1997 bis 2022



➤ **Abbildung 17**

Fruktifikation bei Fichten | 2000 bis 2022



Kiefer

Im Jahr 2022 weisen 19 Prozent der untersuchten Kiefern keine Kronenverlichtung auf, 49 Prozent sind gering verlichtet und 32 Prozent zeigen eine deutliche Verlichtung (Abb. 18, S. 29).

Nachdem bei der Kiefer im Jahr 2020 eine leichte Erholung von den 2019 erreichten neuen Höchstwerten zu beobachten war, verharrt sie seither auf gleichbleibendem Schadniveau.

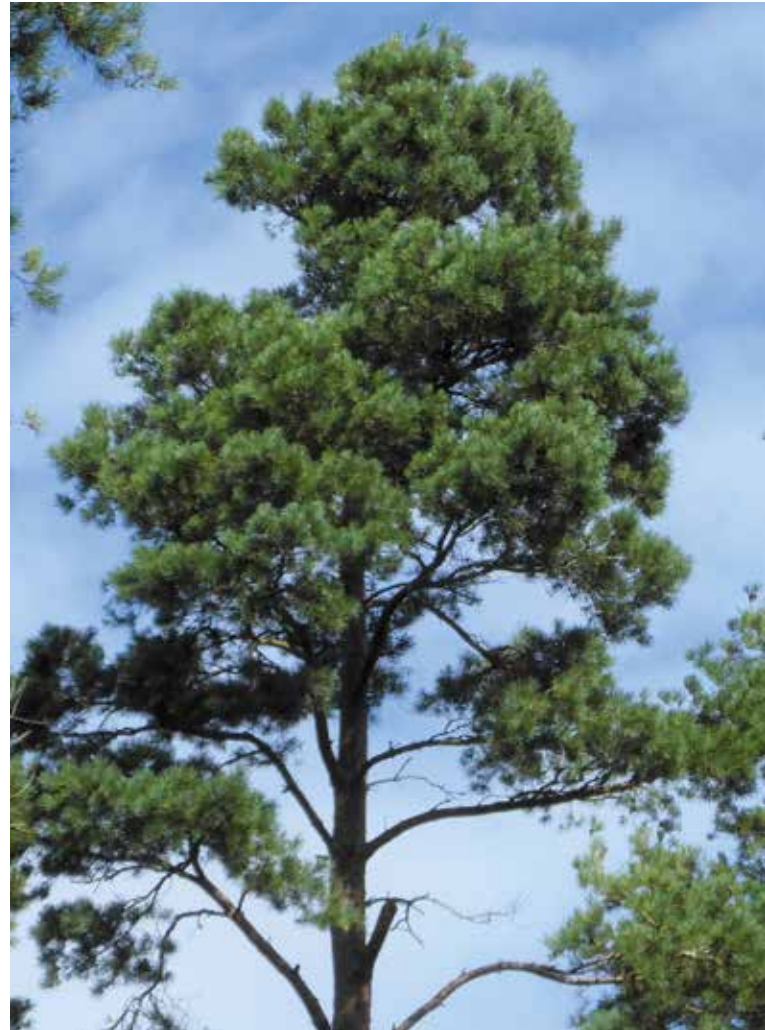
Von den Hauptbaumarten weist die Kiefer den geringsten Nadel-/Blattverlust auf. Trotzdem zeigt sie in jedem Jahr der Trockenperiode 2018–2022 höhere Verlustprozente als in jedem beliebigen vorausgegangenen Jahr seit 1984.

Auch bei der Kiefer setzt sich der seit Beginn der WZE zu beobachtende Trend zu einer immer höheren Verlichtung der Baumkronen fort.

Die Kiefer gilt als trockenheitsverträglicher als die meisten anderen heimischen Baumarten. Typisch ist für sie eine langsame Dynamik hinsichtlich der Schadentwicklung sowie ein hoher Anteil gering verlichteter Bäume, bei niedrigerem Anteil deutlich oder nicht verlichteter Kronen.

Der mittlere Nadelverlust verharrt bei 23,9 Prozent (Abb. 4, S. 14).

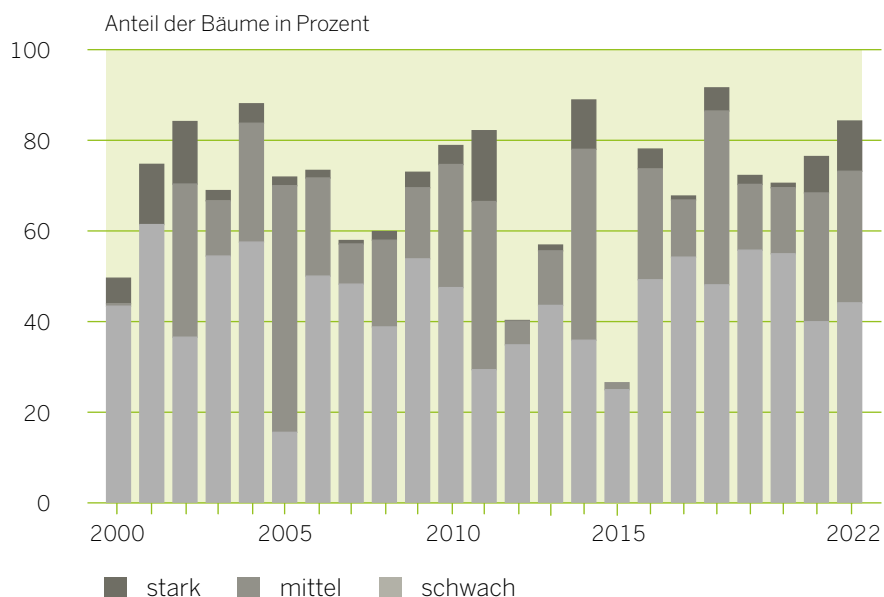
Die Fruktifikation der Kiefer fällt im laufenden Jahr etwas deutlicher aus als in den beiden vorangegangenen Jahren (Abb. 19).



Gesunde Kiefer

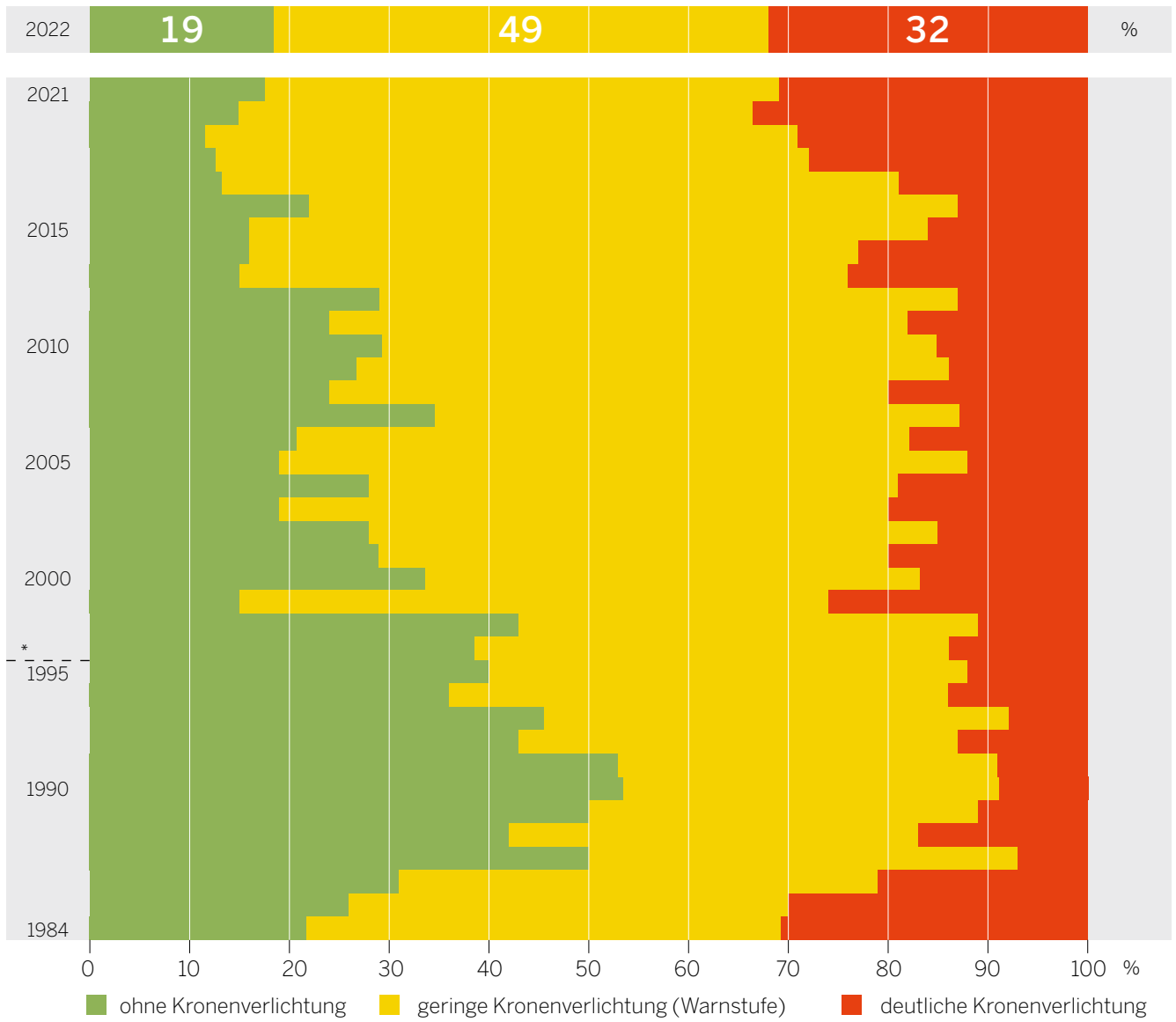
➔ **Abbildung 19**

Fruktifikation bei Kiefern | 2000 bis 2022



➤ **Abbildung 18**

Entwicklung der Kronenverlichtung bei Kiefern | 1984 bis 2022



*1996 kein Landesergebnis



**Witterungs- und
Bodenwasserverhältnisse**

Die extremen Witterungsbedingungen der Vorjahre setzen sich nach einer kurzen Erholungsphase im Jahr 2021 weiter fort. Die Temperatur- und Niederschlags-situation in den für das Baumwachstum wichtigen Monaten April bis August war im Mittel in NRW noch angespannter als in den Jahren 2019 und 2020. Der August stellte sogar den trockensten und wärmsten August seit Aufzeichnungsbeginn im Jahr 1881 durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) dar. Es fielen mit 17,6 mm nur 24 Prozent der Niederschläge der Referenzperiode 1961–1990. In den Waldböden wurden die stärksten Austrocknungen seit Messbeginn durch das LANUV gemessen. Diese wiederholt extremen Witterungssituationen bestehen zum ersten Mal seit 1881 und führen zu erheblichen Schäden in Waldökosystemen. Die Langzeitfolgen sind bisher in ihrem ganzen Ausmaß noch nicht absehbar.

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 Witterungsverhältnisse mit dem langjährigen Mittel eine erste Einschätzung der aktuellen Situation möglich.

Im Folgenden werden die Witterungs- und Bodenwasser-verhältnisse in NRW bis zum August 2022 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 (Details s. Kapitel „Forstliches Umweltmonitoring“, S. 68) durchgeführt werden.

Klima und Witterungsverhältnisse

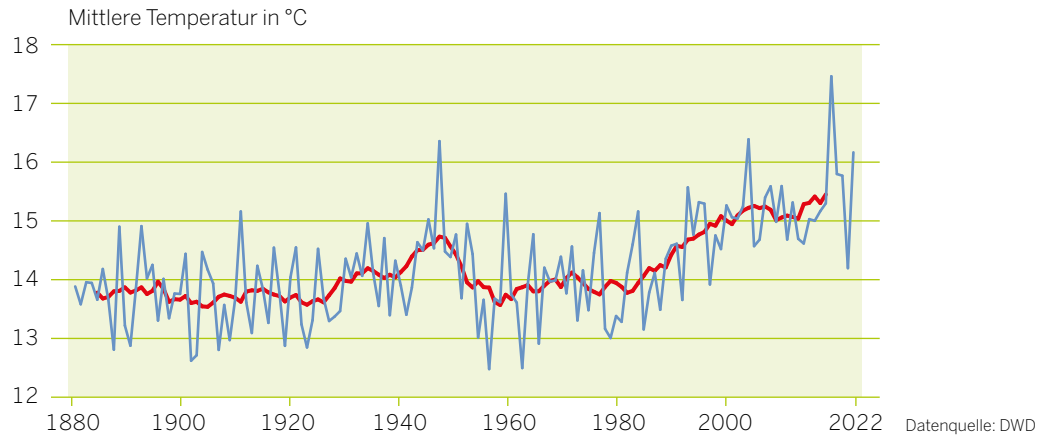
Das Klima in NRW unterliegt dem maritimen Einfluss und ist geprägt durch kühle Sommer und milde Winter. Der globale Klimawandel führt auch in NRW zu Veränderungen. Landesweit ist die Jahresmitteltemperatur seit Beginn der Aufzeichnungen des DWD im Jahr 1881 um 1,7 °C und die mittlere jährliche Niederschlagsmenge um 81 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). In den letzten zehn Jahren wird sogar ein Auseinanderlaufen von steigender Temperatur einerseits und sinkenden Niederschlagssummen andererseits deutlich (siehe LANUV 2021). Die Jahre 2018 bis 2020 waren durch außergewöhnliche Dürre und überdurchschnittlich warme Temperaturen geprägt. Diese Situation setzt sich 2022 nach einer kurzen Erholungsphase mit einer für die Waldbäume im Vergleich zu den Vorjahren weitgehend wasser- und hitzestressfreien Wachstumsperiode im Jahr 2021 jedoch weiter fort.

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. 32). Bis 2017 blieb die Temperatur dann im Mittel auf dem hohen Level konstant. In den Jahren 2018 bis 2020 gab es einen Temperatursprung und auch das Jahr 2022, das mit 16,1 °C die vierthöchste mittlere Temperatur für diesen Zeitraum (April–August) seit Messbeginn 1881 erreichte, setzt diesen weiteren Temperaturanstieg fort. Die mittlere Temperatur 2022 lag somit 2,3 °C über der mittleren Temperatur der Referenzperiode (13,8 °C) und etwa 0,4 °C höher als in den Jahren 2019 und 2020. Die hohen Temperaturen im Zeitraum April bis August 2022 führen wie bereits in den Jahren 2018 bis 2020 zu einer hohen Wasserverdunstung von der Bodenoberfläche sowie zu einer hohen Verdunstung durch die Waldbäume (Transpiration).

➔ **Abbildung 1**

Zeitverlauf der mittleren Temperatur der Monate April bis August | 1881 bis 2022

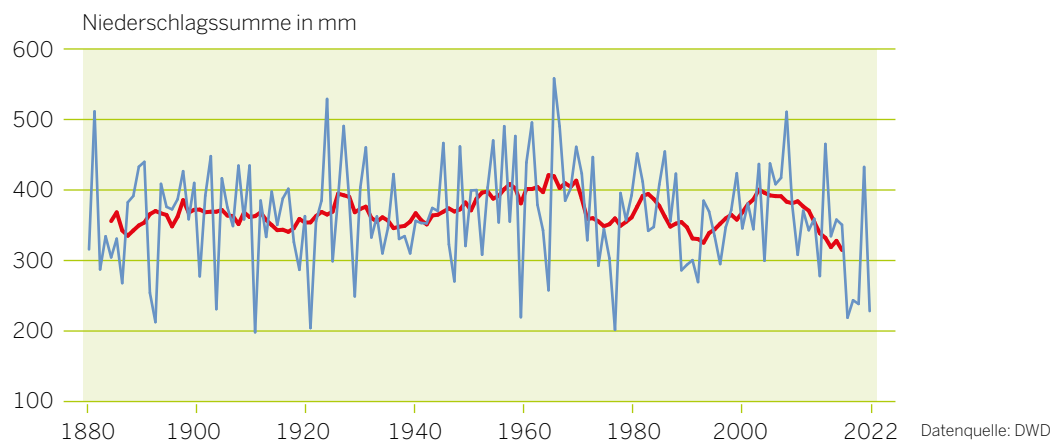
■ Mittel April bis August ■ 10-jähriger gleitender Durchschnitt



➔ **Abbildung 2**

Zeitverlauf der mittleren Niederschlagssumme der Monate April bis August | 1881 bis 2022

■ Mittel April bis August ■ 10-jähriger gleitender Durchschnitt



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. 32). Im Jahr 2022 fielen in diesen Monaten mit 223 mm nur etwa 60 Prozent der Niederschläge im Vergleich zum Referenzzeitraum (373 mm). Somit war dieser Zeitraum trockener als in den Jahren 2019 und 2020. Dies bedeutet, dass den Bäumen in ihrer Wachstumsphase im Mittel in NRW zu wenig Wasser aus Niederschlägen zur Verfügung stand. In den Monaten Januar bis August sind mit etwa 430 mm (74 %) ebenfalls weniger Niederschläge gefallen als im Mittel im Referenzzeitraum (579 mm). Obwohl die Niederschlagssituation bis Ende August 2021 im Mittel für die Waldbäume wasserstressfrei verlief, fiel in 2021 mit 841 mm insgesamt trotzdem ein etwas geringerer Jahresniederschlag als in der Referenzperiode. Im Vergleich zum Referenzzeitraum lag somit im Mittel in NRW insgesamt aus den letzten vier Jahren ein Niederschlagsdefizit von 486 mm zum Beginn des Jahres 2022 vor. Die klimatische Wasserbilanz, die neben den Niederschlagsmengen auch die Verdunstungsraten berücksichtigt, weist sogar ein noch höheres Defizit von 694 mm für die Jahre 2018 bis 2021 auf. Dies wirkt sich auf den Wasserhaushalt in tieferen Bodenschichten und die Grundwasserneubildung aus. Die tendenzielle Veränderung der Niederschlagscharakteristik hin zu einer Zunahme von Starkregenereignissen führt ebenfalls dazu, dass weniger Wasser in den Boden infiltriert und für die Pflanzen und die Grundwasserneubildung zur Verfügung steht.

Die Betrachtung des Witterungsverlaufs zeigt einen im Mittel um 2,7 °C zu warmen, dabei niederschlagsreichen und sonnenscheinarmen Winter 2021/2022 in NRW im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990 (Abb. 3, S. 34). Der März war der sonnenscheinreichste seit Aufzeichnungsbeginn, überdies war NRW das zweitwärmste Bundesland (2,1 °C wärmer als in der Referenzperiode) und es fielen mit 18 mm nur 25 Prozent der Referenz-Niederschläge. Es folgte ein im Mittel durchschnittlicher April, der zu einem gewöhnlichen Austrieb der Waldbäume führte (vergleiche Kapitel Phänologie). Die Monate Mai, Juni und Juli waren wiederum zu warm, sonnenscheinreich und zu trocken. Es folgte mit nur 24 Prozent der Referenz-Niederschläge (1961–1990: 72,9 mm) der trockenste und zugleich mit 20,6 °C (1961–1990: 16,6 °C) der wärmste August seit Messbeginn 1881.

Neben den zeitlichen Schwankungen bestehen auch räumliche Unterschiede in den Witterungsbedingungen. Die Temperaturabweichungen unterschieden sich räumlich von April bis August 2022 vergleichsweise wenig (Abb. 4, S. 35). Die Temperaturen lagen landesweit in diesem Zeitraum über dem Durchschnitt. Die höchsten Temperaturabweichungen wurden im südlichen Bergischen Land sowie im Siegerland beobachtet. Die Niederschlagsabweichungen von April bis August waren regional verschieden und zeichnen je nach Monat ein anderes räumliches Muster (Abb. 5, S. 35). Insbesondere Teile des Münsterlandes waren von einer langanhaltenden Dürre betroffen.



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



Bodenfeuchtemessstation auf der Dauerbeobachtungsfläche Arnsberg



Welke Blätter und Blattabwurf bei der Buche bereits Ende Juli 2022 durch Hitze und Dürre

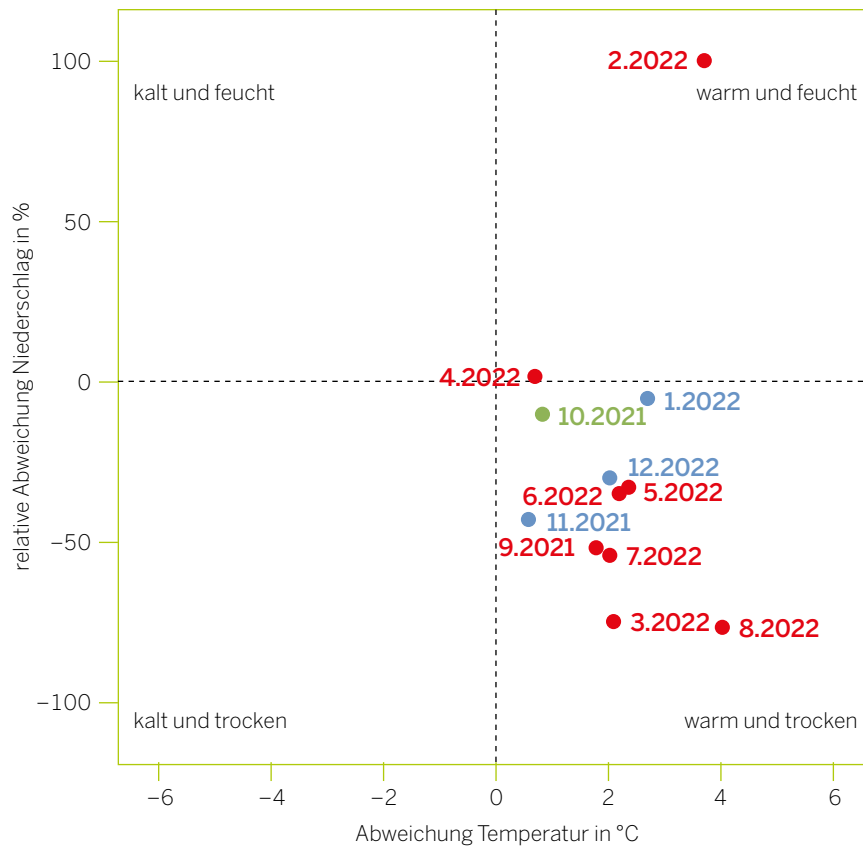
➔ Abbildung 3

Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer | September 2021 bis August 2022

Abweichung von der Referenzperiode 1961 bis 1990

Sonnenscheindauer

● positive Abweichung ● keine Abweichung ● negative Abweichung

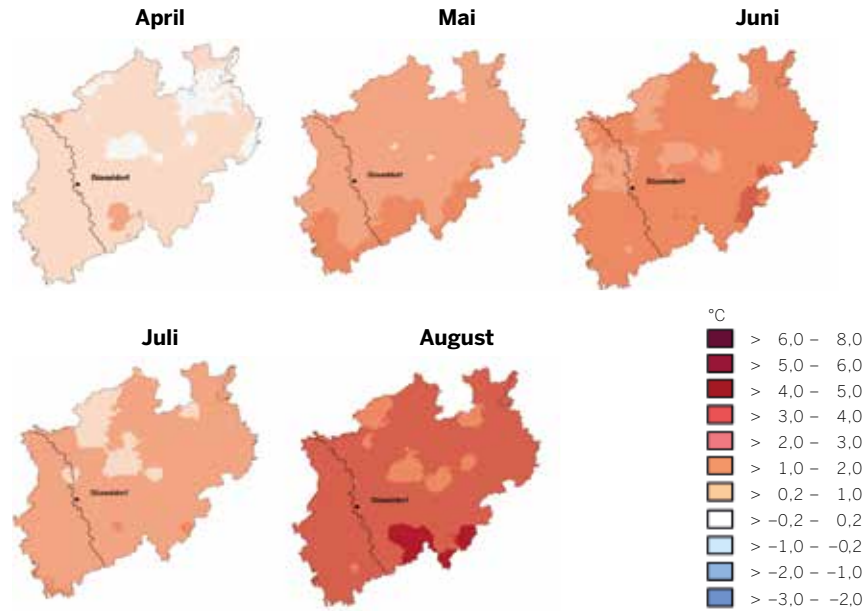


Datenquelle: DWD

➔ **Abbildung 4**

Regionale Temperaturabweichungen | April bis August 2022

Abweichung in °C von der Referenzperiode 1971 bis 2000¹

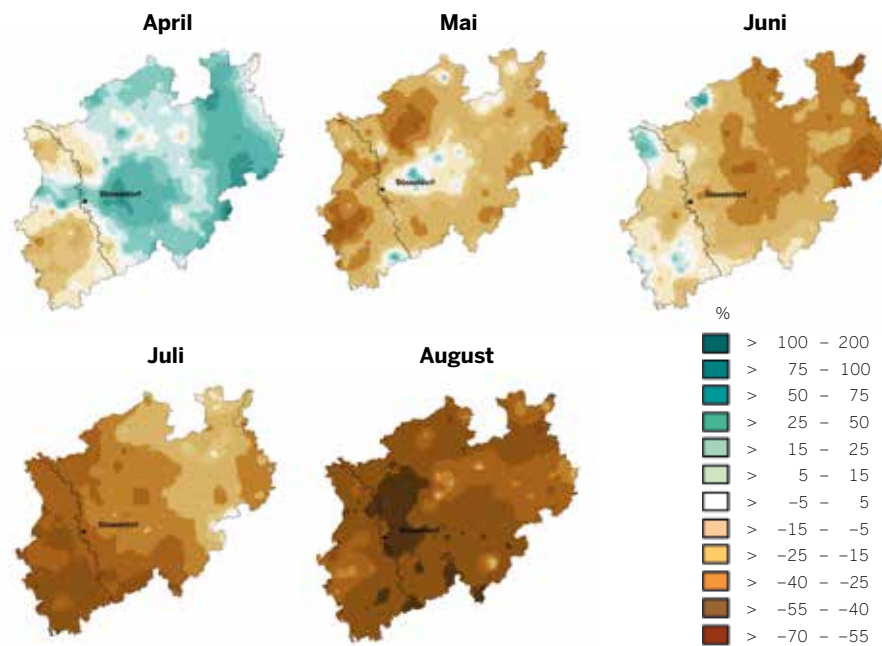


Quelle: DWD (www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html, abgerufen am 07.09.2022), modifiziert

➔ **Abbildung 5**

Regionale Niederschlagsabweichungen | April bis August 2022

Abweichung in % von der Referenzperiode 1971 bis 2000¹



¹ Begründung zur geänderten Referenzperiode siehe unter dem angegebenen DWD-Link.

Quelle: DWD (www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html, abgerufen am 07.09.2022), modifiziert

Witterungsverhältnisse der Level-II-Flächen

Die angesprochenen regionalen Unterschiede im Witterungsverlauf lassen sich anhand der vier nordrhein-westfälischen Level-II-Kernflächen (s. Tab. 1, Kapitel „Das forstliche Umweltmonitoring“, S. 68) verdeutlichen und vertiefen. Auf den Level-II-Kernflächen werden u. a. meteorologische Größen sowie der Bodenwasserhaushalt erfasst.

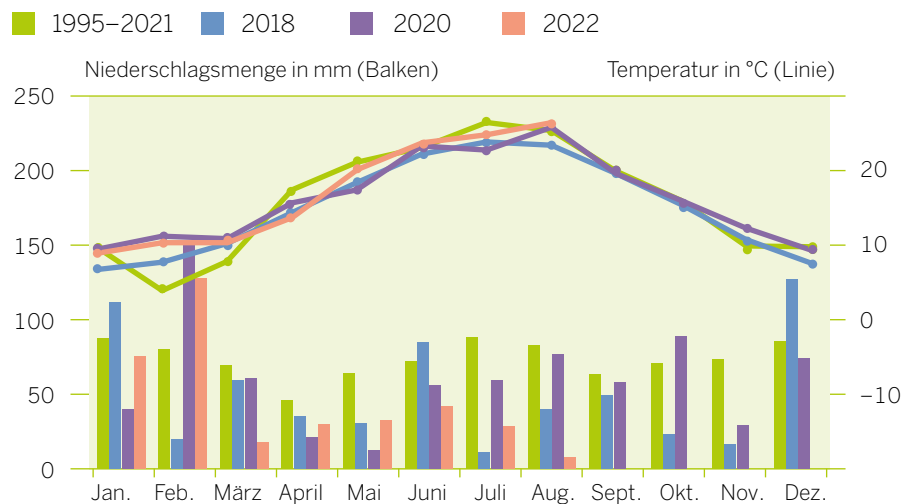
Beispielhaft wird hier der Witterungsverlauf der Tieflandfläche Haard (Westfälische Bucht; Abb. 6) dargestellt, die im Jahr 2022 bis Ende August durch eine noch ausgeprägtere Dürresituation gekennzeichnet war als im Extremjahr 2018. Im Zeitraum Januar bis August fielen

nur 60 Prozent der Niederschläge, von April bis August waren es nur 40 Prozent und im August sogar nur 9,5 Prozent der Niederschläge im Vergleich zum langjährigen Mittel (1995–2021). Gleichzeitig war es im Zeitraum April bis August 1,2 °C wärmer als im langjährigen Mittel. Der August 2022 war überdies mit im Mittel 20,7 °C der wärmste August seit Messbeginn. Die Berglandfläche Elberndorf (Sauer-/Siegerland) war von den vier Level-II-Flächen am zweitstärksten von Hitze und Dürre betroffen, gefolgt von der Tieflandfläche Kleve-Tannenbusch (Niederrheinisches Tiefland) und der Berglandfläche Schwaney (Weserbergland).

➔ Abbildung 6

Monatliche Niederschlagsmengen und mittlerer Temperaturverlauf | Level-II-Fläche Haard | 2018, 2020 bis August 2022

Vergleich mit dem langjährigen Mittel der Untersuchungsfläche (1995–2021)



Bodenfeuchtemessstation auf der Dauerbeobachtungsfläche Rott/Eifel

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-Kernflächen weisen verschiedene Eigenschaften auf und repräsentieren typische Wälder NRW (Tab. 1). Der Bodenwasserhaushalt wird auf den Kernflächen zum Teil bereits seit den 1990er Jahren erfasst. Im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes von LANUV, Geologischem Dienst NRW (GD NRW) und Landesbetrieb Wald und Holz NRW zum Aufbau eines landesweiten Bodenfeuchtemessnetzes im Wald wurden seit Ende 2020 weitere Flächen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings mit Messtechnik zur Messung der Bodensaugspannung ausgestattet.

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. Kapitel „Phänologische Beobachtungen an Waldbäumen“, S. 62). Der Wasserentzug durch die Bäume führt zu einem Anstieg der Wasserspannung in den durchwurzelter Bodenschichten (Bodensaugspannung, angegeben in hPa oder als pF-Wert). Als Indikatoren für die Wasserversorgung von Waldbäumen können 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 Wasserhaushaltssituation im Jahr 2022 wird exemplarisch für die Tieflandfläche Haard und die Berglandfläche Schwaney dargestellt. Auf beiden Flächen lag von April bis August 2022 die höchste Anzahl an Tagen mit einer kritischen Transpirationsdifferenz von größer 2 mm am Tag sowie das höchste Transpirationsdefizit vor, das seit

Messbeginn beobachtet wurde. Mit 58 Tagen erreicht die Haard den bisherigen Rekord über die vier Kernflächen und sämtliche Jahre (Abb. 7, S. 39).

Die Bodenwasserspeicher in den oberen 90 cm des Bodens in Schwaney (entspricht der Profiltiefe des Bodens) waren über die Wintermonate gefüllt (Abb. 8, S. 39). Dies war bei den beiden Tieflandflächen nicht der Fall, deren Speicher zum Beginn der Vegetationsperiode 2022 sogar weniger gefüllt waren als in den in Folge auftretenden Hitze-Dürre-Jahren 2018 bis 2020. Mit dem Austrieb der Waldbäume (mittlerer Austriebstag der Hauptbaumart Buche am 27. April) kam es zu einem Abfall des Bodenwasservorrats. Der Verlauf war 2022 bis Ende August in Schwaney vergleichbar zum bisherigen Extremjahr 2018. Im Jahr 2022 wurde jedoch bereits Ende Juni und durchgängig bis Ende August eine kritische Bodenwasserverfügbarkeit von 10 Prozent der nFK erreicht. Somit wurde in 2022 die am längsten anhaltende und auch bisher stärkste Bodenaustrocknung seit Messbeginn beobachtet. Dies trifft ebenfalls auf die beiden Tieflandflächen Haard und Kleve-Tannenbusch zu. Aufgrund des tonigen und flachgründigen Bodens in Schwaney weist diese Fläche im Vergleich zu den anderen Flächen jedoch eine geringe nutzbare Feldkapazität auf (Tab. 1, S. 40) und absolut betrachtet wurde hier die stärkste Bodenaustrocknung über die gesamte Profiltiefe beobachtet. Die Messungen der Bodensaugspannungen in 150 cm Tiefe auf den beiden Tiefland-Level-II-Kernflächen zeigen dagegen, dass in den tieferen Bodenschichten noch Wasser für die Waldbäume zur Verfügung stand (vgl. auch Abb. 9, S. 41).

Die Betrachtung der mittleren Bodensaugspannung bis in maximal 150 cm Bodentiefe im August (Maximum der Austrocknung in 2022) auf neun Intensivmonitoringflächen inklusive der Level-II-Kernflächen zeigt, dass der Waldboden anders als im Klever Raum und in der Haard sowohl im Raum Münster als auch Viersen bis in 150 cm Tiefe im August trocken war (Abb. 9, S. 41). In Viersen lag diese tiefgründige Bodenaustrocknung sogar für sämtliche Tage im August vor (Tab. 2, S. 40). Die extremste Austrocknung wurde auf der flachgründigen Berglandfläche bei Arnsberg Anfang September gemessen. Hier wurde der kritische pF-Wert von 4,2 (Permanenter Welkepunkt) in 60 cm Bodentiefe überschritten und somit stand im Unterboden kein pflanzenverfügbares Wasser mehr zur Verfügung. Auf der Berglandfläche Elberndorf wurde im September 2020 der Fichtenbestand aufgrund von Borkenkäferkalamität komplett entnommen. Die fehlende Wasseraufnahme durch die Bäume hat dazu



Sonnenbrand und verfrühter Blattfall bei der Buche bereits Ende Juli 2022 durch Hitze und Dürre



Welke Blätter bei der Buche bereits Ende Juli 2022 durch Hitze und Dürre



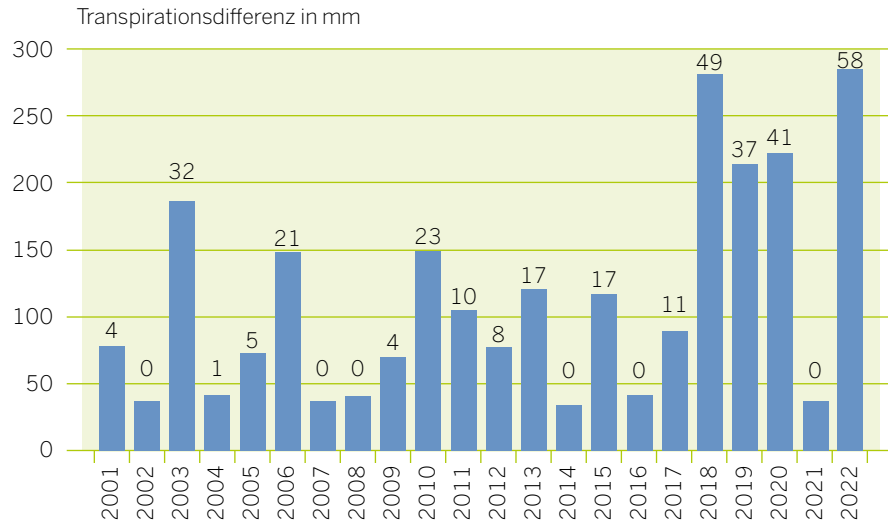
Verfrühter Blattfall bei der Buche bereits Ende Juli 2022 durch Hitze und Dürre

geführt, dass der Boden trotz überdurchschnittlicher Wärme und gleichzeitiger Dürre (60 % der Niederschläge des langjährigen Mittels) im Zeitraum April bis August 2022 im Oberboden feucht und im Unterboden sogar nass geblieben ist. Auch die Fläche 509 in der Eifel stellt vermutlich einen Sonderfall dar. Die Fichten in der direkten Nähe der Messeinrichtung wurden im aktuellen Jahr ebenfalls vom Borkenkäfer befallen und zeigten bis zum Zeitpunkt ihrer Entnahme im August 2022 keinen Zuwachs für die aktuelle Vegetationsperiode. Wahrscheinlich haben die Fichten nur wenig Wasser aus dem Boden gesaugt, daher blieb der Boden auch im August feucht. Im Gegenteil hierzu zeigte eine im August neu installierte Messeinrichtung auf einer benachbarten Buchen-Intensivmonitoringfläche eine deutliche Bodenaustrocknung bis in 90 cm Tiefe Ende August. Aktuelle Messwerte können unter: www.gd.nrw.de/bo_bb_bodenfeuchte-messdaten.php eingesehen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im Jahr 2022 die längste und stärkste Waldbodenaustrocknung vorlag, die je auf den LANUV-Messflächen erfasst wurde (bezogen auf den Zeitraum Beginn der Vegetationsperiode bis Ende August). Das bisherige Rekordjahr 2018 wurde somit noch übertroffen. Dies führte zu einer deutlich eingeschränkten Transpiration der Waldbäume. Die Folgen des diesjährigen Hitze- und Dürrestresses der Bäume für ihre Vitalität werden sich voraussichtlich erst im nächsten Jahr im vollen Ausmaß zeigen. Ausgiebige Niederschläge im September bringen Hoffnung auf eine Verbesserung der angespannten Bodenwassersituation. Folgen ergeben sich auch für die Grundwasserneubildung, da die Wasserdefizite der Vorjahre noch nicht ausgeglichen werden konnten, nun mit 2022 ein weiteres Hitze-Dürre-Jahr folgt und somit in tieferen Bodenschichten weiterhin nicht ausreichend Wasser zur Verfügung steht.

➔ **Abbildung 7**

Transpirationsdifferenz und Tage mit Überschreitung der kritischen Transpirationsdifferenz von 2 mm | Level-II-Fläche Haard | April bis August 2001 bis 2022



➔ **Abbildung 8**

Bodenwasservorrat in 0–90 cm Tiefe | Level-II-Fläche Schwaney | 2018 und 2022 bis August

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) sowie 40 % und 10 % von der nFK (erheblicher Wasserstress auf den Böden in Schwaney) sind eingezeichnet.

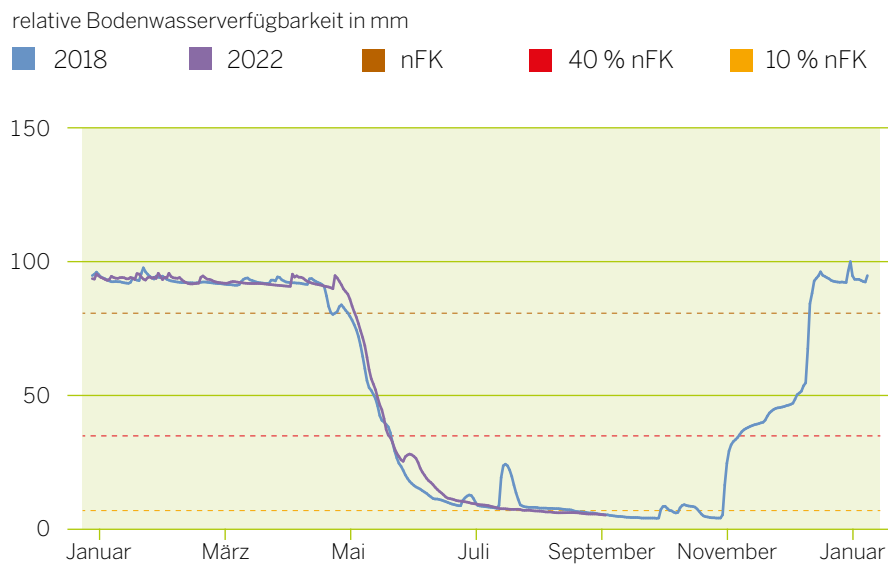


Tabelle 1

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

	Haard (503)	Kleve-Tannenbusch (502)	Elberndorf (506)	Schwaney (508)
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	Blöße (Fichten-Kalamität)	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.

Tabelle 2

Intensivmonitoringflächen | Eigentümer der Bodensaugspannungsmesseinrichtung | Anzahl an Tagen im August, mit der Klasse „trocken“ | drei verschiedene Bodentiefen

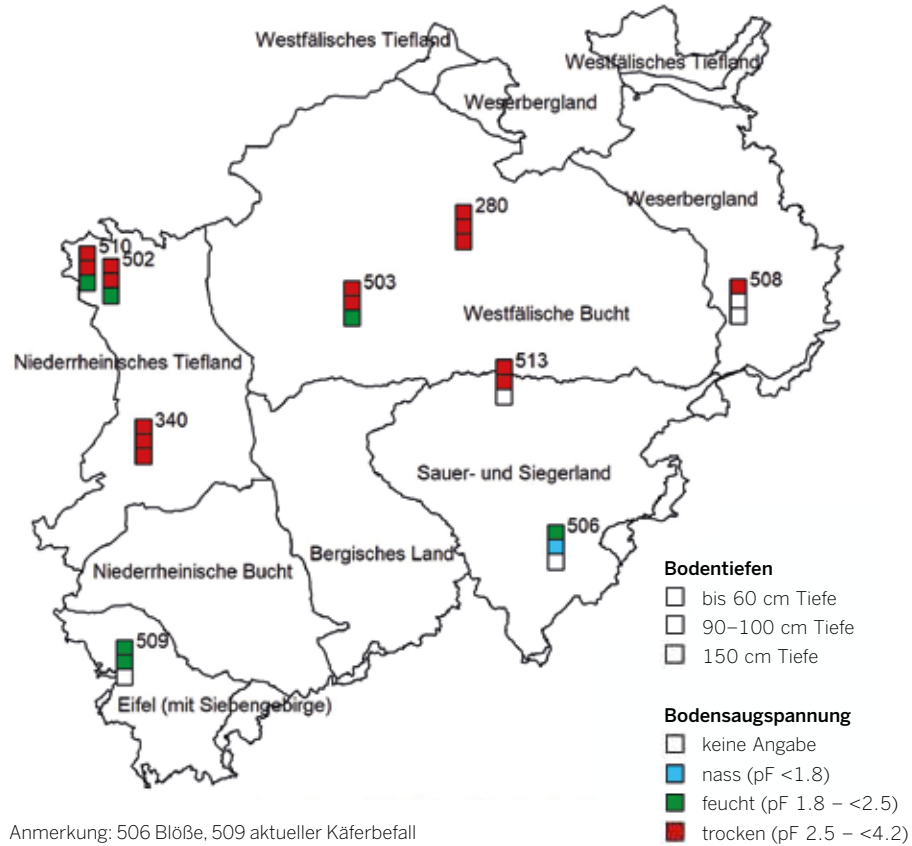
Flächen-Nr.	Hauptbaumart	Bodentyp	Bodenart	Eigentümer der Messeinrichtung	Anzahl Augusttage in der Klasse „trocken“		
					bis 60 cm Tiefe	90–100 cm Tiefe	150 cm Tiefe
280	Eiche	Pseudogley	Toniger Schluff	GD NRW	31	31	10
340	Eiche	Braunerde	Sandiger Schluff	GD NRW	31	31	31
502	Eiche	s. Tab. 1	s. Tab. 1	LANUV	31	24	0
503	Buche	s. Tab. 1	s. Tab. 1	LANUV	31	31	0
506	Blöße	s. Tab. 1	s. Tab. 1	LANUV	0	0	–
508	Buche	s. Tab. 1	s. Tab. 1	LANUV	31	–	–
509	Fichte*	Braunerde-Pseudogley	Schluffiger Ton	LANUV	0	0	–
510	Kiefer	Podsol-Braunerde, pseudovergleyt	Sandiger Schluff	LANUV	31	26	0
513	Eiche	Braunerde, pseudovergleyt	Toniger Schluff	GD NRW	31	31	–

*Aktueller Borkenkäferbefall im Bestand

➔ **Abbildung 9**

Intensivmonitoring Waldboden | August 2022

Mittlere Bodensaugspannung in drei Tiefenschichten im August 2022 auf neun Flächen des forstlichen Intensivmonitorings dargestellt in den Klassen „nass“ (mindestens die engen Grobporen sind wassergefüllt), „feucht“ (mindestens die Mittelporen sind wassergefüllt) und „trocken“ (Pflanzen finden nur noch Wasser in den Mittelporen). Im Fall von flachgründigen Böden (Bergland) gibt es für die tieferen Bodenschichten keine Angabe, da der Boden nicht so tief ist. Die Flächen-Nr. ist angegeben.



Hinweisschild zur Bodenfeuchtemessstation auf der Dauerbeobachtungsfläche Viersen



**Stoffeinträge und ihre Auswirkungen
auf die Waldökosysteme**



Das „Waldsterben“ der 1980er Jahre wurde primär auf die menschengemachten Stoffeinträge („Saurer Regen“) zurückgeführt. Seit Beginn der 1980er Jahre wird der Eintrag von Stoffen über die Niederschläge in NRW an ausgewählten Waldstandorten (Level-II-Flächen) im Rahmen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings erfasst (s. Kapitel ForUm). Des Weiteren werden die Auswirkungen der Stoffeinträge auf den Waldboden im Rahmen der landesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)

untersucht und die Auswirkung auf die Stoffzusammensetzung in den Nadeln und Blättern der Waldbäume durch die landesweite immissionsökologische Waldzustandserhebung (IWE) erfasst. Die Spätfolgen der chronisch hohen Stoffeinträge stellen vielerorts eine zusätzliche Belastung für die Waldökosysteme in Zeiten des Klimawandels dar. Doch wie haben sich die Stoffeinträge in den letzten 40 Jahren verändert? Und welche Auswirkung hat dies auf die Waldböden und die Waldbäume?

Stickstoffeinträge

Die Stickstoffeinträge über den Waldniederschlag sind in NRW seit den 1980er Jahren um mehr als 50 Prozent zurückgegangen (Abb. 1, S. 44). Dennoch überschreiten sie weiterhin großräumig ökologische Wirkungsschwellen (die sogenannten Critical Loads werden aktuell immer noch auf vier von fünf Level-II-Fläche überschritten). Der hohe Anteil an Stickstoff (Ammonium und Nitrat) im Niederschlag wird einerseits durch die intensive Tierhaltung in der Landwirtschaft und andererseits durch die Verbrennung fossiler Energieträger in Industrie und Verkehr verursacht. Ein Überangebot von Stickstoff kann zur nachhaltigen Veränderung der Nährstoffverhältnisse führen und trägt zur Eutrophierung der Waldökosysteme bei. Die Ergebnisse der ersten beiden Bodenzustandserhebungen im Wald zeigen, dass die Stickstoffvorräte von der BZE I (1989–1991) zur BZE II (2006–2008) im Oberboden zugenommen haben, während im Unterboden tendenziell eine Abnahme der Stickstoffvorräte beobachtet wurde. Die Beobachtungen gehen mit Austrägen von Nitrat mit dem Sickerwasser einher, die sich negativ auf die Qualität unseres Trinkwassers auswirken können. Auch die natürliche Artenvielfalt des Waldbodens (u. a. symbiotische Wurzelpilze) und der Bodenvegetation ist gefährdet. Die Analyse von Nadeln und Blättern im Rahmen der landesweiten IWE zeigt, dass seit der ersten Erhebung in den 1990er Jahren bis zur letzten Erhebung 2015 für Buche, Eiche und Kiefer fast durchgängig eine Stickstoffübersättigung vorlag (Abb. 2, S. 44). Bei der Fichte zeichnet sich eine tendenzielle Zunahme der Stickstoffgehalte in den Nadeln seit 1983 ab. Die höchsten Gehalte wurden 2008 gemessen. Die Übersättigung kann zu Nährstoffungleichgewichten führen, die durch Schäden an der Mykorrhiza (Symbiose von Bäumen mit Wurzelpilzen), die sowohl durch hohe Stickstoffkonzentrationen im Boden als auch Bodentrockenheit entstehen, noch verstärkt werden (z. B. landesweit beobachtete Zunahme von Phosphormangel bei der Buche). Lag im Zeitraum der BZE II die stärkste Stickstoffübersättigung der Waldökosysteme seit Beginn der 1980er Jahre vor? Die Ergebnisse von ausgewählten Waldstandorten aus dem Intensivmonitoring weisen ebenfalls in diese Richtung. Die dritte Bodenzustandserhebung (BZE III) im Wald, die in den Jahren 2022 bis 2024 zusammen mit der IWE landesweit durchgeführt wird, wird neue Daten und Antworten zur weiteren Entwicklung der Stickstoffvorräte im Waldboden, zur Verschiebung der Artenvielfalt der Bodenvegetation und zur aktuellen Nährstoffversorgung der Bäume liefern.

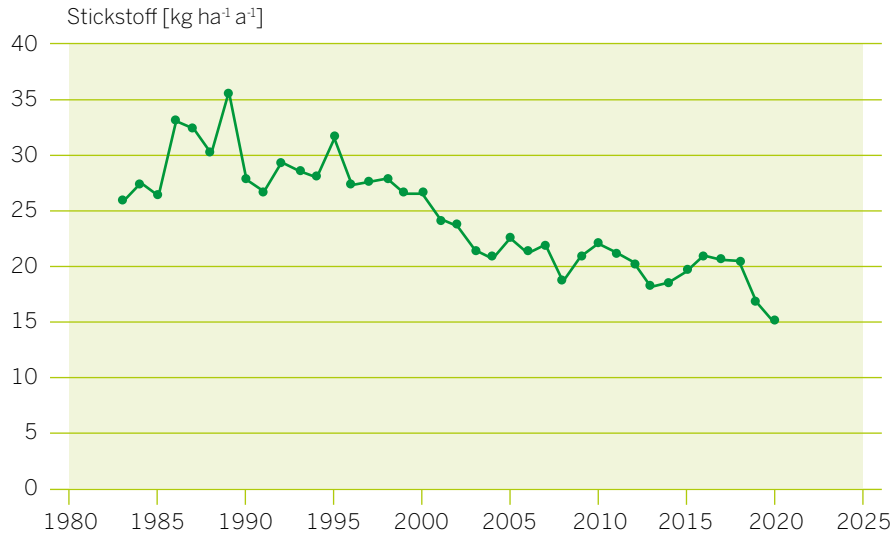


Die Brennnessel zeigt erhöhte Stickstoffgehalte im Boden an.

➔ **Abbildung 1**

Stickstoffeinträge über den Waldniederschlag | ab 1983

Die Erhebungen werden im Rahmen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings in NRW durchgeführt.



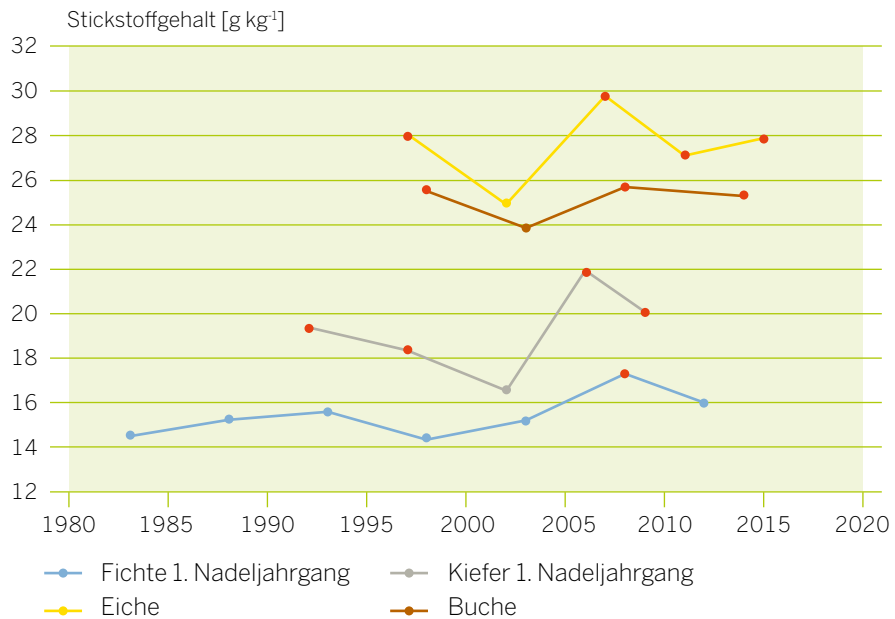
➔ **Abbildung 2**

Stickstoffgehalte in Nadeln und Blättern | vier Hauptbaumarten | 1983–2015

Gemessen im Rahmen der landesweiten IWE seit 1983*.

Rote Markierungen zeigen eine Überversorgung der Bäume mit Stickstoff an.

Die Gehalte und Grenzwerte sind artspezifisch.



* Es gab eine Reduzierung der Flächenanzahl bei der jeweils letzten Erhebung auf 50 Flächen pro Baumart, während es zuvor bei der Fichte etwa 110 Flächen, bei der Eiche 90 Flächen und bei der Buche 125 Flächen waren. Bei der weniger häufigen Baumart Kiefer ist die Flächenanzahl mit etwa 50 konstant geblieben.

Säureeinträge

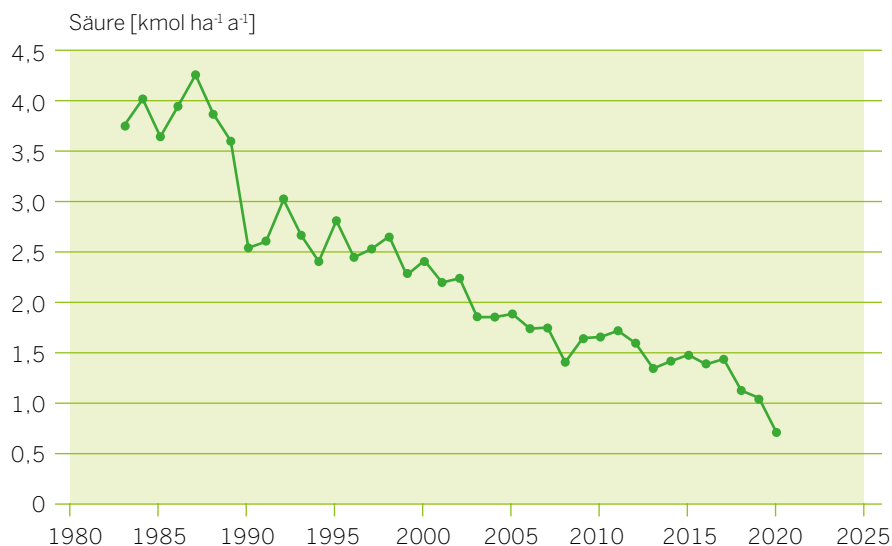
Die atmosphärischen Säureeinträge, die mit dem Niederschlag zum Waldboden gelangen, sind in NRW seit den 1980er Jahren um fast 80 Prozent zurückgegangen (Abb. 3), hierzu haben insbesondere Luftreinhaltemaßnahmen wie die Rauchgasentschwefelung und die Einführung von Katalysatoren beigetragen. Die Bedeutung der Schwefeleinträge für die Bodenversauerung ist mittlerweile deutlich zurückgegangen. Derzeit bilden Ammonium und Nitrat die Hauptkomponenten der Säureeinträge. Die Ergebnisse der IWE deuten ebenfalls auf einen Rückgang von Schwefel in den Nadeln und Blättern der Bäume hin (Abb. 4, S. 46). Dies zeigt sich insbesondere in der langen Zeitreihe der Fichte. Der Grad der Versauerung (pH-Wert) und die Nährstoffversorgung (Basensättigung) im Oberboden haben sich ebenfalls im Mittel von der BZE I zur BZE II leicht verbessert. Ein Grund hierfür ist auch die Bodenschutzkalkung,

die zwischen der BZE I und der BZE II vielerorts durchgeführt wurde. Im Unterboden wurde jedoch eine weiter fortschreitende Versauerung beobachtet. Der Grad der Bodenversauerung spielt eine entscheidende Rolle für die Funktionsfähigkeit der Waldböden. Stark versauerte Böden weisen eine geringe biologische Aktivität auf, die Nährstoffversorgung der Bäume ist eingeschränkt und überdies können toxische Elemente im Boden freigesetzt werden. Gesunde Waldböden bilden die Basis für vitale und widerstandsfähige Wälder. Die Erhaltung ihrer Funktionstüchtigkeit ist von zentraler Bedeutung und entsprechend zu überwachen. Wie hat sich die Bodenversauerung und Nährstoffsituation unter weiter reduzierten Säureeinträgen seit der BZE II verändert? Welchen Einfluss hat die Bodenschutzkalkung auf die Erholung der Böden? Auch hierzu wird die BZE III neue Erkenntnisse liefern.

➔ **Abbildung 3**

Säureeinträge über den Waldniederschlag | ab 1983

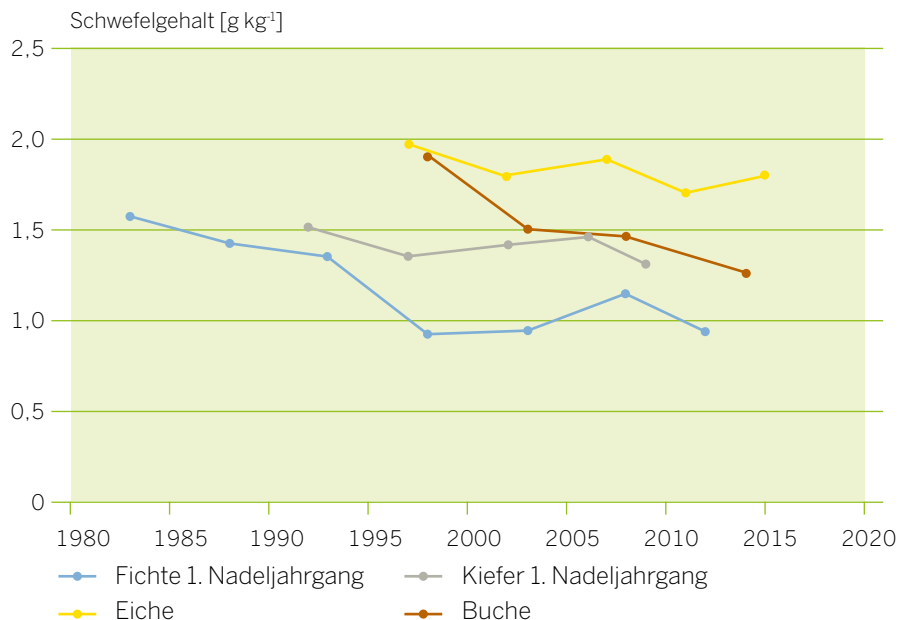
Die Erhebungen werden im Rahmen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings in NRW durchgeführt.



➔ Abbildung 4

Schwefelgehalte in Nadeln und Blättern | vier Hauptbaumarten | 1983–2015

Gemessen im Rahmen der landesweiten IWE seit 1983*.



Schwermetalleinträge am Beispiel von Zink

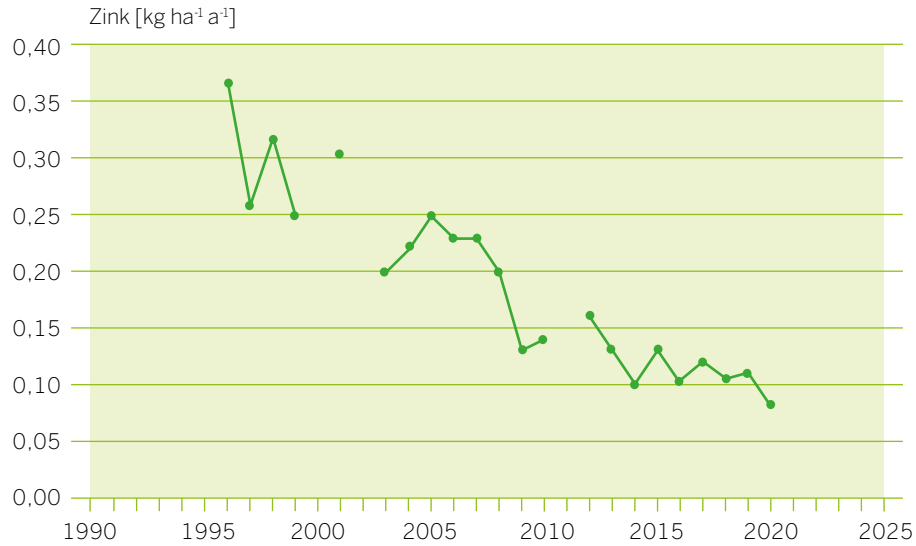
Die Eintragungssituation von Schwermetallen in die Wälder in NRW hat sich ebenfalls erheblich verbessert und wird am Beispiel von Zink erläutert. Schwermetalle werden insbesondere bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe sowie bei der Herstellung und Verarbeitung von Metallen freigesetzt. Neben der Metallindustrie spielen auch andere Industriezweige eine Rolle sowie der Kraftfahrzeugverkehr. Zink gelangt nicht nur durch die Industrie in die Umwelt, sondern auch durch die Landwirtschaft und die Nutzung von Zink in vielen Bereichen unseres Alltags (z. B. verzinkte Rohre, Reifenabrieb). Zink ist in geringen Mengen essenziell für die Bäume sowie für viele andere Lebewesen. Problematisch ist der Austrag von größeren Zinkmengen z. B. in das Grundwasser, aus dem Trinkwasser gewonnen wird, oder in aquatische Systeme, da hohe Zinkkonzentrationen insbesondere für verschiedene aquatische Organismen toxisch sind. Die atmosphärischen Einträge von Zink auf drei Level-II-Kernflächen sind seit Mitte der 1990er Jahre um fast 80 Prozent zurückgegangen (Abb. 5, S. 47). Der Rückgang lässt sich insbesondere auf Emissionsminderungsmaßnahmen in der Industrie

und die Stilllegung von Industrieanlagen zurückführen. Im Waldboden zeigt sich der Rückgang der menschengemachten Zinkeinträge ebenfalls in der Umverteilung: Während im Auflagehumus eine deutliche Abnahme von der BZE I zur BZE II verzeichnet wurde, wurde im oberen Mineralboden (0–10 cm Tiefe) eine Anreicherung beobachtet. Die Abnahme fand primär in den zur Zeit der BZE I hoch belasteten Industriezentren im Bergland (Sauer-/Siegerland, Bergisches Land, Eifel) sowie im Ruhrgebiet statt. Die Zinkgehalte in den Nadeln und Blättern der Waldbäume zeigen für alle vier Baumarten eine stetige Abnahme seit der Ersterhebung (Abb. 6, S. 47). Die stärksten Abnahmen wurden in der Nordhälfte des Bergischen Landes und des Sauerlandes sowie im Ruhrgebiet beobachtet. Da Schwermetalle nicht abgebaut werden können, geht die BZE III der Frage nach, ob die Schwermetalle fest im Mineralboden gebunden sind oder sich seit der BZE II weiter verlagert haben und somit eventuell zukünftig z. B. eine Gefährdung unseres Trinkwassers bestehen könnte.

➔ **Abbildung 5**

Zinkeinträge über den Waldniederschlag | ab 1996

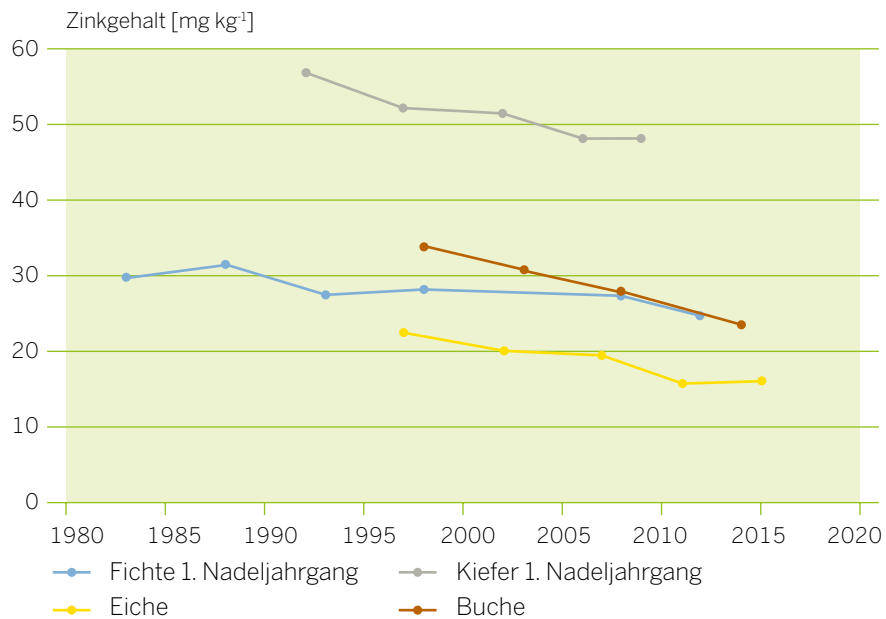
Gemessen auf drei Flächen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings (Flächen 502 Kleve-Tannenbusch, 503 Hard, 506 Elberndorf).



➔ **Abbildung 6**

Zinkgehalte in Nadeln und Blättern | vier Hauptbaumarten | 1983–2015

Gemessen im Rahmen der landesweiten IWE seit 1983*.



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 wird im Wesentlichen durch die Temperatur bestimmt. Der Eintritt der Herbstphasen dagegen wird von zahlreichen anderen Witterungsparametern (z. B. Niederschlagsmenge im Sommer und Einstrahlung) mitbestimmt. Seit 2001 führt das LANUV in Zusammenarbeit mit dem Landesbetrieb Wald und Holz NRW phänologische Beobachtungen im Rahmen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings durch. Die Ergebnisse von den Buchen- und Eichenflächen gehen in den Indikator „Phänologie der Buche“ bzw. „Phänologie der Eiche“ des Klimafolgen- und Anpassungsmonitorings des Landes Nordrhein-Westfalen ein. Im Jahr 2021 erfolgen die phänologischen Beobachtungen zum Nadel-/Blattaustrieb, zur Blüte und zur herbstlichen Blattverfärbung auf 16 Intensivmonitoringflächen an insgesamt 678 Waldbäumen, davon 309 Buchen auf sieben Flächen und 232 Eichen auf acht Flächen.

Nadel- und Blattaustrieb 2022

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.

Nachdem es Anfang April noch einmal zu einem Temperatursturz mit Frost im Bergland kam, stiegen die Tagesmitteltemperaturen sowohl im Tiefland als auch im Bergland am 12. April über 10 °C. Im Tiefland blieben die Tagesmitteltemperaturen ab dann weitestgehend um oder über 10 °C. In Folge begannen die Laubbäume im Tiefland (Buche, Eiche) auszutreiben (Abb. 1, S. 50). Die Tagesmitteltemperaturen im Bergland sanken dagegen noch einmal ab und lagen erst ab Anfang Mai über 10 °C. Im Bergland begannen die Buchen und Eichen etwa 1,5 Wochen später mit dem Austrieb als im Tiefland. Das Datum, an dem die Bäume zu 50 Prozent ausgetrieben hatten (mittlerer Austriebstermin), war bei der Eiche im Mittel über alle Flächen der 25. April und bei der Buche der 30. April. Im Bergland folgten der Bergahorn (4. Mai) und anschließend die Esche (10. Mai). Bei den Nadelbäumen trieb zunächst die Kiefer im Tiefland am 8. Mai aus, gefolgt von der Fichte (Bergland) am 19. Mai. Der mittlere Austriebstermin der Douglasie (Bergland) lag zwei Wochen später als der der Kiefer (22. Mai).

Der mittlere Austrieb bei Buche, Fichte und Kiefer im Jahr 2022 entsprach etwa dem Mittel der 21-jährigen Zeitreihe (Tab. 1). Nur die Eichen (Tab. 1) und Eschen trieben rund sechs Tage früher aus als im langjährigen Mittel. Der mittlere Austriebstermin lag bei den meisten Baumarten etwa zwei Wochen früher als in 2021.

Buche und Eiche zeigen einen Trend zu einem generell früheren Austrieb (Abb. 2, S. 51). Die beobachteten Trends sind statistisch jedoch nicht signifikant.

➔ Tabelle 1

Mittlere Austriebstage 2022 im Vergleich zum langjährigen Mittel | 2001–2021

Baumart	Buche	Eiche	Fichte	Kiefer
Mittel des mittleren Austriebstages ¹⁾ 2001–2021	120	120	140	128
Mittlerer Austriebstag ¹⁾ 2022	120	115	139	128
Differenz Anzahl Tage	-0,9	-5,7	-0,9	-0,4

1) Kalendertag ab Jahresbeginn (120 = 30. April)



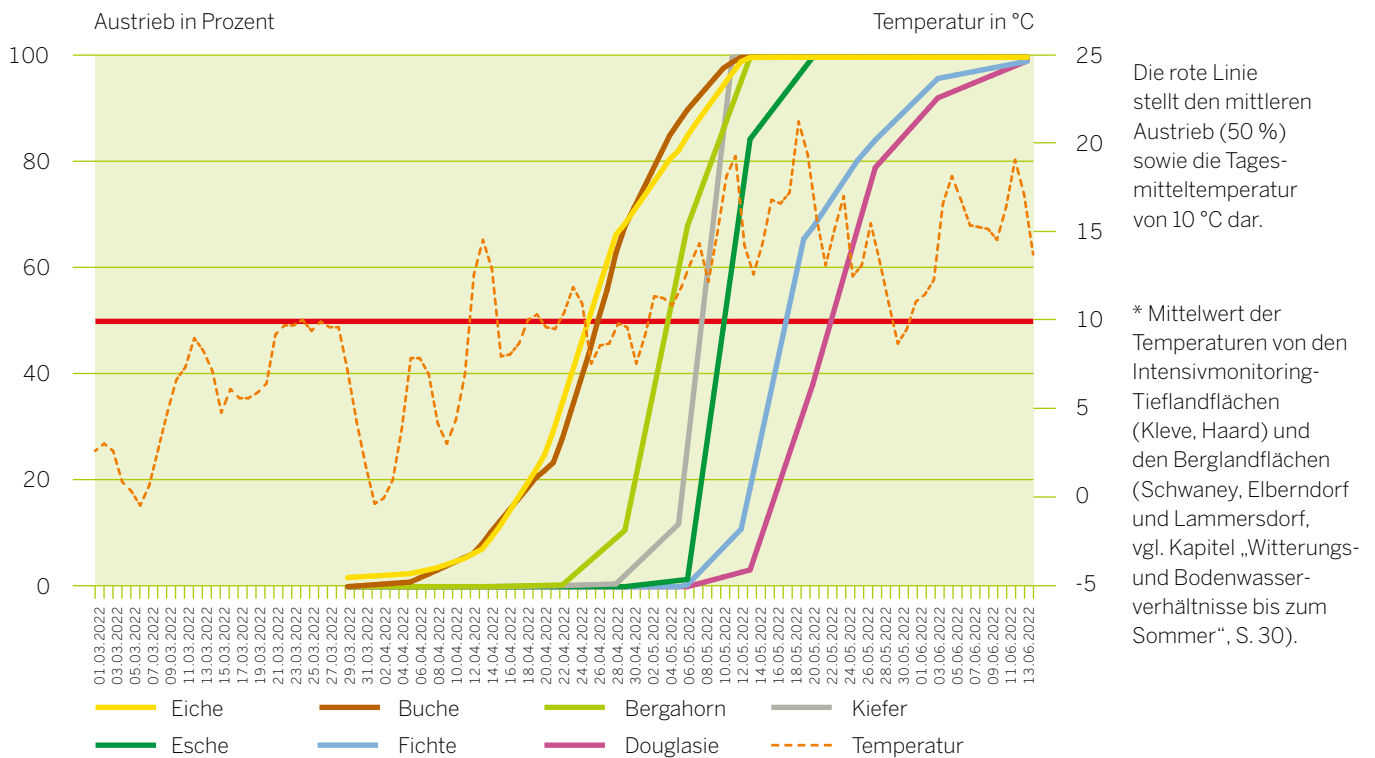
Blattaustrieb bei der Buche



Blattentfaltung bei der Buche

➔ **Abbildung 1**

Mittlerer Verlauf der Tagesmitteltemperatur* und des Austriebs der Baumarten auf den Intensivmonitoringflächen | Frühjahr 2022





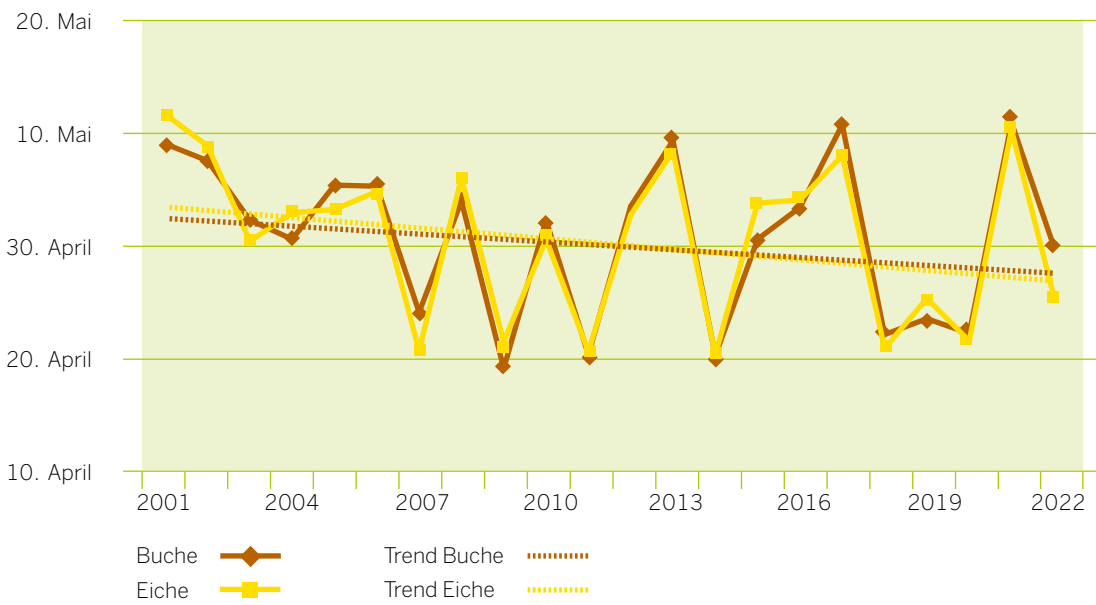
Blattaustrieb und Blüte beim Bergahorn



Blattaustrieb und Blüte bei der Esche

➤ **Abbildung 2**

Mittlerer Austriebstermin von Buche und Eiche auf den Intensivmonitoring-
flächen | 2001 bis 2022



Vegetationszeit

Die für den Wald relevante Vegetationszeit ergibt sich aus phänologischer Sicht aus der Differenz des mittleren Tages von Blattverfärbung und Austrieb. Aus meteorologischer Sicht definiert sich die Länge der Vegetationszeit dagegen als der Zeitraum (Anzahl Tage) mit einer Mitteltemperatur ≥ 10 °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 °C liegt.

Das Jahr 2021 war gekennzeichnet durch ein ausgesprochen kühles Frühjahr, das zu einem sehr späten Austrieb im Vergleich zum Mittel der 21-jährigen Zeitreihe führte. Der späte Austrieb prägte die Länge der Vegetationszeit maßgeblich (Abb. 3). Für die Eiche war die Vegetationszeit mit 171 Tagen sogar die kürzeste seit Erhebungsbeginn 2001.

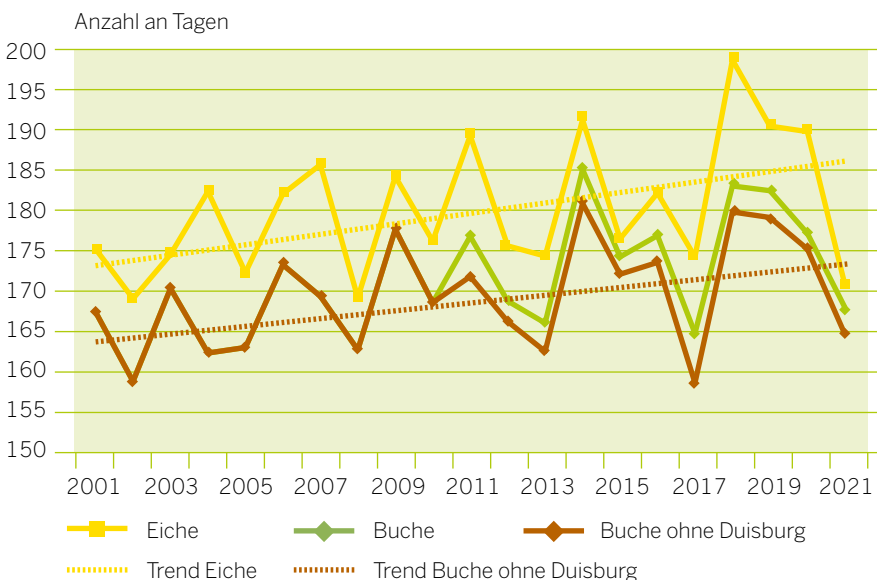
Tendenziell hat sich die Vegetationszeit der Buche und der Eiche jedoch in den letzten 20 Jahren um etwa 9 bzw. 11 Tage verlängert (Abb. 3). Diese Verlängerung der Vegetationszeit ist wesentlich stärker auf einen früheren Blattaustrieb als auf eine spätere herbstliche Verfärbung zurückzuführen. Eine längere Vegetationszeit kann mit einem erhöhten Wasserbedarf der Bäume einhergehen, was in warmen und trockenen Jahren wie 2022 zu einem erhöhten Stress der Bäume führen kann. Der Stress kann sich in Jahren verstärken, in denen die Bäume stark blühen oder fruktifizieren.



Männliche Blüte bei der Eiche

➤ Abbildung 3

Länge der Vegetationsperiode von Buche und Eiche auf den Intensivmonitoringflächen | 2001 bis 2021



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.



Männliche Blüte bei der Buche



Blattaustrieb bei der Hainbuche



Männliche Blüte bei der Kiefer



Frisch ausgetriebene Fichtennadeln

Blüte auf den Intensivmonitoringflächen

Im Frühjahr 2022 wurde an den meisten Waldbäumen der Intensivmonitoringflächen eine geringe Blüte (35 %) oder eine mittlere Blüte (33 %) beobachtet (Tab. 2). Keine Blüte oder eine starke Blüte zeigten jeweils etwa ein Viertel der Waldbäume. Bei der Blüte wird die männliche Blüte aufgenommen, während die Fruktifikation aus der weiblichen Samenanlage hervorgeht. Die Intensität der Blüte entspricht deshalb nicht unbedingt dem Ausmaß der Fruktifikation (s. Kapitel „Vitalität der Baumkronen“, S. 10).

↻ Tabelle 2

Prozentuale Anteile der Bäume auf den Intensivmonitoringflächen in den vier Intensitätsstufen der Blüte | 2022

Baumart	keine Blüte	geringe Blüte	mittlere Blüte	starke Blüte
Buche	21	39	33	7
Eiche	8	36	28	28
Fichte	12	36	38	14
Kiefer	0	7	83	10
Douglasie	77	13	7	3

Schäden durch Fichtenborkenkäfer, Stürme, Buchentrocknis und Waldbrände | Wiederbewaldung



Schäden durch Fichtenborkenkäfer

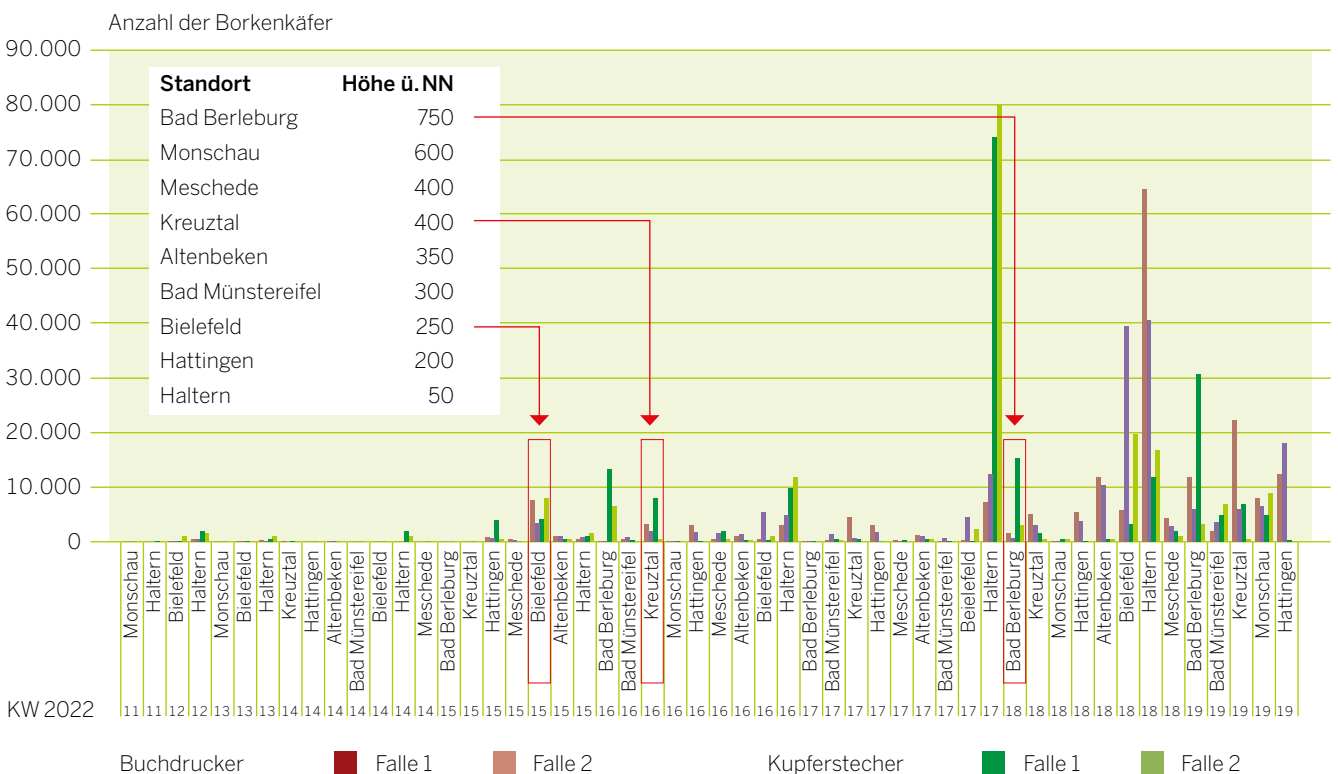
Die sommerlichen, hohen Temperaturen führten in diesem Jahr zu einer schnellen Brutentwicklung der Fichtenborkenkäfer. Vor allem der Buchdrucker profitierte hiervon und konnte in Fichtenbeständen vielerorts neuen Stehendbefall verursachen. Andere Nadelbaumarten wie Kiefern und Lärchen sind im geringeren Umfang ebenfalls durch verschiedene Käferarten geschädigt worden. Oftmals war der Buchdruckerbefall dort die Initialzündung für die weitere Schadinsektenbesiedlung.

Die Fichtenborkenkäferarten Buchdrucker und Kupferstecher sind in diesem Jahr zeitlich versetzt und in Abhängigkeit der Höhenlage aus ihren Überwinterungsorten ausgeflogen. Geringe Flugaktivitäten konnten durch das Borkenkäfermonitoring bereits im März (ab der Kalenderwoche 12) in den niedrigen Lagen festgestellt werden. Der Hauptflug begann hier allerdings erst Mitte April. Im Sauerland schwärmten die Käfer in Abhängigkeit der Höhenlage in den darauffolgenden Wochen aus, zuletzt beispielsweise in den höheren Lagen von Bad Berleburg (750 m ü. NN) erst Anfang Mai (Kalenderwoche 18, Abb. 1).

Nach einem niederschlagsreichen Februar fielen bis Mitte September jeden Monat unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Vor allem der extrem heiße und trockene August führte letztendlich zu Trockenstresssituationen der Fichte und höhere Gefährdung durch den Buchdrucker. Durch die Sturmereignisse im Februar sind viele kleine Windwürfe und -brüche entstanden, die ab April von den Fichtenborkenkäferarten zur Brutanlage angefliegen wurden. Auffällig war der Erstbefall durch den Kupferstecher und der anschließende Anflug des Buchdruckers, wobei beide Borkenkäferarten die Rinde der Fichten in hoher Dichte besiedelten. Direkt nach den Sturmereignissen begannen in den Wäldern bereits die ersten Aufräumarbeiten der Wege und die Aufarbeitung sowie der Abtransport gefallener Fichten. Dies erfolgte möglichst zügig, denn durch die geringen Abstände zu stehenden, lebenden Fichten und schnelle Überbesiedlung war die Gefahr der Induktion von Stehendbefall sehr groß. Weiterhin ist es auf den meisten Flächen durch eine zügige Aufarbeitung gelungen, die Bäume vor der Entwicklung der Jungkäfer aus dem Wald zu schaffen und so neuen Stehendbefall zu verhindern.

➔ **Abbildung 1**

Flugsituation der Borkenkäferarten Buchdrucker und Kupferstecher im Frühjahr | wöchentliche Fangergebnisse der Fallen von neun aufgeführten Borkenkäfermonitoringstandorten | 14.3. bis 15.5.2022





In Nordrhein-Westfalen sind aufgrund der Borkenkäferkalamität viele Kahlflächen entstanden.

Der Buchdrucker hat in diesem Jahr aufgrund optimaler Temperaturen und in Abhängigkeit der Höhenlage zwei bis drei Generationen ausgebildet. In tieferen und teilweise mittleren Lagen konnte sich deshalb bis Anfang bzw. Mitte August bereits die zweite Generation vollständig entwickeln und ausfliegen. Vor allem durch die hieraus resultierende Anlage dieser dritten Generation ist ein bedeutender Stehendbefall aufgetreten. Diese dritte Generation wiederum hat sich in den Niederungen bereits vollständig bis zum Jungkäfer entwickelt. In mittleren Lagen hingegen sind die Buchdrucker dieser Generation noch unvollständig entwickelt. Sie werden sich jedoch – zeitlich betrachtet – unter der Rinde der befallenen Fichten bis zum nächsten Jahr weiterentwickeln und im Frühjahr ausfliegen können. Deshalb ist es aus der Sicht des Waldschutzes sehr wichtig, diese befallenen Bäume zeitnah aufzuarbeiten und aus dem Wald zu transportieren. Die Anlage der dritten Generation im August zeigt auch das Phänologiemodell PHENIPS für Lüdenscheid, wo noch auf 387 m ü. NN. eine dritte Generation angelegt wurde (Abb. 2, S. 57).

Im Sauer- und Siegerland verursachte der Buchdrucker in diesem Jahr große Schäden an den Fichtenbeständen. Die Kalamität breitete sich dort weiter in zuvor nicht befallene Fichtenbestände aus. Wie im letzten Jahr sind dort ebenfalls massiv die Höhenlagen betroffen. Auch in den Höhenlagen der Eifel sind in diesem Jahr in bisher

vitalen Fichtenbeständen neue Käferbefallsflächen entstanden. Im Gegensatz zum Sauer- und Siegerland sind diese allerdings kleiner. Somit ist in Nordrhein-Westfalen die Befallsituation in der Eifel bisher landesweit am günstigsten. In anderen Teilen des Rheinlandes sowie im Münsterland, in Ostwestfalen und im Ruhrgebiet sind bereits viele Fichten abgestorben.

Unterschiede gab es weiterhin zwischen den Fangergebnissen des Borkenkäfermonitorings in der Eifel und vielen Bereichen des Sauerlandes. So breitete sich der Käferbefall in den 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 Fallen in Hürtgen im Laufe des Jahres deutlich ab und erreichten wöchentlich geringere Buchdruckerwochenfänge (Abb. 3, S. 57).

Die Kalamität spiegelt sich in den seit 2019 hohen Fangwerten des Borkenkäfermonitorings mit Wochenfängen von weit über 3.000 Buchdruckern je Falle wider. Im Jahr 2022 sind das vierte Jahr in Folge in den Fallen des Borkenkäfermonitorings NRW hohe Fangwerte ermittelt worden.

So wurden wöchentlich häufig über 10.000 Buchdrucker in den Prallfallen ausgezählt (Abb. 4, S. 58).

Abbildung 2

Generationsentwicklung des Buchdruckers | Lüdenscheid | 387 m | 2022

Phänologiemo­dell PHENIPS der Universität für Bodenkultur Wien
Entwicklungsstand

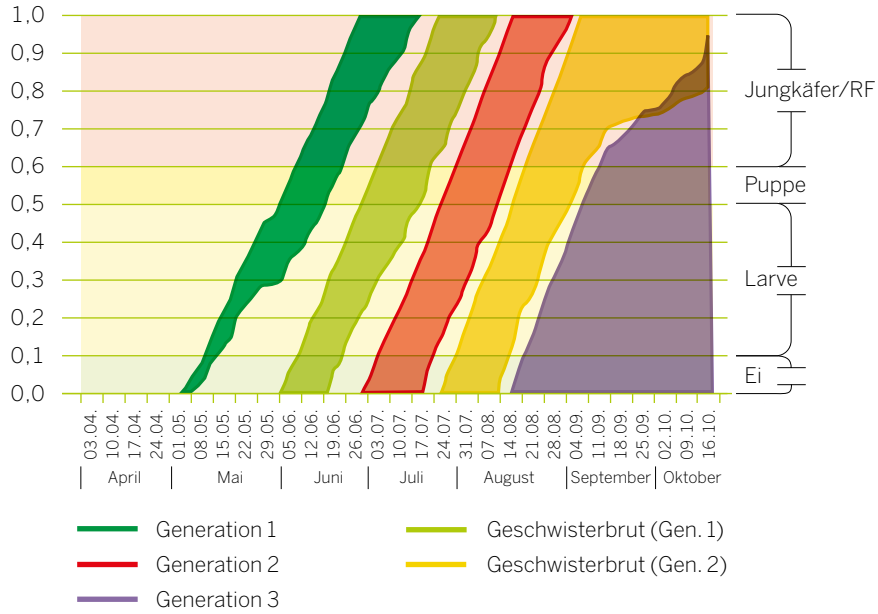
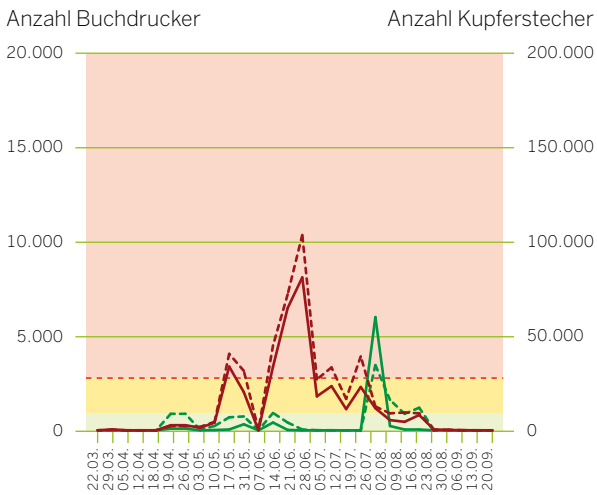


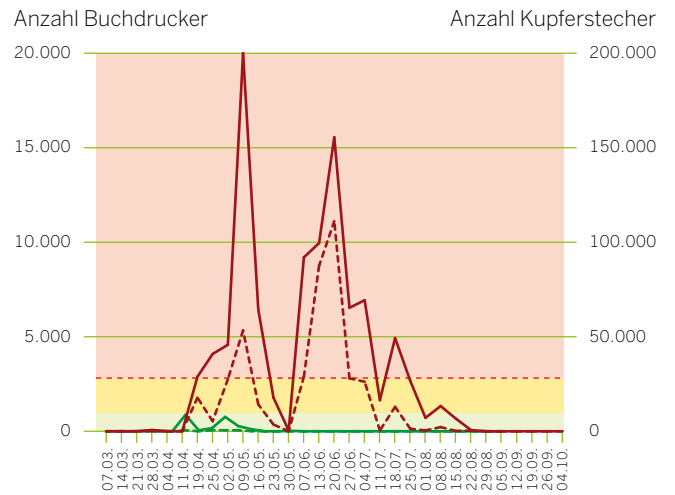
Abbildung 3

Vergleich der Standorte Hürtgen in der Eifel mit Kreuztal und Sauerland | 2022

Fallenstandort Hürtgen (Eifel) 350 m ü. NN



Fallenstandort Kreuztal (Sauerland) 400 m ü. NN



Buchdrucker — Falle 1 - - - Falle 2 Kupferstecher — Falle 1 - - - Falle 2
- - - Überschreiten die Wochenfänge diese Linie, ist mit Stehendbefall völlig gesunder Fichten zu rechnen.



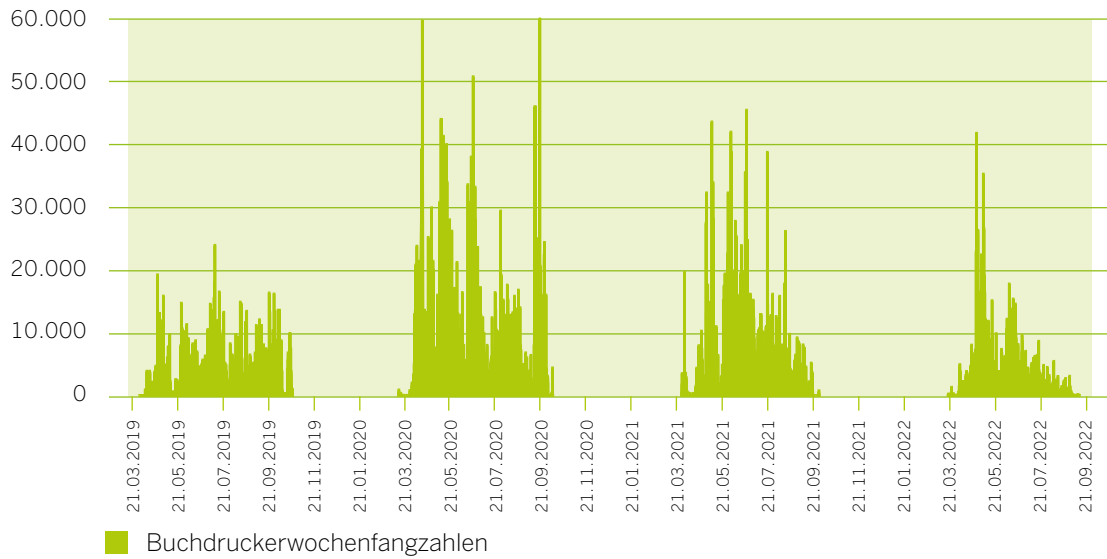
Buchdruckerjungkäfer in der Rinde



Borkenkäfer auf der Rinde (Altkäfer)

➤ **Abbildung 4**

Fangzahlen des Borkenkäfermonitorings | 2019 bis 2022



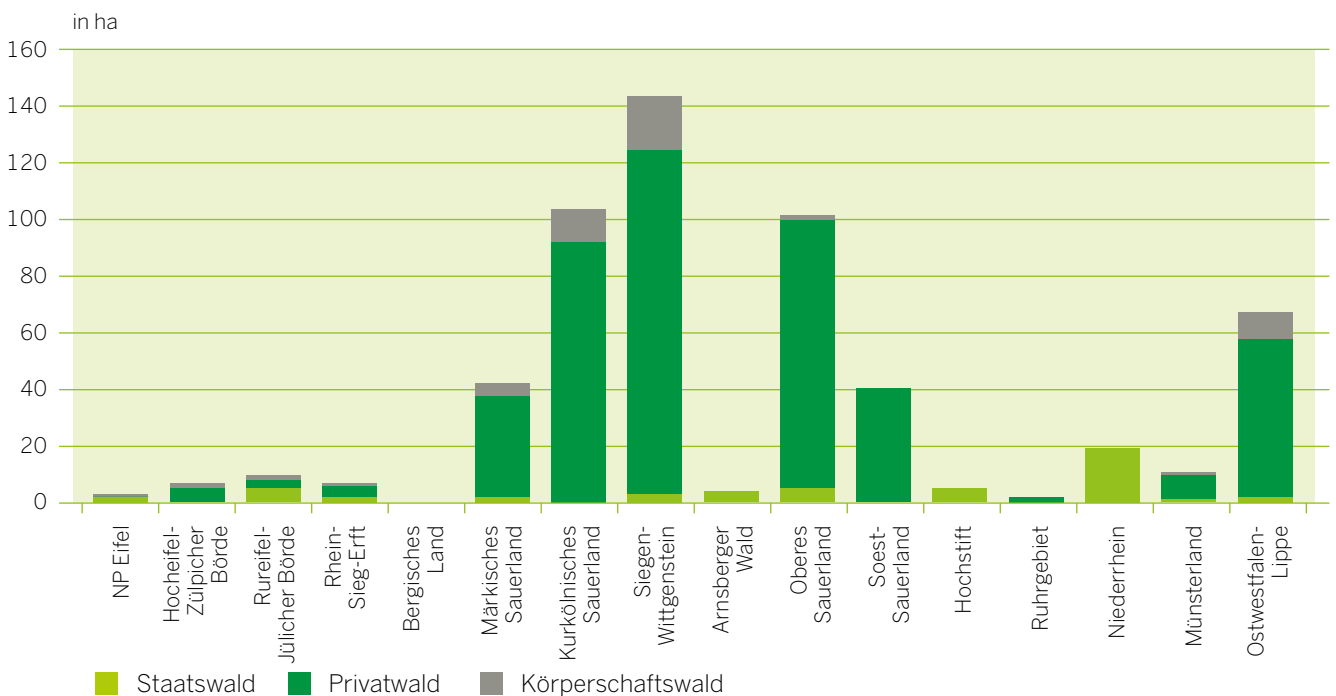
Schäden durch Sturm

Im Februar zogen über Nordrhein-Westfalen die Stürme „Xandra“, „Ylenia“, „Zeynep“ und „Antonia“ hinweg und verursachten insgesamt einen Schadholzanfall von mehr als 660.000 Festmeter Windwurf und -bruch. Zusammenhängende Windwürfe wurden insgesamt auf einer Fläche von 480 ha gemeldet. Zum größten Teil betrafen die Schäden Nadelholzflächen in den Wäldern des Sauer- und Siegerlandes. Es wurden überwiegend Fichten vom Wind geschädigt; zudem Lärchen, Kiefern und Douglasien.

Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass aufgrund der Borkenkäferkalamität die Fichtenbestände vorgeschädigt und somit anfälliger gegenüber den Sturmereignissen waren. Durch die Stürme sind hauptsächlich Einzel- und Nesterwürfe entstanden. Wie die Abbildung 6 zeigt, lag der Schwerpunkt der Stürme im Sauer- und Siegerland und in Ostwestfalen.

➔ Abbildung 6

Durch die Februarstürme angefallene Schadflächen der einzelnen Regionalforstämter



Durch Februarstürme sind vor allem im Sauer- und Siegerland sowie in Ostwestfalen viele kleinere Windwürfe und -brüche entstanden.

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.

Im Jahr 2022 liegt die Kalamitätsmenge (Käfer- und Sturmholz) in der Baumart Fichte bei rund 4,4 Mio. Festmetern (Stand Sept. 2022). Somit verringert sich die Käferholzmenge gegenüber dem Vorjahr deutlich. Dies ist vor allem auf die seit dem letzten Sommer gestiegene Vitalität der Fichten (deutlicher Harzdruck), den Verlust der vielen Fichtenflächen und des dort stockenden Vorrats, die schnellere Aufarbeitung sowie Abfuhr (aufgrund des aufnahmefähigen Holzmarktes) zurückzuführen. Werden die Ergebnisse der Kalamitätsmengenabfrage für die Baumart Fichte durch Sturm, Trocknis oder Borkenkäfer von Anfang 2018 bis zum September 2022 zusammengefasst, ergibt sich eine Schadholzgesamtmenge von rund 44,7 Mio. Festmetern. Mittlerweile summieren sich die Vorratsverluste in der Baumart Fichte auf ca. 57 Prozent des Fichtenvorrats in Nordrhein-Westfalen.

Abbildung 8 (S. 61) zeigt die Entwicklung des gemeldeten forstschutzrelevanten Käferholzes von 2018 bis 2022. Die Werte variieren im jahreszeitlichen Verlauf. In den Abfrageergebnissen des Juli und des September finden die Zahlen der vergangenen Jahre ihre jeweiligen Höhepunkte. Es wird offensichtlich, dass die Jahre 2019 und 2020 die höchsten Kalamitätsmengen für den Borkenkäferbefall verzeichnen. Seitdem sind die Zahlen rückläufig, wofür allerdings vor allem die bereits hohen Vorratsverluste in tieferen und mittleren Höhenlagen verantwortlich sind. 2022 sticht bezogen auf das forstschutzrelevante Holz bisher durch niedrige Käfermengen heraus. Auch hier sind bisher erlittene Vorratsverluste ursächlich, allerdings auch eine günstigere Witterung zum Beginn des Jahres. Dieser positive Effekt hat sich im Jahresverlauf allerdings drastisch verändert, hin zu einer deutlichen Wassermangelsituation.

Zusätzlich wird sichtbar, welche Regionen von NRW in welchem Zeitraum betroffen waren: Zunächst standen das Rheinland, das Bergische Land, das Ruhrgebiet und die Region Soest-Sauerland im Zentrum des Kalamitätsgeschehens. Seit Ende 2020 rücken das Sauerland und auch die dort hoch gelegenen Regionen zunehmend in das Zentrum des Kalamitätsgeschehens.



Blick in ein Tal im Siegerland mit absterbenden, verbräunten Fichten und grünen Laub- und Nadelbäumen

Abbildung 7

Schadholzmengen durch Borkenkäfer und Sturm an der Fichte | 2018 bis September 2022

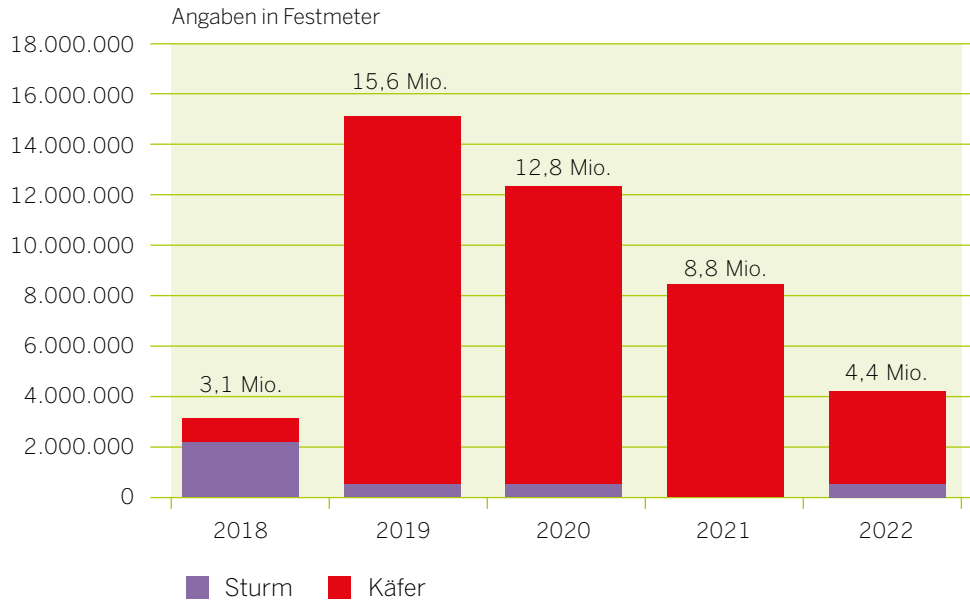
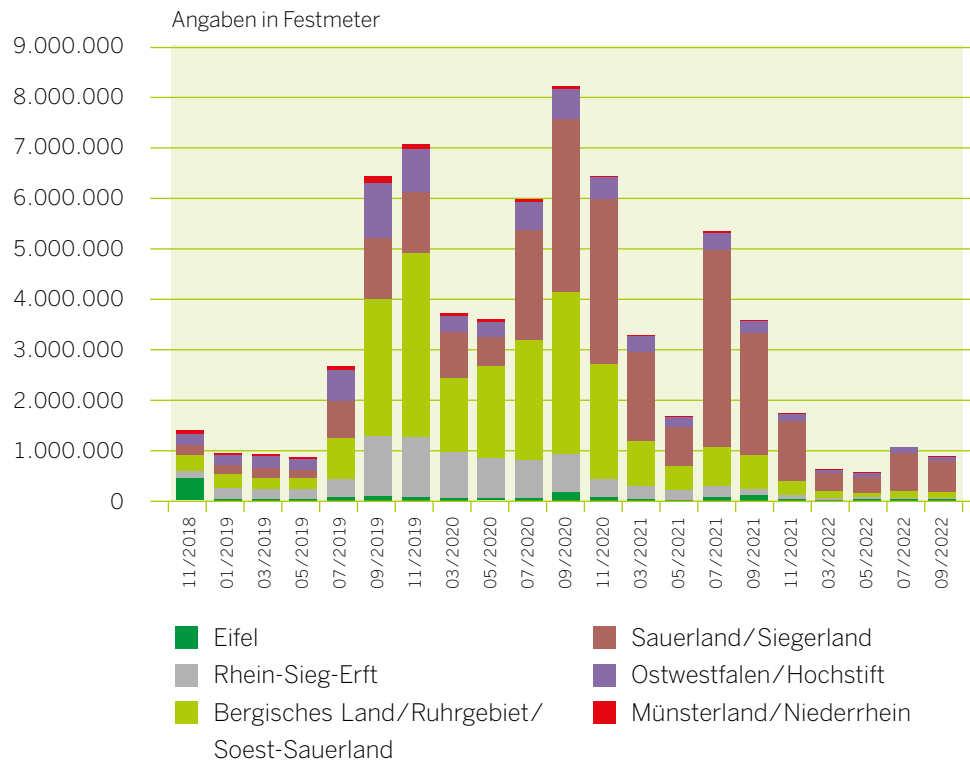


Abbildung 8

Entwicklung des gemeldeten forstschutzrelevanten Käferholzes | 2018 bis September 2022



Kalamitätsflächenermittlung im Nadelwald mithilfe von Satellitendaten

Grundlage für die Ableitung von Kalamitätsflächen im Nadelwald sind zwei landesweit laufende Fernerkundungsverfahren, welche die flächendeckend verfügbaren Sentinel-2-Satellitendaten des Copernicus-Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) 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 Satellitenbildauswertungen erlaubt trotz der gegebenen methodischen Einschränkungen landesweite Aussagen zum Umfang und zur regionalen Verteilung der Kalamitätsfläche. Zudem sind Verschneidungen mit verschiedenen Themenkarten und entsprechende inhaltliche Auswertungen für strategische Zwecke möglich. Die nachfolgende thematische

Auswertung bezieht sich aus technischen Gründen auf den Stand Juni 2022 mit einer sicher erkannten Kalamitätsfläche von insgesamt ca. 128.000 ha. Eine aktuellere Auswertung der Satellitendaten bis September 2022 zeigt allerdings eine Erhöhung der sicher erkannten Kalamitätsfläche auf ca. 135.000 ha.

Die Darstellung zeigt beispielhaft, dass räumliche Fragestellungen (z. B. Verteilung nach Regierungsbezirken oder Regionalforstämtern), Fragen nach dem Rechtsstatus der Gebiete (z. B. Betroffenheit von Schutzgebieten nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie)) oder auch waldökologische Fragestellungen (z. B. Verteilung nach Vegetationszeitbereichen oder Verteilung nach Wasserhaushaltsstufen der forstlichen Standorte), die auch für die Wiederbewaldung der Schadflächen besonders relevant sind, beantwortet werden können (Tab. 1, S. 63).

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 Kahlfächen 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 Juni 2022 abgeleitet und aggregiert. Dabei sind einige methodische Aspekte zu beachten:

- Aufgrund von überlagernden Randstrukturen oder Unterschreitung einer auf 0,1 ha festgesetzten Mindestflächengröße pro Kalamitätsfläche liefert das Verfahren für bestimmte Waldflächen keine Ergebnisse (4 % der als Nadelwald erkannten Fläche bzw. insgesamt rund 13.600 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 Kahlfäche“ angehören (rund 37,6 % der als Nadelwald erkannten Fläche bzw. insgesamt rund 128.000 ha)
- Die Schadstufe 1 „Verdacht; geringe oder erste sichtbare Symptome“ mit einer Fläche von rund 12.700 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.

 Tabelle 1

Beispielhafte landesweite Auswertung der aus Fernerkundungsverfahren abgeleiteten Kalamitätsflächen | Juni 2022

nur als gesichert erfasst angesehene Kalamitätsfläche im Nadelholz												
rd. 128.000 ha												
Verteilung auf Regierungsbezirke												
Münster			Detmold			Arnsberg			Köln		Düsseldorf	
rd. 3.700 ha 3 %			rd. 18.100 ha 14 %			rd. 77.200 ha 60 %			rd. 26.800 ha 21 %		rd. 2.200 ha 2 %	
Verteilung auf Regionalforstämter												
01	rd. 1.100 ha	1 %	05	rd. 14.900 ha	12 %	09	rd. 2.700 ha	2 %	13	rd. 3.500 ha	3 %	
02	rd. 3.100 ha	2 %	06	rd. 15.500 ha	12 %	10	rd. 10.600 ha	8 %	14	rd. 1.400 ha	1 %	
03	rd. 2.900 ha	2 %	07	rd. 9.500 ha	8 %	11	rd. 16.000 ha	13 %	15	rd. 3.100 ha	2 %	
04	rd. 5.600 ha	4 %	08	rd. 20.000 ha	16 %	12	rd. 10.400 ha	8 %	16	rd. 7.700 ha	6 %	
Legende der Regionalforstämter												
01	Nationalparkforstamt Eifel			07	Kurkölnisches Sauerland			13	Ruhrgebiet			
02	Hocheifel-Zülpicher Börde			08	Siegen-Wittgenstein			14	Niederrhein			
03	Rureifel-Jülicher Börde			09	Arnsberger Wald			15	Münsterland			
04	Rhein-Sieg-Erft			10	Oberes Sauerland			16	Ostwestfalen-Lippe			
05	Bergisches Land			11	Soest-Sauerland							
06	Märkisches Sauerland			12	Hochstift							
Betroffenheit von FFH-Gebieten												
Fläche innerhalb von FFH-Gebieten						Fläche außerhalb von FFH-Gebieten						
rd. 12.200 ha 10 %						rd. 115.800 ha 90 %						
Verteilung auf die Vegetationszeitbereiche (nach FSK50)												
> 200 Tage			rd. 160–200 Tage			rd. 145–160 Tage			< 145 Tage			
rd. 100 ha 0 %			rd. 64.800 ha 51 %			rd. 45.000 ha 35 %			rd. 18.100 ha 14 %			
Verteilung auf die Gesamtwasserhaushaltsstufen												
mäßig trocken bis sehr trocken, wechsel trocken		mäßig frisch		frisch bis sehr frisch, grundfrisch bis grundfeucht		mäßig wechselfeucht bis wechselfeucht		hangfeucht, feucht		nass, staunass		
rd. 12.300 ha 10 %		rd. 25.900 ha 20 %		rd. 73.200 ha 57 %		rd. 9.200 ha 7 %		rd. 4.800 ha 4 %		rd. 2.600 ha 2 %		

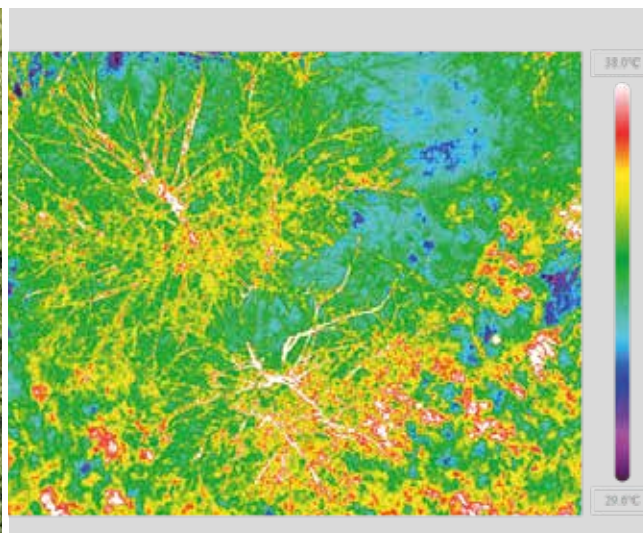
Schäden durch Buchentrocnis

Auch in diesem Jahr traten bei der Rotbuche zunehmend Absterbeerscheinungen auf, die auf die Hitze- und Trockenjahre 2018 bis 2020 zurückzuführen sind. In den seit Jahren durch die Buchentrocnis aufgelichteten Beständen hat sich der Zustand dort wachsender Rotbuchen weiterhin verschlechtert. Waren in den Anfangsjahren (2018 und 2019) zunächst hauptsächlich ältere Buchen betroffen, so ist mittlerweile auch in jüngeren Beständen ein Ausfall zu erkennen. Der Schwerpunkt dieser Schäden liegt allerdings weiterhin auf älteren Altersklassen. Typisch für diese Buchentrocnis ist ein in der Krone beginnendes Absterben der Bäume. Auf der Rinde sind Schäden in Form von Nekrosen, Rissen und abplatzender Rinde zu erkennen. Diese lassen sich auf Sonnenbrand und den Befall mit Rindenpilzen, teilweise gefolgt von einer Besiedlung mit Buchenprachtkäfer und Buchenborkenkäfer zurückführen (Fotos, S. 65).

Neben den wasserbeeinflussten Standorten sind auch Buchen auf Braunerden sowie trockene Kalkstandorte betroffen. Vor allem auf den physiologisch oder tatsächlich flachgründigen Standorten treten die erwähnten Schäden in starken Ausprägungen auf. Dies sind Standorte, auf denen Bäume bei längerer Trockenheit schneller Wasserdefizite aufweisen. Die diesjährige Trockenheit und intensive Sonneneinstrahlung hat örtlich vor allem auf diesen Standorten bei Buchen zu Stresssituationen und einem daraus resultierenden frühzeitigen Blattverlust geführt. Deshalb wurden im Regionalforstamt Kurkölnisches Sauerland (Forstbetriebsbezirk Lieberhausen) Untersuchungen des Zentrums für Wald und Holzwirtschaft, Team Wald und Klimaschutz, mittels Datenloggern und Drohnentechnologie durchgeführt. Auf

diesen Flächen zeigte sich, dass die Buchenvorschädigungen zum Anfang der Vegetationsperiode über den Sommer 2022 vom Juni bis zum September, zugenommen haben. Mit Hilfe der Wärmebildkamera an einer Drohne wurde erkannt, dass die Temperaturen in den vorgeschädigten Kronenbereichen bei starker Sonneneinstrahlung deutlich höher liegen als in den umliegenden belaubten Bereichen und dies durch die fehlende Verdunstungskälte verstärkt wird.

In den Fotos (unten) ist links eine Buchenkrone mit deutlichem Blattverlust in der Oberkrone zu erkennen. Deutlich wird dies durch die hell erscheinenden Äste. Auf der rechten Seite ist die identische Krone in einem Wärmebild zu sehen. Die höchsten Temperaturen bis 38 °C (Farbskala neben dem Thermalbild) traten am 22. August 2022 um 14:36 Uhr in den Kronenbereichen auf, in denen die Blattmasse abgestorben ist. Die niedrigsten Temperaturen sind in den Zwischenräumen der tiefer liegenden Vegetation zu verzeichnen, 29,6 °C in dem vorliegenden Beispiel. Die Transpiration der Blätter führt dazu, dass die Rotbuche ein eigenes Baumklima in den tieferen Kronenbereichen schafft und sich somit selbst kühlt. Riskant wird es für die Bäume, wenn Temperaturen über 40 °C auftreten. Denn ab 43 °C stellt die Rotbuche die Photosynthese ein und ab 46 °C sterben die ersten Zellen ab (Lyr et al., 1992; Strasburger et al., 1978). Je mehr Zellen und anschließend Blätter absterben, desto mehr treten Aststrukturen in den Vordergrund, die sich deutlich stärker erhitzen und nicht durch Transpiration gekühlt werden. Dieser Effekt lässt die Schlussfolgerung zu, dass sich die Extrembedingungen in den Oberkronen potenzieren, je mehr Blattmasse verloren geht.



Geschädigte Buchenoberkrone im Forstbetriebsbezirk Lieberhausen am 22.08.2022, 14:36 Uhr, Farbbild links, Thermalbild rechts
DWD-Daten der Klimamessstation Meinerzhagen-Redlendorf Außentemperatur: 26 °C, Luftfeuchtigkeit: 35 %.



Blick in die Krone einer abgestorbenen Buche



Fraßgänge und Larven des Buchenborkenkäfers in der Rinde und im Kambium einer Rotbuche



Blick auf eine Waldbrandfläche in Lüdenschheid

Schäden durch Waldbrände

Aufgrund der diesjährigen anhaltenden Trockenheit im Frühjahr und Sommer bestand bis Mitte September eine bedeutende Waldbrandgefährdung. Dies zeigt sich durch die hohe Anzahl von mehr als 50 gemeldeten Waldbränden. Zumeist handelte es sich um kleine Brandherde, die schnell erkannt und gelöscht werden konnten. Einige Brandflächen betrafen auch größere Wälder von mehr als 14 ha Größe. Durch die gute Zusammenarbeit von Ordnungskräften der Feuerwehr, Forstverwaltung und Polizei konnten diese Brände erfolgreich unter Kontrolle gebracht werden.

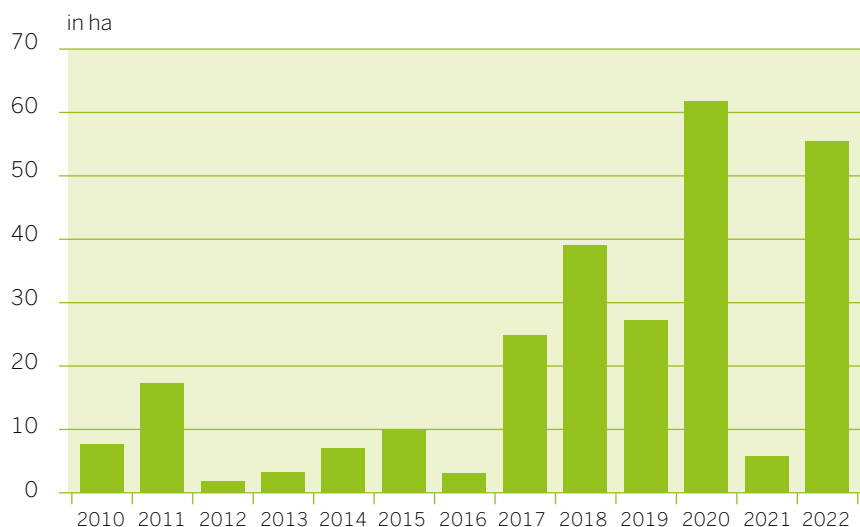
Ein großer Waldbrand brach beispielsweise am 19. Juli in Sundern-Stemel aus. Das Feuer breitete sich in den dichten, jüngeren Naturverjüngungsbeständen rasant auf eine Gesamtfläche von ca. 11,5 Hektar aus. Dieser Wald-

brand konnte erst nach einem 72-stündigen Einsatz von insgesamt rund 700 Einsatzkräften der Feuerwehr aus dem gesamten Hochsauerlandkreis sowie den Kreisen Unna und Paderborn gelöscht werden. Mitarbeitende des Forstamtes Oberes Sauerland unterstützten die Einsatzleitung direkt nach Einsatzbeginn als Fachberater Forst, wodurch beispielsweise schnell Forstmulcher eingesetzt wurden. Hierdurch konnten Brandschneisen mit dem Ziel angelegt werden, eine weitere Ausbreitung zu verhindern und den Zugang zu unzugänglichen Waldbeständen zu ermöglichen.

Abbildung 9 zeigt, dass die Schäden durch Waldbrände deutlich zugenommen haben. Insbesondere in den Jahren 2018–2020 und 2022 mit den ausgeprägten Dürreperioden ist die jährliche Waldbrandfläche deutlich angestiegen.

➔ **Abbildung 9**

Waldbrandfläche NRW | 2010 bis 2022





2022-08-15 01:00:01
+7 56252 +51 22918



Nächtliche Drohnenaufnahmen von der Feuerwache Lüdenscheid halfen bei der Waldbrandbekämpfung. Einsatz der Feuerwache bei Löscharbeiten im Sauerland (v. o. n. u.)

Wiederbewaldung

Seit dem Beginn der Kalamität in den Nadelholzbeständen im Jahr 2018 aufgrund des Zusammenwirkens von Stürmen, Sommerdürren und der Massenvermehrung von Borkenkäfern standen zunächst die Eindämmung der Borkenkäferentwicklung und die Aufarbeitung der Schadflächen deutlich im Vordergrund. Auch die erforderliche Instandsetzung der stark in Anspruch genommenen Waldwege hatte eine große Bedeutung.

In den letzten Jahren wurde zunehmend auch mit der Wiederbewaldung der Schadflächen begonnen.

Im Sommer 2022 hat der Landesbetrieb Wald und Holz eine Abfrage unter seinen Regionalforstämtern zur Einschätzung der Wiederbewaldung durchgeführt. Auf der Grundlage dieser Abfrage wird von einer bisher erfolgten Wiederbewaldung, sowohl durch Pflanzung als auch durch Naturverjüngung, auf rund einem Viertel der landesweiten Schadfläche ausgegangen. Ein Wiederbewaldungsmonitoring wird hierzu in 2023 und den Folgejahren weitere Informationsgrundlagen liefern.



Forstliches Umweltmonitoring



Bereits seit der Debatte über das „Waldsterben“ und den „sauren Regen“ 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. Heute stehen die Auswirkungen des Klimawandels und die Spätfolgen der Schadstoffeinträge im Fokus des Monitorings.

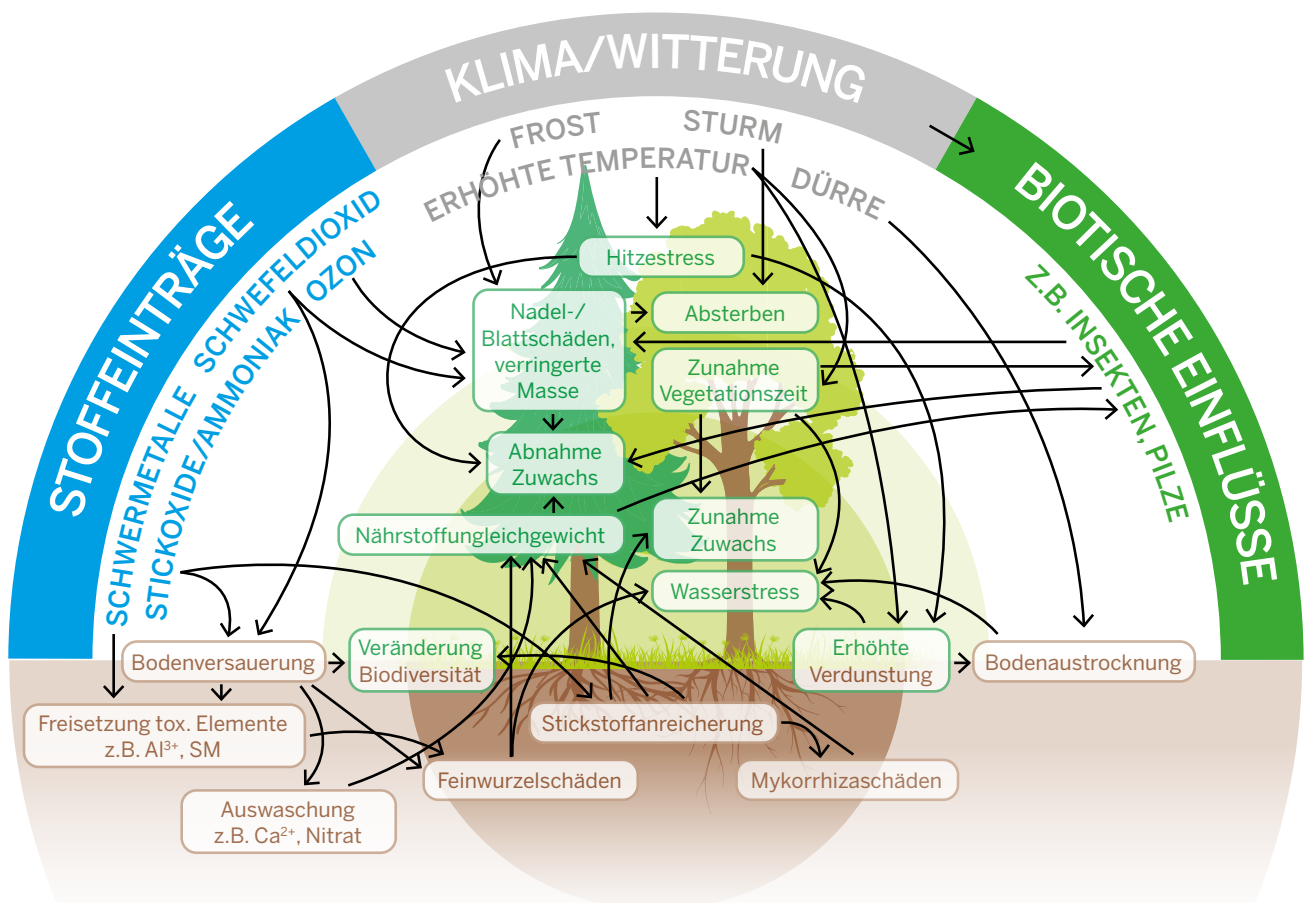
In NRW begann das forstliche Umweltmonitoring 1981 mit dem „Pilotprojekt saure Niederschläge“. Damals wurden erstmals Waldschäden systematisch erfasst und der Eintrag von Luftverunreinigungen über die Niederschläge an ausgewählten Standorten gemessen. Da die Vitalität der Waldökosysteme durch verschiedene Faktoren gesteuert wird (Abb. 1), wurde nach kurzer Zeit das Untersuchungsspektrum ausgeweitet, um die Komplexität der Waldschäden hinreichend zu berücksichtigen. Die Daten des ForUm tragen dazu bei, das Ausmaß der Effekte des Klimawandels zu quantifizieren, Ursache-Wirkung-Zusammenhänge

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 Bewirtschaftungsmaßnahmen. 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 stellen die Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV) sowie die Verordnung über Erhebungen zum Zustand des Waldbodens (BZEV) zu § 41a Absatz 6 Bundeswaldgesetz dar.

➔ Abbildung 1

Schematische Darstellung der Ursache-Wirkungs-Beziehungen in einem Waldökosystem

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



Die übergeordneten Ziele des forstlichen Umweltmonitorings liegen in

- der Untersuchung des Status und der Entwicklung der erfassten Waldökosysteme,
- der Analyse von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen.

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

Level I

Das Level-I-Programm in NRW beinhaltet die Waldzustandserhebung (WZE), die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) und die immissionsökologische Waldzustandserhebung (IWE). Die Basis für die Level-I-Untersuchungen bildet ein systematisches 4 x 4 km-Stichprobennetz mit rund 560 Stichprobenpunkten (Abb. 2, S. 71). 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 WZE wird seit 1984 jährlich von Juli bis August auf dem Basisraster durchgeführt. Sie untersucht den aktuellen Zustand der Waldbäume und dessen 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 BZE wird periodisch alle 15 bis 20 Jahre durchgeführt. 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. Die Geländeerhebungen zur dritten BZE (BZE III) finden seit diesem Jahr und bis 2024 statt. Im Fokus stehen die Bodenuntersuchungen. Hierzu zählen z. B. die Bodenversauerung, Eutrophierung, Schwermetallbelastung und Kohlenstoffspeicherung. Neben dem Boden werden der Kronenzustand, die Waldernährung, die Bestockung, das Totholz sowie die Bodenvegetation untersucht. Weitere Informationen unter www.lanuv.nrw.de/bze.

Die IWE erfasst den Belastungs- und Ernährungszustand der Waldbestände. Untersucht werden Nadel-/Blattproben von den vier Hauptbaumarten. Die IWE wird seit 1983 in unregelmäßigen Zeitintervallen durchgeführt. Aktuell läuft die IWE im Rahmen der BZE III.

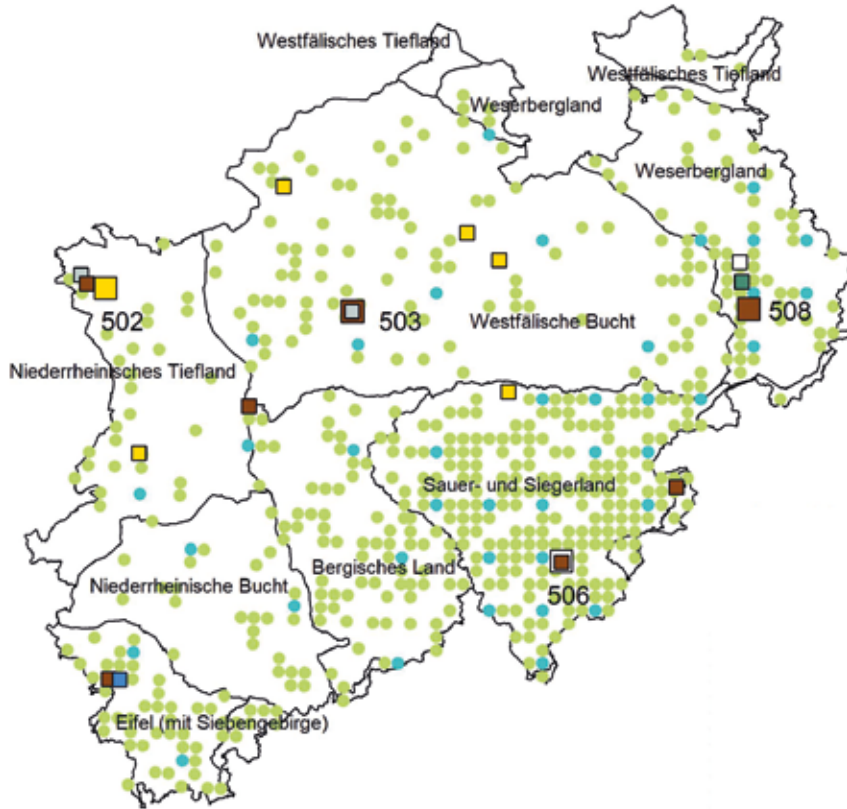
Level II

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. 71). 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 10 Jahre (Bodenzustand). In NRW gibt es derzeit vier Flächen, auf denen das gesamte Level-II-Messprogramm seit 1995 durchgeführt wird (Kernflächen) (Abb. 2, S. 71). 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. 71). Daneben gibt es 15 Flächen (Abb. 2, S. 71), auf denen ein Teil des Messprogramms durchgeführt wird. Auf zwei Flächen sind die Fichten in 2020 infolge 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 Geologische Dienst NRW (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 (s. Kapitel „Witterungs- und Bodenwasserhältnisse“, S. 30).

Abbildung 2

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 Intensivmonitoringflächen.

Level I

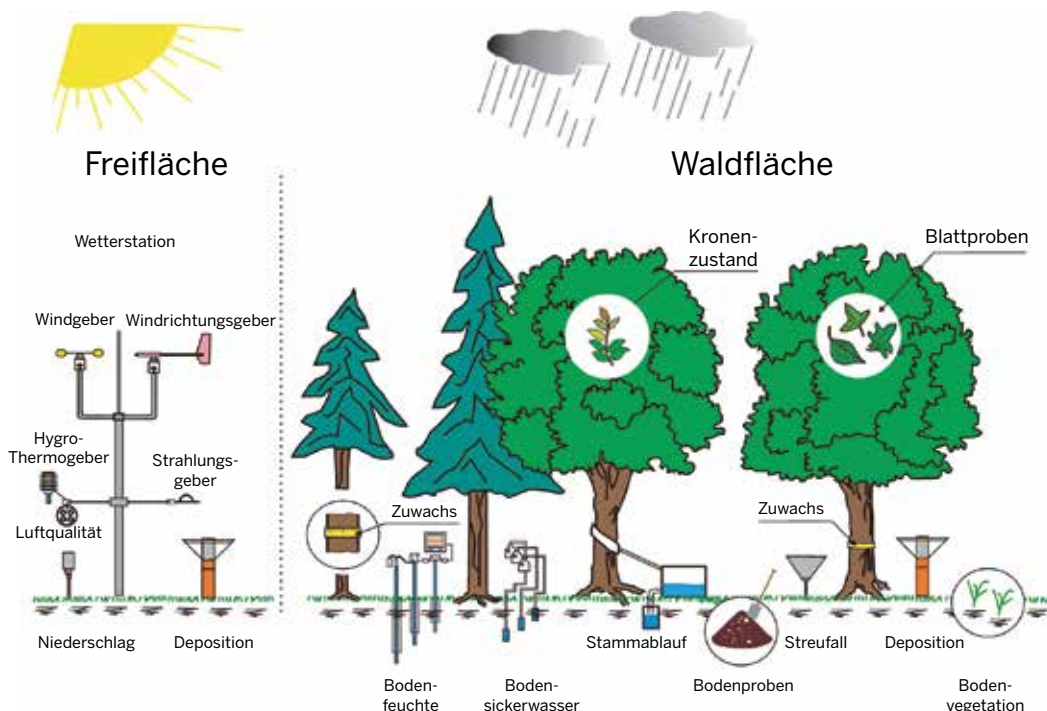
- 4 x 4 km-Raster
- 16 x 16 km-Raster

Level II

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

Abbildung 3

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



Weiterführende Informationen

Internetseiten

- Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: www.mlv.nrw.de
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen: Waldzustand/Waldzustandsberichte
www.wald-und-holz.nrw.de/wald-in-nrw/waldzustand/
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen: Team Wald- und Klimaschutz
www.wald-und-holz.nrw.de/ueber-uns/forschung/waldschutzmanagement/
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen: Borkenkäfermonitoring
<https://borkenkaefer.nrw.de/>
- 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: Bodenmonitoring
www.lanuv.nrw.de/umwelt/bodenschutz-und-altlasten/bodenschutz/bodenmonitoring/bdf
- 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
- Geologischer Dienst NRW: Forstliche Boden- und Standortkarten
www.gd.nrw.de/bo_dk_forst-standortkarten.htm
- Geologischer Dienst NRW: www.gd.nrw.de/bo_bb_boden-und-klimawandel.htm
- Geologischer Dienst NRW: Bodenfeuchte Aktuelle Messdaten
www.gd.nrw.de/bo_bb_bodenfeuchtemessdaten.php
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Waldzustandserhebung Deutschland
www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/waldzustandserhebung.html
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Wald in Deutschland
www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/Forst-Holzwirtschaft/Zustandserhebungen/InventurenErhebungen-node.html
- 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

Witterungs- und Bodenwasserverhältnisse

- 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
- LANUV (2021): Klimabericht NRW 2021. LANUV Fachbericht 120. Recklinghausen
- Schultze, B., Kölling, C., Dittmar, C., Rötzer, T., Elling, W. (2005): Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern: Modellierung – Regression – Regionalisierung. *Forstarchiv* 76: 155-163

Schäden durch Fichtenborkenkäfer, Stürme, Buchentrocknis und Waldbrände

- Lyr, H. et al. (1992): *Physiologie und Ökologie der Gehölze*; Gustav Fischer Verlag; 620 S.
- Strasburger, E. et al. (1978): *Lehrbuch der Botanik*; Gustav Fischer Verlag; 1.078 S.

Impressum

Herausgeber

Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Stadttor 1
40219 Düsseldorf

Fachredaktion

Ministerium für Landwirtschaft 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

Dr. Christin Carl

Norbert Geisthoff

Lutz Jaschke

Andre Liefertz

Dr. Berthold Mertens

Dr. Mathias Niesar

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen:

Dr. Nadine Eickenscheidt

Fotonachweis

MLVNRW/Mrosek: S. 1, 76; Stefan Befeld: S. 4 Mitte, 58, 59; Nadine Eickenscheidt: S. 4 alle (außer oben links, unten Mitte), 30, 33, 34, 36, 38, 41, 42, 43, 48, 50, 51, 52, 53, 68; Norbert Geisthoff: S. 4 unten Mitte, 54, 56, 60, 65; Märkischer Kreis: S. 67 links oben (2); MLVNRW/Sondermann: S. 3; Sachgebiet 42 Großrauminventuren des Landesbetriebes Wald und Holz NRW: S. 4 oben links, 10, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 26, 28; Norbert Tennhoff: S. 67 rechts; Marcus Teuber: S. 66, S. 67 links unten (2); Zentrum für Wald- und Holzwirtschaft (FB V), Team Wald- und Klimaschutz: 64

Abbildungsnachweis

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

Gestaltung

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

Stand

November 2022

Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Stadttor 1
40219 Düsseldorf

Telefon: 0211-38 43-0
Telefax: 0211-38 43-93 91 10
E-Mail: poststelle@mlv.nrw.de
www.mlv.nrw.de

