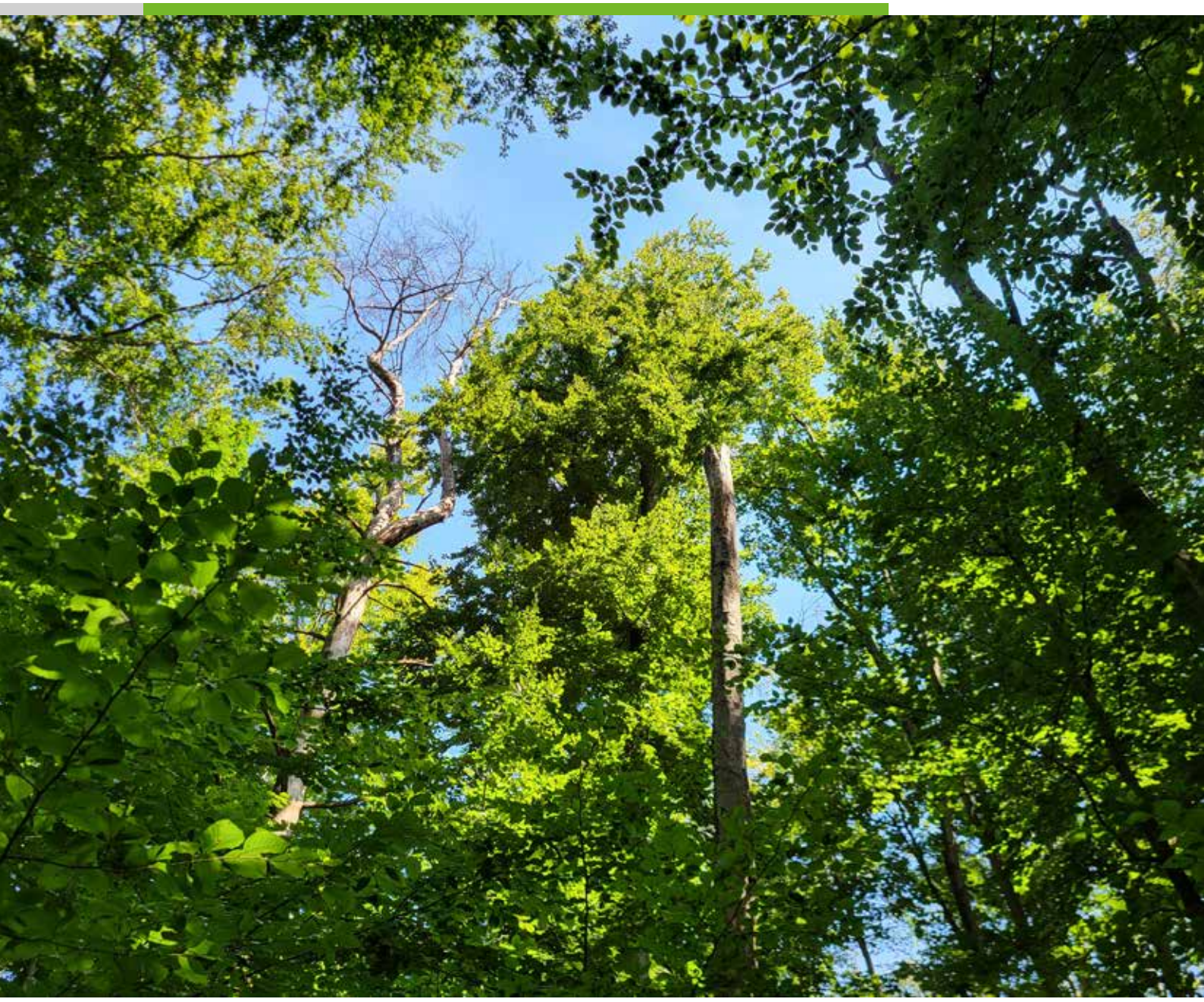
RheinlandPfalz
MINISTERIUM FÜR
KLIMASCHUTZ, UMWELT,
ENERGIE UND MOBILITÄT

WALDZUSTANDS-BERICHT 2024



Landesforsten
Rheinland-Pfalz

Impressum

Herausgeber
Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität
Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz
Telefon: 06131 16-0
www.mkuem.rlp.de
www.wald.rlp.de

Mainz, Dezember 2024

Durchführung, Auswertung und Gestaltung
Zentralstelle der Forstverwaltung
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt
Telefon: 06131-884-268-0, Fax: 06131-884-268-300
zdf.fawf@wald-rlp.de
www.fawf.wald.rlp.de

nur als Download
https://fawf.wald.rlp.de/de/veroeffentlichungen/waldzustandsbericht/

Titelbild:
Der Blick nach oben, Tot und Leben nebeneinander (Foto: Frank Schmidt)

WALDZUSTANDS-BERICHT 2024

Vorwort 4

Waldzustand 2024 - Ein Überblick 6

Waldzustandserhebung (WZE) 8

Einflüsse auf den Waldzustand 30

- Entwicklung der Luftschadstoffbelastung 31
- Klimawandel und Witterungsverhältnisse 37
- Waldschutz 41

Bedeutung intakter Wälder für eine nachhaltige Grundwasserneubildung in Zeiten des Klimawandels 46

Der Waldboden - Boden des Jahres 2024, seit Jahren versauert 60

Anhänge

- Entwicklung der Waldschäden 64
- Probebaumkollektiv 2024 70
- Regionale Abweichung vom Monatsniederschlag in Prozent (Januar bis Dezember) 71
- Abkommen und gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung 74

VORWORT



Der Waldzustandsbericht 2024 zeigt für den rheinland-pfälzischen Wald 2024 im Vergleich zum Vorjahr ein weiter angestiegenes Schadniveau. Von einer „Entspannung" der Situation kann keine Rede sein. In der forstlichen Vegetationszeit (Mai bis September) gab es zwar ausreichend Niederschläge, doch war es weiterhin zu warm. Die Belastungen aus den Vorjahren verbunden mit einem Spätfrostereignis, höherem Befall durch Blattpilze und der chronischen Belastung durch Luftschadstoffe setzen den Wald weiter unter Stress.

Der Anteil deutlich geschädigter Waldbäume ist um acht Prozentpunkte höher als im Vorjahr. Der Anteil starker Kronenschäden, abgestorbener Probebäume und infolge biotischer Schäden vorzeitig entnommener Probebäume ist nach wie vor überdurchschnittlich hoch.

Mit einer Erwärmung von bereits circa 1,7 Grad im Vergleich zum Zeitraum 1881-1910 ist Rheinland-Pfalz im bundesweiten Vergleich besonders stark vom Klimawandel betroffen – Menschen und Natur spüren dessen Auswirkungen somit bereits heute deutlich. Das Jahr 2024 startete nach einem milden Winter mit einem sehr niederschlagsreichen und sehr warmen Frühling und sorgte so für einen deutlichen Vorsprung der Vegetation von zwei bis drei Wochen. Mitte April führte dann ein Spätfrostereignis zu Schäden insbesondere an den empfindlichen Laubbaumarten. Trockenperioden in den Wäldern blieben diesen Sommer aus.
Auch in diesem Jahr zeigt sich, dass gerade unsere wichtigste Baumart Buche weiterhin massiv unter den Folgen der Hitze und Dürre der Vorjahre leidet.



©MKUEM/Christof Mattes

Gegenüber dem Vorjahr ist der Anteil deutlich geschädigter Buchen um zwei Prozentpunkte höher, der Anteil derjenigen ohne sichtbare Schadmerkmale um zwei Prozentpunkte zurückgegangen. Die Bilder absterbender Buchen zeigen sich inzwischen in immer mehr Wäldern von Rheinland-Pfalz.

Bei der Eiche ist das Schadniveau an einem neuen Höhepunkt angekommen. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume ist gegenüber dem Vorjahr um zwanzig Prozentpunkte angestiegen. Die feuchtwarme Witterung führte zu einem starken Befall durch Mehltau.

Neben der schon mehrjährigen Borkenkäferkalamität bei der Fichte macht sich auch bei den anderen Baumarten ein zunehmender Befall durch rindenbrütende Käfer bemerkbar. Insbesondere der Eichenprachtkäfer bereitet große Sorgen. Bisher sind jedoch nur einzel-baumweise oder kleinflächige Ausfälle zu beobachten.

Die mehr als drei Jahrzehnte zurückreichenden Messreihen des Forstlichen Umweltmonitorings belegen die Erfolge der Luftreinhaltemaßnahmen, zeigen aber auch noch bestehende Defizite auf. Der Eintrag an Schwefel und Schwermetallen ist deutlich zurückgegangen. Die Stickstoffeinträge sind demgegenüber nur wenig reduziert und übersteigen die Schwellenwerte der Ökosystemverträglichkeit. Zudem liegt die Säurebelastung – ohne gezielte Gegenmaßnahmen, wie vor allem die Bodenschutzkalkung - noch über dem Pufferpotenzial vieler Waldstandorte. Auch bodennahes Ozon wirkt sich nach wie vor waldschädigend aus.

Der Waldboden ist Boden des Jahres 2024. Trotz Fortschritten im Bereich der Luftreinhaltung stellt die Säurebelastung weiterhin eine Gefährdung unserer Waldböden dar. Der Waldboden ist aber essentiell für die Grundwasserneubildung und den Wasserrückhalt. Aufgrund dieser herausragenden Bedeutung unserer Wälder für den Wasserhaushalt sind der Grundwasserneubildung und dem Waldboden im Waldzustandsbericht 2024 eigene Kapitel gewidmet.

Der Bericht bestärkt darin, sich weiterhin für einen engagierten Klimaschutz in Rheinland-Pfalz einzusetzen – auch insbesondere vor dem Hintergrund des notwendigen Ausbaus von Erneuerbaren Energien.

Zur Erarbeitung des Waldzustandsberichtes 2024 haben zahlreiche Fachleute mit umfangreichen Aufnahmen und Auswertungen in gründlicher und sorgfältiger Arbeit zusammengewirkt. Bei diesen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von Landesforsten Rheinland-Pfalz, insbesondere aber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft in Trippstadt, bedanke ich mich sehr herzlich.



Katrin Eder
Ministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz

WALDZUSTAND 2024
EIN ÜBERBLICK



Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen für den rheinland-pfälzischen Wald 2024 im Vergleich zum Vorjahr ein weiter angestiegenes Schadniveau. Der Anteil deutlich geschädigter Waldbäume ist um acht Prozentpunkte höher als im Vorjahr, der Anteil an Probebäumen ohne sichtbare Schadmerkmale ist um 2,5 Prozentpunkte zurückgegangen und die mittlere Kronenverlichtung um 2,0 Prozentpunkte angestiegen. Der Anteil starker Kronenschäden, abgestorbener Probebäume und infolge biotischer Schäden vorzeitig entnommener Probebäume ist nach wie vor überdurchschnittlich hoch.

Von den letzten sieben Jahren waren fünf durch ausgeprägte Trockenphasen in der Vegetationsperiode gekennzeichnet. Lediglich 2021 und 2024 brachten ausreichende und halbwegs regelmäßig verteilte Niederschläge. Aber alle sieben Jahre waren im Schnitt zu warm. Die frühe Dürrephase des Vorjahres behinderte vielerorts die Ausbildung von Knospen und die Einlagerung von Reservestoffen. Die Basis für den Austrieb 2024 war daher teilweise eingeschränkt. Ein Spätfrostereignis störte den Austrieb und zwang die betroffenen Bäume, Ersatztriebe zu bilden. Jedoch konnte durch die gute Bodenwasserversorgung nach ausreichenden Niederschlägen im Winter und Frühjahr der Austrieb ungehindert erfolgen. Die feucht-warme Witterung führte allerdings zu einem hohen Befallsdruck durch Blattpilze, besonders die Eichen litten unter Mehltaubefall.

Bei den Luftschadstoffen wurde in den letzten Jahren keine durchgreifende Verbesserung mehr erreicht. Die Säure- und Schadstoffbelastung übersteigt trotz der Reduktionserfolge bei Schwefeldioxid und Schwermetallen weiterhin das Pufferpotential vieler Waldstandorte. Die Stickstoffeinträge liegen weiter über dem Schwellenwert der Ökosystemverträglichkeit. Die Verträglichkeitsgrenzen von Ozon für Waldbäume werden an allen Messstandorten überschritten. All diese Belastungen durch Luftschadstoffe wirken für sich waldschädigend und führen zu einer höheren Empfindlichkeit und vermindertem Reaktionsvermögen der Waldbäume gegenüber weiteren Stressoren und Schädlingen.

Bei der Fichte schreitet die Borkenkäferkalamität fort. Die nach wie vor hohe Ausgangspopulation und Vorschädigungen führten zu weiterhin hohen Mengen an Kalamitätsholz. Der Witterungsverlauf bot genügend günstige Tage für das Schwärmen der Borkenkäfer. Der kühle Frühsommer bremste zwar die Entwicklung der Käfer, doch wurde in den niedrigeren Lagen eine dritte Käfergeneration angelegt. Auch bei den anderen Baumarten macht sich ein zunehmender Befall durch rindenbrütende Käfer bemerkbar. Insbesondere der Eichenprachtkäfer bereitet große Sorgen. Anders als bei der Fichte sind hier bisher jedoch nur einzelbaumweise oder kleinflächige Ausfälle zu beobachten.

Intakte Wälder haben eine fundamentale Bedeutung für die nachhaltige Neubildung des Grundwassers. Die Folgen des Klimawandels können kritisch für die Grundwasserneubildung sein. Eine Verlängerung der Vegetationsperiode und die zunehmende Austrocknung der Böden verkürzen die Phase der Wiederauffüllung der Grundwasserspeicher. Erhöhte Entnahmebedarfe in Trockenperioden steigern zusätzlich den Nutzungsdruck, sodass die Grundwasserstände seit Jahren fallen. Wälder wirken sich günstig auf die Grundwasserneubildung aus, sofern ihre Funktionen, Strukturen und Prozesse intakt sind. Waldschutz ist damit auch Grundwasserschutz.

Für 2024 wurde der Waldboden zum Boden des Jahres gewählt, damit soll auch der Blick auf die Gefährdungen für den Waldboden gelenkt werden. Die Säurebelastung aus Luftschadstoffeinträgen stellt weiterhin eine Gefährdung für unsere Waldböden dar. Durch die Bodenschutzkalkung kann zumindest ein Teil der negativen Auswirkungen der Versauerung kompensiert werden. Die Standortskartierung und wissenschaftlich begleitete Langzeit-Versuche sind elementare Voraussetzung für eine zielgerichtete Steuerung der Bodenschutzkalkung.

S. 6: Aufnahmepunkt 426 im Hunsrück mit absterbenden und zusammenbrechenden Laubbäumen; Foto: Thomas Wehner

WALDZUSTANDS-ERHEBUNG (WZE)



Die jährliche Waldzustandserhebung stützt sich auf den Kronenzustand als Indikator für die Vitalität der Waldbäume. Veränderungen des Kronenzustands sind eine Reaktion auf Belastungen durch natürliche und durch menschenverursachte Stresseinflüsse. Die Gewichtung der einzelnen Einflüsse im Schadkomplex variiert zwischen den einzelnen Baumarten und von Jahr zu Jahr.

Im Jahr 2024 hat sich der Kronenzustand über alle Baumarten verschlechtert, dies betrifft nahezu alle Baumarten gleichermaßen, der Anteil absterbender oder schon abgestorbener Bäume ist weiter sehr hoch.

Durchführung

Die Waldzustandserhebung (WZE) erfolgt seit 1984 auf einem systematischen, landesweiten Stichprobenraster. Die Stichprobe umfasst insgesamt 167 Aufnahmepunkte. An 15 Aufnahmepunkten war im Vorjahr kein für die Erhebung geeigneter Waldbestand vorhanden. Aus den nachwachsenden Waldbeständen konnten auch keine neuen Probebäume ausgewählt werden, um Aufnahmepunkte zu reaktivieren. Im Jahr 2024 konnte an einem weiteren Aufnahmepunkt die Erhebung nicht durchgeführt werden, da zusammenbrechende Altbäume in Kombination mit extrem steilem Gelände die Begehung und Bonitierung der Probebäume vor Ort zu risikoreich machten. An diesem Aufnahmepunkt sind die Probebäume zwar noch vorhanden, konnten aber nicht bewertet werden. Im Jahr 2024 wurden 3.624 Stichprobenbäume an 151 Aufnahmepunkten begutachtet, an 16 Aufnahmepunkten ruhte die Erhebung. Die Außenaufnahmen, einschließlich Abstimmungsübung und Kontrollaufnahmen erfolgten in der Zeit vom 08. bis 26. Juli.

Ausführliche Informationen zum Verfahren und insbesondere zur Definition der Schadstufen finden Sie auf den Webseiten der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft:
https://fawf.wald.rlp.de/de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben/forstliches-umweltmonitoring/waldzustandserhebung/

26 Aufnahmepunkte sind zugleich Teil des europaweiten Level I-Monitoringnetzes zum Waldzustand. Die an diesen Punkten erhobenen Daten gehen in die bundesdeutsche und europäische Waldzustandserhebung ein. Weitere Informationen finden Sie im Internet unter
https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldoekosysteme/arbeitsbereiche-neu/bodenschutz-und-waldzustand/waldzustandserhebung

Das Design und Verfahren der WZE sind so abgestimmt, dass die Stichprobe mit dem Anteil an Probebäumen bestimmter Eigenschaften dem repräsentativen Anteil an ideeller Waldfläche mit Bäumen der entsprechenden Eigenschaften entspricht. Es sind statistisch abgesicherte Aussagen zum Schadensstatus und zur Schadensentwicklung auf Landesebene für den Wald allgemein und die häufigsten Baumarten Fichte, Buche, Eiche und Kiefer möglich. Für die weniger häufigen Baumarten Douglasie, Lärche, Hainbuche und Esche erlaubt die WZE ebenfalls Aussagen, jedoch bei geringerer statistischer Sicherheit.

An allen 167 Punkten der WZE werden aktuell auch die Außenarbeiten der dritten Bodenzustandserhebung (BZE III) durchgeführt. Sie liefert aktuelle Daten zum Zustand und, da in Kontinuität der BZE I (1987 – 1992) und BZE II (2006 bis 2008), auch zur Entwicklung der Waldböden in den letzten 30 Jahren. Neben chemischen, physi-

S. 8: Abstimmungsbonitur des Personals der Waldzustandserhebung mit Teilnehmern aus Rheinland-Pfalz, dem Saarland und Luxemburg; so wird die Vergleichbarkeit der erhobenen Daten gesichert; Foto: Thomas Wehner

kalischen und morphologischen Parametern zum Waldboden selbst werden auch Daten zum Ernährungszustand der Bäume erhoben. Mit ebenfalls erhobenen Daten zur Bodenvegetation und Struktur der Waldbestände ergibt sich zusammen mit der jährlichen Waldzustandserhebung ein umfassendes Gesamtbild zum Zustand und der Entwicklung unserer Waldökosysteme.

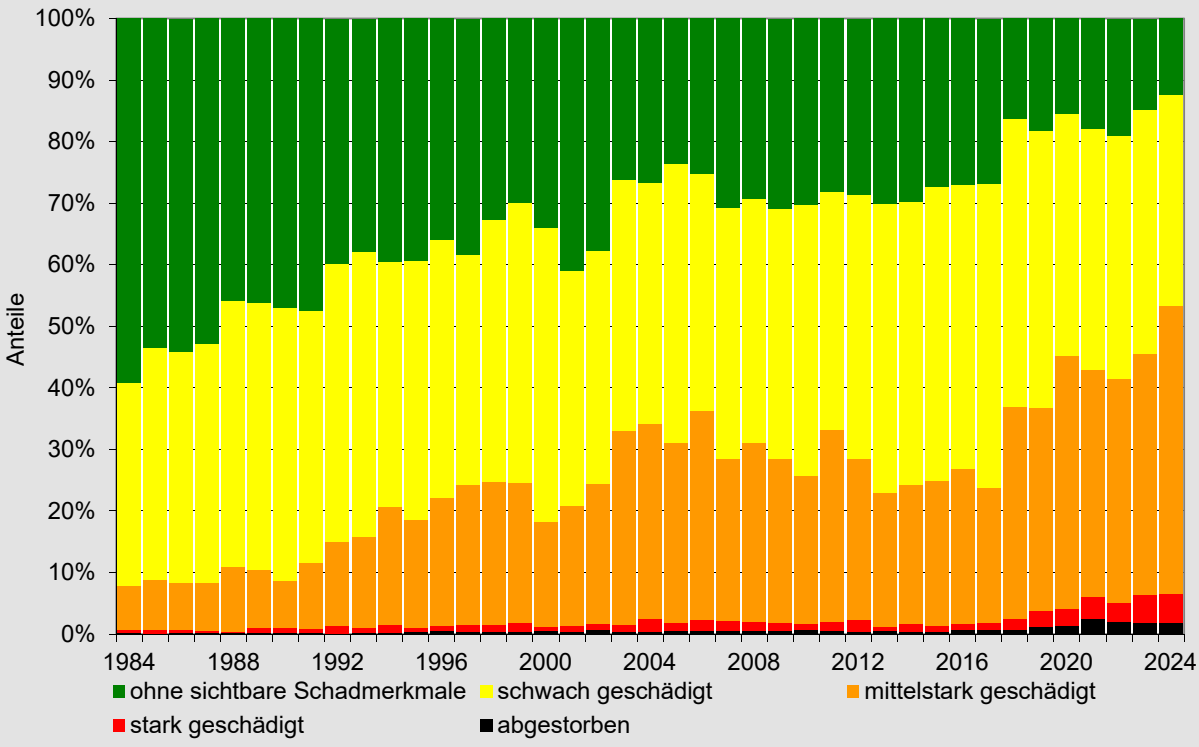
Analysen der Daten und eine Darstellung des Ursache-Wirkungsgeschehens sind auf den Webseiten der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft zu finden:
https://fawf.wald.rlp.de/de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben/forstliches-umweltmonitoring/waldzustandserhebung/

Waldzustand allgemein

Der Anteil deutlich geschädigter Waldbäume ist gegenüber dem Vorjahr um acht Prozentpunkte angestiegen, der Anteil an Probebäumen ohne sichtbare Schadmerkmale liegt um 2,5 Prozentpunkte niedriger. Die mittlere Kronenverlichtung ist um 2,0 Prozentpunkte höher. Der Anteil starker Kronenschäden, abgestorbener Probebäume und infolge biotischer Schäden vorzeitig entnommener Probebäume ist weiter überdurchschnittlich hoch. Das Schadniveau über alle Waldflächen von Rheinland-Pfalz, über alle Baumarten und Altersstufen hinweg hält damit weiter das sehr hohe Niveau der Vorjahre.

Die früh einsetzende Dürre des Vorjahres beschränkte das Wachstum der Waldbäume und führte auf besonders betroffenen Standorten zu kürzeren Trieben und eingeschränkter Knospenbildung. Auch der Herbst war noch deutlich zu warm, dafür aber niederschlagsreich. Der Winter 2023/24 war extrem mild und niederschlagsreich, aber Schnee blieb Mangelware. Doch wurden so die Böden wieder gut durchfeuchtet und die Grundwasservorräte konnten sich auffüllen.

Entwicklung der Schadstufenverteilung über alle Baumarten



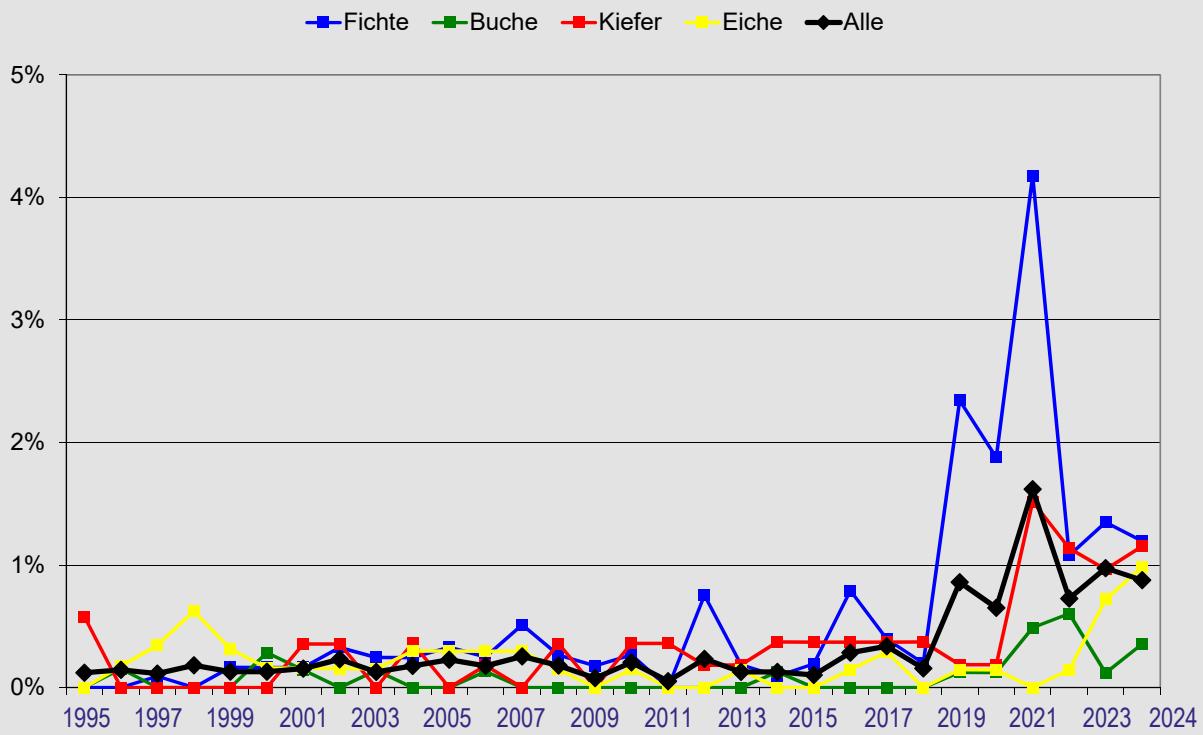
Der Frühling 2024 war wärmer als die Referenzperiode 1961-1990. Milde Temperaturen schon im Februar sorgten für einen frühen Vegetationsbeginn. Der Austrieb der Waldbäume konnte recht ungehindert erfolgen, doch konnten die Waldbäume dabei nur auf die im Vorjahr angelegten Knospen und Reservestoffe zurückgreifen. Auf den besonders von der Trockenheit betroffenen Waldstandorten blieb die Entwicklung der Laub- bzw. Nadelmasse entsprechend verhalten. Darüber hinaus kam es Mitte April zu Spätfrostereignissen, die, je nach den kleinstandörtlichen Gegebenheiten, zu lokal unterschiedlich stark ausgeprägten Schäden führten. Da die Bäume auch individuell in unterschiedlich empfindlichen Austriebsstadien waren, sind die Schäden auch von Baum zu Baum recht unterschiedlich ausgeprägt. Die betroffenen Bäume mussten Ersatztriebe bilden, was eine zusätzliche Belastung bedeutete. Mitte Mai führten im Saarland und in Rheinland-Pfalz hohe Niederschläge zu Sturzfluten und Überschwemmungen. Der Sommer startete etwas zu kühl und brachte genügend Niederschläge. Ende Juni kam es zu den ersten Hitzetagen und Tropennächten und auch zu Gewittern mit Starkregenereignissen und Schäden durch Sturmböen oder Hagelschlag.

Für die neu angelegten Kronendauerbeobachtungsflächen in den klimasensiblen Gebieten des Oberrheingrabens und des Donnersbergs liegen nun die ersten Wiederholungserhebungen vor. Die beiden Eichen-Flächen im Gebiet des Donnersbergs verzeichneten einen tendenziellen Anstieg der Kronenverlichtung im Vergleich zum Vorjahr. Für die beiden Kiefernflächen und die Robinienfläche im Oberrheingraben wurden keine wesentlichen Veränderungen in der Kronenverlichtung festgestellt.

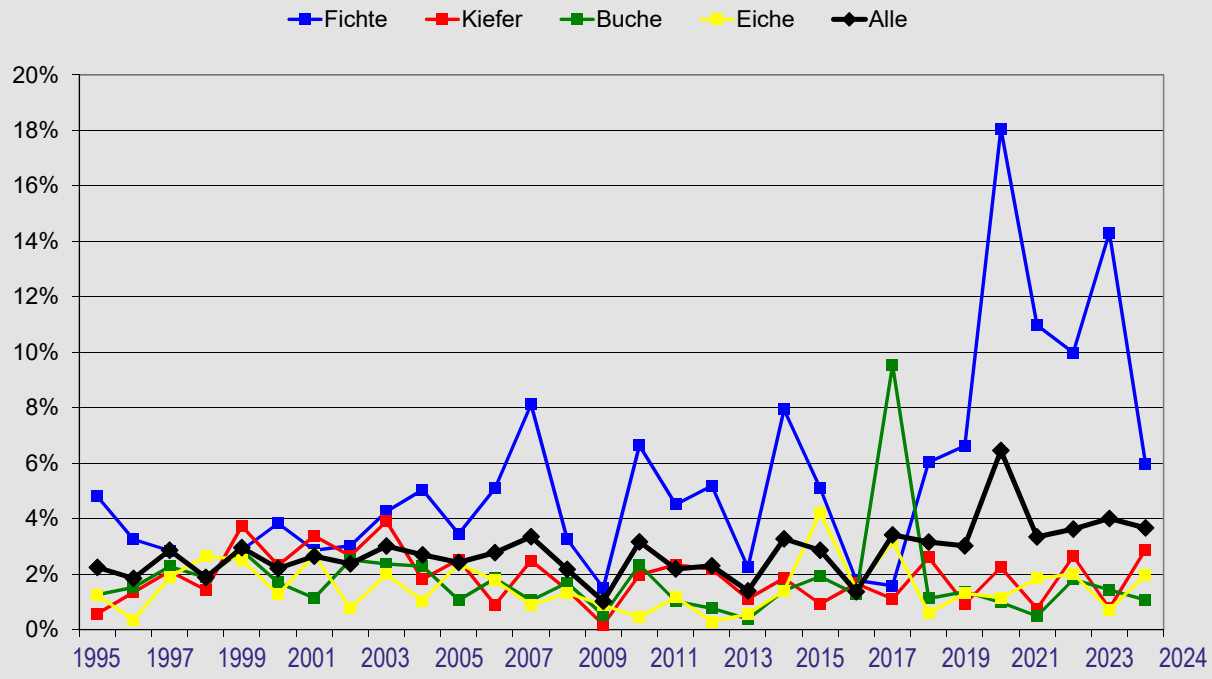
Absterberate und Ausscheiderate

Die Absterberate ist der Anteil an Probebäumen, die im Jahr der Erhebung tot (100 % Nadel-/Blattverlust) angetroffen wurden, nachdem sie im Vorjahr noch gelebt hatten. Im bewirtschafteten Wald ist eine natürliche oder durch Schädigungen bedingte Absterberate jedoch nicht in allen Fällen zuverlässig abzuleiten. Da die Mehrzahl der betreffenden Probebäume planmäßig oder außerplanmäßig zur Holznutzung entnommen wird, ist nicht zu erkennen, ob sie ohne den menschlichen Eingriff tatsächlich abgestorben wäre oder überlebt hätte.
Bei Betrachtung der Zeitreihe ab 1995 zeigen sich nur einzelne Jahre mit höheren Werten, ansonsten Werte nahe der Null-Linie. Die Absterberate war bis 2018 unauffällig und unbedeutend. Ab dem Jahr 2019 ändert sich das Bild. Die extremen Borkenkäferschäden bei der Fichte führen zu wesentlich höheren Werten. Ab dem Jahr 2021 ist dann auch die Absterberate bei Kiefer und Buche und ab 2023 bei Eiche auffällig erhöht.
Die Ausscheiderate ist der Anteil an Probebäumen, die zwischen zwei Erhebungsterminen aus dem Stichprobenkollektiv ausgeschieden sind. Sie wird im Wirtschaftswald vor allem durch die Intensität der Nutzung beeinflusst und ist damit für sich allein gesehen kein Indikator für die Vitalität einer Baumart. Seit 1993 wird, soweit erkennbar, auch die Ursache des Ausscheidens eines jeden Probebaumes festgehalten. Damit ist es möglich, ein Ausscheiden infolge geplanter, regulärer Ernteeingriffe von einem ungeplanten, vorzeitigen Verlust infolge eines biotischen oder abiotischen Schadereignisses zu trennen. Die Ausscheiderate zusammen mit der Ursache des Ausscheidens gibt also einen Hinweis auf das Risiko, ob und warum eine Baumart vorzeitig aus dem Waldbild verschwindet. Die Ausscheiderate zeigte im Verlauf der Zeitreihe schon immer stärkere Sprünge, da sie wesentlich von Ereignissen an einzelnen Aufnahmepunkten beeinflusst wird. In den letzten Jahren ist sie merklich erhöht. Über die Zeitreihe hinweg ist aber klar erkennbar, dass die Ausscheiderate der Fichte fast durchgängig überdurchschnittlich hoch ist. Auch sind bei Fichte fast durchgängig jedes Jahr zu einem hohen Anteil Schadereignisse dafür verantwortlich, sodass sie vorzeitig entnommen werden musste. Bei Buche, Eiche und Kiefer ist dies nur ausnahmsweise in einzelnen Jahren der Fall, hier dominiert bisher die planmäßige reguläre Holzernte.

Jährliche Absterberaten im Kollektiv der Waldzustandserhebung von 1995 bis 2024



Jährliche Ausscheiderate im Kollektiv der Waldzustandserhebung von 1995 bis 2024



Der Anteil an Aufnahmepunkten ohne geeignete Waldbestockung ist mit 9,0 Prozent so hoch wie zuletzt nach den Sturmwürfen des Jahres 1990. In den letzten fünf Jahren ab 2019 mussten an 11 Aufnahmepunkten die Fichten-Probebäume vorzeitig infolge Borkenkäferschäden entnommen werden. An diesen Aufnahmepunkten konnten keine 24 Probebäume mehr neu ausgewählt werden, da weder genügend Mischbaumarten, noch eine gesicherte Vorausverjüngung vorhanden ist. An diesen Punkten kann derzeit keine Erhebung erfolgen.

Fichte

Das Niveau der Kronenschäden ist bei Fichte weiter angestiegen. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume liegt um neun Prozentpunkte über dem Vorjahreswert. Der Anteil stark geschädigter oder abgestorbener Probebäume ist weiterhin hoch. Der Anteil schwach geschädigter Probebäume ging um sechs, der Anteil der Probebäume ohne sichtbare Schäden um zwei Prozentpunkte zurück. Die mittlere Kronenverlichtung stieg um 3,8 Prozentpunkte an. Frisch abgestorben waren acht Probebäume, weitere acht waren schon im Vorjahr tot. Von 2023 auf 2024 sind 40 Probebäume ausgeschieden. Mit 6,0 Prozent ist die Ausscheiderate das sechste Jahr in Folge überdurchschnittlich hoch. In etwa der Hälfte der Fälle ist die vorzeitige Entnahme nach Borkenkäferbefall ursächlich. Für neun noch lebende Probebäume wurde ein Borkenkäferbefall festgestellt, für diese Probebäume wird der Kronenzustand am Tag der Erhebung festgehalten, auch wenn offensichtlich ist, dass sie noch im Verlauf des Berichtsjahres absterben werden. Seit 2017 ist die Anzahl der Fichten im Probebaumkollektiv um rund ein Drittel zurückgegangen. Ursächlich waren 2018 zunächst vor allem Sturmwürfe und in den folgenden Jahren Schäden durch Borkenkäfer.

Die letzten drei verbliebenen Intensivuntersuchungsflächen für Fichte entwickelten sich uneinheitlich. Eine Fläche zeigte einen tendenziellen Anstieg der Kronenverlichtung, eine einen tendenziellen Rückgang und die dritte keine Veränderung.

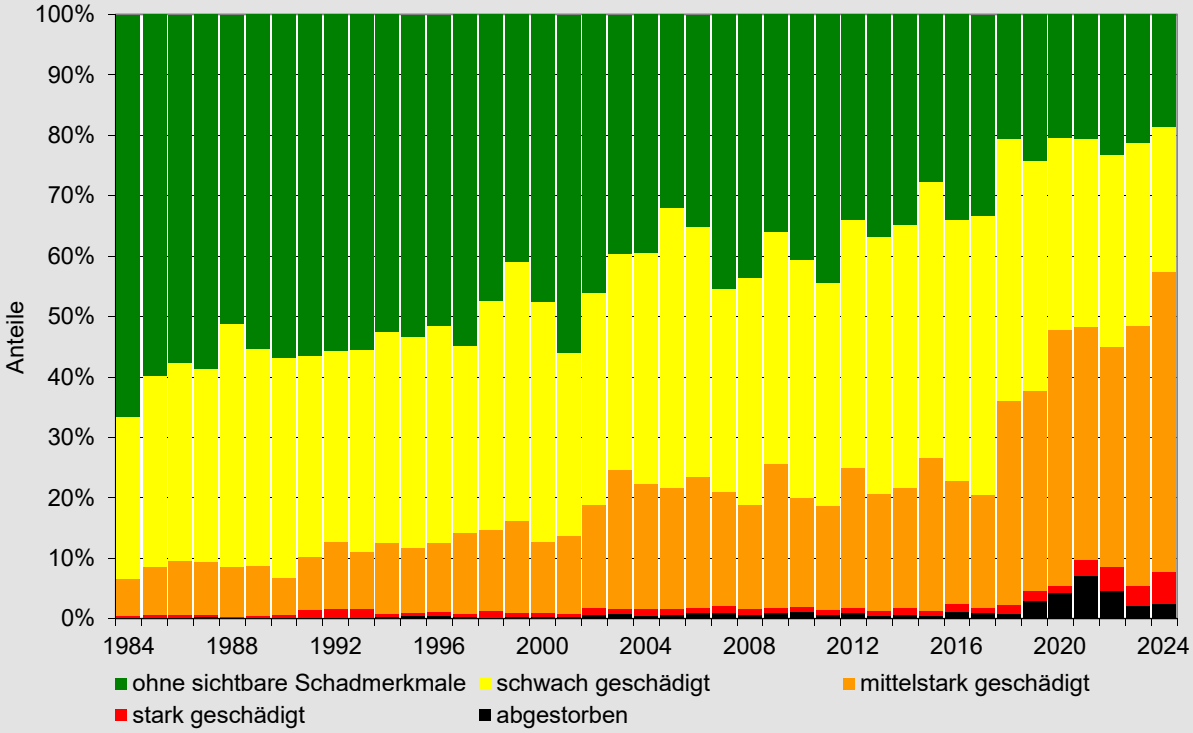
Die baumartenspezifische graphische Darstellung zur Ursache des Ausscheidens finden Sie auf der Homepage der FAWF: https://fawf.wald.rlp.de/de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben/forstliches-umweltmonitoring/waldzustandserhebung/befunde-neueste-ergebnisse-einflussfaktoren-und-bewertung-der-schadentwicklung-ab-1984/hauptbaumarten-fichte-buche-eiche-kiefer/

Die Fichte blüht und fruktifiziert in den letzten Jahren synchron in einem zweijährigen Rhythmus. 2024 war wieder reicher Behang mit sich frisch entwickelnden Zapfen zu beobachten. Starke Fruchtbildung verändert das Erscheinungsbild des Baumes und bedeutet eine zusätzliche physiologische Belastung für die Bäume. Es darf davon ausgegangen werden, dass stärkere Zapfenbildung bei der Fichte mit einer Veränderung der Verzweigungsstruktur, weniger einjährigen Trieben und damit auch geringerer Benadelung einhergeht. Ein signifikanter Einfluss der Fruktifikation auf die Entwicklung der Kronenverlichtung der Fichte ist aus den Daten aber nicht abzuleiten.

Insekten, die unmittelbar die Nadeln befallen, wurden 2024 nicht beobachtet. An einzelnen Fichten waren braune, auf Befall durch Nadel-Pilze hindeutende Verfärbungen zu erkennen. Echte Gelbfärbungen der Nadeln waren 2024 nur an wenigen Fichten festgestellt worden. Nadelvergilbungen waren bis in die 1980er Jahre besonders in den Höhenlagen der Mittelgebirge ein weitverbreitetes Phänomen bei Fichten. Seit Mitte der 1990er Jahre ist die Vergilbung jedoch stark zurückgegangen. Als eine wesentliche Ursache für den Rückgang der Vergilbung kann die verbesserte Magnesiumversorgung durch Bodenschutzkalkung auf stark versauerten Standorten angenommen werden.

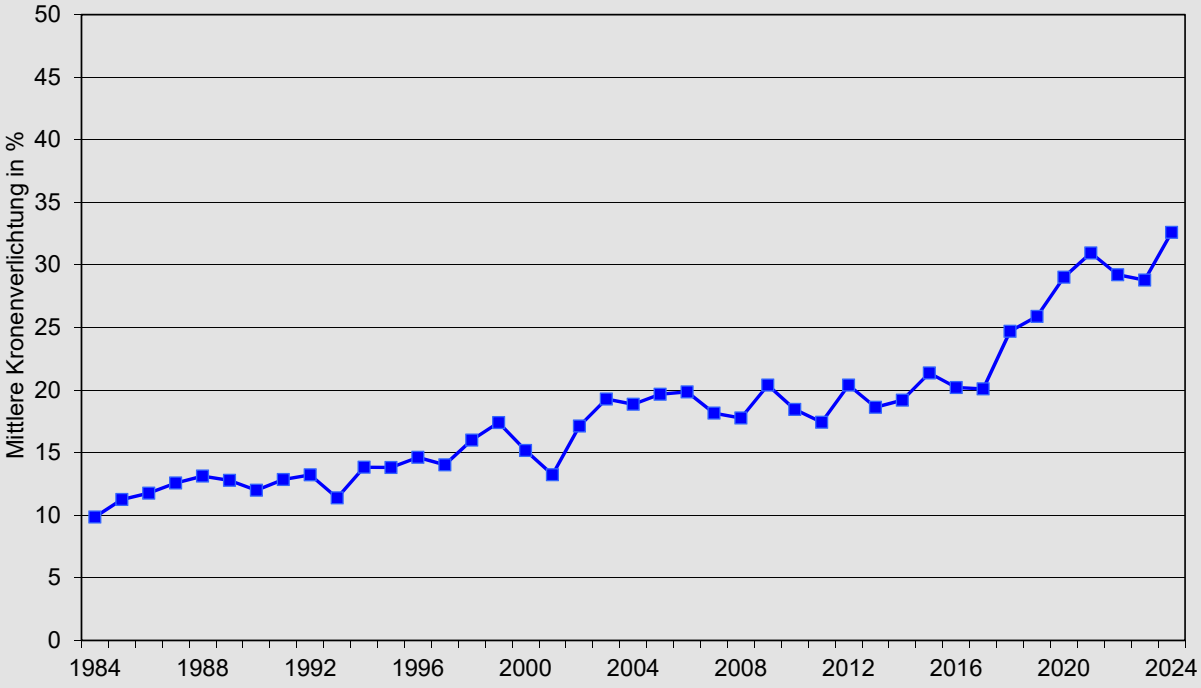
Fichte

Entwicklung der Schadstufenverteilung



Fichte

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung



Buche

Gegenüber dem Vorjahr ist das Schadniveau der Buche leicht angestiegen. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume ist um zwei Prozentpunkte höher, der Anteil derjenigen ohne sichtbare Schadmerkmale ist um zwei Prozentpunkte zurückgegangen. Die mittlere Kronenverlichtung stieg um 0,5 Prozentpunkte an. Der Anteil starker Schäden (Schadstufe 3) ist mit jetzt 3,5 Prozent um 0,5 Prozentpunkte niedriger als im Vorjahr. Im Aufnahmekollektiv der Waldzustandserhebung waren drei Probebäume frisch abgestorben, was im Verlauf der Zeitreihe betrachtet ein vergleichsweise hoher Wert ist. Zum Jahr 2024 sind neun Probebäume aus dem Stichprobenkollektiv ausgeschieden, davon drei schon abgestorbene oder stark geschädigte infolge des Ausbruchs der Äste in der oberen Lichtkrone. Der Anteil ausgeschiedener Probebäume liegt mit 1,1 Prozent etwas unter dem langjährigen Mittel. Darunter sind auch vier Probebäume, die noch stehend vorhanden sind, aber 2024 nicht bewertet werden konnten.

Auf den Intensivuntersuchungsflächen für Buche ist die Kronenverlichtung im Vergleich zum Vorjahr weitestgehend unverändert oder leicht angestiegen, am merklichsten war der Anstieg der Kronenverlichtung auf den Flächen im Westerwald.

Im Jahr 2024 wurde bei 31 Prozent der Probebäume, und damit vergleichsweise häufig, Dürrreisig beobachtet. Der Anteil an Buchen, an denen Dürrreisig in größerem Ausmaß (mehr als fünf Prozent Anteil) beobachtet wurde und auch die Stärke der abgestorbenen Äste ist ab 2021 merklich höher als in den Jahren davor. Dürres Feinreisig und abgestorbene Äste im Lichtkronenbereich werden seit Beginn der Erhebung 1984 bei der Bewertung der Kronenverlichtung berücksichtigt und gehen anteilmäßig in die Beurteilung des Blattverlustes mit ein. Der Anteil variiert in der Zeitreihe recht stark und zeigt keinen gerichteten Trend. Da bei der Buche das dürre Reisig in der Regel im Laufe eines Jahres herausbricht, ist das beobachtete dürre Feinreisig überwiegend seit der letzten Erhebung neu dazugekommen. Etliche Bäume trieben nur in den Bereichen der Unterkrone oder im Kroneninneren aus und wiesen in der Kronenperipherie hohe Anteile abgestorbener Zweige, Äste oder ganzer Kronenpartien auf. Unter günstigen Bedingungen können solche Buchen aus dem Kroneninneren und der Unterkrone heraus neue Triebe bilden und ihre Belaubung regenerieren; brechen die toten Äste dann heraus, so erscheinen die Bäume wieder mit einer relativ vitalen Belaubung, obgleich die ursprüngliche Baumhöhe und das Kronenvolumen geringer wurden.

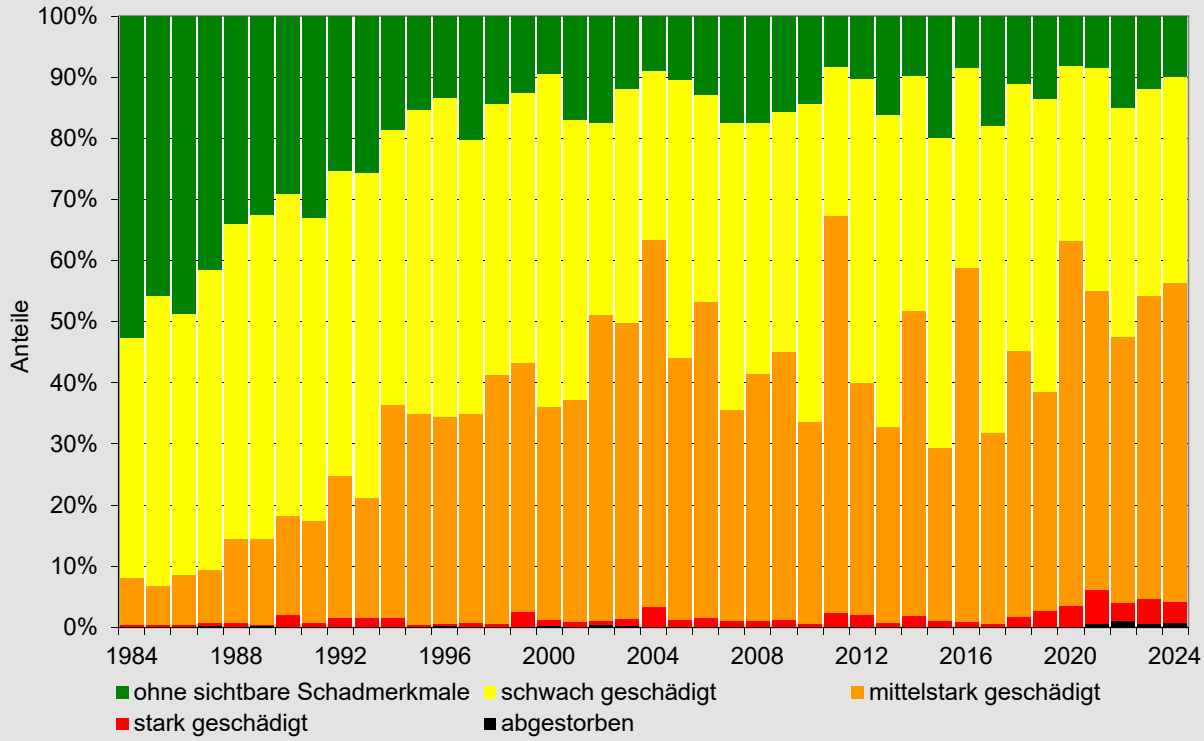
Im letzten Jahrzehnt bildeten die Buchen nahezu jedes zweite Jahr Bucheckern. 2024 trugen schon wieder 52 Prozent aller Probebäume Bucheckern. Im Vorjahr war der Fruchtbehang etwas höher (66 Prozent). 2024 zeigt sich wieder, wie die Intensität des Fruchtbehanges die Entwicklung der Kronenverlichtung bei Buche beeinflusst. Die nicht fruktifizierenden Buchen-Probebäume zeigten eine geringfügige Verbesserung in ihrem Kronenzustand. Bei den schwach fruktifizierenden Buchen ist keine Veränderung erkennbar. Die stärker fruktifizierenden Buchen verschlechterten sich merklich.

Schäden durch blattfressende Insekten, insbesondere ein Loch- und Minierfraß durch den Buchenspringrüssler (*Rhynchaenus fagi*), trat an rund 47 Prozent der Probebäume und damit häufiger als im Vorjahr (30 Prozent), auf. Meist handelt es sich jedoch um leichten Fraß (bis zu fünf Prozent der Blattmasse betroffen), der Einfluss des Insektenfraßes auf den Kronenzustand wird nur bei den wenigen (5,7 Prozent) stärker betroffenen Buchen erkennbar.

Ein Befall durch Blattpilze, wie der Blattbräune (*Apiognomonia errabunda*), wurde zwar vereinzelt (an drei Probebäumen) beobachtet, jedoch meist nur im Bereich der Schattenkrone. Damit blieb die Blattbräune ohne Einfluss auf den bewerteten Kronenzustand. Vergilbungen wurden insgesamt

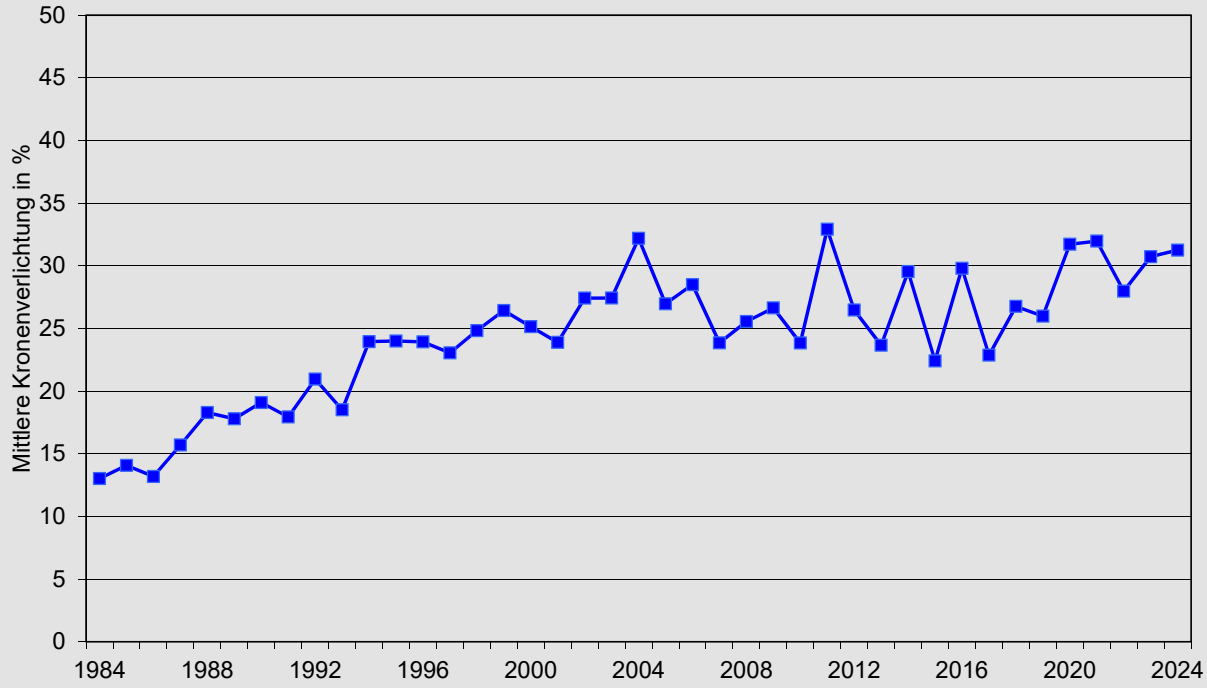
Buche

Entwicklung der Schadstufenverteilung



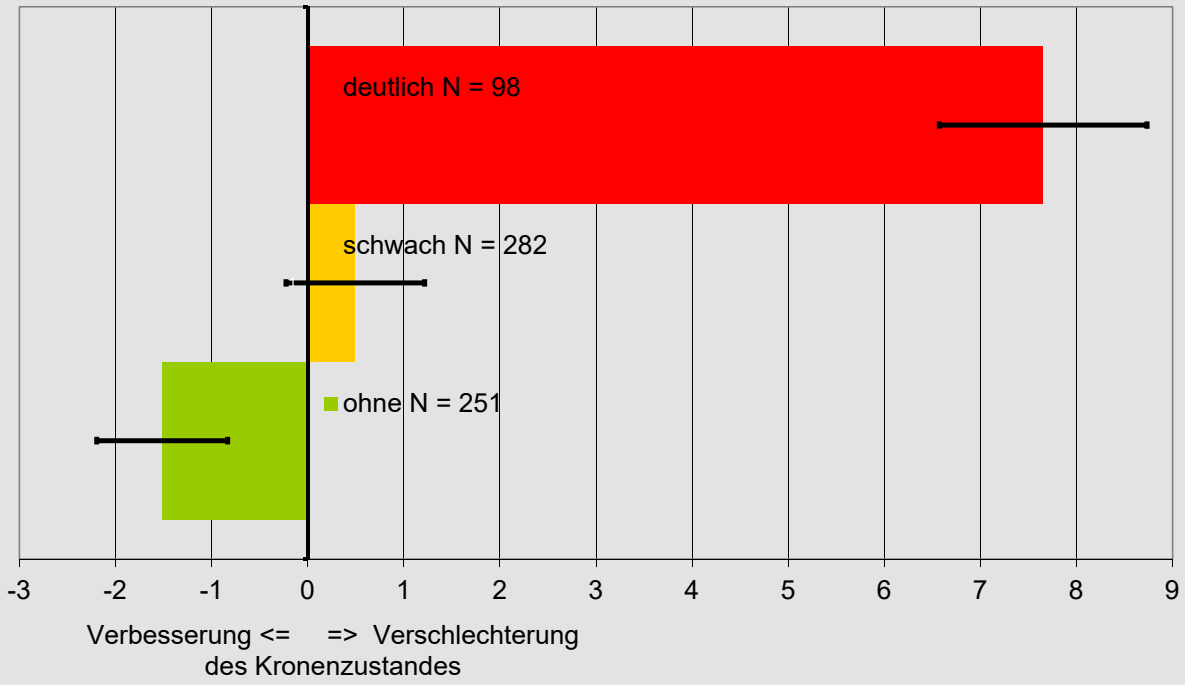
Buche

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung



Buche

Veränderung der mittleren Kronenverlichtung der über 60-jährigen Buchen in Prozentpunkten von 2023 auf 2024 bei unterschiedlicher Intensität des Fruchtbehanges



an 13 Probebäumen, davon an sieben in nennenswertem Umfang, notiert.

So darf davon ausgegangen werden, dass Fruchtbehang und Insektenfraß die zaghaften Regenerationsversuche der Buchen in der Belaubung zunichtemachten. Inwieweit auch Spätfrostschäden von Bedeutung waren, ist aus den Daten der WZE nicht erkennbar, da mögliche Spätfrostschäden an Buche zum Zeitpunkt der WZE nicht mehr sichtbar waren.

Eiche

Der Kronenzustand der Eichen hat sich verschlechtert. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume ist gegenüber dem Vorjahr um 20 Prozentpunkte, die mittlere Kronenverlichtung um 4,6 Prozentpunkte angestiegen. Das Schadniveau der Eiche ist damit an einem neuen Höhepunkt angekommen. Stark geschädigt oder abgestorben sind 8,9 Prozent der Probebäume, frisch abgestorben waren sieben Probebäume. Auch diese Werte übersteigen die des Vorjahres und sind in der Zeitreihe bisher nicht in solcher Höhe beobachtet worden. Die Ausscheiderate liegt mit zwei Prozent etwas über dem langjährigen Schnitt der Zeitreihe. Gut ein Drittel der Eichen-Probebäume wies abgestorbenes Feinreisig oder Astpartien bis hin zum Absterben der gesamten Oberkrone auf. Unter günstigen Umständen kann die Eiche aber trotz solcher Schäden mit Ersatztrieben im unteren Kronenbereich oder am Stamm überleben und langfristig sogar ihre Krone wieder neu ausbilden. Häufig führt aber der Befall durch rindenbrütende Käfer, meist des Zweipunktigen Eichenprachtkäfers (*Agrilus biguttatus*), zum Absterben solch stark geschädigter Eichen. 2024 wurde an sieben Probebäumen Insektenbefall im Stammbereich festgestellt.

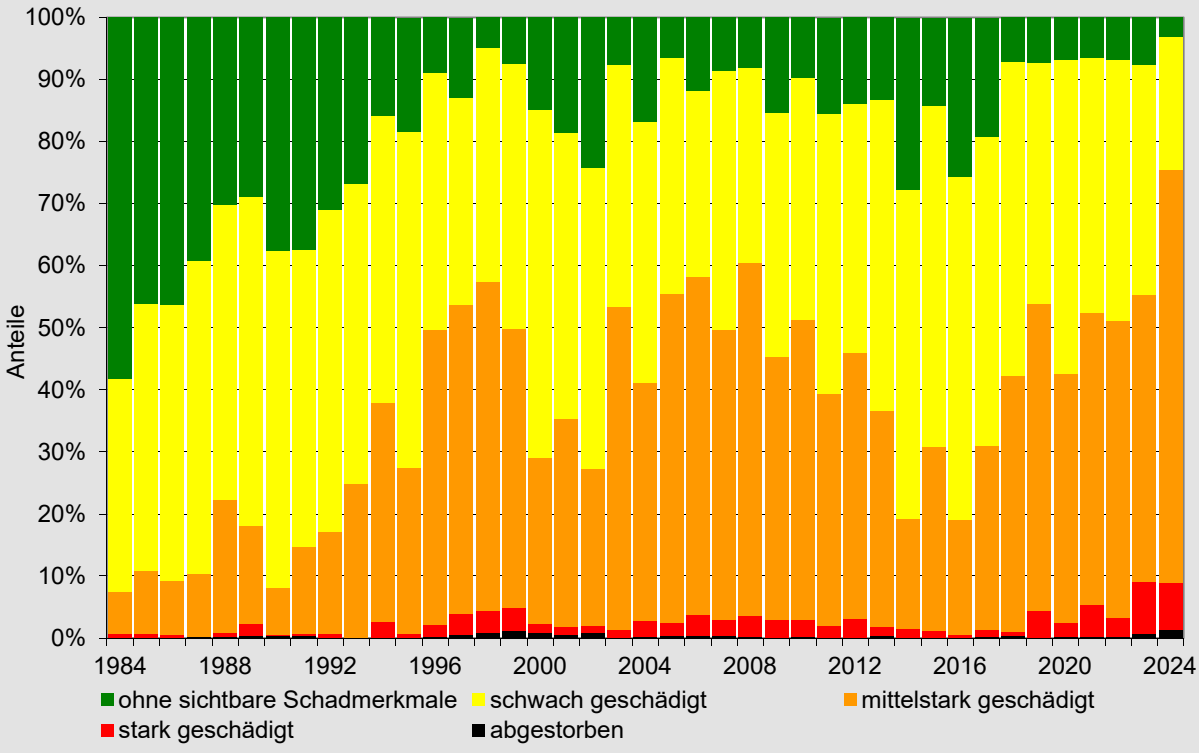
Die Eichen auf den Intensivuntersuchungsflächen zeigen ebenfalls einen Schadanstieg, verbunden mit starkem Mehltaubefall, der auf allen Flächen festgestellt werden musste. Lediglich die zwei Flächen im Bienwald konnten ihr Schadniveau halten.

Die Eichen erleiden regelmäßig mehr oder minder starke Schäden durch blattfressende Insekten. Häufig wird der Wiederaustrieb durch den neobiotischen Eichenmehltau (*Microsphaera alphitoides*) befallen. Insektenfraß aber auch Mehltaubefall haben sich als bedeutsame Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Kronenzustandes bei der Eiche erwiesen. Im Jahr 2024 wurden an 51 Prozent der Probebäume Fraßschäden beobachtet, die Fraßintensität war überwiegend gering. Damit ist der Anteil gegenüber dem Vorjahr (53 Prozent) nahezu gleich geblieben. Der Mehltaupilz ist allgegenwärtig und befällt regelmäßig die Eiche, besonders betroffen sind meist die Sommertriebe. Das Ausmaß und die Intensität des Befalls sind jedoch sehr unterschiedlich und nicht immer zuverlässig zu erkennen, sodass der Befall wahrscheinlich unterschätzt wird. Zum Zeitpunkt der Erhebung 2024 war Mehltau an 93 Probebäumen (13 Prozent) und damit merklich häufiger und in höherer Intensität als im Vorjahr (2,8 Prozent), festzustellen. Die Schäden durch blattfressende Insekten und der Befall durch Blattpilze haben 2024 als Stressfaktoren zu dem Anstieg des Schadniveaus beigetragen, sind aber nicht allein ursächlich.

Der Eichen-Prozessionsspinner ist 2024 an insgesamt drei Aufnahmepunkten festgestellt worden. Es traten aber nur unbedeutende Fraßschäden und die typischen Gespinstnester auf. Aus den Waldzustandserhebungen der vergangenen Jahre und den bei der Blattprobennahme für die Wald-Ernährungserhebung 2022 gemachten Beobachtungen darf jedoch davon ausgegangen werden, dass der Eichenprozessionsspinner an zahlreichen Waldorten mit Eichen vorkommt, bisher jedoch in so geringer Dichte, dass er bei einem normalen Waldbegang meist unbemerkt bleibt.

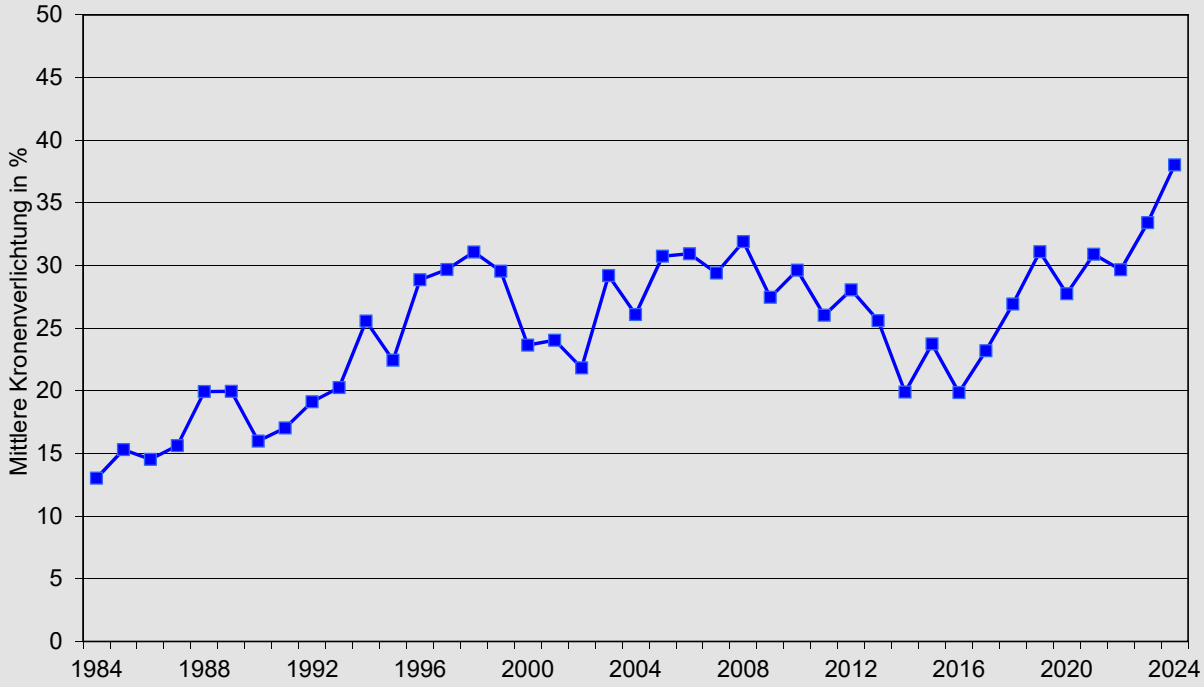
Eiche

Entwicklung der Schadstufenverteilung



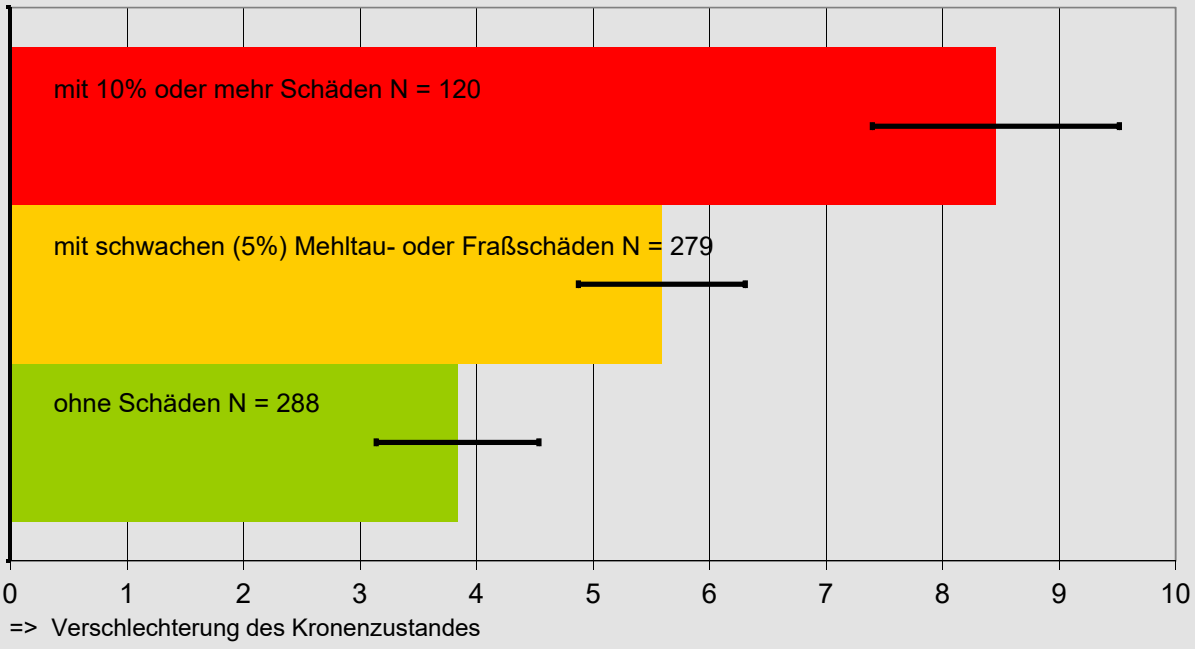
Eiche

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung



Eiche

Veränderung der mittleren Kronenverlichtung der Eichen in Prozentpunkten von 2023 auf 2024 mit bzw. ohne Schäden durch Insektenfraß oder Mehltau



2024 zeigt sich bei Eiche reichlich Fruchtbehang, die Eicheln sind zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung aber meist noch zu klein, um Ausmaß und Intensität des Fruchtbehangs sicher abschätzen zu können. Ein Einfluss auf die Entwicklung der Kronenverlichtung durch die Fruchtbildung konnte bisher auch in den wenigen Jahren mit gut erkennbarer Fruchtbildung nicht nachgewiesen werden.

An einigen Eichen werden ins Gelbliche gehende Verfärbungen der Blätter oder hellgrüne bis gelbe Partien zwischen den Blattrippen beobachtet. Die genaue Ursache hierfür ist nicht bekannt. Es könnte sich um Virenbefall, Pilzinfektionen oder Störungen der Nährstoffversorgung handeln. Stärkere Blattvergilbungen wurden 2024 an Probebäumen nicht beobachtet, unbedeutende Vergilbungen nur an vier Probebäumen.

2024 dürfte der Mehltaubefall einen Einfluss auf die Schadentwicklung bei Eiche ausgeübt haben. Auch Spätfrostschäden sind als Stressfaktor zu vermuten, zum Zeitpunkt der Erhebung waren sie zwar nicht mehr sichtbar, anhand der für die Waldernährungserhebung gewonnenen Zweigproben waren aber Spätfrostschäden eindeutig zu erkennen. Explizite Ursachen für den starken Anstieg des Schadniveaus und die merklichen Schwankungen des Schadniveaus in den Jahren zuvor sind allein aus den Daten der Waldzustandserhebung nicht erkennbar oder abzuleiten.

Kiefer

Bei der Kiefer hat sich der Kronenzustand gegenüber dem Vorjahr verschlechtert. Der Anteil an Probebäumen mit deutlichen Schäden ist um sieben Prozentpunkte, die mittlere Kronenverlichtung um 2,3 Prozentpunkte angestiegen. Das Schadniveau liegt damit am oberen Rand der Streuung der Zeitreihe. Stark geschädigt oder abgestorben sind 3,6 Prozent der Probebäume, was etwas unterhalb des Vorjahreswertes bleibt. Im Kollektiv der Waldzustandserhebung waren sechs Probebäume frisch abgestorben (Absterberate 1,1 Prozent), was nun das vierte Jahr in Folge ein überdurchschnittlich hoher Wert innerhalb der Zeitreihe ist. Auch der Anteil der ausgeschiedenen Probebäume liegt mit 2,9 Prozent über dem langjährigen Durchschnittswert.

Auf den Intensivuntersuchungsflächen für Kiefer hat sich die Kronenverlichtung gegenüber dem Vorjahr kaum verändert, ein Anstieg war lediglich auf einer Fläche im Pfälzerwald festgestellt worden.

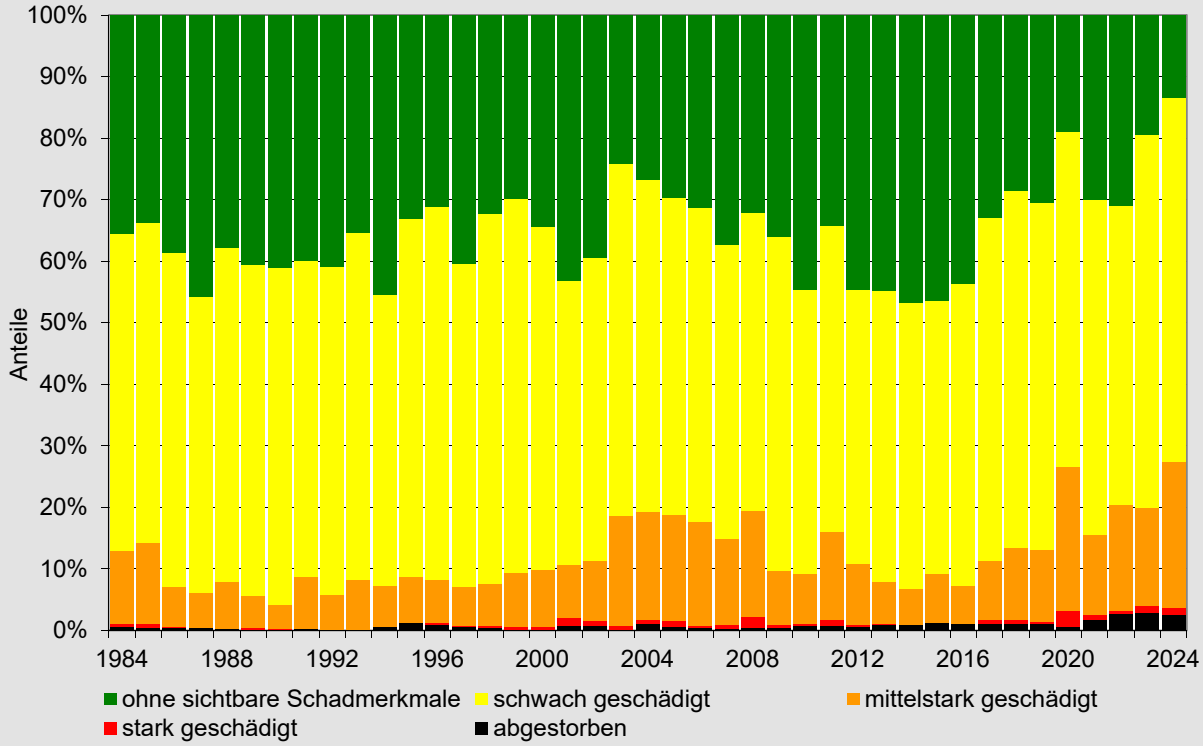
Für drei Probebäume wurden Vergilbungserscheinungen notiert, jedoch nicht in nennenswertem Umfang (15 Prozent oder mehr der Nadelmasse). Braune Nadeln, die auf Pilzbefall, Trockenschäden oder vorzeitige Seneszenz hindeuten können, wurden nicht beobachtet. Mit nur drei Nadeljahrgängen reagiert die Kiefer in Rheinland-Pfalz vergleichsweise flexibel mit variabler Benadelungsdichte und kann Verluste aus dem Vorjahr, die sich auf den ältesten Nadeljahrgang beschränken, auch schnell wieder ausgleichen. Die Kiefern zeigen regelmäßig einen Zapfenbehang und haben im Jahr 2024 moderat getragen. Ein Zusammenhang zwischen der Intensität des Zapfenbehanges und der Entwicklung der Kronenverlichtung ist nicht erkennbar.

Bei 31 Prozent der Kiefern war Reifefraß durch den Großen oder Kleinen Waldgärtner (*Tomicus piniperda* oder *T. minor*) zu beobachten. Durch den Reifefraß dieser auf Kiefern spezialisierten Borkenkäfer sterben einjährige Triebe ab. Bei wiederholtem Befall kommt es dadurch zu Störungen in der Verzweigung, die dann zu einem schlechteren Kronenzustand führen. Befall mit Nadelpilzen, Kienzopf oder durch rindenbrütende Insekten wurde an den Probebäumen nicht festgestellt.

An 17 Prozent der Probebäume wurde Mistelbefall beobachtet. Extrem ist der Mistelbefall in der Rheinebene, wo rund zwei Drittel aller Kiefern-Probebäume betroffen sind. Im Pfälzerwald sind acht Prozent der Kiefern-Probebäume mit Kiefermisteln befallen. In allen übrigen Wuchsgebieten wurden Kiefernmisteln nicht festgestellt. Die

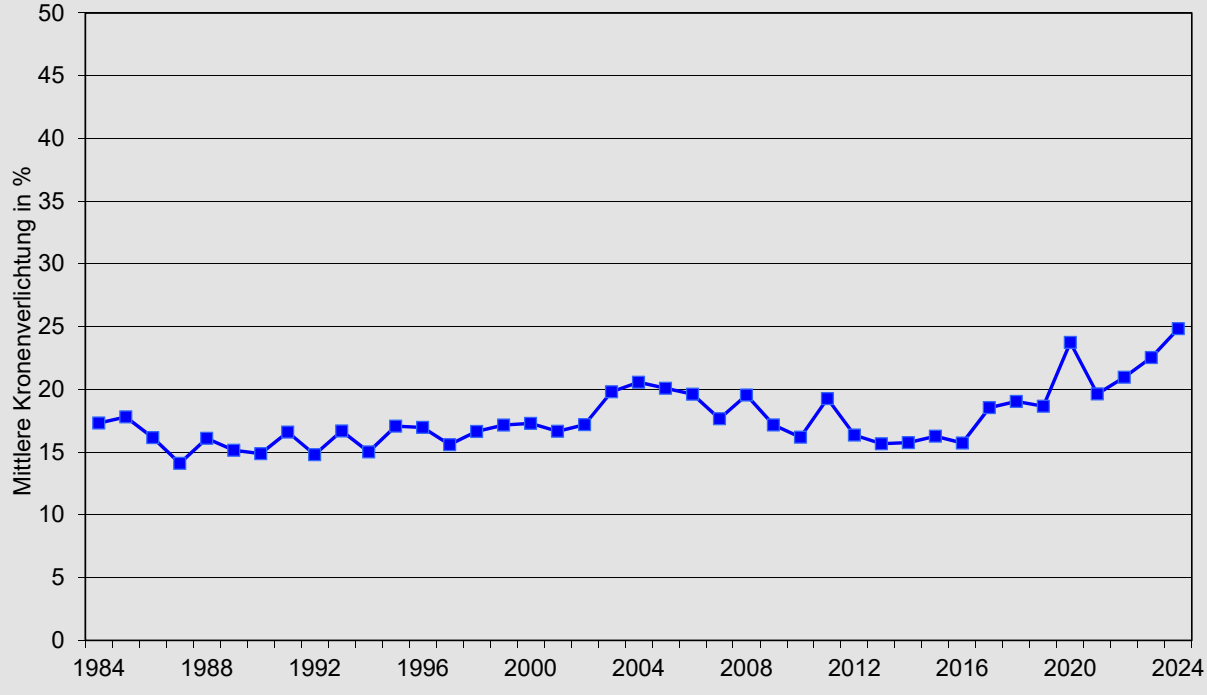
Kiefer

Entwicklung der Schadstufenverteilung



Kiefer

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung



Kiefernmistel verdrängt die Nadeln des Baumes und sorgt für eine erhöhte Wasserverdunstung. In Trockenzeiten verstärkt sich damit der Trockenstress des Baumes. Starker Mistelbefall äußert sich daher in der Regel in einem schlechteren Kronenzustand und kann im Extremfall auch zum Absterben des Baumes führen.

Im Wuchsgebiet „Oberrheinisches Tiefland" (der Rheinebene) ist die Schadsituation für die Kiefer besonders schlecht. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume ist mit 51 Prozent nahezu doppelt so hoch wie im Landesmittel. Hier findet sich auch ein überdurchschnittlich hoher Anteil der stehenden, toten (Schadstufe 4) und auch der frisch abgestorbenen Probebäume.

Douglasie

Bei der Douglasie hat sich das Schadniveau gegenüber dem Vorjahr etwas verbessert. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume ist um sechs Prozentpunkte niedriger als im Vorjahr. Die mittlere Kronenverlichtung ist um 1,9 Prozentpunkte zurückgegangen, diese Veränderung ist allerdings nicht signifikant. Stark geschädigt oder abgestorben waren 4,0 Prozent der Probebäume, frisch abgestorben war keiner der Probebäume und auch keiner der Probebäume ist aus dem Stichprobenkollektiv ausgeschieden.

Die Rußige Douglasienschütte (*Phaeocryptopus gaeumannii*) ist landesweit in allen Douglasienbeständen gegenwärtig. Sie betrifft die älteren Nadeljahrgänge. Je nach Disposition der Douglasien und Witterungsverlauf treten die Symptome unterschiedlich stark in Erscheinung. Seit einigen Jahren prägt die Schütte das Erscheinungsbild der Douglasie. Im Jahr 2024 wurde Schüttebefall für elf Prozent der Probebäume notiert, doch der Befall früherer Jahre bleibt sichtbar. Verbraunungen an Nadeln, die auf die Infektionen durch weitere Pilze hindeuten können, wurden 2024 an zwei Probebäumen beobachtet. Die Douglasiengallmücke (*Contarinia pseudotsugae*) oder andere Insekten wurden 2024 an den Aufnahmepunkten der WZE nicht festgestellt, ebenso wenig andere abiotische Schäden.

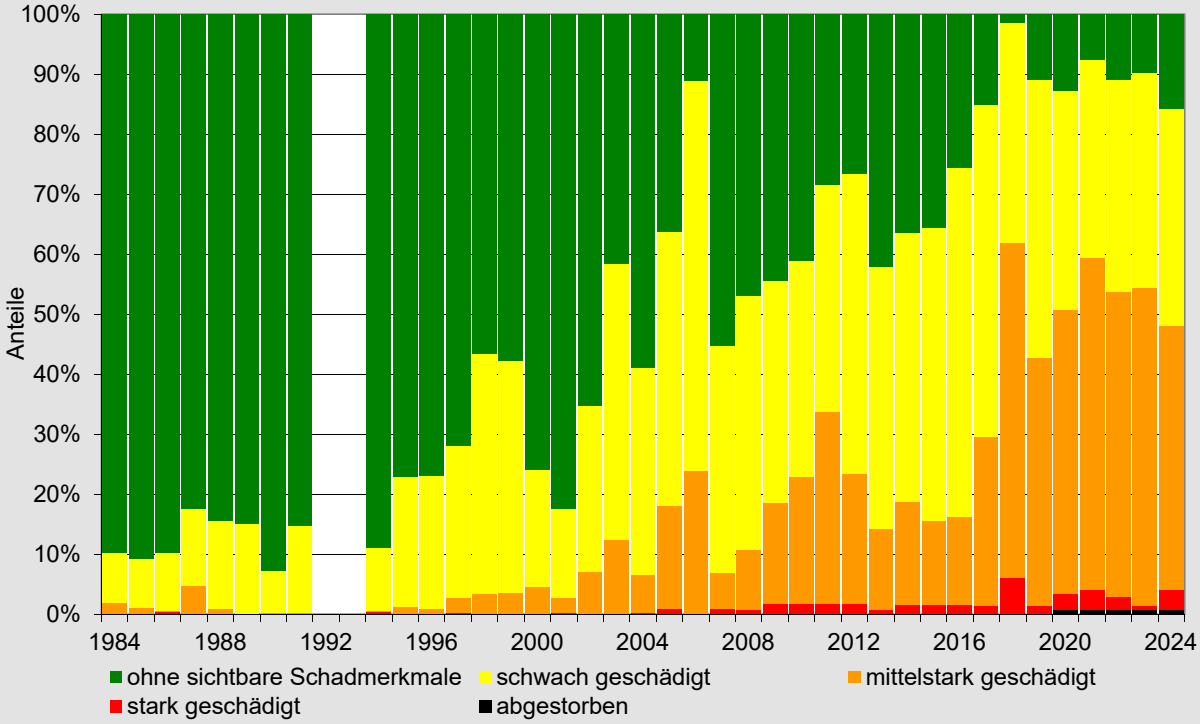
Die Douglasie wird aufgrund ihrer hohen Trockenheitstoleranz sowie der Möglichkeit einer erfolgreichen Mischung mit Buche als potentiell geeignete Ergänzung im laubbaumgeprägten Mischwald gesehen. Sie hat allerdings andere Nährstoffansprüche als Fichte, Kiefer oder Tanne. Die Nährstoffansprüche und Wechselwirkungen zwischen Douglasie und Standort werden daher in einem Verbundforschungsprojekt Douglas-Nutrition (DoNut) der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) und der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) analysiert. Neben bodenphysikalischen und –chemischen Messungen werden Mykorrhizen untersucht und Wasserhaushaltsmodellierungen durchgeführt. Das von April 2023 bis März 2026 laufende Projekt wird durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert.
Informationen zum Projekt: https://holz.fnr.de/index.php?id=16064&fkz=2221NR045B

Im Jahr 2024 war an 37 Prozent der Probebäume Fruchtbehang zu beobachten (Vorjahr 53 Prozent). Bei Sturmereignissen werden bei der Douglasie regelmäßig in erheblichem Umfang Zweige aus der Oberkrone herausgebrochen. Die Baumkronen älterer Douglasien erhalten so ein typisch zerzaustes Aussehen. Eine Vergilbung ist bei der Douglasie ohne Bedeutung und wurde im Jahr 2024 nur an zwei Probebäumen beobachtet.

Eine ausführlichere Darstellung zum Ausscheiden und Ersatz von Probebäumen finden Sie auf den Webseiten der FAWF:
https://fawf.wald.rlp.de/de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben/forstliches-umweltmonitoring/waldzustandserhebung/befunde-neueste-ergebnisse-einflussfaktoren-und-bewertung-der-schadentwicklung-ab-1984/ausscheiden-und-ersatz-von-probebaeumen/

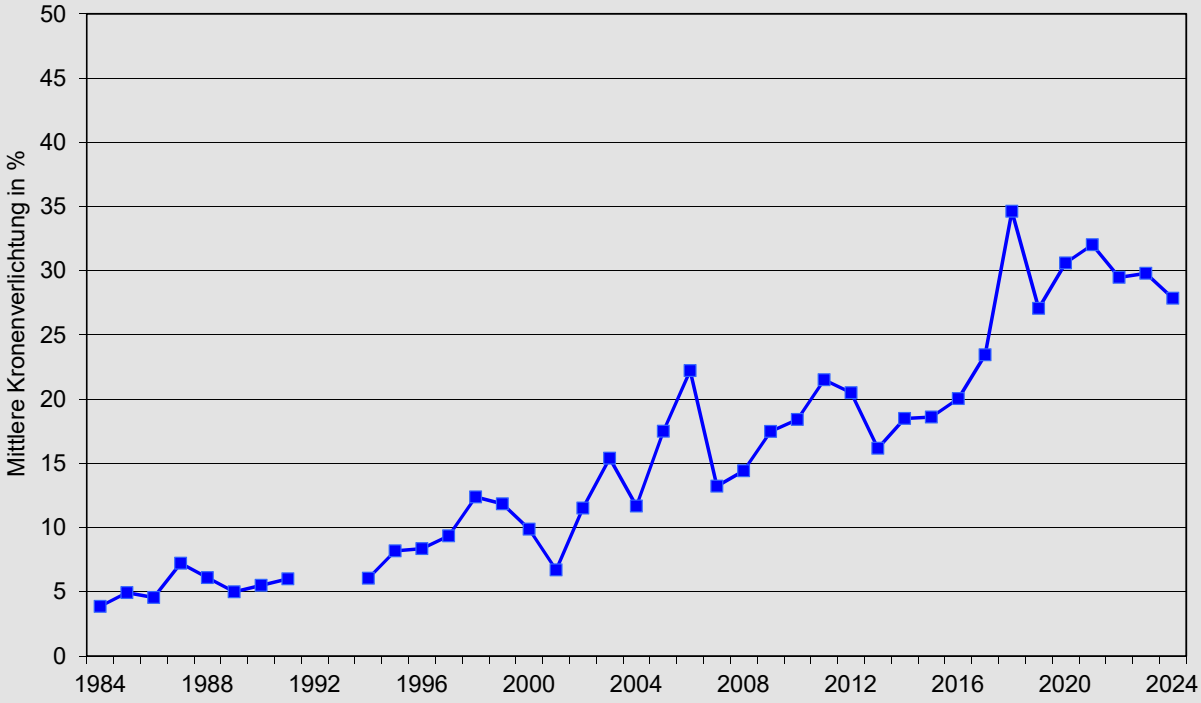
Douglasie

Entwicklung der Schadstufenverteilung



Douglasie

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung



Andere Baumarten
In unseren Wäldern findet sich neben den bereits genannten Arten noch eine Vielzahl anderer Baumarten. Die Waldzustandserhebung erfasst mit ihrer Stichprobe insgesamt 32 verschiedene Baumarten. Einige werden nur in einzelnen Exemplaren, andere aber auch mit mehr als 100 Probebäumen erfasst, sodass eine baumartenspezifische Aussage zum Kronenzustand möglich ist. Wegen des geringeren Stichprobenumfangs sind die Aussagen hier jedoch mit höheren Unsicherheiten behaftet und die Veränderungen sind häufig nicht signifikant. Im Jahr 2024 ist das Schadniveau der Nebenbaumarten insgesamt angestiegen.

Bei den Lärchen ist der Anteil der deutlichen Schäden gegenüber dem Vorjahr um fünf Prozentpunkte zurückgegangen, die mittlere Kronenverlichtung allerdings um 1,8 Prozentpunkte angestiegen. Diese Veränderung ist nicht signifikant. Stark geschädigt oder abgestorben sind 13,5 Prozent der Probebäume, frisch abgestorben sind zwei Probebäume, an zwei weiteren war Befall durch Borkenkäfer erkennbar. Aus dem Stichprobenkollektiv ausgeschieden sind zwei Lärchen-Probebäume.
Im Jahr 2024 wurde an 70 Prozent der Probebäume ein frischer Zapfenbehang beobachtet. Schon in den Vorjahren war ein häufiger Fruchtbehang festgestellt worden. Die Lärche fruktifizierte in den letzten Jahren recht regelmäßig und häufig auch stärker. Beobachtungen im Laufe der Zeitreihe zeigen, dass die Lärche in den Bereichen der Zweige, an denen sehr viele Zapfen gebildet werden, nur noch wenige benadelte Seitentriebe (Lang- und Kurztriebe) ausbildet. Auch bleiben ältere, bereits geöffnete Zapfen noch im Folgejahr am Zweig hängen. In der Folge sind teilweise gänzlich unbenadelte Partien im Bereich der Lichtkrone sichtbar. Offensichtliche Schäden durch Insektenfraß oder Pilzbefall an den Nadeln waren 2024 nicht erkennbar.

Das Schadniveau bei der Esche ist seit 2015 extrem hoch. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume ist zwar um sechs Prozentpunkte und die mittlere Kronenverlichtung um 4,6 Prozentpunkte gegenüber dem Vorjahr zurückgegangen, diese Verbesserung ist jedoch nicht signifikant. Eschen ohne sichtbare Schadmerkmale sind im Kollektiv der Probebäume selten zu finden. Die Anteile stark geschädigter oder abgestorbener Probebäume sind weiter sehr hoch. Frisch abgestorben ist keiner der Probebäume, 15 Eschen schieden aus dem Kollektiv der WZE aus, darunter auch sieben im Vorjahr bereits abgestorbene Eschen. An einem Aufnahmepunkt mit 12 Eschen-Probebäumen musste die Erhebung aussetzen, da der Waldbereich mit den Probebäumen nicht mehr begehbar ist. Es wurden nur sechs Eschen als Probebäume neu ausgewählt. Die Anzahl und der Anteil der Eschen im Kollektiv der Waldzustandserhebung gehen seit 2016 kontinuierlich zurück.
Das Eschentriebsterben ist in allen Landesteilen und allen Altersstufen gegenwärtig. Diese Infektionswelle eines neobiotischen Pilzes aus Ostasien, des Falschen Weißen Stengelbecherchens (*Hymenoscyphus fraxineus*), ist für das Schadniveau der Esche prägend. An rund 15 Prozent aller Eschen (im Vorjahr 27 Prozent) wurden Symptome des Eschentriebsterbens notiert. Die infolge der Erkrankung abgestorbenen Triebe oder Blätter gehen in die Bewertung der Kronenverlichtung mit ein. Die Esche regeneriert dann, soweit sie es vermag, über neu gebildete Triebe aus dem Kroneninneren heraus. Auch wenn an den Probebäumen keine frischen Symptome des Eschentriebsterbens erkennbar sind, ist der Pilz im Wald doch allgegenwärtig. An allen Aufnahmepunkten mit Eschen unter den Probebäumen, wurden im Verlauf der letzten Jahre Eschen mit Schadsymptomen beobachtet.
An 13 Prozent der Probebäume wurden Blattschäden durch Insektenfraß beobachtet (Vorjahr 28 Prozent). An zwei Probebäumen sind Einbohrlöcher und Schleimfluss beobachtet worden, die auf einen Befall durch den Eschenbastkäfer hindeuten.

Baumart (bzw. Gattung)	Jahr	Anzahl an Probebäumen	Anteile der Schadstufen (in %)			mittlere Kronenverlichtung
			0	1	2-4	
Lärche	**2024**	**141**	**8**	**40**	**52**	**34,9**
	2023	140	3	40	57	33,1
	2022	142	11	40	49	31,9
	2013	355	34	52	14	18,0
	2004	357	20	49	31	24,3
	1994	357	50	35	15	15,8
	1984	349	75	21	4	7,7
Esche	**2024**	**94**	**14**	**29**	**57**	**38,5**
	2023	112	2	35	63	43,0
	2022	115	13	35	52	36,0
	2013	198	24	51	25	20,5
	2004	152	26	54	20	21,1
	1994	103	63	31	6	12,2
	1984	96	92	7	1	4,6
Hainbuche	**2024**	**107**	**5**	**38**	**57**	**29,5**
	2023	106	7	39	54	32,7
	2022	106	21	42	37	27,6
	2013	328	37	54	9	16,9
	2004	291	13	31	56	30,4
	1994	241	37	49	14	17,8
	1984	224	63	29	8	11,9
Andere Laubbaum-arten	**2024**	**354**	**22**	**42**	**36**	**24,9**
	2023	361	26	49	25	23,0
	2022	357	30	45	25	21,7
	2013	947	48	40	12	15,2
	2004	786	39	38	23	19,9
	1994	619	60	27	13	13,5
	1984	498	76	17	7	9,1

Im Jahr 2024 trugen 12 Prozent der Eschen Früchte. Die büschelartige Anordnung der Früchte, bei fruchttragenden Bäumen anstelle normaler Blätter, führt tendenziell zu einer geringeren Belaubungsdichte. Blattvergilbungen wurden an keinem Probebaum festgestellt.

Die Vitalität der Hainbuche hat sich gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Der Anteil der deutlichen Schäden ist um drei Prozentpunkte angestiegen, die mittlere Kronenverlichtung dagegen um 3,2 Prozentpunkt zurückgegangen, diese Veränderung ist jedoch nicht signifikant. Stark geschädigt sind 2,8 Prozent, frisch abgestorben ist keiner der Probebäume.

Die Hainbuche wächst vergleichsweise häufig in den Gebieten alter Niederwälder in den Seitentälern von Rhein und Mosel und ist an die dort herrschenden Standortsverhältnisse gut angepasst. Diese Standorte sind aber auch vergleichsweise trocken.
Im Jahr 2024 wurde an zwölf Prozent der Hainbuchen ein Fruchtbehang festgestellt (Vorjahr 99 Prozent). Schäden durch Insektenbefall wurden an 56 Prozent der Probebäume beobachtet, damit merklich häufiger als im Vorjahr, jedoch überwiegend nur in geringer Intensität. Ein Einfluss auf die Entwicklung des Kronenzustandes ist aus der Datenlage nicht erkennbar. Vergilbung wurde an einem der Probebäume notiert (im Vorjahr an neun Probebäumen). Hier dürfte auch der geringere Fruchtbehang bedeutend sein, da die Fruchtstände merklich früher im Jahr verfärben als normale Laubblätter.

Bei den weiteren Baumarten tendieren Ahorn, Tanne, Pappel und Kirsche zu einer Verschlechterung ihres Kronenzustandes. Ein tendenzieller Rückgang des Schadniveaus gegenüber dem Vorjahr konnte bei der Birke, Roteiche und Linde festgestellt werden.
Besonders die Kirsche litt 2024 stark unter dem Befall durch Blattpilze. Schäden durch blattfressende Insekten traten bei verschiedenen Laubbaumarten auf, sind aber überwiegend nur schwach ausgeprägt und blieben ohne Einfluss auf die Entwicklung des Kronenzustandes.

Einfluss ausgeschiedener und ersetzter Probebäume

Von den markierten Stichprobenbäumen scheiden jedes Jahr einige aus dem Beobachtungskollektiv aus. Die Waldteile, in denen die Aufnahmepunkte der WZE angelegt und die Stichprobenbäume markiert sind, werden meist regulär bewirtschaftet.
Maßgeblich sind dabei die Ziele der jeweiligen Waldbesitzenden. Einzelne Probebäume werden daher im Zuge von Pflege- oder Ernteeingriffen gefällt. Zudem werden durch Sturmwurf, Schneebruch oder Insektenbefall betroffene Bäume entnommen. Probebäume scheiden aber auch, ohne dass sie im Rahmen von Hiebsmaßnahmen entnommen wurden, nach Sturmwurf, einem Kronenbruch oder wenn sie von Nachbarbäumen überwachsen wurden aus dem Stichprobenkollektiv aus. Ein Ersatz ausgeschiedener Probebäume ist notwendig, damit die WZE den aktuellen Zustand des Waldes widerspiegelt. Im Jahr 2024 sind insgesamt 134 Probebäume ausgeschieden, von denen 110 ersetzt werden konnten. An einem Aufnahmepunkte sind die Probebäume zwar noch vorhanden, die Geländebedingungen vor Ort und zusammenbrechende Altbäume bedeuteten jedoch eine zu hohe Gefährdung des Aufnahmeteams, sodass auf die Erhebung 2024 verzichtet werden musste. Von den im Jahr 1984 angelegten 148 Aufnahmepunkten und den damals ausgewählten 3.480 Probebäumen sind noch 1.120 im Kollektiv der Stichprobe erhalten. Das sind 32,2 Prozent des ursprünglichen Gesamtkollektivs.
Stehende, abgestorbene Probebäume verbleiben mit 100 Prozent Nadel-/Blattverlust als bewertbare Probebäume im Aufnahmekollektiv, bis das feine Reisig aus der Krone herausgebrochen ist. Danach werden sie aus dem Probebaumkollektiv entfernt. Insgesamt wurden 67 abgestorbene Probebäume im Kollektiv vermerkt, davon waren 34 bereits beim letzten Erhebungstermin 2023 tot. Im Jahr 2024 selbst waren 32 Probebäume frisch abgestorben, das entspricht einer Absterberate von 0,9 Prozent. Von den im Jahr 2023 bereits abgestorbenen Probebäumen schieden 26 aus dem Stichprobenkollektiv aus, da das Feinreisig herausgebrochen war, sie im Zuge einer regulären Holzernte mit entnommen wurden, sie umgefallen waren oder von Nachbarbäumen deutlich überwachsen wurden.

Insgesamt ist der Einfluss des Ersatzes oder der Neuaufnahme von Probebäumen auf die Entwicklung der Schadstufenverteilung des gesamten Stichprobenkollektivs gering aber stetig und gleichgerichtet. Auch im Jahr 2024 war der Anteil der deutlich geschädigten Ersatzbäume merklich geringer als unter den ausgeschiedenen Probe-

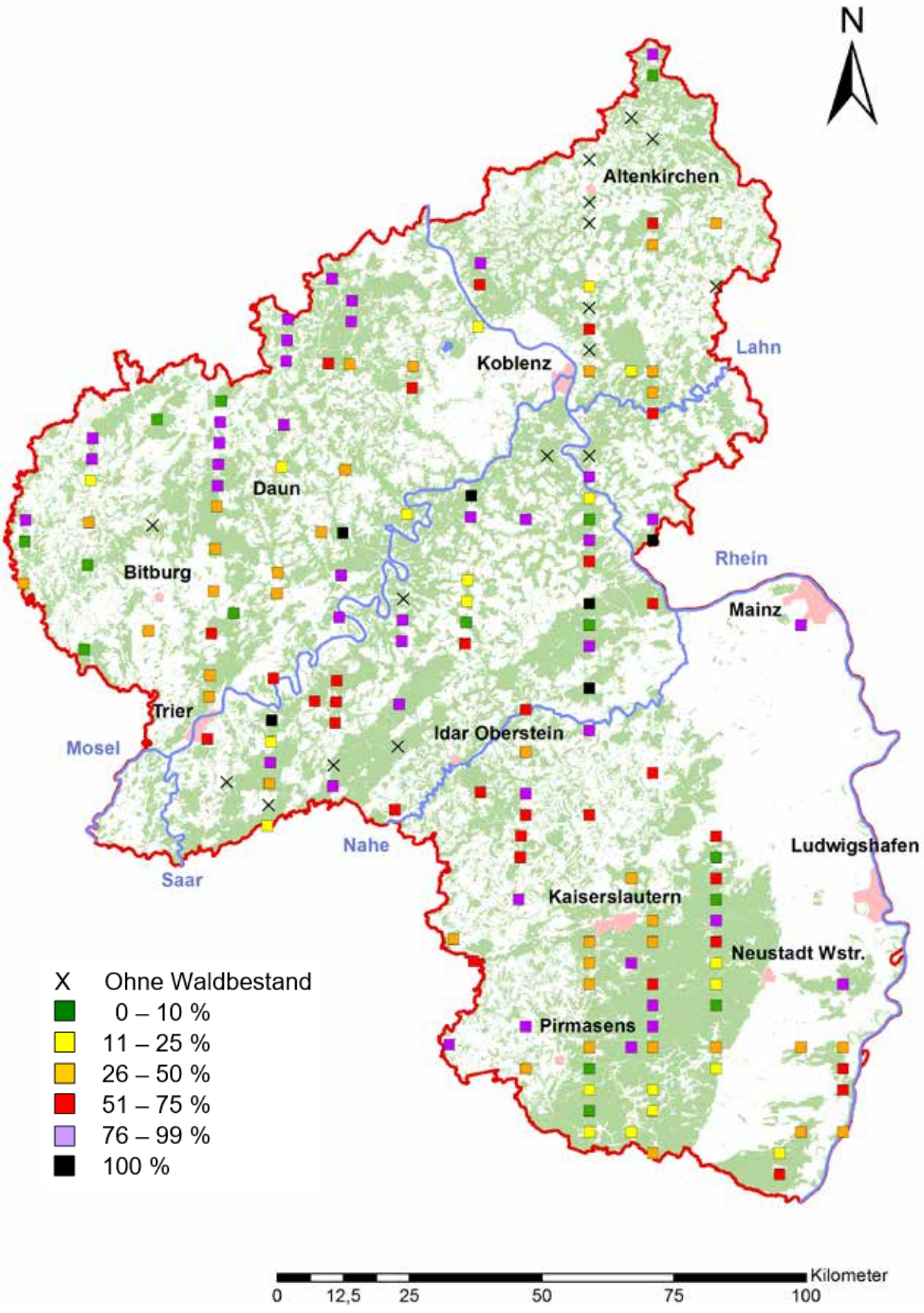
bäumen im Vorjahr. In den letzten Jahren wurden auch vergleichsweise häufig bereits abgestorbene Bäume entnommen. Über die gesamte Zeitreihe hinweg bis zum Jahr 2020 betrachtet, unterschied sich die Schadstufenverteilung der Ersatzbäume nicht wesentlich von der ihrer Vorgänger zum letzten Bonitierungstermin. Lediglich stark geschädigte oder abgestorbene Bäume (Schadstufen 3 und 4) waren schon immer eher aus dem Stichprobenkollektiv ausgeschieden, wohingegen die Ersatzbäume nur selten in diese beiden Schadstufen fielen. Wegen der geringen absoluten Anzahl ausgeschiedener und ersetzter Probebäume machte sich dieser Effekt im Gesamtkollektiv der Probebäume bis 2020 nicht wesentlich bemerkbar. Seit 2020 erreichen die absoluten Anzahlen allerdings Werte, die sich in der Schadstufenverteilung bemerkbar machen, in Summa sind 237 Fichten-Probebäume infolge Borkenkäferschäden ausgeschieden, die an jetzt ruhenden Aufnahmepunkten standen. Für die Fichte bedeutet dies einen massiven Rückgang im Stichprobenkollektiv. Wären diese Probebäume noch ein Jahr länger im Aufnahmekollektiv verblieben, so würden sie als abgestorben den Anteil an Fichten in der Schadstufe 4 um 4,4 (2021) bis 12,9 (2020) Prozentpunkte höher ausfallen lassen.
Wird jedoch die Entwicklung der Verteilung nach Blatt-/Nadelverlust in 5-Prozent-Stufen der Gesamtkollektive 1984 und 2024, der der Probebäume, die seit 1984 im Stichprobenkollektiv vorhanden sind (idente Probebäume) gegenübergestellt, so lässt der Vergleich dieser beiden Kollektive keine unterschiedliche Interpretation der Schadentwicklung zu. Der einzige merkliche Unterschied der Verteilung des Gesamtkollektives 2024 gegenüber den identen Probebäumen besteht im Bereich der Bäume ohne sichtbare Schadmerkmale (Schadstufe 0; 0 bis 10 Prozent Blatt-/Nadelverlust), da bei den seit 1984 im Kollektiv befindlichen Probebäumen logischerweise die in der Regel wenig geschädigten Altersstufen der jungen Bäume bis 40 Jahre fehlen. Entsprechend sind die Anteile bei den schwachen Schäden höher.

Regionale Verteilung der Waldzustandsbefunde

Der am einzelnen Aufnahmepunkt festgestellte Grad der Schädigung sagt unmittelbar nur etwas über die Probebäume selbst und allenfalls über den in Artenzusammensetzung und Alter entsprechend umgebenden Waldbestand aus. Das Schadniveau der einzelnen Aufnahmepunkte variiert erheblich. Punkte, die keine oder nur wenige deutlich geschädigte Probebäume aufweisen, liegen in direkter Nachbarschaft von solchen, an denen über die Hälfte oder fast alle Probebäume deutlich geschädigt sind. Erst die Zusammenfassung der Ergebnisse aus einer gewissen Anzahl von Aufnahmepunkten erlaubt eine repräsentative Aussage für eine Region. Je höher dabei die Zahl der Stichprobenbäume ist, umso zuverlässiger ist die gewonnene Aussage. Die ruhenden Aufnahmepunkte, an denen kein Waldbestand etabliert ist, aus dem die erforderlichen 24 Probebäume ausgewählt werden können, konzentrieren sich in den Wuchsgebieten Westerwald und Hunsrück.

Eine ausführliche Darstellung der Regionalisierung der Kronenverlichtung für den Wald insgesamt und die Baumarten Fichte, Buche, Eiche und Kiefer findet sich in der Internetpräsentation der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft:
https://fawf.wald.rlp.de/de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben/forstliches-umweltmonitoring/waldzustandserhebung/befunde-neueste-ergebnisse-einflussfaktoren-und-bewertung-der-schadentwicklung-ab-1984/regionale-verteilung/

Anteil der deutlich geschädigten Probebäume am einzelnen Aufnahmepunkt 2024





Waldzustandserhebung; Foto: Friedrich Engels

EINFLÜSSE AUF DEN WALDZUSTAND









Der Zustand unseres Waldes wird von einer Vielzahl natürlicher und menschenverursachter Faktoren beeinflusst.

Die mehr als drei Jahrzehnte zurückreichenden Messreihen des Forstlichen Umweltmonitorings belegen die Erfolge der Luftreinhaltemaßnahmen, zeigen aber auch noch bestehende Defizite auf. Der Eintrag an Schwefel und Schwermetallen ist deutlich zurückgegangen. Die Stickstoffeinträge sind demgegenüber nur wenig reduziert und übersteigen die Schwellenwerte der Ökosystemverträglichkeit. Zudem liegt die Säurebelastung - ohne gezielte Gegenmaßnahmen, wie vor allem die Bodenschutzkalkung - noch über dem Pufferpotenzial vieler Waldstandorte. Auch bodennahes Ozon wirkt sich nach wie vor waldschädigend aus.

Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings werden alle wesentlichen Einflussfaktoren auf den Waldzustand erfasst und die Reaktionen der Waldökosysteme auf die komplexen Stresseinwirkungen untersucht. Nachfolgend sind die wichtigsten Befunde zusammengefasst. Eine detaillierte Darstellung der Zeitreihen zur Luftschadstoffbelastung und der natürlichen Stresseinflüsse sowie ihrer vielfältigen Wechselbeziehungen findet sich auf den Webseiten der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz:
https://fawf.wald.rlp.de/de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben/forstliches-umweltmonitoring/dauerbeobachtungsflaechen/forschung-an-dauerbeobachtungsflaechen/

ENTWICKLUNG DER LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG

Die Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf die Waldökosysteme erfolgen sowohl über den Luftpfad als auch über den Bodenpfad. Über den Luftpfad wirken vor allem gasförmige Luftverunreinigungen wie Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Ammoniak und Ozon unmittelbar auf die Nadeln und Blätter der Bäume ein und verursachen physiologisch-biochemische Stressreaktionen. Luftverunreinigungen, die von Wolken- und Regentropfen aufgenommen oder von den Baumkronen ausgefiltert werden und dann mit den nachfolgenden Niederschlägen auf den Boden gelangen, beeinflussen die Waldökosysteme über den Bodenpfad. Sie verändern das chemische Bodenmilieu insbesondere über Versauerung und Eutrophierung und können durch Veränderungen im Nährelementangebot und Schädigung der Baumwurzeln den Wasser- und Nährstoffhaushalt der Bäume beeinträchtigen. Nicht zuletzt beeinträchtigen sie das hochvernetzte tierische, pflanzliche, pilzliche und bakterielle Bodenleben.
In dem Stressorenkomplex, der auf den Wald einwirkt, stellen Luftschadstoffe meist eine chronische Belastung dar, die langfristig destabilisierend wirkt. Die Waldökosysteme werden hierdurch anfälliger gegenüber kurzfristig einwirkenden Stressfaktoren wie Witterungsextremen, Insektenfraß, Pilzbefall oder starker Fruchtbildung.

Schwefel
Schwefelverbindungen werden insbesondere bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Kraftwerken, Industriefeuerungsanlagen und Heizungen freigesetzt. Durch Rauchgasentschwefelung in Kraftwerken, Altanlagensanierung und Einsatz schwefelarmer bzw. schwefelfreier Kraft- und Brennstoffe im Kraftfahrzeug- und Hausbrandbereich konnte die Schwefeldioxidemission überaus wirksam reduziert werden. Aktuell werden in Deutschland noch etwa **255.000** Tonnen SO_2 ausgestoßen, gegenüber fast **5,5** Millionen Tonnen im Jahr 1990. Dies entspricht einer Reduktion um 95 %. Die Emissionsminderung hat sich auch in einer erheblichen Verringerung der

S. 30 Einflüsse auf den Waldzustand Fotos: Animaflora PicsStock– stock.adobe.com;
Borkenkäferbefall am Aufnahmepunkt 437; Foto: Thomas Wehner;
Trockenschäden auf flachgründigen Standorten bei Erden an der Mosel;
Foto: Jörg Homann

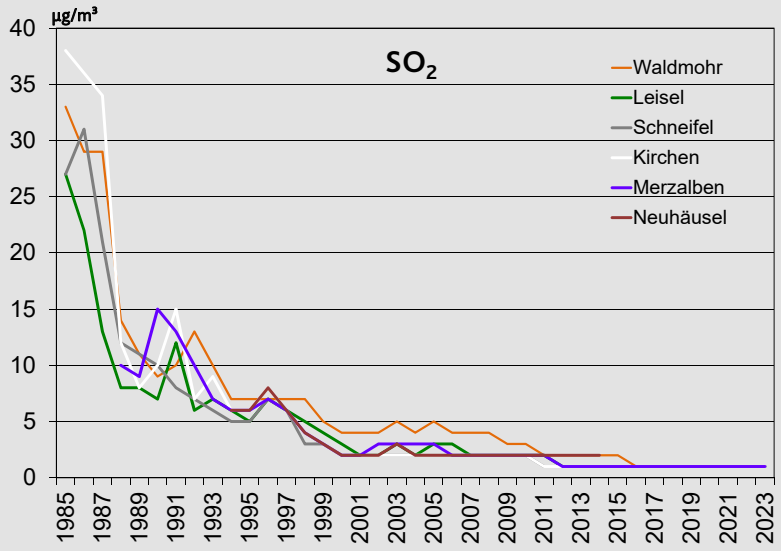
Entwicklung der Schadstoffemissionen in Deutschland

Schadstoffe in Kilotonnen [kt]	1980	1990	2000	2010	2020	2022	Veränderung in % 1990 - 2022
Schwefeldioxid (SO_2)	7514	5460	643	369	242	255	- 95 %
Stickoxide (NO_x)	3334	2842	1866	1456	983	942	- 67 %
Ammoniak (NH_3)	835	734	647	640	542	512	- 30 %
Flüchtige organische Verbindungen [ohne Methan] (NMVOC)	3224	3929	1798	1360	1022	1035	- 74 %

Quelle: Umweltbundesamt (März 2024): https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen; für 1980: UNECE 2012: www.emep.int; NOx gerechnet als NO_2

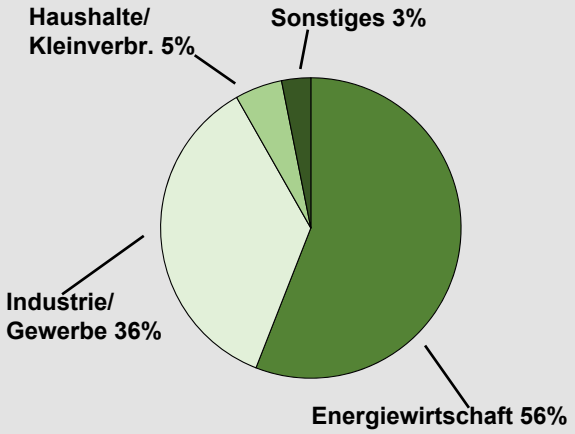
Belastung der Waldökosysteme ausgewirkt: Mitte der 1980er Jahre lagen die Jahresmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen an den Waldstationen des Zentralen Immissionsmessnetzes (ZIMEN) noch zwischen 25 und 40 µg/m³. Aktuell werden dagegen nur noch Jahresmittelwerte von 1 µg/m³ ermittelt. Selbst bei austauscharmen Wetterlagen im Winter steigen die SO_2-Gehalte kaum mehr über 10 µg/m³ im Tagesmittel an. Der Grenzwert für den Schutz von Ökosystemen von 20 µg/m³ im Kalenderjahr und im Wintermittel wird seit vielen Jahren eingehalten.
Entsprechend der merklichen Abnahme der Schwefeldioxidemission und -immission ist auch die Belastung der Waldökosysteme über den Bodenpfad deutlich zurückgegangen. Während der Schwefeleintrag in Fichtenbeständen zu Beginn der Messreihen Mitte der 1980er Jahre meist zwischen 40 und 70 kg/ha lag, gelangen aktuell meist nur noch 2-7 kg Schwefel auf den Waldboden. Allerdings wurden in Zeiten hoher Einträge große Schwefelvorräte in den Waldböden aufgespeichert, nach den Messdaten der Bodenzustandserhebung II aus dem Jahr 2007 betragen die Schwefelvorräte in unseren Waldböden noch 400 bis 2000 kg/ha, meist in Form von Aluminium-Sulfat. Diese werden langsam wieder gelöst und mit dem Sickerwasser ausgewaschen, so führen diese "Altlasten" immer noch zu Nährstoffverlusten und tragen zur Bodenversauerung bei.

Jahresmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen in Waldgebieten

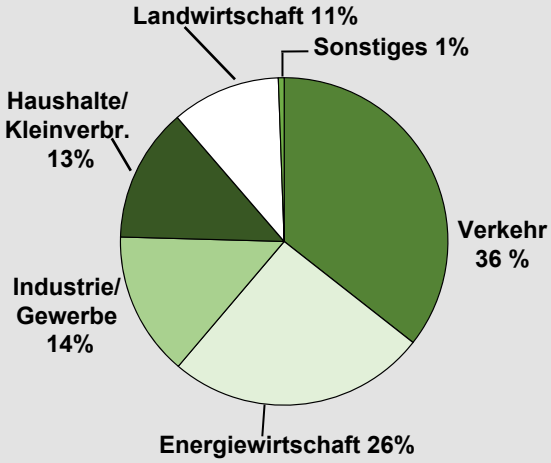


Verteilung der Emissionsquellen wichtiger Luftschadstoffe in Deutschland

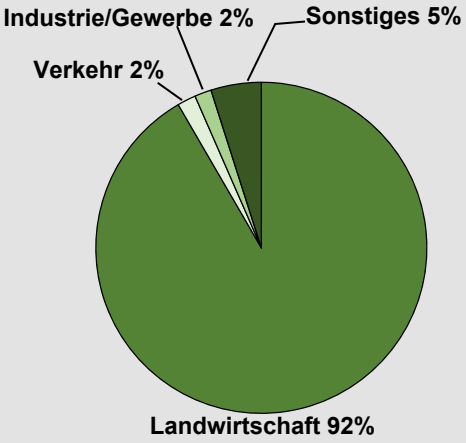
Schwefeldioxid (SO_2)



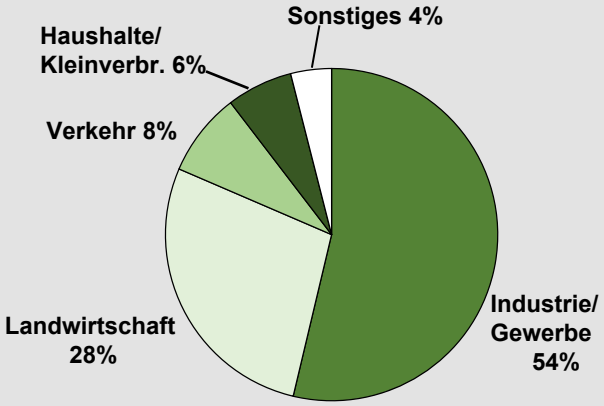
Stickstoffoxide (NO_x)



Ammoniak (NH_3)

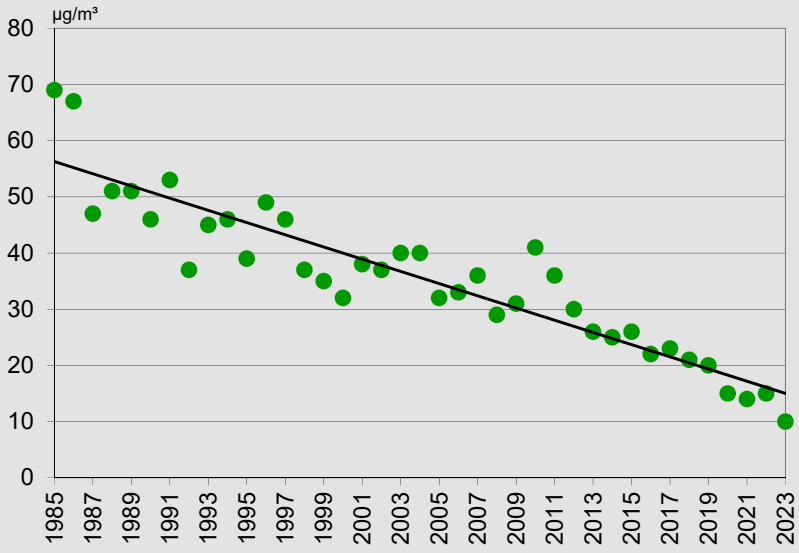


Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC)

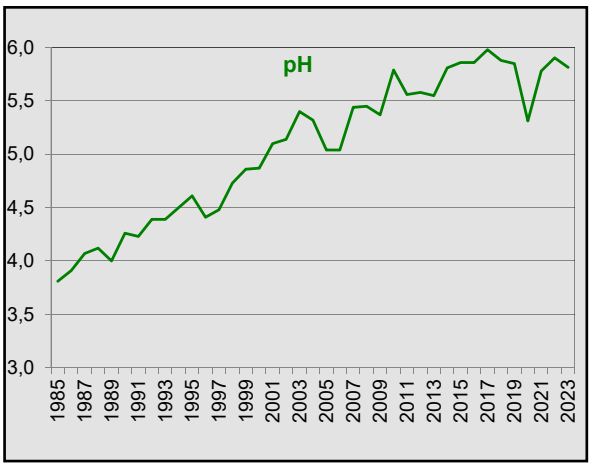


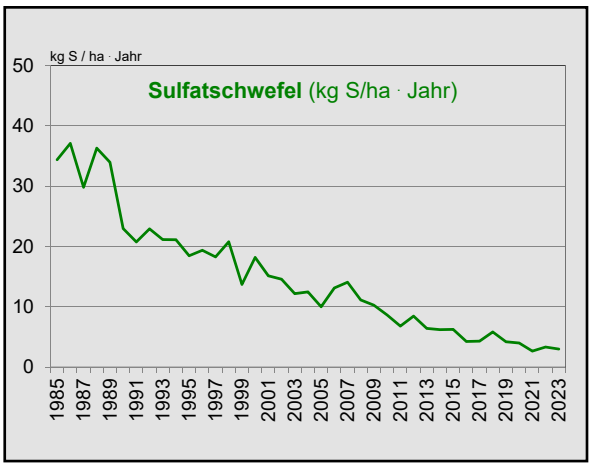
Quelle: Umweltbundesamt 2024: https//www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland

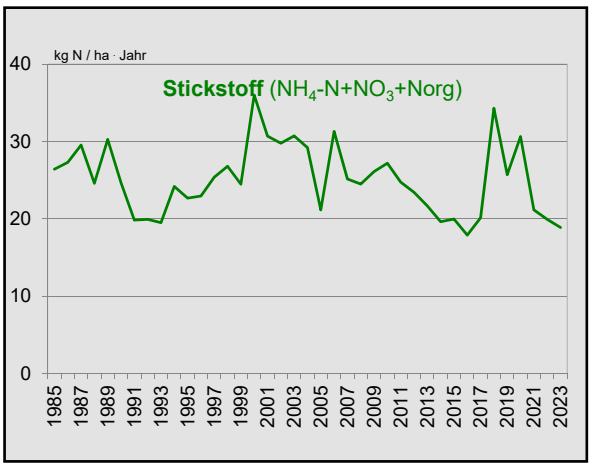
Verlauf der NO_2-Spitzenkonzentration (98 %-Wert) an der ZIMEN-Waldstation Leisel

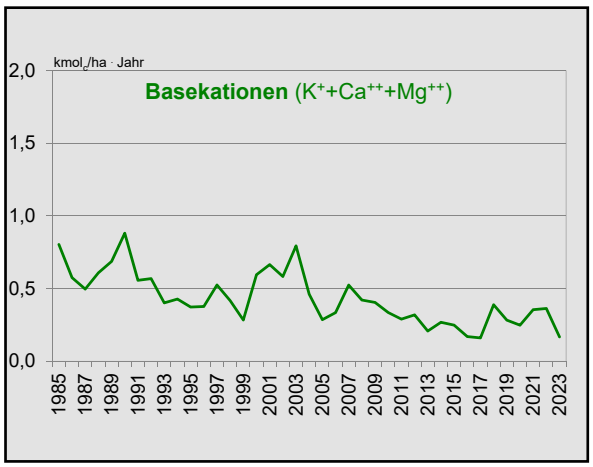


Langzeitmessreihe des pH-Wertes im Kronentraufwasser und der Einträge an Sulfatschwefel, Stickstoff (Summe Nitrat-N, Ammonium-N, organisch gebundener N) und Basekationen (Summe K^+, Ca^{++}, Mg^{++}) in einem Fichtenökosystem im Forstamt Birkenfeld, Hunsrück.
Daten weiterer Messstationen des forstlichen Umweltmonitorings: https://fawf.wald.rlp.de/de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben/forstliches-umweltmonitoring/dauerbeobachtungsflaechen/forschung-an-dauerbeobachtungsflaechen









Stickstoff

Stickstoff in oxidierter Form wird bei Verbrennungsprozessen durch Reaktion des im Brennstoff und in der Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoffs, in reduzierter Form hingegen beim mikrobiellen Abbau von Harnstoffen, Proteinen oder ähnlichen biogenen Ausscheidungsprodukten sowie durch Zersetzung ammoniumhaltiger Dünger freigesetzt. Hauptquelle der Stickoxide ist der Straßenverkehr, gefolgt von Kraft- und Heizwerken. Reduzierter Stickstoff (Ammoniak) stammt in Deutschland mit aktuell 94 Prozent aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung, die restlichen 6 Prozent kommen aus der Herstellung und Anwendung stickstoffhaltiger Mineraldünger, der Rauchgasentstickung und dem Kraftfahrzeugverkehr.

Die Emission der Stickoxide (NO und NO_2, kalkuliert als NO_2) ist in Deutschland insbesondere durch den Einsatz von Katalysatoren in Kraftfahrzeugen und Entstickungsanlagen in Kraft- und Heizwerken seit 1990 um mehr als zwei Drittel zurückgegangen. Dementsprechend sind auch die Stickstoffdioxidkonzentrationen in der bodennahen Luft, vor allem die NO_2-Spitzenwerte in den rheinland-pfälzischen Waldgebieten, merklich gesunken.

Bei den reduzierten Stickstoffverbindungen (Ammoniak) konnte die Emission demgegenüber nur wenig (**von 1990 auf 2022 um 30 Prozent**) reduziert werden. Die in der EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC-Richtlinie

2001/81/EG) für das Jahr 2010 für Deutschland festgelegte Ammoniak-Emissionshöchstmenge von 550 kt je Jahr **wird seit 2020 unterschritten.** Die Ende 2016 verabschiedete Nachfolgerichtlinie (EU 2016/2284) sieht für Deutschland bei Ammoniak eine Emissionsminderungsverpflichtung für 2020 bis 2029 von nur 5 Prozent vor. Erst ab 2030 sollen die Emissionen um 29 Prozent gegenüber dem Jahr 2005 gesenkt sein. Die schwerwiegende Belastung unseres Waldes durch überhöhte Stickstoffeinträge wird sich mit ihren schädigenden Wirkungen in allen Bereichen des Ökosystems, insbesondere durch die besorgniserregende Schwächung der Bodenlebensgemeinschaften, somit voraussichtlich noch lange auswirken.

Auf den Stickstoffeintrag in den Waldboden (Deposition) hat sich die bislang vornehmlich bei NOx erreichte Emissionsminderung nur gering ausgewirkt. Auf den über Rheinland-Pfalz verteilten Messflächen des forstlichen Umweltmonitorings liegt der Ammonium-Eintrag im Mittel bei 7 kg N/ha. Allein dadurch werden bereits die critical loads für Stickstoff für die Mehrzahl unserer Waldökosysteme erreicht. An der Mehrzahl der Messstationen des forstlichen Umweltmonitorings im Wald ist kein signifikant abwärts gerichteter Trend der Stickstoffdeposition zu erkennen.

Säureeinträge
Aufgrund der beträchtlichen Reduktion der Emission von Schwefeldioxid sind die pH-Werte im Niederschlagswasser deutlich angestiegen. Mitte der 1980er Jahre wurden im Freilandniederschlag meist pH-Werte zwischen 4 und 4,5 und im Kronentraufwasser der Fichtenbestände sogar zwischen 3,5 und 3,8 gemessen. Heute liegen die pH-Werte sowohl im Freilandniederschlag als auch in der Kronentraufe **meist über 5**, also mehr als eine pH-Einheit höher. Trotz des mit dem pH-Anstieg im Niederschlagswasser verbundenen Rückgangs der Säureeinträge in den Waldboden ist die Säurebelastung der Waldökosysteme nach wie vor vielfach zu hoch. Dies ist vor allem auf die hohen Eintragsraten des aus der Landwirtschaft stammenden Ammoniums und auf „Altlasten" in Form von im Boden gespeicherten Sulfaten zurückzuführen. Letztere stammen aus dem bis in die 1990er Jahre hinein hohen Eintrag an Schwefelverbindungen aus der Emission von Luftverunreinigungen. Auch der Basenentzug mit der Holzernte und die Auswaschung organischer Anionen tragen zur Bodenversauerung bei. Auf den in Rheinland-Pfalz häufig basenarmen Waldböden reichen die Basenfreisetzung aus der Mineralverwitterung und der Basekationeneintrag aus der atmosphärischen Deposition meist nicht aus, diese Säurebelastungen ökosystemverträglich zu puffern. Daher sind zum Schutz unserer Waldökosysteme nach wie vor weitere Anstrengungen zur Verringerung der Emission der Säurevorläufer und eine Fortsetzung der Bodenschutzkalkungen erforderlich. Einen wesentlichen Beitrag leistet auch die systematische standortdifferenzierte Belassung von Holzbiomasse in den Wäldern zur Gewährleistung der Nährstoffnachhaltigkeit der Waldböden. Dieser ist auch die konsequente Umsetzung der Biotopbaum-, Altbaum- Totholz-Richtlinie (BAT-Richtlinie) zuträglich. Sie sichert mit besonderem Augenmerk auf eine Vernetzung die existenziellen Grundlagen der stofflichen, aber auch der energetischen und der lebensraumbezogenen Ausstattung zur Aufrechterhaltung der Biodiversität.

Ozon
Ozon ist eine sehr reaktionsfreudige Form des Sauerstoffs mit drei O-Atomen (O_3). Das in der bodennahen Atmosphäre befindliche Ozon kann über die Spaltöffnungen ins Blattinnere von Pflanzen gelangen. Hohe Ozonbelastungen beeinträchtigen das Pflanzenwachstum und reduzieren die Kohlenstoffspeicherung. In der Stratosphäre befindliches Ozon schützt uns demgegenüber vor schädlicher ultravioletter Strahlung.
Ozon entsteht als sekundäre Luftverunreinigung aus Vorläufersubstanzen, im Wesentlichen aus Luftsauerstoff (O_2), Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen Kohlenwasserstoffen (NMVOC), unter der Einwirkung der Sonneneinstrahlung. Die Ozonvorläufersubstanzen gelangen aus natürlichen und anthropogenen Quellen in die Atmosphäre. In Mitteleuropa entstammt das waldbelastende Ozon im Wesentlichen der photochemischen Ozonbildung aus anthropogenen Vorläufersubstanzen.

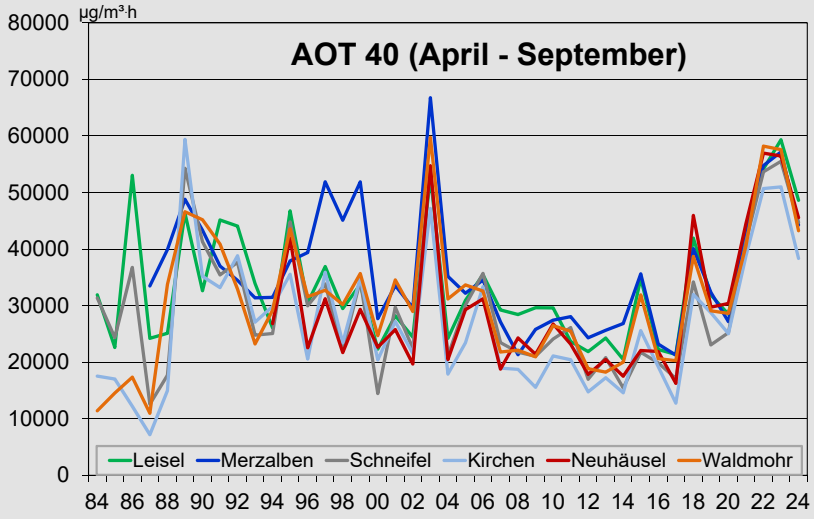
Entscheidend für die Ozonkonzentration ist nicht nur die Konzentration der Vorläufersubstanzen, sondern insbesondere auch der Witterungsverlauf. Hohe Ozonkonzentrationen sind daher vor allem in sonnenscheinreichen Sommern zu erwarten. Trotz der bereits erheblichen Verringerung der Emission der Ozonvorläufersubstanzen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

Ozonmessungen erfolgen im Rahmen des rheinland-pfälzischen Forstlichen Umweltmonitorings an fünf ZIMEN-Waldstationen sowie an einem weiteren Standort mit Passivsammlern. Die Befunde werden nach der MPOC (Maximum Permissable Ozone Concentration)-Methode, dem AOT 40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 parts per billion) und dem Ozonfluss basierten PODy (Phytotoxic Ozone Dose) bewertet.
Alle Bewertungsverfahren belegen, dass unsere Wälder trotz des Rückgangs bei den kurzfristigen Ozonspitzenwerten nach wie vor einer erheblichen Ozonbelastung ausgesetzt sind. An allen Standorten werden die Verträglichkeitsgrenzen deutlich überschritten. Dies belegt die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen zur Reduktion der Emission der Ozonvorläufersubstanzen Stickstoffoxide und flüchtige Kohlenwasserstoffe.

Eine detaillierte Darstellung der Luftschadstoffbelastung der rheinland-pfälzischen Wälder und eine Bewertung der Befunde finden Sie auf den Webseiten der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft:
https://fawf.wald.rlp.de/de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben/forstliches-umweltmonitoring/luftschadstoffe/luftschadstoffbelastung-des-waldes/
Tagesaktuelle Luftschadstoffdaten enthält die Internetpräsentation www.luft.rlp.de

Eine eingehendere Darstellung der Ozonbelastung unserer Wälder mit Kalkulationen der für die Entstehung von Ozonschäden an Bäumen entscheidenden Ozonaufnahme über die Spaltöffnungen der Blätter oder Nadeln enthält der Beitrag „Ozonbelastung rheinland-pfälzischer und saarländischer Waldökosysteme“ im Waldzustandsbericht 2015 (https://fawf.wald.rlp.de/de/veroeffentlichungen/waldzustandsbericht/).

AOT 40-Werte - April bis September - an den ZIMEN-Waldstationen (Messhöhe 3 m)



KLIMAWANDEL UND WITTERUNGS-VERHÄLTNISSE

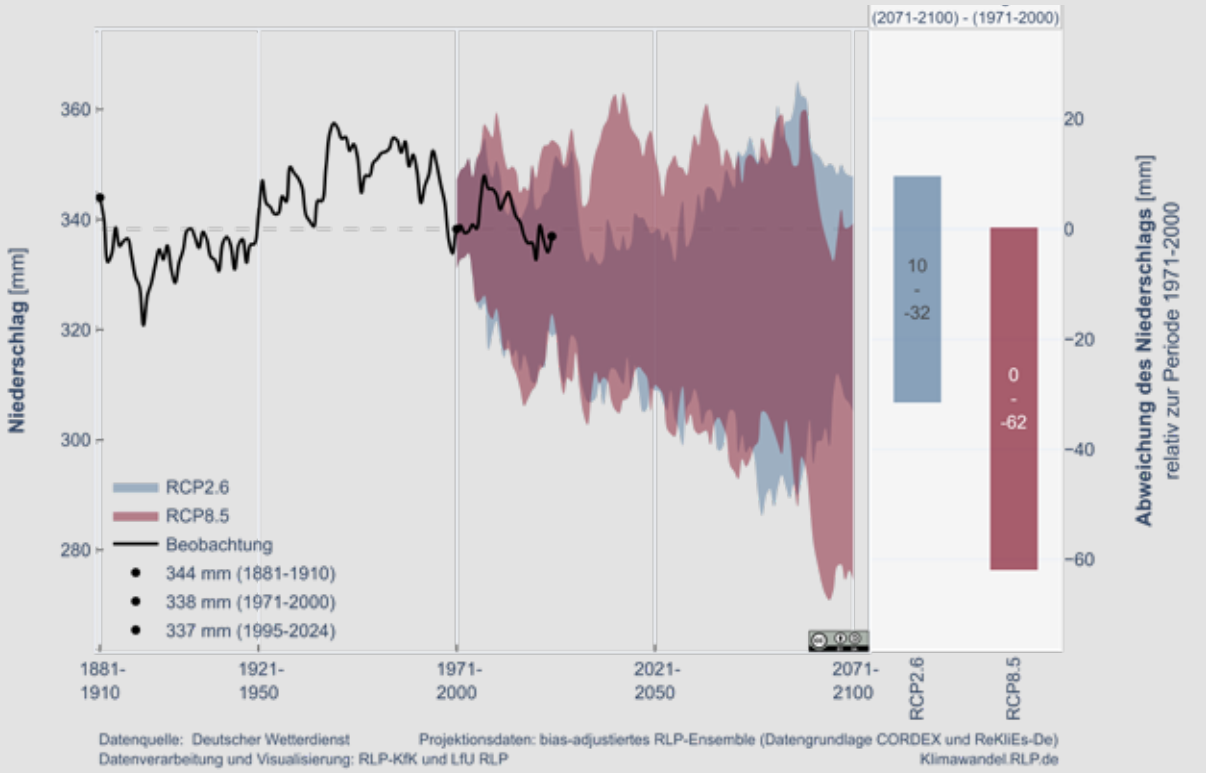
In den letzten Jahren ist die Witterung in Rheinland-Pfalz in mehrfacher Hinsicht als außergewöhnlich zu bezeichnen, trat doch in jedem Jahr mindestens ein Extremereignis auf: 2024 waren es Spätfrost im April und Hochwasser im Mai, in den Jahren zuvor Hitzeperioden, langanhaltende Trockenperioden in den Vegetationszeiten, Nass-Schneefälle im Winter oder beginnendem Frühjahr oder Sommerhochwasser. Wenigstens ein solches Extremereignis gehört damit wohl nunmehr zum Verlauf eines jeden Jahres.
Die Witterung wirkt in vielfältiger Weise auf den Wald ein. Zum einen können unmittelbar Schäden an den Bäumen entstehen, beispielsweise durch sommerliche Trockenheit, Früh- oder Spätfrost, Nassschnee, Sturm oder Hagel. Zum anderen beeinflusst die Witterung die Ozonentstehung, den Bodenchemismus, die Bildung von Blütenknospen, die Fruktifikation und viele andere Abläufe in den Waldökosystemen. Von besonderer Bedeutung, auch wenn sie sich der unmittelbaren Wahrnehmbarkeit entzieht, ist die Wirkung der Witterung auf das hochvernetzte tierische, pflanzliche, pilzliche und bakterielle Bodenleben. Dies gilt im Wald besonders mit Blick auf die Wurzelsysteme mit den Mykorrhizapartnern der Bäume. Einen großen Einfluss hat die Witterung auch auf Massenvermehrungen von Schadinsekten und Pilzkrankheiten. Daher ist auch der Witterungsverlauf für die von Jahr zu Jahr auftretenden Veränderungen im Kronenzustand der Bäume mitverantwortlich.

Der Vitalitätszustand der Bäume wird nicht nur von der Witterung des aktuellen Jahres, sondern auch von den Witterungsverläufen der Vorjahre beeinflusst. Die forstlichen Vegetationszeiten (Mai bis September) waren seit 1997 im Vergleich zur frühindustriellen Zeit ausnahmslos zu warm. Für die Periode 1995 bis 2024 liegt die mittlere Temperatur der Vegetationsperiode mittlerweile mit 16,3 °C um 1,6 °C höher als das langjährige Mittel der Referenzperiode 1881 bis 1910 mit 14,7 °C. Über das gesamte Jahr betrachtet liegt die mittlere Temperatur der Periode 1995 bis 2024 sogar um 1,7°C höher. In diesen Daten werden die Auswirkungen des Klimawandels sichtbar. Regionale Klimamodelle projizieren für Rheinland-Pfalz in der forstlichen Vegetationszeit bis zum Ende des 21. Jahrhunderts einen Temperaturanstieg von ca. 2,5 bis 4,5 °C gegenüber dem Vergleichszeitraum 1971 bis 2000 im Hochemissionsszenario RCP8.5. Bei der möglichen zukünftigen Niederschlagsentwicklung sind die Unsicherheiten in den Klimaprojektionen noch groß. Jedoch deutet sich insbesondere eine Abnahme der Niederschlagsmengen im Sommer und in der forstlichen Vegetationszeit und eine Zunahme in den Wintermonaten an.

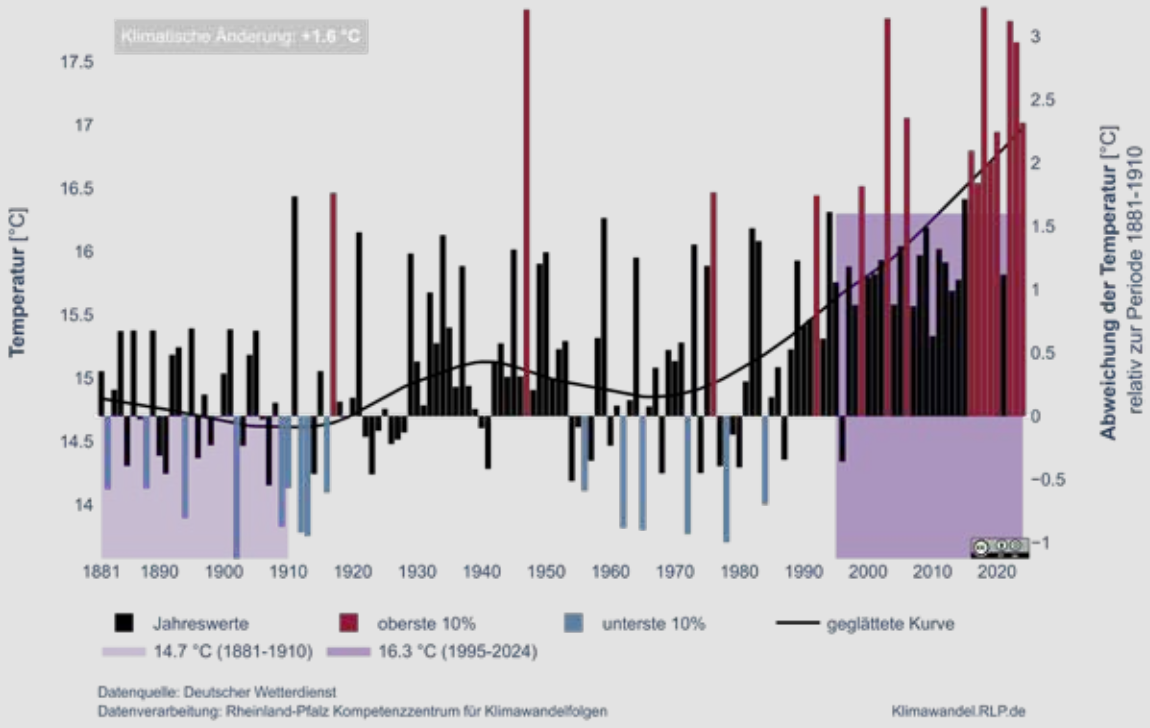
Nach den letzten trockenen Jahren 2018, 2019, 2020 und 2022 lag der Niederschlag von Oktober 2023 bis Juli 2024 über dem langjährigen Mittel von 1990-2020. Besonders im November und Mai fiel in Rheinland-Pfalz zum Teil mehr als doppelt so viel Niederschlag wie erwartet, was zu sehr feuchten Böden und teils sogar zu regionaler Vernässung führte. Mitte Mai führten die hohen Niederschläge im Saarland und Rheinland-Pfalz zu teilweise erheblichen Überschwemmungen. Die Jahrestemperatur 2023 bestätigte die hohen mittleren Temperaturen der letzten Jahre und auch die Temperaturen in der forstlichen Vegetationszeit sowohl 2023 als auch 2024 lagen

Die Daten der rheinland-pfälzischen Waldklimastationen und vieler weiterer Messstationen in Rheinland-Pfalz finden Sie im Landesportal https://www.wetter.rlp.de
Neben aktuellen und vergangenen Messwerten können für alle Stationen auch Wettervorhersagen abgefragt werden.
Informationen zum gegenwärtigen Klima, dem detaillierten Witterungsverlauf seit 1951, zu Projektionen des möglichen zukünftigen Klimas in Rheinland-Pfalz, den möglichen Folgen des Klimawandels und Hintergrundinformationen zu den Themen Klima, Klimawandel und Klimawandelfolgen sowie Forschungsprojekten finden Sie im Internet unter www.klimawandel.rlp.de

Beobachteter Verlauf des Niederschlags in der forstlichen Vegetationszeit (Mai – Sept.) von 1881 bis 2024 und die Bandbreite seiner Projektion bis 2100 nach zwei verschiedenen Klimaszenarien.
(Vergleich anhand des Flächenmittels für Rheinland-Pfalz). Quelle: Deutscher Wetterdienst



Abweichung der Temperatur in der forstlichen Vegetationsperiode (Mai - Sep.) im Vergleich zum 30-jährigen Mittel der vorindustriellen Zeit (1881 - 1910).
(Vergleich anhand des Flächenmittels für Rheinland-Pfalz). Quelle: Deutscher Wetterdienst



über der Referenz 1991-2020. Besonders auffällig waren die bis in den Oktober 2023 auftretenden heißen Tage und Tropennächte. Nach einem generell milden Winter lag die Temperatur im Februar gar mit + 4,9 °C über der Referenz von 2.1 °C und sorgte für einen deutlichen Vorsprung der Vegetation von 2 bis 3 Wochen. Nach dem frühen Vegetationsaustrieb aufgrund des warmen Frühlings führte Mitte April ein Spätfrostereignis zu Schäden insbesondere an den empfindlichen Laubbaumarten. Der Sommer startete mit verhaltenen Temperaturen, die zwar immer wieder Temperaturen über 30 Grad erreichten, doch erst Ende Juli/Anfang August in intensivere, trockene Hitzeperioden überwechselten. So konnten Trockenperioden in den Wäldern ausbleiben.

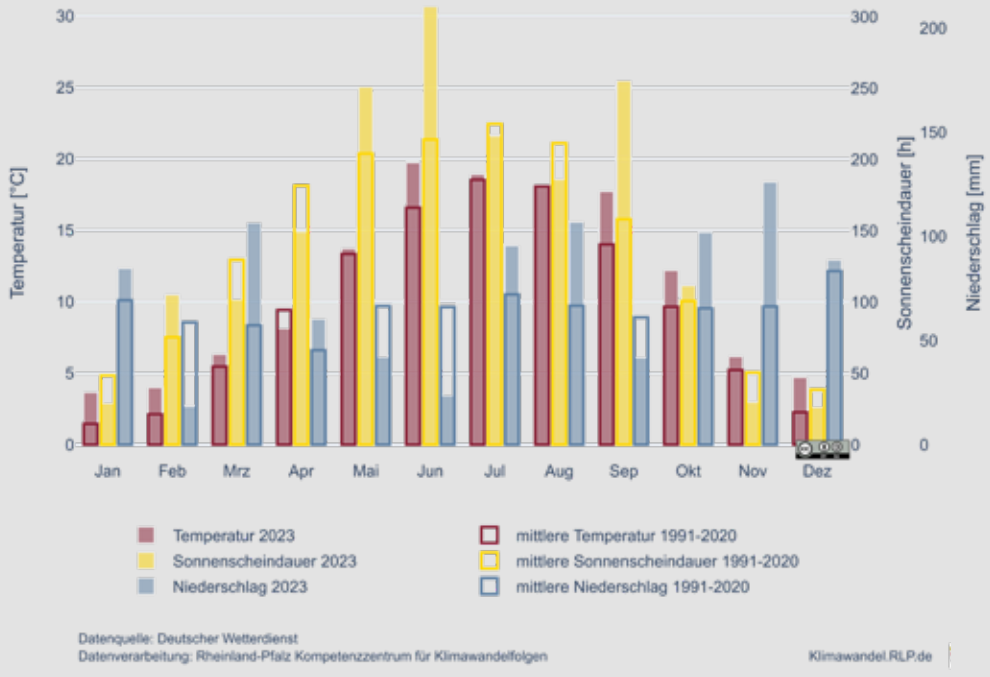
Der September brachte noch einmal viel Niederschlag, so dass die forstliche Vegetationszeit 2024 wärmer und vor allem nasser Ausfiel als in den letzten Jahren.

Wetter bezeichnet den Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt.

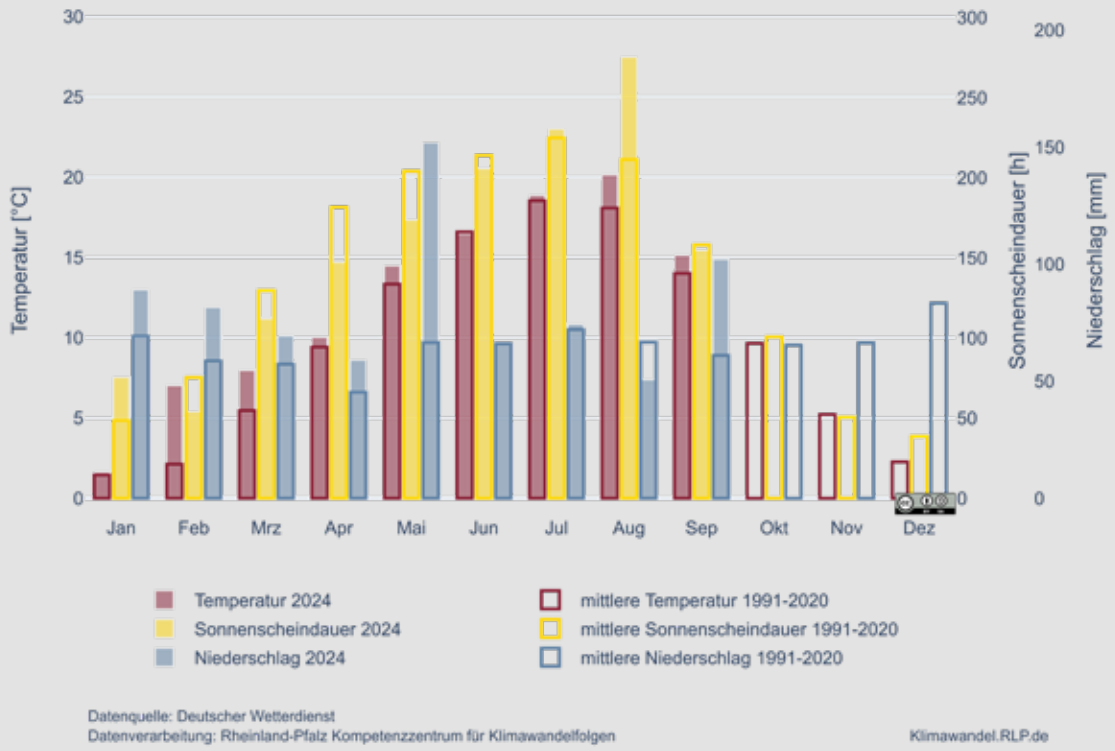
Witterung bezeichnet den allgemeinen, durchschnittlichen oder auch vorherrschenden Charakter des Wetterablaufs eines bestimmten Zeitraums (von einigen Tagen bis zu ganzen Jahreszeiten). Für Abweichungen wird als Referenz in der Regel die letzte 30-Jahresperiode verwendet (z.B. für 2024 1991-2020).

Klima beschreibt den mittleren Zustand der Atmosphäre über einen längeren Zeitraum, in der Regel von 30 Jahren. Für Abweichungen wird als Referenz die frühindustrielle Zeit 1981-1910, die Klimanormalperiode 1961-1990 oder der Referenzzeitraum für Klimaprojektionen 1971-2020 verwendet.

Klimadiagramm für das langjährige Mittel 1991 - 2020 und das Einzeljahr 2023 zum Vergleich für Rheinland-Pfalz



Klimadiagramm für das langjährige Mittel 1991 - 2020 und das Einzeljahr 2024 zum Vergleich für Rheinland-Pfalz.





Gewitter Eifelblick; Foto: Lamour/Hansen

WALDSCHUTZ

Biotische und Abiotische Schadfaktoren können einen erheblichen Einfluss auf die Vitalität unserer Wälder ausüben. Trockenheit und Hitze führten in den vergangenen Jahren zu einer Schwächung der Bäume. Da geschwächte Bäume für den Befall durch Schaderreger anfälliger werden, werden die Auswirkungen häufig erst in den darauffolgenden Jahren deutlich. Der wechselhafte Witterungsverlauf in dem ersten Halbjahr 2024, mit häufiger wiederkehrenden kühlen und feuchten Phasen, begünstigte die Waldbäume.
Die Waldbrandgefahr war in diesem Jahr geringer als in den vergangenen Jahren.

Fichte

Wie im vergangenen Jahr blieben die Wälder von größeren Winterstürmen verschont.

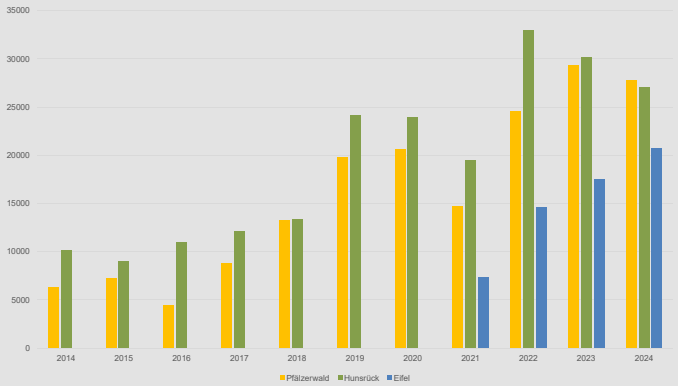


Fraßbild des Buchdruckers mit Larven und Käfer; Foto: Wolf Hoffmann

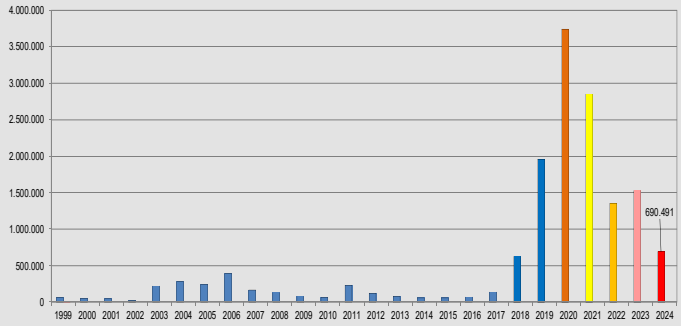
Monitoring des Buchdruckers

Der Buchdrucker wird gegenwärtig in den Regionen Eifel, Hunsrück und Pfälzerwald mit Hilfe von Schlitzfallen überwacht. Zudem werden an den Standorten im Hunsrück und im Pfälzerwald Brutbeobachtungsstämme ausgelegt, um die Entwicklung zu verfolgen.
Auf Grundlage dieser Daten werden fortlaufend Empfehlungen zur effektiven Kontrolle der Fichtenwälder auf Stehendbefall für die Waldbesitzenden abgeleitet und wöchentlich aktualisiert (https://buchdruckermonitoring.wald.rlp.de).
Im Vergleich zum Vorjahr stiegen die Käferfangzahlen pro Falle in der Region Eifel deutlich an.

Durchschnittliche Fangzahlen Buchdrucker je Region und Jahr (Eifel: 3 Fallen; Hunsrück: 6 Fallen; Pfälzerwald: 4 Fallen)



Jährliche Käferholzmengen 1999 - 2024 [fm]



Im Hunsrück und im Pfälzerwald nahmen die Käferfangzahlen pro Falle im Vergleich zum Vorjahr hingegen leicht ab bzw. blieben die Käferfangzahlen pro Falle im Vergleich zum Vorjahr fast unverändert auf hohem Niveau.
In den niedrigeren Lagen konnte eine dritte Käfergeneration angelegt werden.

Rotbuche

Die warmen und trockenen Witterungsverhältnisse der vergangenen Jahre haben die Vitalität der Rotbuchen geschwächt. Gerade in Altbeständen sind die Trockenschäden sehr auffällig. Zusätzlich traten in diesem Frühjahr gerade an den jüngeren Rotbuchen Spätfrostschäden auf. Regional trat außerdem der Buchenspringrüssler (*Orchestes fagi*) in Erscheinung, der aber keine nennenswerte Vitalitätsminderung verursachte.

Eiche

Auch die in Mitteleuropa autochthonen Eichenarten weisen aktuell häufig Trockenschäden auf. Als Profiteur des Klimawandels, nimmt der Befall durch den Zweipunktigen Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus*) an den geschwächten Bäumen gegenwärtig deutlich zu. Bei hohem Wärmeangebot und Wirtsschwächung kann die Generationsdauer nur ein Jahr betragen. Die sich unter der Rinde entwickelnden Käferlarven unterbrechen den Saftstrom und bringen bei intensivem Befall Kronenteile oder sogar den ganzen Baum zum Absterben.



Fraßgäng der Larve des Zweipunktigen Eichenprachtkäfers an Eiche im Bastbereich; Foto: Wolf Hoffmann

Häufig tritt gemeinsam mit Prachtkäferbefall auch ein Befall durch Holzbrüter auf. Außerdem konnten Stamm- und Wurzelpilze, wie zum Beispiel der Spindelige Rübling (*Gymnopus fusipes*), als schadensverstärkende Faktoren beobachtet werden.
Gerade Extremstandorte, wie zum Beispiel ehemalige Eichen-Niederwälder im Oberen Mittelrheintal bei Boppard, sind aktuell massiv betroffen.



Fruchtkörper des Spindeligen Rüblings am Stammfuß einer Eiche; Foto: Wolf Hoffmann

An Eichenblättern wurde sehr häufig der Befall durch den Eichenmehltau (*Microsphaera alphitoides*) beobachtet. Besonders bei den Eichen, die von dem Spätfrostereigniss betroffen waren, war der Neuaustrieb zusätzlich durch Mehltaubefall geschädigt. Befallen waren vielfach auch die Johannistriebe selbst in den oberen Kronenteilen.



Jahrestrieb 2024 einer jungen Eiche im Detail: Erstaustrieb (ganz links) mit normal entwickelten Blättern; Zweitaustrieb (Mitte) mit stark vom Mehltau befallenen Blättern, das Blattwachstum wurde eingestellt, teilweise sind die Blätter abgestorben, aber der Trieb ist intakt; Drittaustrieb (ganz rechts) mit frischen, noch zarten Blättern und noch nicht verholztem Trieb; Foto: Friedrich Engels



Spätfrostschaden im Frühjahr und Ersatz-Austrieb bei Eiche; Foto: Hans-Peter Ehrhart



Ältere Eiche mit starkem Mehltaubefall bis in die obere Krone; Foto: Friedrich Engels

Kiefer

Trocken- und Hitzeschäden sind zurzeit auch bei Kiefern zu beobachten. Hinzu kommt ein in der Rheinebene inzwischen generell verbreiteter Befall durch die Mistel (*Viscum album subsp. austriacum*), der sich inzwischen auch zunehmend in den Pfälzerwald ausdehnt. Dieser immergrüne Halbschmarotzer beeinträchtigt seine Wirtsbäume hauptsächlich durch die Störung des Wasserhaushalts.



Stark mit Mistel befallene Kiefer im Pfälzerwald bei Dahn; Foto: Friedrich Engels

Die durch Hitze und Dürre geschwächten Kiefern werden in zunehmendem Umfang durch Pilzerkrankungen, wie das durch *Sphaeropsis sapinea* hervorgerufene Diplodia-Triebsterben, oder auch durch Kiefernborkenkäfer und den Kiefernprachtkäfer befallen und zum Absterben gebracht.
In den letzten Jahren verschärfte sich dieses Phänomen. In der Rheinebene kam es zum Teil zum flächenweisen Absterben von Kiefern.

Weißtanne

Es waren im ganzen Land auch einzelne oder kleine Gruppen von absterbenden Tannen zu beobachten, häufig in tieferen, exponierten und oftmals flachgründigen Lagen. Die Bäume wurden durch auf Tannen spezialisierte Borkenkäfer oder Rüsselkäfer befallen, nachdem sie durch Trockenheit oder Wurzelschäden geschwächt waren.

Esche

Das von dem aus Ostasien stammenden, neobiotischen Pilz *Hymenoscyphus fraxineus* verursachte Eschentriebsterben hat landesweit zu einem verbreiteten Absterben unzähliger, vor allem junger Eschen sowie zu erheblichen Störungen in den Wäldern geführt, die von dieser Baumart geprägt waren. Betroffen ist insbesondere die Rheinaue mit ihren zahlreichen Fluss- und Bachtalwäldern und ihren eschenreichen Wäldern der nährstoffreichen Waldstandorte.



Stark vom Triebsterben gezeichnete Esche in den Pfälzer Rheinauen; Foto: Wolf Hoffmann

Das Demonstrationsvorhaben FraxForFuture brachte neue Forschungsergebnisse und Kentnisse, die als PDF veröffentlicht sind:

ZUKUNFT DER ESCHE
Empfehlungen zum forstbetrieblichen Umgang mit dem Eschentriebsterben

Download Handlungsempfehlungen: https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2024/Mediathek/52.13.94_Broschuere_A5_Esche_v06_web.pdf
Download Kurzversion: https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2024/Mediathek/52.13.94_Einleger_130x205mm_Esche_v03_web.pdf

Der Inhalt befasst sich mit den Auswirkungen des Eschentriebsterbens und den bisher beobachteten Anpssungsprozessen der Esche. Es werde waldbauliche Empfehlungen im Umgang mit der Esche gegeben. Dabei wird auch auf den Erhalt der Ökosystemdienstleistungen und Aspekte der Verkehrsicherung und des Arbeitsschutzes eingegangen.

Ahorn

Ein weiterer neobiotischer Pilz, *Cryptostroma corticale*, der aus Nordamerika eingeschleppt wurde, hat in den vergangenen Jahren erhebliche Schäden vor allem an Bergahornen verursacht und auch Bäume zum Absterben gebracht. Bei dem Erreger handelt sich um einen weiteren Schwächeparasiten, der von den Hitze- und Dürrejahren profitiert. Er löst die sogenannte Rußrindenkrankheit aus. Dabei können die Sporen dieses Pilzes auch beim Menschen zu Atemwegsbeschwerden führen.



Rußrindenkrankheit an einem Feldahorn; Foto: Jörg Hohmann

Birke

Als Pioniergehölz kommt den Birkenarten eine sehr große waldökologische und waldwirtschaftliche Bedeutung bei der Wiederbewaldung von störungsbedingten Freiflächen zu.
Landesweit sind vermehrt absterbende Birken in allen Altersklassen zu beobachten. Auch diese Erscheinung ist wesentlich mit den vergangenen Dürre- und Hitzejahren in Zusammenhang zu bringen, in denen selbst diese als widerstandsfähig geltende Pionierbaumart an vielen Stellen empfindlich geschwächt wurde.

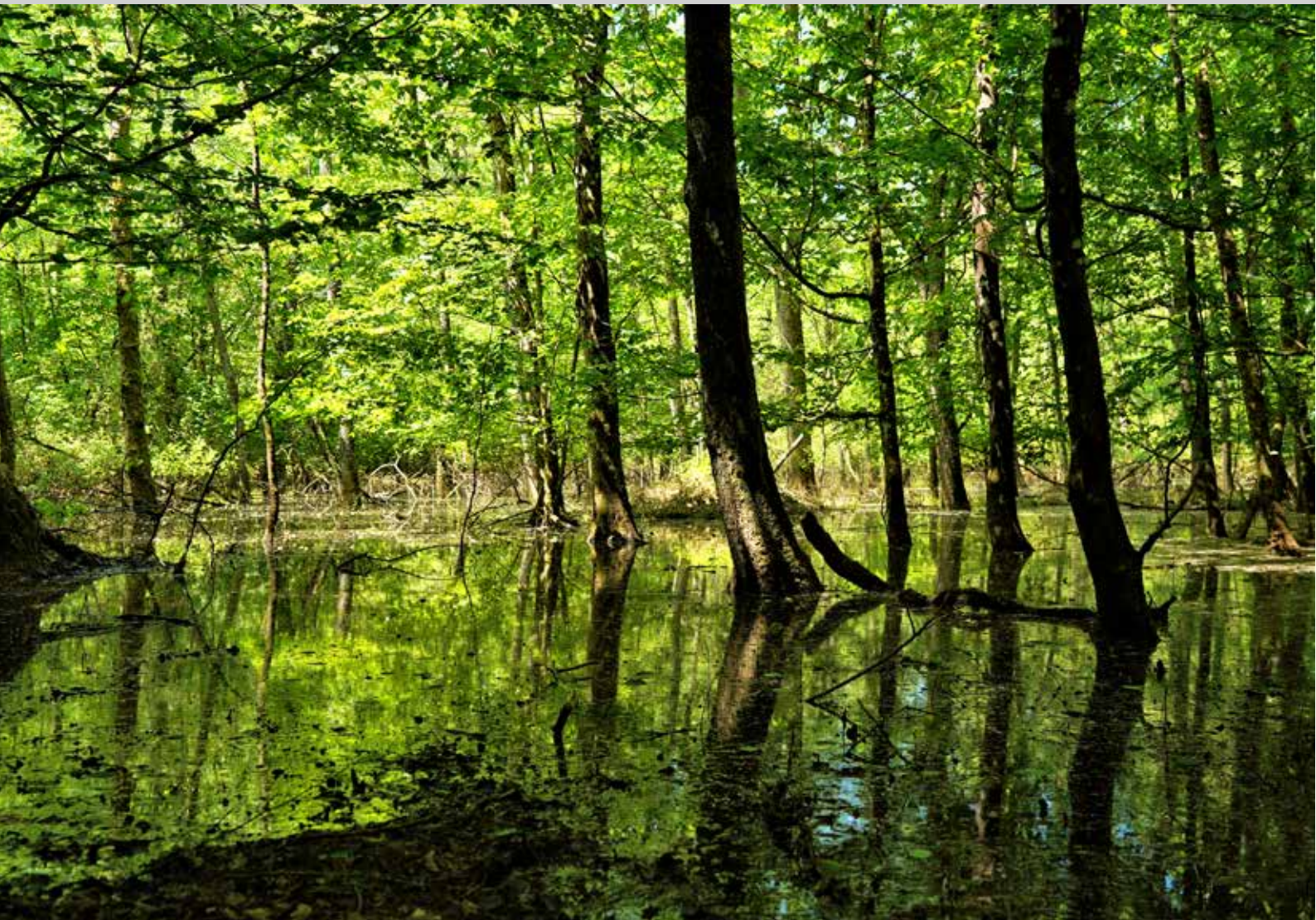
Vogelkirsche

Im Verlauf des Sommers wurden in vielen Landesteilen verfärbte und verlichtete Baumkronen der Vogelkirsche sichtbar. Die Witterungsbedingungen im Frühjahr mit reichlich Nässe und auch raschen Temperaturwechseln begünstigte die Infektion mit Pilzen, die Blätter und teilweise auch die jungen Triebe befallen. Es konnten verschiedene Organismen isoliert und nachgewiesen werden: *Botrytis cinera, Apiognomonia erythrostoma, Pseudomonas syringae*. In der Folge wirft die Vogelkirsche ihre Blätter vorzeitig ab, treibt aber im Folgejahr in der Regel wieder normal aus.



Vorzeitiger Blattfall bei einer Vogelkirsche in der westlichen Eifel; Foto: Florian Frank

BEDEUTUNG INTAKTER WÄLDER FÜR EINE NACHHALTIGE GRUND-WASSERNEUBILDUNG IN ZEITEN DES KLIMAWANDELS



Die Folgen des Klimawandels, die sich in veränderten Niederschlagsmustern, Wetterextremen (häufigere Trockenperioden und Starkregenereignisse) und höheren Jahresmitteltemperaturen zeigen, stellen sich auch in Rheinland-Pfalz als kritisch für die Grundwasserneubildung dar: Die bereits messbare Verlängerung der Vegetationsperiode und die zunehmende Austrocknung der Böden verkürzen die Phase der Wiederauffüllung der Grundwasserspeicher. Erhöhte Entnahmebedarfe in Trockenperioden steigern zusätzlich den Nutzungsdruck, sodass die Grundwasserstände seit Jahren konstant fallen. Wälder wirken sich günstig auf die Grundwasserneubildung aus, sofern ihre Funktionen, Strukturen und Prozesse intakt sind. Diese gilt es zu erhalten und zu verbessern, um das Grundwasser als wichtigste Grundlage für unsere Trinkwassergewinnung zu schützen.

Ausgangssituation

Von Klimamodellen vorhergesagte klimawandelbedingte Temperaturerhöhungen und veränderte Niederschlagsmuster mit längeren sommerlichen Trockenperioden und ausdauernden Regenfällen in den Wintermonaten zeigten sich in den vergangenen Jahren auch in Rheinland-Pfalz. Das westeuropäisch-atlantisch geprägte Klima in der Region, das bisher durch ausgeglichene Temperaturen und hohe jährliche Niederschlagsmengen gekennzeichnet war, verzeichnet seit 1881 mittlerweile einen Temperaturanstieg um 1,7 °C (Quelle: https://www.klimawandel-rlp.de/klimawandel/klimatische-aenderungen). Lange Trockenperioden innerhalb der Vegetationsperiode gehen mit negativen Folgen für die klimatische Wasserbilanz in den Waldgebieten einher. Erhöhte Jahresmitteltemperaturen führen zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode, wodurch sich die Phase der Wiederauffüllung der Bodenspeicher mit anschließender Tiefensickerung in den Grundwasserkörper verkürzt.

Die **klimatische Wasserbilanz** ist die Differenz aus der Summe der Niederschläge (Wassereintrag) und der Summe der potentiellen Verdunstung (Wasseraustrag in die Atmosphäre). Die klimatische Wasserbilanz ist negativ, wenn mehr Wasser verbraucht als eingetragen wird. Dies ist bei entsprechender Witterung vor allem innerhalb der Vegetationsperiode gegeben, sodass es während dieser Zeit zu Wassermangel kommen kann. Außerhalb der Vegetationsperiode füllen Niederschläge zunächst die Bodenwasserspeicher auf, tragen bei Bodensättigung zur Grundwasserbildung bei und speisen Oberflächengewässer. Der Deutsche Wetterdienst bietet in seinem Klimaatlas deutschlandweite Karten zur klimatischen Wasserbilanz an.

S. 46: Die Wiedervernässung periodisch staunasser Waldareale speichert Wasser in der Landschaft;
Foto: G. Schüler

Der seit Anfang der 2000er Jahre anhaltende Trend sinkender Grundwasserstände ist eine Folge steigender Jahresmitteltemperaturen der Luft, steigender Verdunstungswerte durch den Klimawandel und in der Folge auch **erhöhte** Entnahmemengen durch höhere Verbrauchsbedarfe.

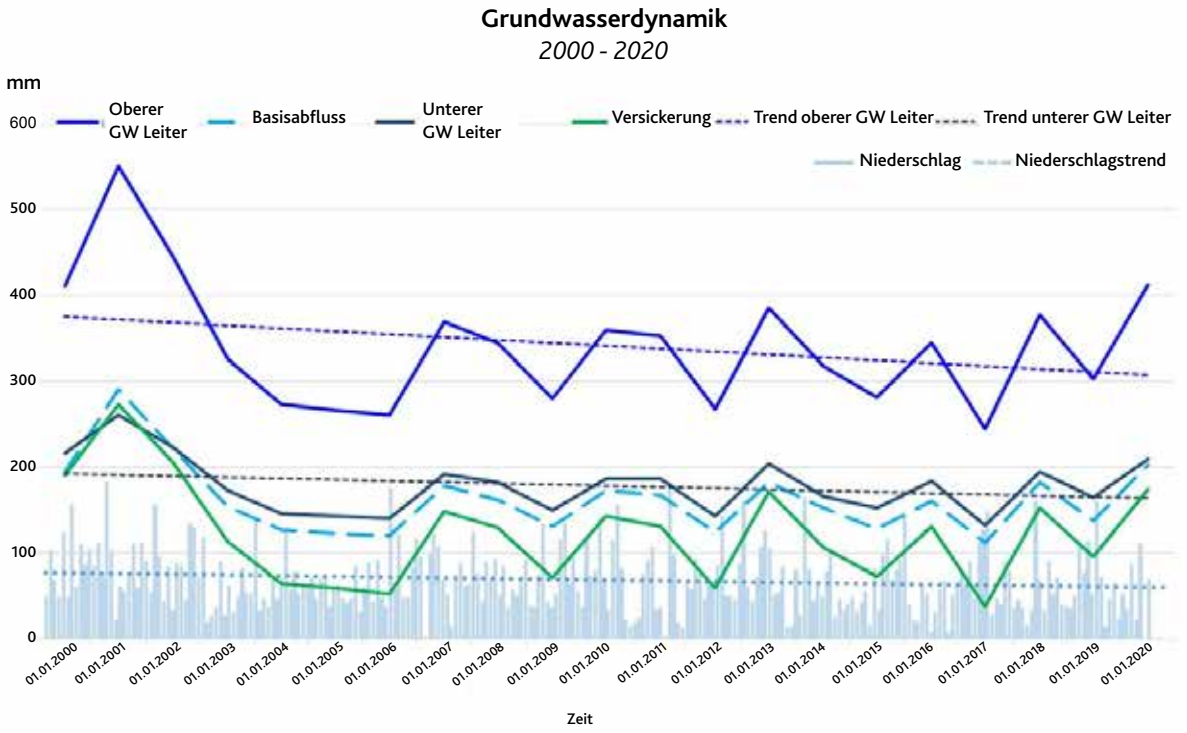
Auch in Gebieten mit bisher effizienter Grundwasserbildungsrate, wie im Pfälzerwald, sind seit Jahrzehnten sinkende Grundwasserspiegel zu verzeichnen. Die Grundwasserneubildung in Rheinland-Pfalz ist im Zeitraum 2010 bis 2015 um 21 Prozent im Vergleich zum Zeitraum 1951 bis 2010 zurückgegangen. Von 2010 bis 2020 wird in Rheinland-Pfalz sogar ein Rückgang um 25 Prozent im Vergleich zu 1952 bis 2010 diskutiert.

Eine Auswertung von Grundwassermessstellen in bewaldeten Gebieten zeigt durchweg sinkende Grundwasserstände. Dabei zeigt die Messstelle Schönecken in der Eifel mit einem Rückgang von -0,006 Metern pro Jahr seit dem Jahr 2000 noch die geringsten Verluste.

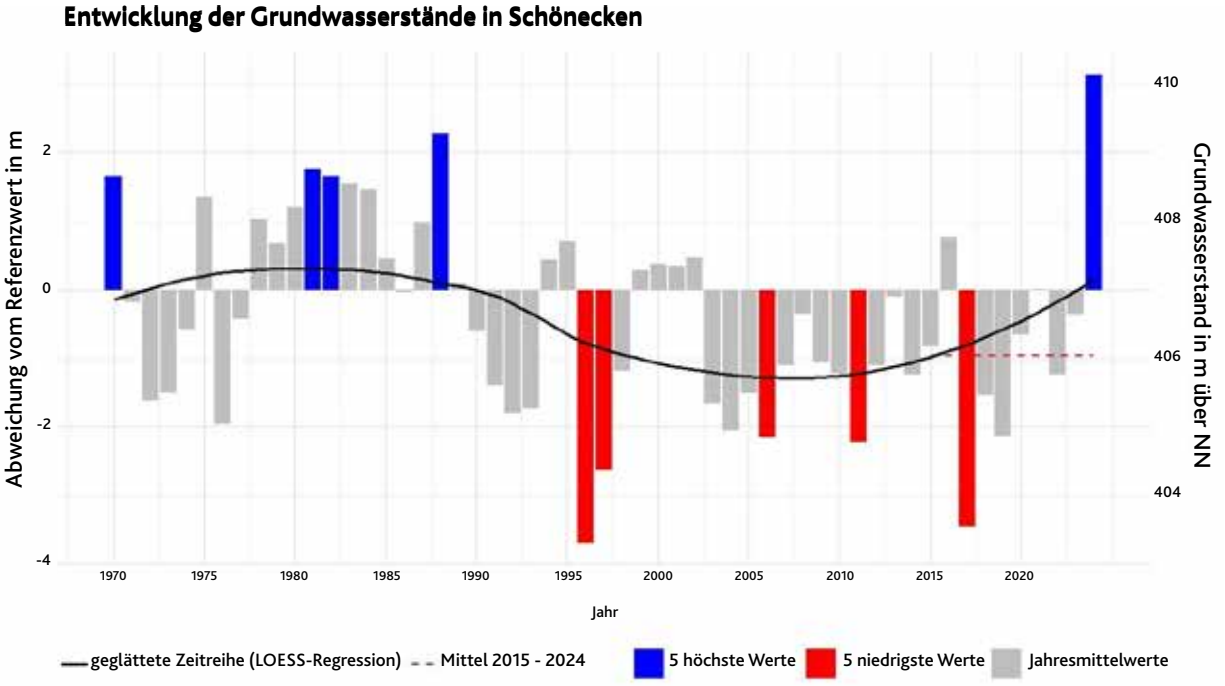
Den Einfluss des Klimawandels veranschaulichen auch die Entwicklungen der Grundwasserstände der Messstellen Flonheim bei Bad Kreuznach und Waldmohr. Der Pfälzerwald liegt in der hydrogeologischen Großlandschaft des Pariser Beckens und ist mit den westlich angrenzenden Wuchsgebieten über die unterirdische Fließrichtung in dieser Schichtstufenlandschaft des variszischen Grundgebirges verbunden, die Entwicklung kann damit auf diese angrenzenden Gebiete übertragen werden.

Als besonders kritisch zeigt sich die Messstelle Dudenhofen in der Rheinebene mit Verlusten von 0,15 Metern pro Jahr.

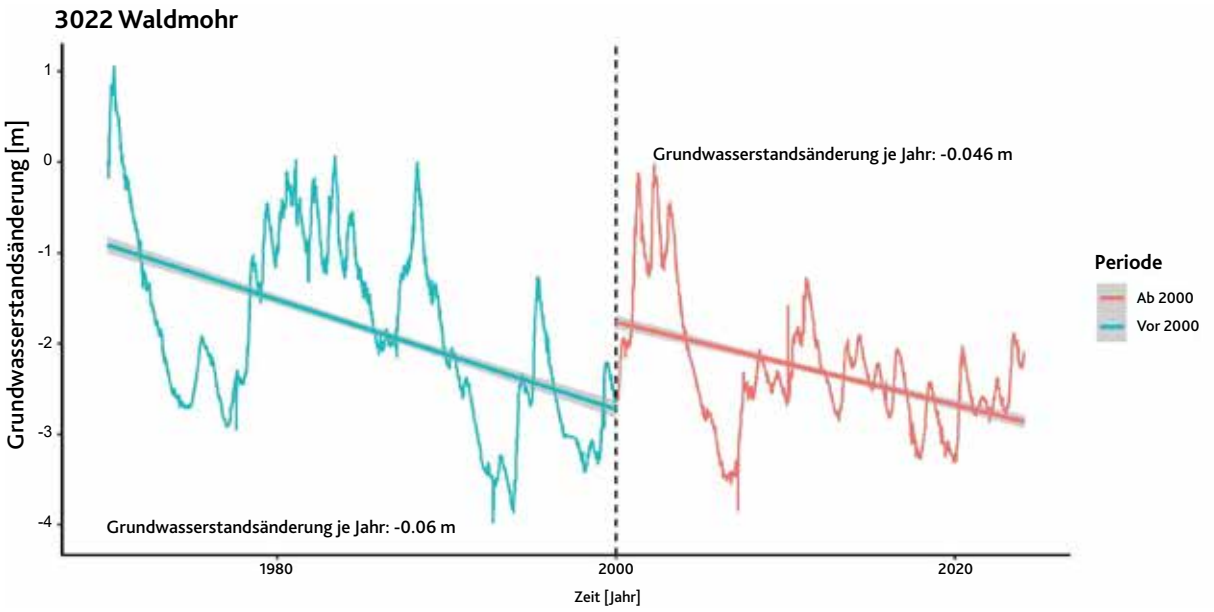
Simulation der Grundwasserdynamik im Pfälzerwald, modelliert mit dem hydrologischen Gebietswasserhaushaltsmodell SWAT+. Oberer und unterer Grundwasserleiter sowie Versickerung und Niederschlag zeigen in den vergangenen zwei Dekaden stetig sinkende Trends.



Abweichung des Grundwasserstands vom langjährigen Mittelwert der Klimaperiode 1970 – 2000 der Messstation Schönecken in der Eifel.

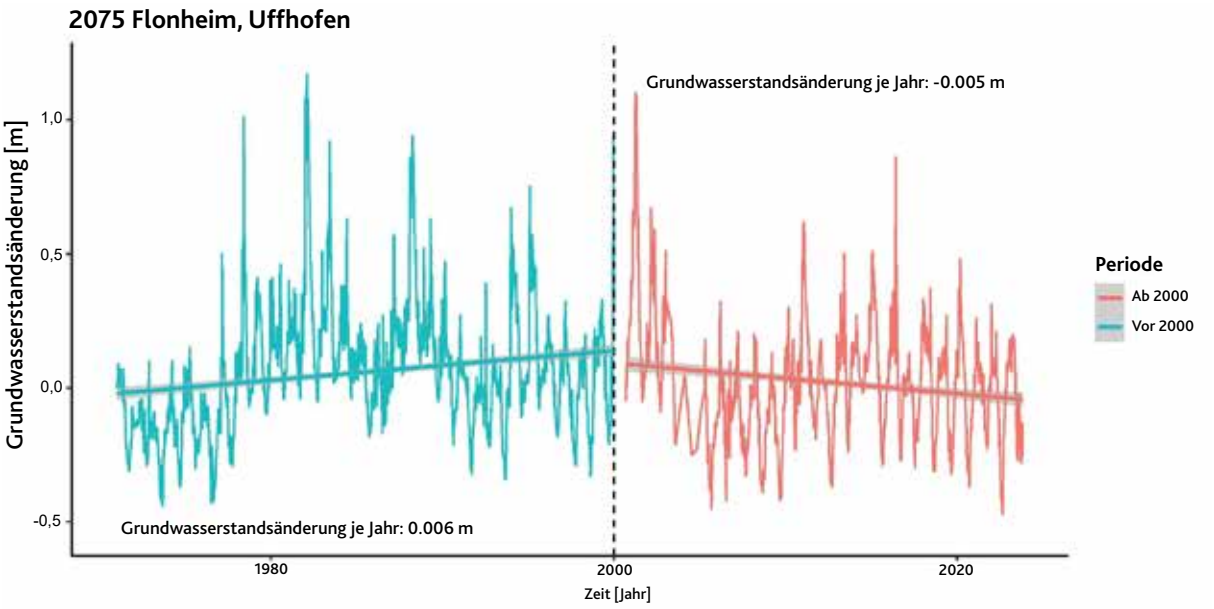


Grundwasserstände der Messstation Waldmohr für die Klimaperioden vor dem Jahr 2000 und ab 2000 bis heute.

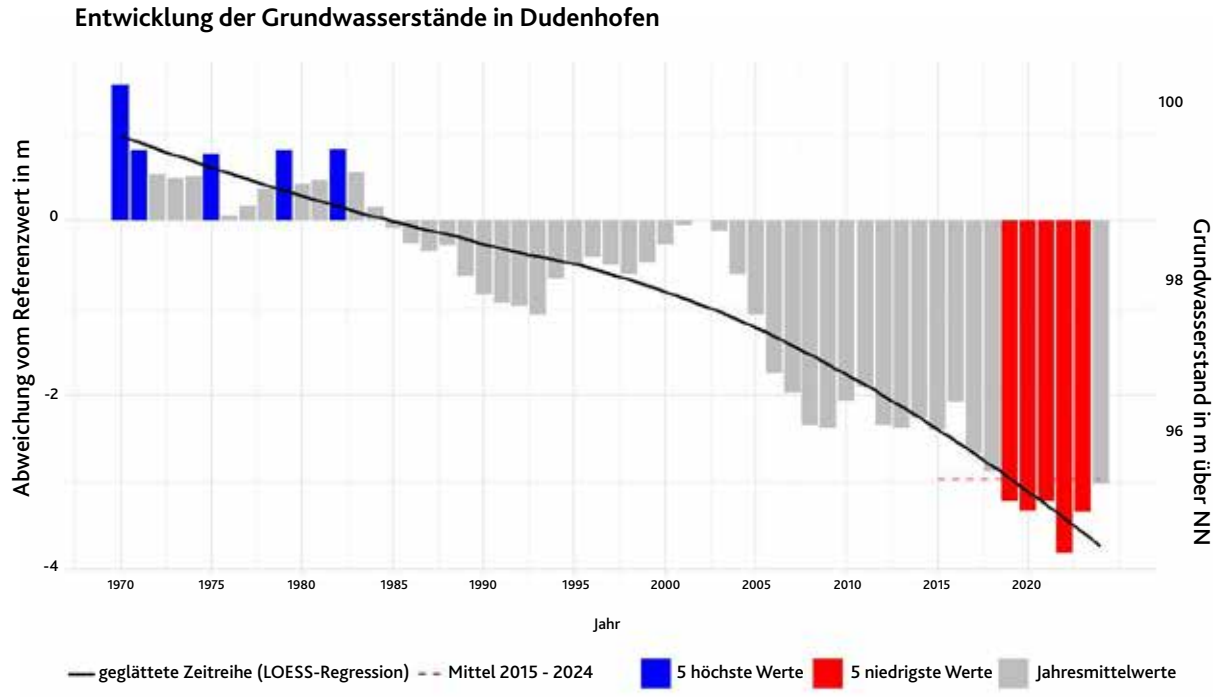


Zudem sank in den Dürrejahren 2018, 2019 und 2020 der Bodenwassergehalt nachhaltig, wie Daten des Hemholtz Zentrums für Umweltforschung belegen (Quelle: https://www.ufz.de/index.php?de=37937).

Grundwasserstände der Messstation Flonheim/Uffhofen bei Bad Kreuznach für die Klimaperioden vor dem Jahr 2000 und ab 2000 bis heute.



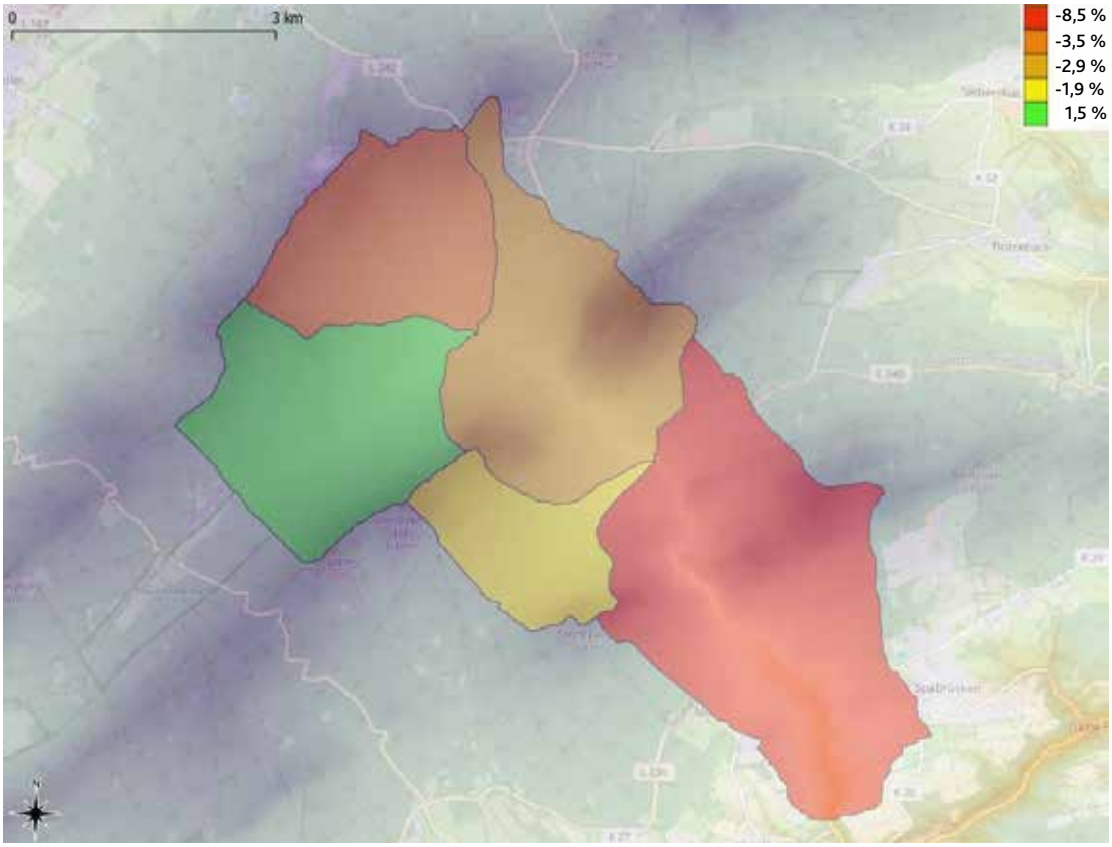
Abweichung des Grundwasserstands vom langjährigen Mittelwert der Klimaperiode 1970 – 2000 der Messstation Dudenhofen in der Rheinebene.



Da die Wiederauffüllung der Bodenwasserspeicher Voraussetzung für die Tiefenversickerung ins Grundwasser ist, wird dadurch auch die Zeit für die Grundwasserneubildung verkürzt. Obwohl Aufzeichnungen der letzten Jahrzehnte eine deutliche Zunahme der Winterniederschläge zeigen, gibt es regionale Unterschiede. In manchen Landesteilen wird ein Rückgang der Winterniederschläge verzeichnet, was zusätzliche Verluste für die Grundwasserneubildung bedeutet. Dies kommt besonders in den Regionen zum Tragen, die aufgrund der geologischen Gebietseigenschaften eine ohnehin schon geringe Grundwasserneubildung aufweisen. Für den Soonwald bei Bad Kreuznach wurde anhand des hydrologischen Modells SWAT+ eine Grundwasserneubildungsrate von nur 66 mm pro Jahr ermittelt. Auch hier macht sich der Klimawandel mit leicht sinkenden winterlichen Niederschlagswerten und höheren Wasserverlusten infolge steigender Lufttemperaturen innerhalb der Vegetationsperiode bemerkbar.

Das Soil & Water Assessment Tool Plus (SWAT+) ist ein hydrologisches Wasserhaushalts-Modell auf der Ebene von kleineren Wassereinzugsgebieten bis hin zu großen Flusseinzugsgebieten, das verwendet wird, um die Qualität und Quantität von Oberflächen- und Grundwasser zu simulieren und die Umweltauswirkungen von Landnutzung, Landbewirtschaftungspraktiken und Klimawandel vorherzusagen. SWAT+ wird häufig bei der Bewertung und zur Kontrolle von Bodenerosion, der Verschmutzung durch punktuelle Quellen und des regionalen Managements in Wassereinzugsgebieten eingesetzt.

Änderungssignal in Prozent der Grundwasserneubildung im Eingangsgebiet Argenschwang im Soonwald zwischen den Perioden 1993-2008 und 2009-2016, simuliert mit SWAT+.



Ein paar Dürrejahre in Folge mögen den guten mengenmäßigen Zustand der Grundwasserkörper noch nicht gefährden, aber mit Vorhersagen über veränderte Häufigkeits- und Intensitätsmuster von Klimaextremen werden Versorgungsengpässe wahrscheinlicher – und damit auch der Verlust von damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen. Dies betrifft nicht nur die öffentliche Versorgungssituation mit Trinkwasser und andere Entnahmebedarfe (z.B. für die Bewässerung von Agrarkulturen), sondern auch grundwasserabhängige Landökosysteme wie Buchenwälder, Feuchtwiesen und Moore. Vor diesem Hintergrund sind ökosystemare Versorgungsleistungen aus bewaldeten Einzugsgebieten für die Trinkwasserversorgung von hoher Bedeutung und gleichsam bei den aktuellen Entwicklungen gefährdet.

Versorgende Ökosystemleistungen zur Grundwasserneubildung unter Wald

Wälder haben einen entscheidenden Einfluss auf den Abfluss und damit auf die Wasserversorgung und den Stoffhaushalt von Flüssen und Grundwasser. Durch die Speicherung und Rückhaltung von Niederschlägen im Kronendach gelangt das Niederschlagswasser zeitlich verzögert auf den Waldboden. Dabei wird die Aufprallenergie der Regentropfen abgemildert. Bei Direktniederschlag auf den Boden wiederum können durch die Aufprallenergie der Regentropfen Bodenpartikel gelöst werden. Ihre Ablagerung auf der Bodenoberfläche trägt zur Krustenbildung bei, was die Versickerung behindert und den Oberflächenabfluss über Land erhöht. Mit dem Oberflächenabfluss werden Bodenpartikel und wichtige Nährstoffe für die Bodenfruchtbarkeit wegtransportiert und in angrenzende Oberflächengewässer eingetragen, wo sie Eutrophierungseffekte verursachen können. Das Kronendach mildert also durch das Zurückhalten der Regentropfen nicht nur den Oberflächenabfluss, sondern wirkt auch Erosion und Eutrophierungsrisiken entgegen. Zudem übt es durch die Abschattung eine kühlende Wirkung auf den Waldbestand aus, wodurch sich im Waldinneren ein Temperaturregime von bis zu 6 °C unterhalb der Lufttemperaturen außerhalb des Waldes einstellen kann. Dieses kühlere Waldinnenklima schützt an heißen Tagen nicht nur die menschliche Gesundheit, sondern setzt vor allem das atmosphärische Verdunstungspotenzial der Luft herab. Dadurch verdunstet auch weniger Wasser aus dem Boden, dem zweiten wichtigen Wasserretentionsraum im Wald. Wälder weisen im Vergleich zu anderen Landschaftsformen verhältnismäßig unbelastete Bodenverhältnisse auf. Die Humusschicht, besonders unter Laubbäumen mit regelmäßiger und chemisch günstiger Laubstreu, weist eine hohe Wasserspeicherkapazität auf. Die vergleichsweise lockere Lagerungsdichte der Waldböden bietet günstige Bodenverhältnisse für Versickerung und Bodenwasserspeicherung. Die Wurzeln der Bäume reichen bis in tiefere Bodenschichten, aus denen sie Wasser für die Transpiration entziehen und somit auch diese Bodenschichten als Speichervolumen für nachgeliefertes Wasser wiedererschließen. Erreicht der Boden Feldkapazität, ist also wassergesättigt, tritt Tiefensickerung ein, bis das Wasser schließlich unterhalb der Wurzelzone in den Grundwasserkörper eintritt. Bei der Bodenpassage wird es durch chemische und physikalische Prozesse von Nähr- und Schadstoffen gereinigt. Auch die Aufnahme und Festlegung von Nährstoffen durch die Pflanzen trägt dazu bei, dass das Grundwasser unter Wald besonders rein ist. Somit gewährleistet der Wald in besonderem Maße mengenmäßig und qualitativ hochwertiges Grundwasser, solange die dafür notwendigen Funktionen, Prozesse und Strukturen gegeben sind. Da Wälder über die Vegetationsperiode durch die hohe Verdunstungsleistung mehr Wasser verbrauchen als eingetragen wird, weisen sie in dieser Zeit eine negative Wasserbilanz auf.
Im Vergleich zu anderen Vegetationsformen, wie etwa Gras, das doppelt bis 3-mal so viel verdunstet als Wald, oder gar unbewachsenem Boden oder freien Wasserflächen, wirken sich Wälder allerdings ausgleichend auf die Wasserbilanz gerade in Dürreperioden aus: Die Bäume schließen bei großer Hitze und knapper Wassernachführung aus dem Boden ihre Spaltöffnungen in Nadeln und Blättern

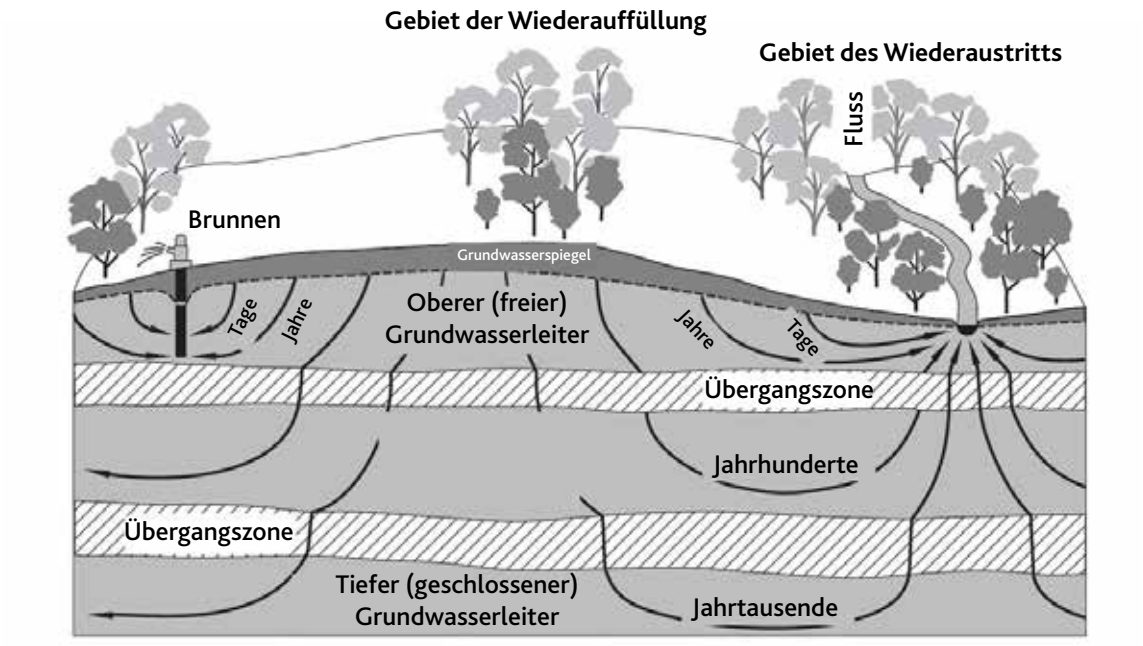
und schränken damit ihre Verdunstung ein. Hinzu kommt die beschattende und kühlende Wirkung des Kronendaches, die wiederum die Evapotranspiration aus dem Boden und aus der Waldbodenvegetation gegenüber dem Freiland reduziert. Die eigentliche Phase der Grundwasserneubildung liegt in den Wintermonaten, mit geringen Transpirationsverlusten und durch den Laubabwurf erhöhtem Direktniederschlag. Die Länge der vegetationsfreien Zeit ist daher ausschlaggebend für die Phase der Wiederauffüllung der Grundwasserspeicher.

Die Länge der Vegetationsperiode als Einflussfaktor für die Grundwasserneubildung

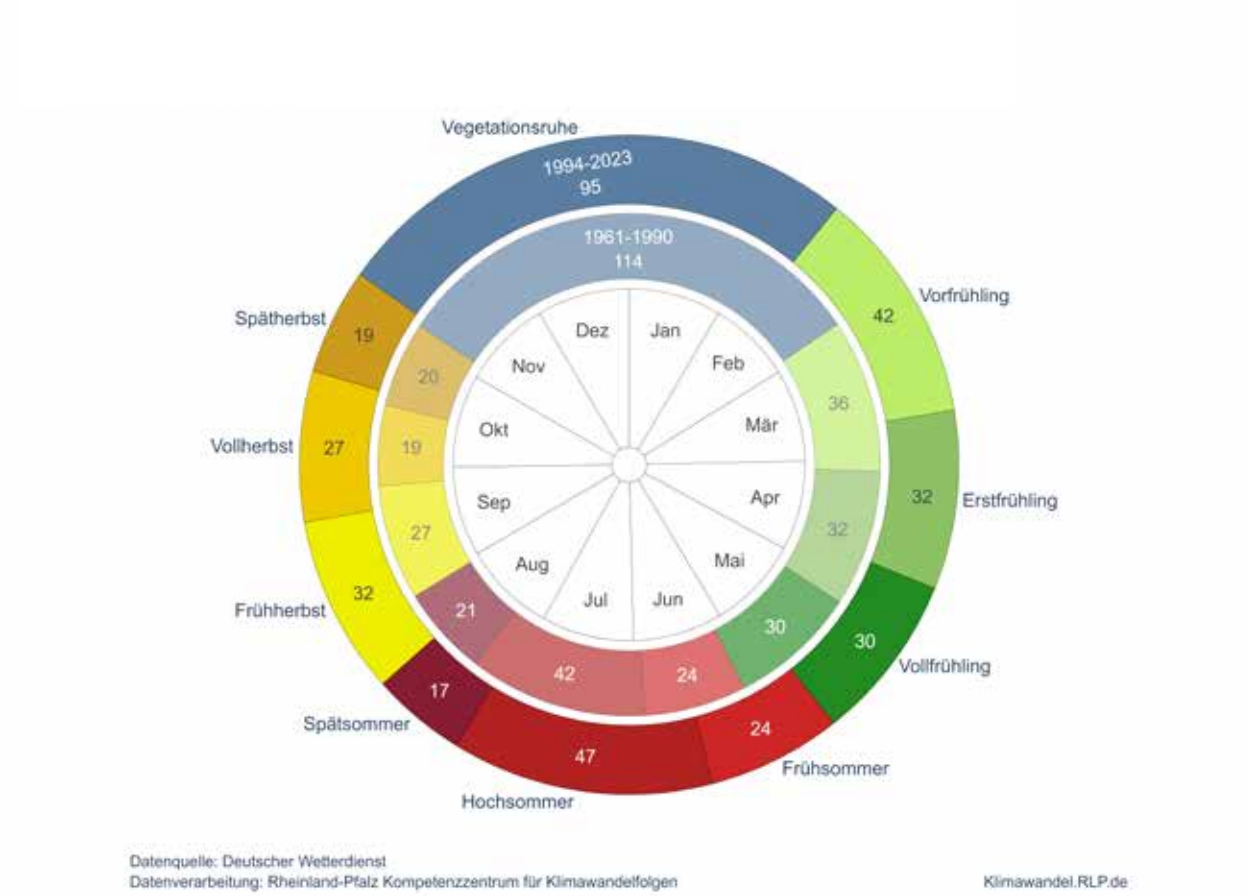
Für das Klima gemäßigter Wälder tragen Dauerniederschläge, die normalerweise in den vegetationsfreien Wintermonaten auftreten, effektiv zur Grundwasserbildung bei, während innerhalb der Vegetationsperiode der größte Teil des eindringenden Niederschlagswassers verdunstet oder als Zwischenfluss direkt in die Vorfluter (Hauptfließgewässer) fließt.

Als Ursachen für den Rückgang der Grundwasserneubildungsrate werden ein erhöhter Pflanzenbedarf durch die Verlängerung der Vegetationsperiode und die damit verbundenen erhöhten Verluste durch die Verdunstung diskutiert. Diese Vorgänge sind zwar regional unterschiedlich ausgeprägt, in ihrem Trend aber für ganz Deutschland bestätigt (Quelle: Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung – Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und den existierenden Maßnahmen und Strategien | Umweltbundesamt). Für Rheinland-Pfalz wurde die Entwicklung von Beginn und Ende der Vegetationsperiode bis Ende des Jahrhunderts auf Grundlage aktueller Klimaprojektionen simuliert und die zunehmende Verlängerung der Vegetationsperiode dargestellt (Klimawandelinformationssystem Rheinland-Pfalz | Phänologie | Willkommen in Rheinland-Pfalz (klimawandel-rlp.de).

Grundwassersystem mit zeitlichen Bewegungs- und Fließpfaden (Quelle: Andersson & McDonnel 2005:2218, abgewandelt nach Heath 1983 und Winter et al. 1998).

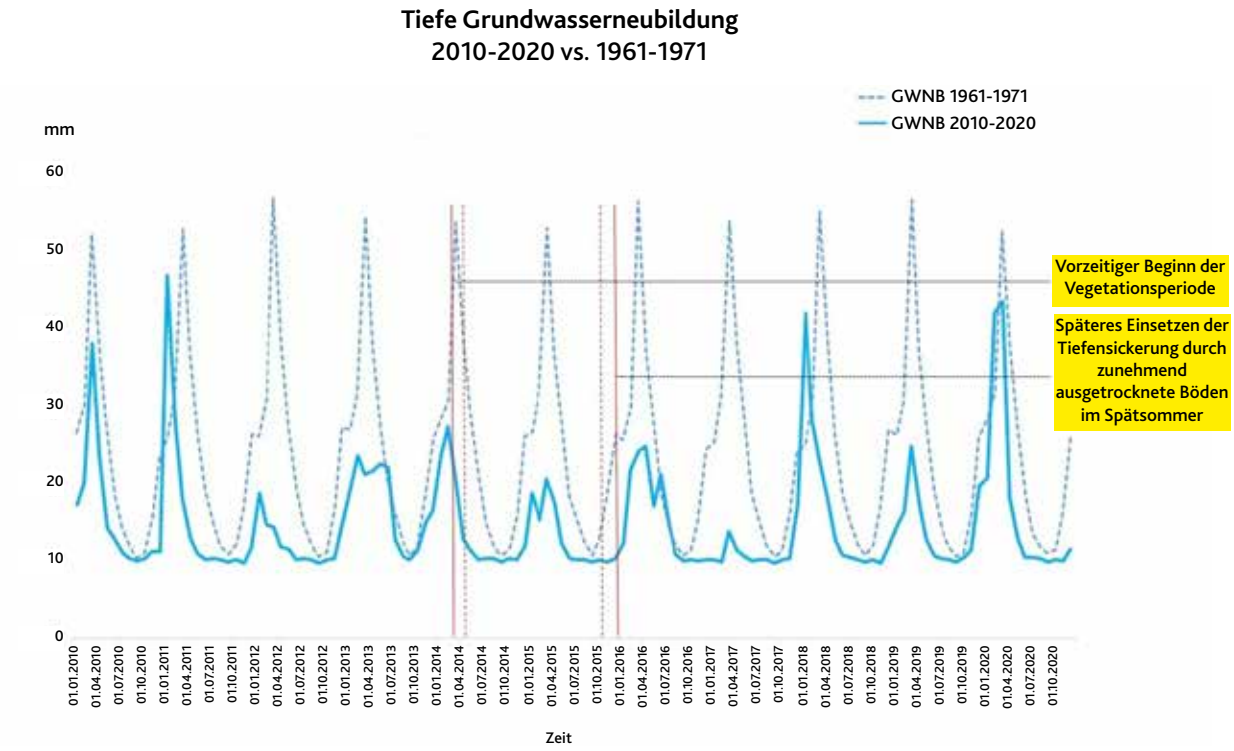


Phänologische Uhr für die langjährigen Mittel 1961-1990 und 1994-2023 in Rheinland-Pfalz.



Die Dynamik des Bodenwassers zeigt eine winterliche Wiederauffüllung in der vegetationsfreien Zeit, die sich im Laufe der Vegetationsperiode erschöpft. Ist diese Erschöpfung des Bodenwassers, zusätzlich begünstigt durch anhaltende Trockenperioden und Hitzewellen, ausgeprägter und wird durch den höheren Pflanzenverbrauch länger ins Jahr fortgetragen, wird auch die Wiederauffüllung des Bodens mit anschließender Tiefensickerung später ins Jahr verschoben.
Eine wirksame Verlängerung der Vegetationsperiode ist für das letzte Jahrzehnt bereits diagnostiziert (https://www.klimawandel-rlp.de/klimawandel/phaenologie). Auch die verkürzte Phase der Grundwasserneubildung lässt sich aus hydrologischen Simulationen im Pfälzerwald bereits schließen, wenn man die tiefe Grundwasserbildung von 2010 bis 2020 mit der Vergangenheit vergleicht. In der jüngeren Vergangenheit begann die Wiederauffüllung der Grundwasserspeicher im Vergleich zu 1961 bis 1971 tendenziell später im Jahr, da sich der erschöpfte Bodenwasserspeicher zunächst wieder auffüllte, bevor Tiefensickerung erfolgen konnte. Auch der jahreszeitliche Rückgang der Grundwasserbildung begann aufgrund der vorzeitigen Vegetationsperiode früher im Jahr. Dadurch ergibt sich ein mengenmäßiger Rückgang der Grundwasserspende.

Vergleich der tiefen Grundwasserneubildung in den Perioden 1961 bis 1971 und 2010 bis 2020 im Pfälzerwald, simuliert mit SWAT+. Sowohl die geringere Speichermenge als auch die verkürzte Phase der Wiederauffüllung zeigen sich für die Periode von 2010-2020 verglichen mit der fernen Vergangenheit.



Intakte Wälder: Der Einfluss es Kronendachs auf die Grundwasserneubildung

Der Einfluss des Kronendachs auf die Grundwasserneubildung erfolgt indirekt über die günstige Wirkung der Verdunstungsregulation über die Spaltöffnungen und des Abschattungseffekts auf das Waldinnenklima und das Bodenwasser und nimmt vor allem durch den Klimawandel an Bedeutung für Waldökosysteme zu.
Die menschengemachte Erderwärmung durch den atmosphärischen Treibhauseffekt hat einen wesentlichen Einfluss auf die Niederschlagsbildung und ist verantwortlich für wechselnde Niederschlagsmuster in Bezug auf Ort, Art, Menge, Häufigkeit, Intensität und Dauer. Er verstärkt die Verdunstung und damit die Wolkenbildung und beschleunigt gleichzeitig die Austrocknung der Landoberfläche. Durch höhere Temperaturen kann die Atmosphäre mehr Feuchtigkeit aufnehmen, womit das Risiko des Auftretens schwerer Unwetterereignisse gesteigert wird, während Dauer und Häufigkeit von Niederschlägen reduziert werden. Eine Abnahme der Sommerniederschläge fördert Trockenstress und hemmt insbesondere in der frühen Vegetationszeit die Entwicklung und das Wachstum von Bäumen. Bestandeslücken durch abgestorbene Bäume, Kahllagen durch Windwurf oder Schadinsekten, aber auch Auflichtungen im Zuge waldbaulicher Praktiken führen zu Lücken im Kronendach. Erreicht die Sonne den Waldboden, ändert sich das Temperaturniveau im Bestand und die Kühlungswirkung verringert sich oder geht ganz verloren. Verdunstungsprozesse werden angeregt, sodass dem Boden mehr Wasser entzogen wird. Auf Kahllagen erhöht sich außerdem die Mineralisierungsrate der Humusschicht, wodurch dort gespeicherte Nähr- und Schadstoffe schneller umgesetzt und freigegeben werden. Da auf solchen Flächen nicht ausreichend Vegetation vorhanden ist, um die Stoffe wieder zeitnah zu binden, gasen sie entweder in die Atmosphäre aus oder verlagern sich in tiefere Bodenschichten, wo sie mit dem

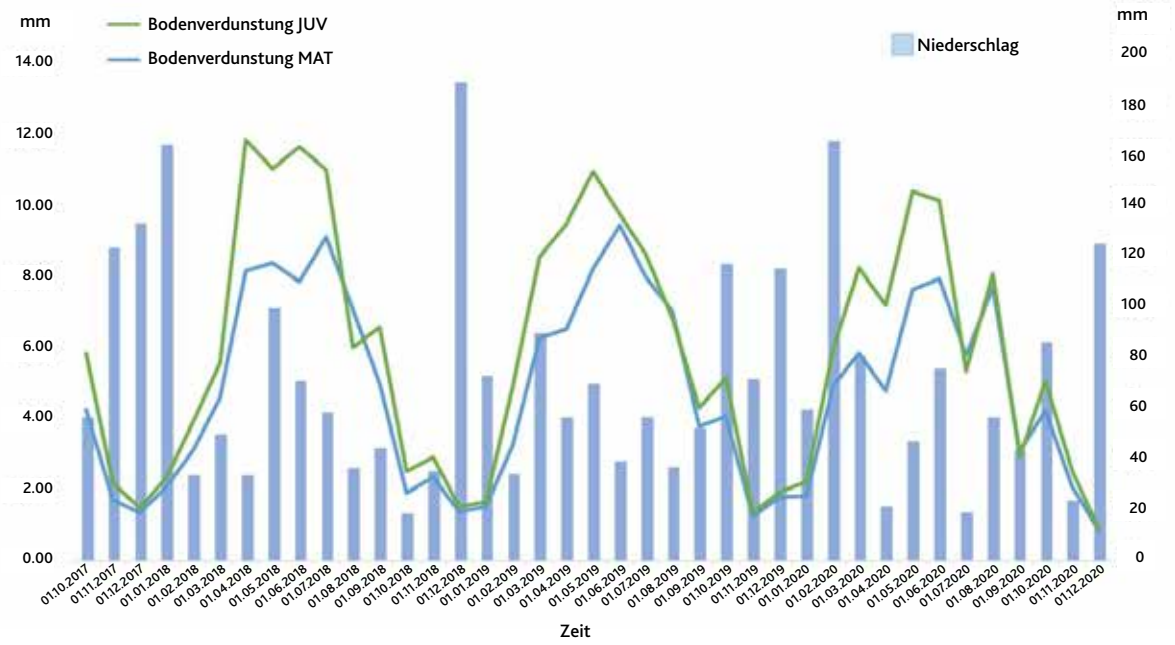
nächsten Wassereintrag auch ins Grundwasser ausgewaschen werden. Die wasserspeichernde Humusschicht wird schneller aufgezehrt und der Oberflächenabfluss erhöht sich. Wasser, das oberflächig abfließt und dem nächsten Oberflächengewässer zugeführt wird, geht dem Wald verloren, was bei Wasserknappheit in einer Trockenperiode die Vitalität der Bestände weiter schwächt. Vermehrter Wasserentzug aus der Bodenschicht während der Vegetationsperiode fördert die Bodentrockenheit, wodurch der Boden zum Ende der Vegetationszeit länger braucht, um Sättigung und schließlich Tiefensickerung zu erreichen. Ein geschlossenes Kronendach mit optimaler Abschattungs- und Kühlungswirkung hilft über die Vegetationszeit, der Bodentrockenheit entgegenzuwirken und die Phase der Tiefensickerung nicht zu weit nach hinten im Jahr zu verschieben.

Potentielle zukünftige Entwicklung

Für den Pfälzerwald beispielhaft gerechnete Zukunftsprojektionen prognostizieren bis zur Mitte des Jahrhunderts einen Rückgang der mittleren jährlichen Niederschlagseinträge im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971-2000. Da die Grundwasserspende unmittelbar mit den Wassereinträgen zusammenhängt, führt dies auch zu einem absteigenden Trend bei der Grundwasserneubildung. Die prognostizierte Spannweite möglicher Entwicklungen der Grundwasserneubildung reicht bis Mitte des Jahrhunderts von einem Rückgang um rund 10 bis 40 Prozent und gegen Ende des

Vergleich der Bodenverdunstung auf einer Kahllage mit sich entwickelnder Sukzession (JUV) und in einem Dauerwaldbestand (MAT). Auf Kahlflächen mit natürlicher Sukzession stellt sich innerhalb der Vegetations periode eine erhöhte Bodenverdunstung ein, sodass dem Boden mehr Wasser entzogen wird. Beim Auf wachsen der Jungbäume (JUV) gleicht sich bis zum Kronenschluss dieser Effekt aus und die Verdunstung aus dem Boden gleicht sich allmählich an ausgewachsene Dauerwaldgesellschaften mit geschlossenem Kronen dach (MAT) an. Simuliert mit SWAT+.

Bodenverdunstung-Niederschlags-Dynamik
JUV/MAT
10/2017-2020

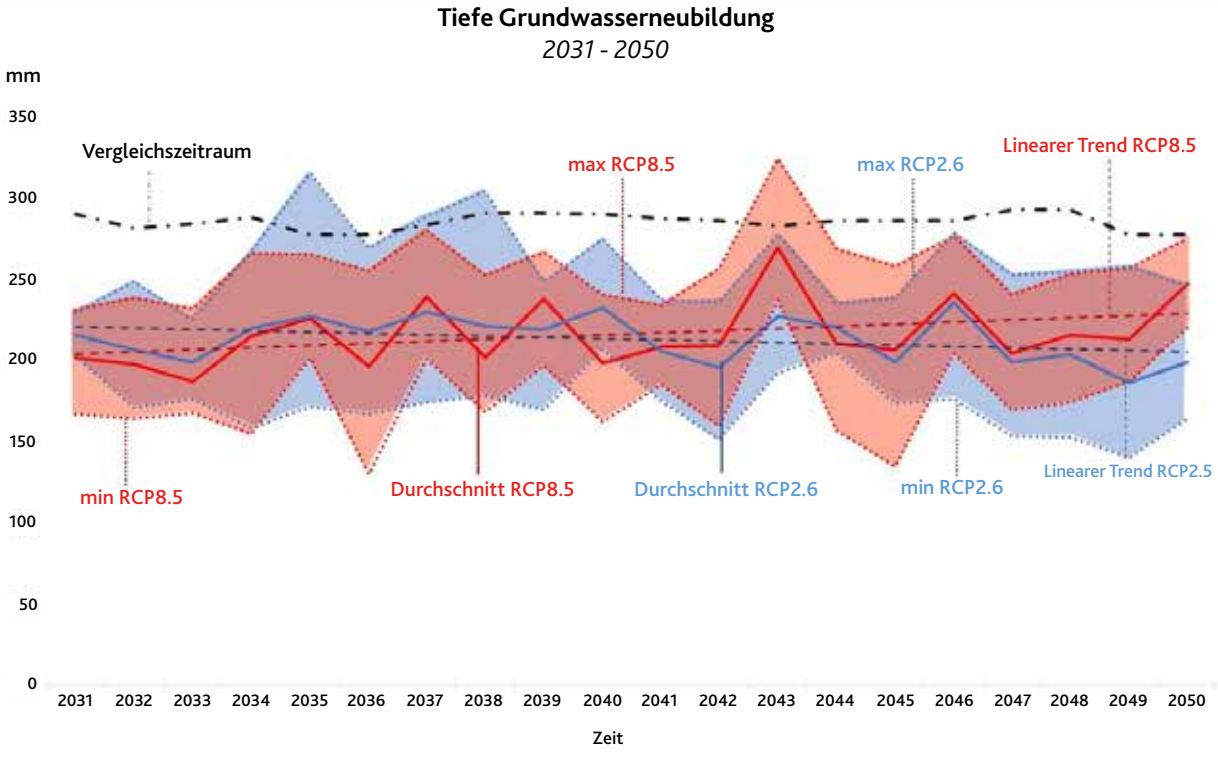


Jahrhunderts von 7 bis 40 Prozent. Die aktuelle Entwicklung (2000 bis 2020) mit einem Rückgang der Grundwasserneubildung um ca. 38 Prozent (simuliert mit SWAT+) ähnelte bereits künftigen Minimalwerten.

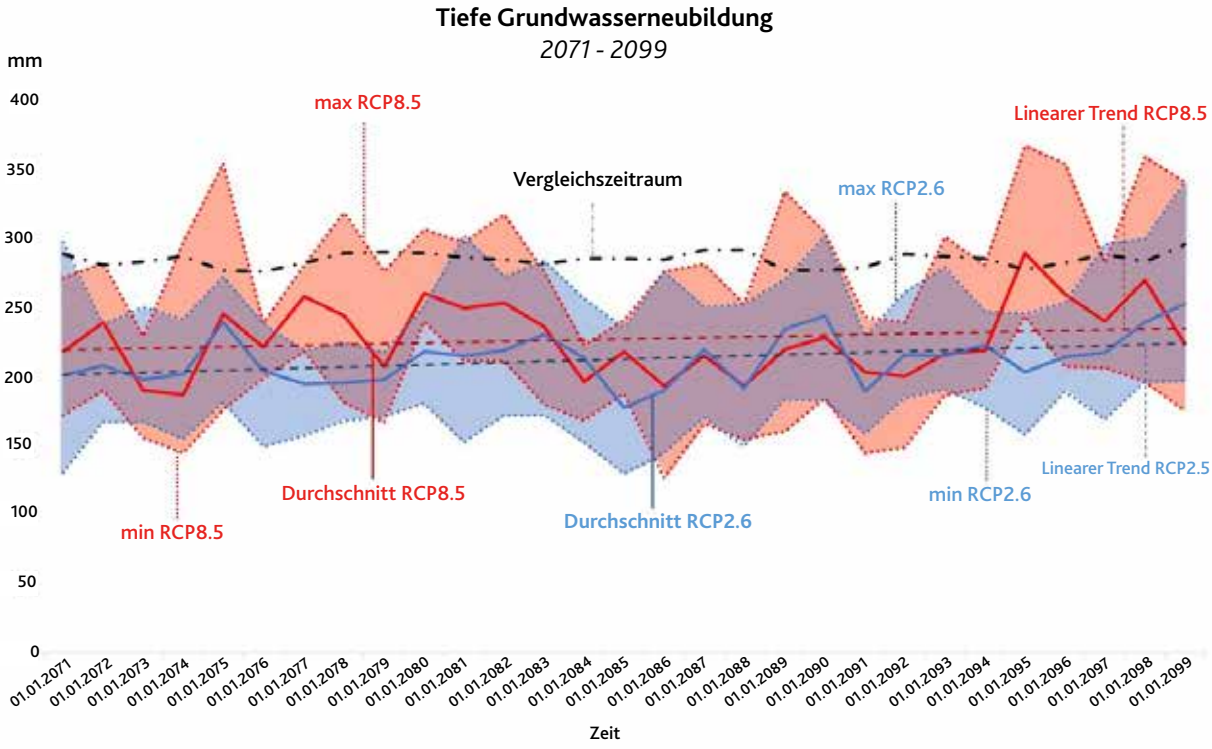
Für die fernere Zukunft der Periode 2071 bis 2099 zeigt die Entwicklung der tiefen Grundwasserneubildung einen leicht steigenden Trend, in Übereinstimmung mit den Niederschlagsmustern, für das Szenario „Kein Klimaschutz". Ohne Klimaschutz wird der Bezugszeitraum in häufigeren Spitzen überschritten, gegen Ende des Jahrhunderts sogar konstant. Der steile Anstieg innerhalb nur eines halben Jahrhunderts deutet auf eine stark beschleunigte Veränderung der klimatischen Bedingungen für dieses Szenario hin, die eine möglicherweise chaotische Entwicklung begünstigt.

Zwar können die höheren Niederschlagssummen als potenzieller Wendepunkt für die Erholung der Grundwasserspeicher angesehen werden. Da aber die Bodenwasservorräte bereits während der Vegetationsperiode erschöpft prognostiziert werden, kann dies nicht als beruhigendes Signal für zukünftige Lebensbedingungen der Bäume angesehen werden: Waldökosysteme sind in ihrer Vitalität eng an ausgeglichene Wasserflüsse gebunden und daher anfällig für extreme Wetterbedingungen, wie etwa Dürreperioden während der Vegetationsperiode. Der Bodenwasserspeicher gegen Ende des Jahrhunderts erschöpft nach der Prognose deutlich früher im Jahr als im Bezugszeitraum, in dem die niedrigsten Werte der Bodenfeuchte Mitte September erreicht wurden, wohingegen für die entfernte zukünftige Entwicklung das Bodenwasser bereits im August zu erschöpfen droht.

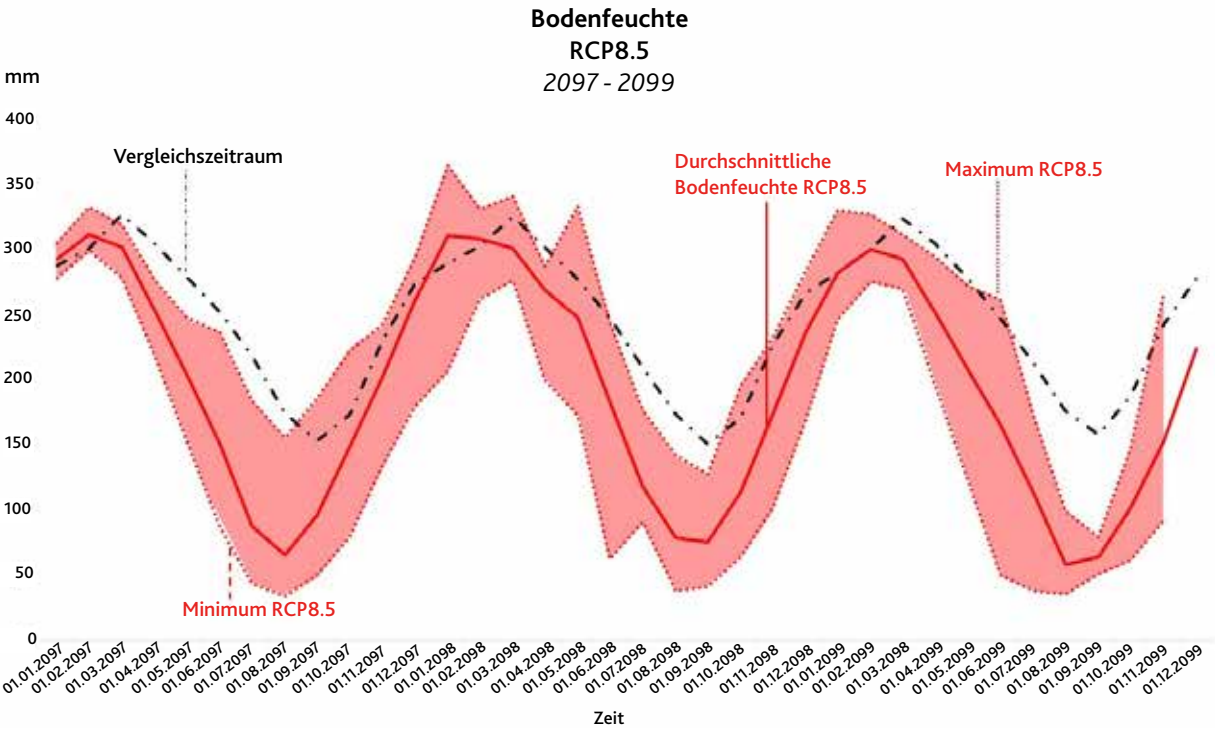
Projektion der zukünftigen Entwicklung der Grundwasserneubildung im Pfälzerwald für die Szenarien „Kein Klimaschutz" (rot) und „Klimaschutz" (blau) von 2031 bis 2050, mit Minimum- und Maximum-Korridoren verglichen mit der Bezugsperiode von 1971 bis 2000. Simuliert mit SWAT+.



Projektion der zukünftigen Entwicklung der Grundwasserneubildung im Pfälzerwald für die Szenarien „Kein Klimaschutz“ (rot) und „Klimaschutz“ (blau) von 2071 bis 2099, mit Minimum- und Maximum-Korridoren, verglichen mit der Bezugsperiode von 1971 bis 2000. Simuliert mit SWAT+.



Projektion der zukünftigen Entwicklung der durchschnittlichen Bodenfeuchte (BF) im Pfälzerwald für das Szenario „Kein Klimaschutz“ von 2097 bis 2099, basierend auf Monatswerten und verglichen mit der Bezugs periode von 1971 bis 1973, mit Minimum- und Maximumwerten für den Entwicklungskorridor. Simuliert mit SWAT+.



Für die Zukunft werden ein höherer Verdunstungsbedarf der Atmosphäre, eine Verlängerung der Vegetationsperiode und häufiger auftretende Dürreperioden und Starkregenereignisse vorhergesagt. Dadurch erhöht sich der Wasserbedarf der Vegetation und es kommt deutlich früher im Jahr zu einer negativen Wasserbilanz und folglich zu einer Erschöpfung des Bodenwassers innerhalb der Vegetationsperiode. Dies führt nicht nur zu einer verknappten Wasserversorgung der Bäume, was zunehmend Trockenstress und damit einhergehend mögliche Vitalitätsverluste fördert, sondern verkürzt auch die Zeitspanne der Grundwasserneubildung. Ein deutlicher Rückgang der Grundwasserneubildung, und damit der Trinkwasserressource, wird für die Mitte des Jahrhunderts prognostiziert. Mit steigenden Niederschlägen, wie im Falle des „Kein Klimaschutz"-Szenarios bis zum Ende des Jahrhunderts, könnte sich die Erschöpfung der Grundwasserspeicher zwar etwas erholen, dennoch werden hier weiterhin ausgedehnte Dürreperioden in den Sommermonaten angezeigt, sodass Vitalität und Erhalt der Waldgesellschaft insgesamt bedroht sind. Bei größeren Arealverlusten des Waldes gehen auch die an den Wald geknüpften Ökosystemleistungen verloren, die eine nachhaltige Grundwasserneubildung mit sich bringen, sodass sowohl der mengenmäßige als auch der qualitative Zustand der Grundwasserressource gefährdet wird.



Trinkwasserbrunnen Gillenbach in Hauenstein; Foto: Gebhard Schüler

DER WALDBODEN

BODEN DES JAHRES 2024, SEIT JAHREN VERSAUERT



Am Weltbodentag, dem 5. Dezember, wird jeweils der Boden des Jahres für das kommende Jahr vorgestellt. Damit wird ein jährlich wiederkehrendes Zeichen für die Bedeutung des Bodens als wertvoller Naturkörper gesetzt. Für das Jahr 2024 wurde der Waldboden zum Boden des Jahres gewählt. Ziel dieser Auszeichnung ist es auch, den Blick auf die Gefährdungen zu lenken. In Rheinland-Pfalz finden sich unter Wald oft nährstoffarme und versauerungsempfindliche Böden. Trotz Fortschritten im Bereich der Luftreinhaltung stellt die Säurebelastung weiterhin eine Gefährdung unserer Waldböden dar. Bis weitere Luftreinhaltemaßnahmen greifen, kann durch die Bodenschutzkalkung zumindest ein Teil der negativen Auswirkungen kompensiert werden. Voraussetzung und Grundlage für eine zielgerichtete Steuerung der Bodenschutzkalkung sind die Erkenntnisse und Daten der Standortskartierung, von Langzeitversuchen und dem forstlichen Umweltmonitoring.

Waldböden in Rheinland-Pfalz

Waldboden ist ein Überbegriff verschiedenster Bodentypen, die unter Wald entstehen können. Wälder nehmen in Rheinland-Pfalz etwa 43 Prozent der Landesfläche ein. Der Waldboden spielt innerhalb dieses Ökosystems eine „grundlegende" Rolle, beispielweise als Lebensraum sowie als Wasser- und Nährstoffspeicher. Kennzeichnend für Waldböden ist vor allem die Streu- bzw. Humusauflage und die hohen Anteile an organischem Material im Oberboden. Diese entstehen, da sich die oberirdisch abgestorbenen Pflanzenteile auf der Oberfläche des Waldbodens zersetzen und durch die Bodenlebewesen allmählich mit dem Boden vermischt werden. Eine schnelle und wiederholte Einarbeitung mit mechanischem Gerät, wie beispielsweise bei landwirtschaftlich genutzten Böden, geschieht nicht.

Heutzutage findet in Rheinland-Pfalz bei Waldböden keine flächige Bodenbearbeitung statt. Ebenso werden Waldböden nicht gedüngt und sind nur sehr gering durch Pflanzenschutzmittel beeinflusst. In der Folge zeigen Waldböden in ihren Eigenschaften stärkere, kleinräumige Unterschiede und eine größere Naturnähe als Böden unter anderen Landnutzungen. Wald schützt also bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung den Boden und seine Funktionen wirksamer als jede andere Bodennutzungsform.

Ohne den Einfluss des Menschen wäre Rheinland-Pfalz fast vollständig bewaldet. Seit Beginn von Pflanzenanbau und Viehhaltung in der Jungsteinzeit entschied aber der Mensch, wo wir heute noch Wald und damit auch Waldböden finden. Im Vergleich zum Umland blieb Wald häufig auf den weniger fruchtbaren, trockeneren oder stärker geneigten Standorten erhalten. Durch diese Zu-

Mehr zu den unterschiedlichen Facetten der Waldböden in Rheinland-Pfalz ist im gemeinsamen Beitrag zum „Boden des Jahres 2024" des Landesamts für Geologie und Bergbau und Landesforsten Rheinland-Pfalz zu finden.
Der vollständige Bericht steht als Download zur Verfügung:
https://fawf.wald.rlp.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=285098&token=f80b8c3d99330f146b29931954cf6c8fa2830418
Auf der offiziellen Internetseite zum Boden des Jahres finden sich allgemeine Informationen zu Waldböden: https://boden-des-jahres.de/

S. 60: Ein Waldboden aus der Eifel ; Foto: Martin Greve

rückdrängung auf ungünstigere, oft nährstoffarme Standorte sind viel Waldböden auch empfindlich gegenüber versauernden Luftschadstoffeinträgen.

Mehr zum Thema Luftschadstoffeinträge im Kapitel „Einflüsse auf den Waldzustand – Entwicklung der Luftschadstoffbelastung“ (S. 31)

Belastung durch Luftschadstoffe

Durch Verbesserung der Luftreinhaltung konnten die Schwefeleinträge sehr deutlich reduziert werden. Trotzdem sind Waldböden weiterhin einer hohen Säurebelastung durch Stickstoffeinträge und durch die Freisetzung von im Boden aufgespeicherten Säure-Altlasten ausgesetzt. Liegt die Säurebelastung über den, für das Ökosystem Wald verträglichen, Puffermöglichkeiten werden die negativen Folgen unter dem Begriff Bodenversauerung zusammengefasst. Um unsere Böden zu schützen, müssen die Stickstoffeinträge dringend drastisch reduziert werden. Da dies voraussichtlich noch mehrere Jahrzehnte dauern wird, ist die Bodenschutzkalkung nach rheinland-pfälzischem Konzept eine gut erforschte Schutzmaßnahme, um den aktuellen Zustand der Waldböden zu stabilisieren.

In versauerten Ökosystemen führen ein niedriger pH-Wert und freies Aluminium im Boden zu einem aggressiven chemischen Bodenmilieu. Eine Folge ist das schnellere Absterben der Feinwurzeln, die für die Nährstoff- und Wasseraufnahme verantwortlich sind. Die Pflanzen müssen somit deutlich mehr ihrer Ressourcen auf die ständige Erneuerung der Feinwurzeln verwenden, wodurch ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber anderen Stressoren wie Hitze oder Insektenfraß sinkt. Durch das saure Bodenmilieu verschwinden auch immer mehr Arten der Zersetzergemeinschaft. Versauerte Standorte neigen daher zu Ausbildungen von Rohhumusdecken, in denen große Mengen Nährstoffe und Kohlenstoff gespeichert sind. Die allmähliche Einarbeitung in den oberen Boden funktioniert nicht mehr und die Nährstoffe fehlen im Kreislauf für Pflanzen und Tiere. Treten dann Störungen wie Windwurf oder Absterben durch Trockenheit oder Borkenkäfer auf, werden die Stoffe innerhalb kurzer Zeit wieder freigesetzt und gehen zum Großteil verloren. Die Bodenschutzkalkung reduziert die Freisetzung von Aluminium und stabilisiert den pH-Wert, wodurch die Lebensbedingungen im oberen Wurzelraum verbessert werden. Sind dann wieder mehr Bodenlebewesen vorhanden, können die labilen Vorräte der Rohhumusdecken in stabilere, mit Mineralboden durchmischte Vorräte umgewandelt werden. Regenwürmer legen bei der Durchmischung Gänge im Boden an, durch die Regenwasser leichter versickert. Ein intaktes Bodenleben trägt damit auch zum Hochwasserschutz bei.

Von der Kalkung profitiert damit direkt und indirekt die Artengemeinschaft der Waldökosysteme. Im Zuge der Versauerung bleibt von der eigentlichen Artenvielfalt der Waldböden nur der Teil zurück, der an sehr saure Bedingungen angepasst ist. Diese Verluste wirken sich über die Beziehungen im Nahrungsnetz auf andere Artengruppen aus. Beispielsweise auf Singvögel, da deren Nahrungsgrundlage in Form von Regenwürmern, Gehäuseschnecken oder Asseln stark abnimmt oder ganz verschwindet. Auf pflanzliche Nahrung angewiesene Arten sind ebenfalls betroffen, da sich durch die versauerungsbedingte Verarmung an basischen Nährstoffen die Nahrungsqualität der Vegetation verringert. Eine standortsangepasste Bodenschutzkalkung hilft, den durch die Ökosystemversauerung bedingten Artenschwund zu stoppen. Verschwundene Arten können wieder einwandern, falls noch Refugien in ausreichender Nähe existieren.

Bei der Bodenversauerung verliert der Boden nach und nach seine Fähigkeit, Pflanzennährstoffe zu speichern. Diese werden dann leicht mit dem versickernden Wasser ausgewaschen. Die Ernährung der Waldbäume gerät dadurch aus dem Gleichgewicht, was durch den hohen Eintrag von Stickstoff – natürlicherweise ein Mangelelement in unseren Wäldern – verschärft wird. Folgen sind eine geringere Trockenstress- und Frostresistenz sowie eine steigende Anfälligkeit gegenüber Schädlingen.

Durch die Bodenschutzkalkung wird zumindest das verlorene Calcium und Magnesium zurückgeführt und die Ausgewogenheit der Ernährung etwas verbessert.

Das Ökosystem Wald beinhaltet oder steht in Kontakt mit aquatischen Lebensräumen. Auch diese werden durch die Bodenversauerung beeinflusst, da das bei der Säurepufferung freiwerdende Aluminium mit dem Wasserstrom in Richtung Grundwasser, Bachläufe und Quellen geleitet wird. In Einzugsgebieten mit versauerungsempfindlichen Böden übersteigen die Aluminium-Gehalte weiterhin für Bachorganismen toxische Grenzwerte. Damit bleiben in diesen Gewässern häufig nur die an sehr saure Bedingungen angepassten Arten übrig. Durch die Bodenschutzkalkung wird die weitere Freisetzung von Aluminium reduziert, sodass dadurch die Gewässerqualität steigt. Zusätzlich wird die Bereitstellung von unbelastetem Grundwasser unter basenarmen Waldgebieten zur Trinkwassergewinnung gesichert, da die Verlagerung von Aluminium und Schwermetallen vermindert wird.

Ziel der Bodenschutzkalkung ist, die Widerstandsfähigkeit von Wäldern gegenüber Störungen wiederherzustellen, die durch die immer noch aktuelle sowie vorangegangene, jahrzehntelange Versauerung vermindert wurde. Eine standortsangepasste Bodenschutzkalkung hilft, Schäden im Wurzelraum zu verhindern, die Resistenz gegenüber Trockenstress zu erhöhen, Nährstoffungleichgewichte abzumildern, Kohlenstoff stabiler zu binden, Artengemeinschaften der Waldökosysteme zu schützen sowie Säure- und Aluminiumschübe in angrenzende aquatische Lebensräume zu reduzieren.

Bodenschutz auf wissenschaftlicher Grundlage

Der Schutz des Waldbodens in Rheinland-Pfalz umfasst darüber hinaus weitere Aspekte von der Erschließung des Waldes, Befahrung von Waldböden, Gestaltung des Wasserregimes zum Erosionsschutz bis hin zur Gestaltung der Holznutzung und der Verjüngung der Wälder, die allesamt in verschiedenen Richtlinien für die Praxis normiert sind.
Um fundierte Empfehlungen geben zu können, ist eine Kartierung der Böden, ein Monitoring und ein wissenschaftliches Versuchswesen unverzichtbar. So liefert die forstliche Standortskartierung die benötigten Daten, um die Bewirtschaftung standortsgerecht, wie vom Bundes-Bodenschutzgesetz gefordert, auf die jeweiligen Bodenverhältnisse auszurichten. Seit Beginn des forstlichen Umweltmonitorings in Rheinland-Pfalz vor 40 Jahren werden die Waldböden regelmäßig untersucht und deren Entwicklung betrachtet. Dies geschieht bei der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE), die aktuell zum dritten Mal wiederholt wird. Ergänzend zu dieser Übersichtserhebung werden an den Dauerbeobachtungsflächen des forstlichen Intensivmonitorings noch detaillierter Einflussgrößen auf die Waldökosysteme und insbesondere Waldböden erfasst. Auf mehreren Versuchsflächen wird die natürliche Regeneration von Waldböden nach Befahrungsschäden begleitet. Die älteste Fläche wurde im Pfälzerwald 1989 angelegt. Viele der im Text aufgeführten Erkenntnisse zur Wirkung der Bodenschutzkalkung stammen von 1988 angelegten Versuchsflächen. Auf den Versuchsflächen des vergleichenden Kompensationsversuches werden seit 35 Jahren die Wirkungsweise und -dauer der Bodenschutzkalkung begleitet. Forschungskooperationen mit Universitäten und anderen forstlichen Versuchsanstalten ergänzen diese Langzeituntersuchungen mit Ergebnisse aus Spezialuntersuchungen zu aktuellen Fragestellungen und aus anderen Regionen Europas.

Informationen zu Standortskartierung, dem forstlichen Umweltmonitoring und zu laufenden Forschungsprojekten sind auf der Homepage der FAWF zu finden:
https://fawf.wald.rlp.de/forschung-und-monitoring-unsere-aufgaben

Anhang 1

Entwicklung der Waldschäden nach Baumarten im Vergleich der Jahre 1984 bis 2024 über alle Alter

Alle Baumarten

Jahr	Anzahl Probe-bäume N	Anteile der Schadstufen [in %] ohne Schad-merkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittel-stark ge-schädigt 2	stark geschädigt 3	abge-storben 4	Mittlere Kronen-verlichtung
2024	3624	12,5	34,2	53,2	46,7	4,7	1,8	31,4
2023	3648	**14,8**	**39,6**	**45,6**	39,3	4,5	1,8	**29,4**
2022	3696	**19,0**	**39,5**	**41,4**	36,3	3,1	2,0	**27,3**
2021	3720	**18,0**	**39,2**	**42,9**	36,8	3,7	2,4	**28,2**
2020	3768	**15,5**	**39,3**	**45,3**	41,3	2,7	1,3	**28,1**
2019	3840	**18,3**	**44,9**	**36,8**	33,1	2,6	1,1	**25,9**
2018	3840	**16,4**	**46,7**	**36,9**	34,4	1,9	0,6	**25,4**
2017	3864	**26,8**	**49,4**	**23,8**	22,0	1,1	0,7	**21,3**
2016	3864	**27,1**	**46,1**	**26,8**	25,1	1,1	0,6	**21,6**
2015	3864	**27,3**	**47,8**	**24,8**	23,4	1,0	0,4	**21,2**
2014	3912	**29,8**	**45,9**	**24,2**	22,6	1,2	0,4	**20,8**
2013	11328	**30,1**	**46,9**	**23,0**	21,8	0,8	0,4	**20,2**
2012	3936	**28,6**	**43,0**	**28,4**	26,1	1,9	0,4	**22,0**
2011	3864	**28,2**	**38,6**	**33,2**	31,2	1,6	0,4	**22,9**
2010	3888	**30,3**	**43,9**	**25,8**	24,1	1,1	0,6	**21,1**
2009	3912	**30,9**	**40,7**	**28,4**	26,6	1,3	0,5	**21,7**
2008	11136	**29,4**	**39,6**	**31,0**	29,0	1,6	0,4	**22,2**
2007	3912	**30,8**	**40,7**	**28,5**	26,4	1,6	0,5	**21,5**
2006	3936	**25,3**	**38,4**	**36,4**	34,1	1,8	0,5	**23,9**
2005	3960	**23,7**	**45,3**	**31,0**	29,1	1,4	0,5	**23,0**
2004	11160	**26,7**	**39,1**	**34,1**	31,7	2,0	0,4	**23,4**
2003	3960	**26,2**	**40,8**	**33,0**	31,5	1,1	0,4	**22,6**
2002	3912	**37,8**	**37,7**	**24,5**	22,8	1,1	0,6	**19,5**
2001	11136	**41,0**	**38,1**	**20,9**	19,6	0,9	0,4	**17,6**
2000	3888	**34,1**	**47,7**	**18,2**	17,0	0,8	0,4	**18,6**
1999	3888	**29,9**	**45,5**	**24,5**	22,6	1,5	0,4	**20,6**
1998	3888	**32,8**	**42,5**	**24,7**	23,2	1,1	0,4	**20,1**
1997	11016	**38,4**	**37,5**	**24,2**	22,7	1,1	0,4	**19,0**
1996	3528	**36,0**	**41,8**	**22,2**	20,9	0,8	0,5	**19,2**
1995	3456	**39,4**	**42,0**	**18,6**	17,6	0,6	0,4	**17,7**
1994	9912	**39,6**	**39,7**	**20,7**	19,3	1,2	0,2	**18,0**
1993	1440	**37,9**	**46,3**	**15,8**	14,9	0,8	0,1	**16,3**
1992	1440	**39,8**	**45,2**	**15,0**	13,7	1,3	0,0	**16,9**
1991	9192	**47,5**	**40,8**	**11,6**	10,8	0,6	0,2	**14,9**
1990	9192	**47,0**	**44,3**	**8,7**	7,7	0,9	0,1	**14,5**
1989	3408	**46,2**	**43,4**	**10,4**	9,4	0,8	0,2	**15,1**
1988	3432	**45,9**	**43,2**	**10,9**	10,5	0,3	0,1	**15,1**
1987	3432	**52,9**	**38,8**	**8,3**	7,8	0,3	0,2	**12,6**
1986	10080	**54,1**	**37,7**	**8,2**	7,5	0,5	0,2	**12,9**
1985	10128	**53,6**	**37,6**	**8,8**	8,2	0,5	0,1	**13,1**
1984	10248	**59,2**	**32,9**	**7,9**	7,3	0,4	0,2	**11,9**

Fichte		Anteile der Schadstufen [in %]						
Jahr	Anzahl Probe-bäume N	ohne Schad-merkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittel-stark ge-schädigt 2	stark geschädigt 3	abge-storben 4	Mittlere Kronen-verlichtung
2024	652	18,7	23,9	57,4	49,7	5,2	2,5	**32,6**
2023	669	**21,2**	**30,3**	**48,4**	43,0	3,3	2,1	**28,8**
2022	741	**23,2**	**31,8**	**44,9**	36,3	4,0	4,6	**29,2**
2021	772	**20,7**	**31,1**	**48,2**	38,5	2,6	7,1	**31,0**
2020	838	**20,5**	**31,7**	**47,7**	42,2	1,3	4,2	**29,0**
2019	958	**24,2**	**38,1**	**37,7**	33,1	1,7	2,9	**25,9**
2018	981	**20,6**	**43,3**	**36,0**	33,7	1,5	0,8	**24,7**
2017	1011	**33,3**	**46,2**	**20,5**	18,7	0,8	1,0	**20,1**
2016	1009	**34,1**	**43,1**	**22,8**	20,4	1,3	1,1	**20,2**
2015	1013	**27,8**	**45,7**	**26,5**	25,2	0,8	0,5	**21,4**
2014	1039	**34,8**	**43,5**	**21,7**	19,9	1,2	0,6	**19,2**
2013	2865	**36,9**	**42,5**	**20,6**	19,3	0,8	0,5	**18,6**
2012	1071	**34,1**	**40,9**	**25,0**	23,3	0,7	1,0	**20,4**
2011	1061	**44,4**	**37,0**	**18,6**	17,1	0,9	0,6	**17,4**
2010	1086	**40,6**	**39,5**	**19,9**	18,0	0,7	1,2	**18,5**
2009	1129	**36,1**	**38,3**	**25,6**	23,8	0,8	1,0	**20,4**
2008	3011	**43,6**	**37,5**	**18,9**	17,2	1,1	0,6	**17,8**
2007	1136	**45,5**	**33,5**	**21,0**	18,8	1,2	1,0	**18,2**
2006	1170	**35,1**	**41,5**	**23,4**	21,5	1,0	0,9	**19,9**
2005	1197	**32,1**	**46,2**	**21,7**	20,1	0,9	0,7	**19,7**
2004	3133	**39,5**	**38,1**	**22,4**	20,8	1,1	0,5	**18,9**
2003	1229	**39,5**	**35,7**	**24,6**	23,1	0,8	0,7	**19,3**
2002	1220	**46,1**	**35,1**	**18,8**	16,9	1,2	0,7	**17,1**
2001	3168	**55,9**	**30,3**	**13,7**	12,9	0,6	0,2	**13,2**
2000	1222	**47,6**	**39,6**	**12,8**	11,9	0,6	0,3	**15,2**
1999	1226	**41,0**	**42,8**	**16,2**	15,3	0,6	0,3	**17,4**
1998	1221	**47,5**	**37,8**	**14,7**	13,5	1,0	0,2	**16,0**
1997	3142	**54,9**	**30,9**	**14,1**	13,3	0,6	0,2	**14,0**
1996	1089	**51,5**	**36,0**	**12,5**	11,3	0,8	0,4	**14,6**
1995	1076	**53,3**	**35,1**	**11,6**	10,6	0,6	0,4	**13,8**
1994	2838	**52,6**	**34,8**	**12,6**	11,8	0,6	0,2	**13,8**
1993	317	**55,5**	**33,4**	**11,1**	9,5	1,6	0,0	**11,4**
1992	316	**55,7**	**31,6**	**12,7**	11,1	1,6	0,0	**13,2**
1991	2722	**56,5**	**33,2**	**10,3**	8,9	1,2	0,2	**12,9**
1990	2731	**56,9**	**36,3**	**6,8**	6,2	0,6	0,0	**12,0**
1989	1190	**55,4**	**36,0**	**8,7**	8,2	0,5	0,0	**12,8**
1988	1188	**51,2**	**40,4**	**8,5**	8,2	0,3	0,0	**13,1**
1987	1190	**58,7**	**31,9**	**9,4**	8,8	0,3	0,3	**12,6**
1986	3316	**57,6**	**32,9**	**9,5**	8,8	0,5	0,2	**11,8**
1985	3320	**59,8**	**31,7**	**8,5**	7,9	0,5	0,1	**11,3**
1984	3371	**66,5**	**26,8**	**6,6**	6,2	0,2	0,2	**9,9**

Kiefer		Anteile der Schadstufen [in %]						
Jahr	Anzahl Probe-bäume N	ohne Schad-merkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittel-stark ge-schädigt 2	stark geschädigt 3	abge-storben 4	Mittlere Kronen-verlichtung
2024	523	13,4	59,3	27,3	23,7	1,1	2,5	24,8
2023	520	**19,4**	**60,7**	**19,9**	15,8	1,2	2,9	**22,5**
2022	519	**31,0**	**48,6**	**20,4**	17,1	0,6	2,7	**21,0**
2021	528	**29,9**	**54,5**	**15,5**	12,9	0,9	1,7	**19,6**
2020	527	**19**	**54,5**	**26,6**	23,3	2,7	0,6	**23,7**
2019	535	**30,5**	**56,4**	**13,1**	11,8	0,2	1,1	**18,7**
2018	537	**28,5**	**58,1**	**13,4**	11,7	0,6	1,1	**19,0**
2017	538	**32,9**	**55,8**	**11,4**	9,7	0,6	1,1	**18,6**
2016	540	**43,7**	**49,1**	**7,2**	6,1	0,0	1,1	**15,7**
2015	541	**46,4**	**44,4**	**9,2**	7,9	0,0	1,3	**16,3**
2014	539	**46,8**	**46,6**	**6,7**	5,8	0,0	0,9	**15,8**
2013	1567	**44,8**	**47,4**	**7,9**	6,8	0,2	0,9	**15,7**
2012	540	**44,6**	**44,6**	**10,8**	9,8	0,4	0,6	**16,4**
2011	550	**34,2**	**49,8**	**16,0**	14,2	1,1	0,7	**19,3**
2010	556	**44,6**	**46,2**	**9,2**	8,1	0,4	0,7	**16,2**
2009	555	**35,9**	**54,4**	**9,6**	8,6	0,5	0,5	**17,2**
2008	1620	**32,2**	**48,3**	**19,5**	17,3	1,7	0,5	**19,6**
2007	559	**37,4**	**47,6**	**15,0**	14,1	0,7	0,2	**17,7**
2006	562	**31,3**	**51,1**	**17,7**	16,9	0,4	0,4	**19,6**
2005	559	**29,7**	**51,5**	**18,8**	17,2	1,1	0,5	**20,1**
2004	1653	**26,8**	**54,0**	**19,2**	17,4	0,7	1,1	**20,6**
2003	552	**24,1**	**57,2**	**18,6**	17,9	0,5	0,2	**19,8**
2002	564	**39,5**	**49,1**	**11,4**	9,8	0,9	0,7	**17,2**
2001	1683	**43,2**	**46,2**	**10,6**	8,6	1,2	0,8	**16,7**
2000	562	**34,3**	**55,7**	**9,9**	9,4	0,5	0,0	**17,3**
1999	561	**29,8**	**60,8**	**9,4**	8,9	0,5	0,0	**17,2**
1998	562	**32,4**	**60,1**	**7,6**	6,8	0,4	0,4	**16,7**
1997	1685	**40,4**	**52,7**	**7,0**	6,2	0,3	0,5	**15,6**
1996	522	**31,2**	**60,5**	**8,3**	7,1	0,2	1,0	**17,0**
1995	519	**33,1**	**58,2**	**8,7**	7,5	0,0	1,2	**17,1**
1994	1627	**45,5**	**47,3**	**7,2**	6,5	0,1	0,6	**15,0**
1993	329	**35,3**	**56,5**	**8,2**	8,2	0,0	0,0	**16,7**
1992	328	**40,9**	**53,4**	**5,8**	5,8	0,0	0,0	**14,8**
1991	1545	**39,9**	**51,3**	**8,7**	8,5	0,0	0,2	**16,6**
1990	1545	**41,1**	**54,9**	**4,1**	3,9	0,1	0,1	**14,9**
1989	524	**40,5**	**53,8**	**5,7**	5,3	0,2	0,2	**15,2**
1988	547	**37,8**	**54,3**	**7,9**	7,7	0,0	0,2	**16,1**
1987	548	**45,8**	**48,0**	**6,2**	5,8	0,0	0,4	**14,1**
1986	1620	**38,6**	**54,3**	**7,1**	6,5	0,2	0,4	**16,2**
1985	1614	**33,7**	**52,2**	**14,2**	13,1	0,7	0,4	**17,8**
1984	1633	**35,6**	**51,6**	**12,9**	11,8	0,6	0,5	**17,3**

Buche		Anteile der Schadstufen [in %]						
Jahr	Anzahl Probe-bäume N	ohne Schad-merkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittel-stark ge-schädigt 2	stark geschädigt 3	abge-storben 4	Mittlere Kronen-verlichtung
2024	849	**9,9**	**33,8**	**56,3**	52,1	3,5	0,7	**31,3**
2023	846	**11,9**	**34,0**	**54,1**	49,5	4,0	0,6	**30,7**
2022	836	**15,0**	**37,6**	**47,5**	43,4	3,1	1,0	**28,0**
2021	829	**8,4**	**36,6**	**55,0**	48,9	5,5	0,6	**32,0**
2020	819	**8,1**	**28,7**	**63,2**	59,7	3,4	0,1	**31,7**
2019	815	**13,6**	**47,9**	**38,6**	36,0	2,5	0,1	**26,0**
2018	806	**11,0**	**43,7**	**45,2**	43,5	1,7	0,0	**26,8**
2017	802	**18,0**	**50,2**	**31,8**	31,2	0,5	0,1	**22,9**
2016	786	**8,4**	**32,8**	**58,8**	57,8	0,9	0,1	**29,8**
2015	785	**20,0**	**50,6**	**29,4**	28,4	0,9	0,1	**22,4**
2014	784	**9,7**	**38,5**	**51,8**	49,9	1,8	0,1	**29,5**
2013	2388	**16,1**	**51,1**	**32,7**	31,9	0,8	0,0	**23,7**
2012	783	**10,2**	**49,8**	**39,9**	37,9	2,0	0,0	**26,5**
2011	781	**8,3**	**24,3**	**67,3**	64,9	2,4	0,0	**32,9**
2010	783	**14,4**	**52,0**	**33,6**	33,0	0,6	0,0	**23,8**
2009	769	**15,6**	**39,4**	**45,0**	43,7	1,3	0,0	**26,6**
2008	2308	**17,4**	**41,1**	**41,5**	40,4	1,0	0,1	**25,6**
2007	770	**17,5**	**46,8**	**35,6**	34,5	1,0	0,1	**23,9**
2006	760	**12,9**	**33,7**	**53,3**	51,8	1,4	0,1	**28,5**
2005	761	**10,4**	**45,6**	**44,0**	42,8	1,2	0,0	**27,0**
2004	2244	**9,0**	**27,6**	**63,3**	60,0	3,3	0,0	**32,2**
2003	742	**11,9**	**38,3**	**49,9**	48,5	1,1	0,3	**27,4**
2002	718	**17,5**	**31,3**	**51,1**	50,1	0,6	0,4	**27,4**
2001	2187	**17,0**	**45,8**	**37,2**	36,3	0,8	0,1	**23,9**
2000	705	**9,5**	**54,5**	**36,1**	34,9	0,9	0,3	**25,1**
1999	705	**12,5**	**44,3**	**43,3**	40,7	2,6	0,0	**26,4**
1998	701	**14,3**	**44,5**	**41,3**	40,7	0,6	0,0	**24,8**
1997	2139	**20,3**	**44,7**	**35,0**	34,2	0,7	0,1	**23,1**
1996	659	**13,4**	**52,2**	**34,5**	34,0	0,3	0,2	**23,9**
1995	655	**15,3**	**49,9**	**34,9**	34,4	0,5	0,0	**24,0**
1994	1939	**18,6**	**44,9**	**36,4**	34,9	1,5	0,0	**24,0**
1993	375	**25,6**	**53,3**	**21,1**	19,5	1,6	0,0	**18,5**
1992	375	**25,3**	**49,9**	**24,8**	23,2	1,6	0,0	**21,0**
1991	1777	**33,0**	**49,6**	**17,4**	16,7	0,6	0,1	**17,9**
1990	1775	**29,1**	**52,6**	**18,3**	16,2	2,0	0,1	**19,1**
1989	624	**32,5**	**53,0**	**14,4**	13,9	0,3	0,2	**17,8**
1988	624	**34,0**	**51,6**	**14,5**	13,8	0,5	0,2	**18,3**
1987	626	**41,5**	**49,0**	**9,4**	8,6	0,6	0,2	**15,7**
1986	1880	**48,8**	**42,6**	**8,7**	8,2	0,4	0,1	**13,2**
1985	1902	**45,8**	**47,4**	**6,8**	6,4	0,3	0,1	**14,1**
1984	1918	**52,6**	**39,4**	**8,0**	7,6	0,4	0,0	**13,0**

Eiche		Anteile der Schadstufen [in %]						
Jahr	Anzahl Probe-bäume N	ohne Schad-merkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittel-stark ge-schädigt 2	stark geschädigt 3	abge-storben 4	Mittlere Kronen-verlichtung
2024	716	**3,2**	**21,4**	**75,4**	66,5	7,5	1,4	**38,0**
2023	711	**7,7**	**37,0**	**55,2**	46,1	8,4	0,7	**33,4**
2022	697	**6,9**	**42,0**	**51,1**	47,8	3,2	0,1	**29,7**
2021	969	**6,5**	**41,1**	**52,4**	47,0	5,3	0,1	**30,9**
2020	706	**6,8**	**50,6**	**42,6**	40,2	2,1	0,3	**27,8**
2019	693	**7,4**	**38,8**	**53,8**	49,4	4,3	0,1	**31,1**
2018	685	**7,2**	**50,5**	**42,3**	41,3	0,7	0,3	**26,9**
2017	672	**19,2**	**49,9**	**30,9**	29,6	1,0	0,3	**23,2**
2016	691	**25,6**	**55,3**	**19,0**	18,5	0,4	0,1	**19,9**
2015	688	**14,2**	**55,1**	**30,7**	29,5	1,2	0,0	**23,7**
2014	711	**27,7**	**53,0**	**19,2**	17,7	1,4	0,1	**19,9**
2013	2151	**13,3**	**50,1**	**36,6**	34,8	1,4	0,4	**25,6**
2012	708	**14,0**	**40,1**	**45,9**	42,7	3,1	0,1	**28,1**
2011	685	**15,5**	**45,3**	**39,3**	37,4	1,8	0,1	**26,0**
2010	683	**9,8**	**38,9**	**51,2**	48,3	2,6	0,3	**29,6**
2009	680	**15,4**	**39,3**	**45,3**	42,4	2,8	0,1	**27,5**
2008	2061	**8,2**	**31,4**	**60,4**	56,8	3,4	0,2	**31,9**
2007	678	**8,6**	**41,7**	**49,7**	46,8	2,5	0,4	**29,4**
2006	676	**11,8**	**30,0**	**58,1**	54,3	3,4	0,4	**30,9**
2005	676	**6,5**	**38,0**	**55,5**	53,0	2,1	0,4	**30,7**
2004	2038	**16,8**	**42,0**	**41,1**	38,4	2,5	0,2	**26,1**
2003	673	**7,7**	**38,9**	**53,3**	52,0	1,2	0,1	**29,2**
2002	653	**24,3**	**48,4**	**27,3**	25,3	1,2	0,8	**21,8**
2001	1991	**18,6**	**46,1**	**35,3**	33,5	1,3	0,5	**24,0**
2000	631	**14,9**	**56,1**	**29,0**	26,6	1,6	0,8	**23,7**
1999	630	**7,5**	**42,7**	**49,9**	45,1	3,7	1,1	**29,6**
1998	634	**4,9**	**37,7**	**57,5**	53,2	3,5	0,8	**31,1**
1997	1984	**12,9**	**33,4**	**53,8**	49,9	3,3	0,6	**29,7**
1996	581	**9,0**	**41,3**	**49,8**	47,7	1,9	0,2	**28,9**
1995	572	**18,4**	**54,2**	**27,4**	26,7	0,7	0,0	**22,4**
1994	1774	**15,9**	**46,1**	**38,0**	35,4	2,5	0,1	**25,6**
1993	309	**26,9**	**48,2**	**24,9**	24,9	0,0	0,0	**20,3**
1992	303	**31,0**	**51,8**	**17,2**	16,5	0,7	0,0	**19,1**
1991	1634	**37,5**	**47,7**	**14,7**	14,0	0,4	0,3	**17,0**
1990	1627	**37,6**	**54,4**	**8,1**	7,5	0,2	0,4	**16,0**
1989	517	**29,0**	**53,0**	**18,0**	15,7	1,9	0,4	**20,0**
1988	521	**30,3**	**47,4**	**22,3**	21,5	0,6	0,2	**19,9**
1987	522	**39,3**	**50,4**	**10,4**	10,2	0,0	0,2	**15,6**
1986	1710	**46,4**	**44,4**	**9,2**	8,7	0,4	0,1	**14,5**
1985	1718	**46,2**	**43,0**	**10,8**	10,1	0,6	0,1	**15,3**
1984	1718	**58,4**	**34,2**	**7,5**	6,8	0,6	0,1	**13,0**

sonstige Baumarten		Anteile der Schadstufen [in %]						
Jahr	Anzahl Probe-bäume N	ohne Schad-merkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittel-stark ge-schädigt 2	stark geschädigt 3	abge-storben 4	Mittlere Kronen-verlichtung
2024	884	**17,4**	**37,8**	**44,8**	37,1	5,3	2,4	**29,1**
2023	902	**15,5**	**42,0**	**42,5**	35,0	4,7	2,8	**29,4**
2022	903	**21,6**	**40,5**	**37,9**	32,0	3,9	2,0	**26,8**
2021	895	**26,3**	**38,1**	**35,6**	30,4	3,2	2,0	**25,2**
2020	878	**22,6**	**38,2**	**39,3**	34,7	3,9	0,7	**26,8**
2019	839	**17,3**	**47,4**	**35,3**	30,4	3,9	1,0	**25,9**
2018	831	**16,4**	**43,2**	**40,4**	35,1	4,3	1,0	**27,7**
2017	841	**29,7**	**48,0**	**22,2**	19,0	2,4	0,8	**21,5**
2016	838	**27,0**	**52,9**	**20,2**	17,5	2,3	0,4	**20,9**
2015	837	**32,0**	**44,1**	**23,9**	21,6	1,9	0,4	**20,9**
2014	839	**33,3**	**49,2**	**17,5**	15,6	1,4	0,5	**18,8**
2013	2357	**41,8**	**44,6**	**13,6**	12,6	0,7	0,3	**16,5**
2012	834	**40,8**	**40,8**	**18,4**	15,0	3,2	0,2	**18,6**
2011	787	**33,2**	**41,4**	**25,5**	23,4	1,7	0,4	**20,3**
2010	780	**39,6**	**44,4**	**16,0**	14,0	1,4	0,6	**18,1**
2009	779	**48,3**	**37,2**	**14,5**	12,6	1,4	0,5	**16,7**
2008	2136	**41,0**	**42,3**	**16,8**	15,3	1,2	0,3	**17,4**
2007	769	**36,9**	**39,4**	**23,6**	20,5	2,6	0,5	**20,1**
2006	768	**29,8**	**36,5**	**33,8**	30,5	3,0	0,3	**22,6**
2005	767	**34,7**	**45,4**	**19,9**	17,2	2,2	0,5	**19,7**
2004	2092	**36,0**	**38,6**	**25,3**	22,4	2,5	0,4	**20,4**
2003	763	**36,4**	**41,2**	**22,4**	20,0	2,1	0,3	**19,3**
2002	757	**54,0**	**30,0**	**15,9**	14,0	1,5	0,4	**15,5**
2001	2107	**63,0**	**28,0**	**9,2**	8,1	0,9	0,2	**12,2**
2000	768	**51,0**	**42,0**	**7,5**	6,4	0,7	0,4	**14,7**
1999	766	**47,0**	**42,0**	**11,0**	9,3	1,2	0,5	**15,6**
1998	770	**50,0**	**39,0**	**11,3**	10,1	0,4	0,8	**15,5**
1997	2066	**55,0**	**31,0**	**13,9**	12,2	1,0	0,7	**14,9**
1996	677	**60,0**	**27,0**	**13,3**	11,4	0,9	1,0	**15,1**
1995	634	**65,0**	**21,0**	**13,8**	12,1	1,1	0,6	**13,9**
1994	1734	**61,0**	**28,0**	**10,9**	9,4	1,2	0,3	**13,2**
1993	110	**74,0**	**20,0**	**5,7**	4,0	0,5	1,2	**10,9**
1992	118	**62,0**	**32,0**	**6,4**	2,6	3,8	0,0	**13,6**
1991	1514	**67,0**	**26,0**	**7,1**	6,4	0,4	0,3	**11,0**
1990	1515	**66,0**	**28,0**	**6,4**	4,7	1,7	0,0	**11,5**
1989	553	**67,0**	**26,0**	**6,5**	4,7	1,0	0,8	**12,6**
1988	552	**74,0**	**22,0**	**4,3**	3,6	0,4	0,3	**10,4**
1987	546	**76,0**	**19,0**	**4,6**	4,1	0,4	0,1	**9,7**
1986	1554	**78,0**	**17,0**	**4,8**	4,0	0,8	0,0	**8,6**
1985	1574	**78,0**	**18,0**	**4,1**	3,5	0,5	0,1	**8,2**
1984	1608	**76,5**	**17,3**	**6,2**	5,2	0,6	0,4	**8,3**

Entwicklung des Probebaumkollektives nach Baumarten

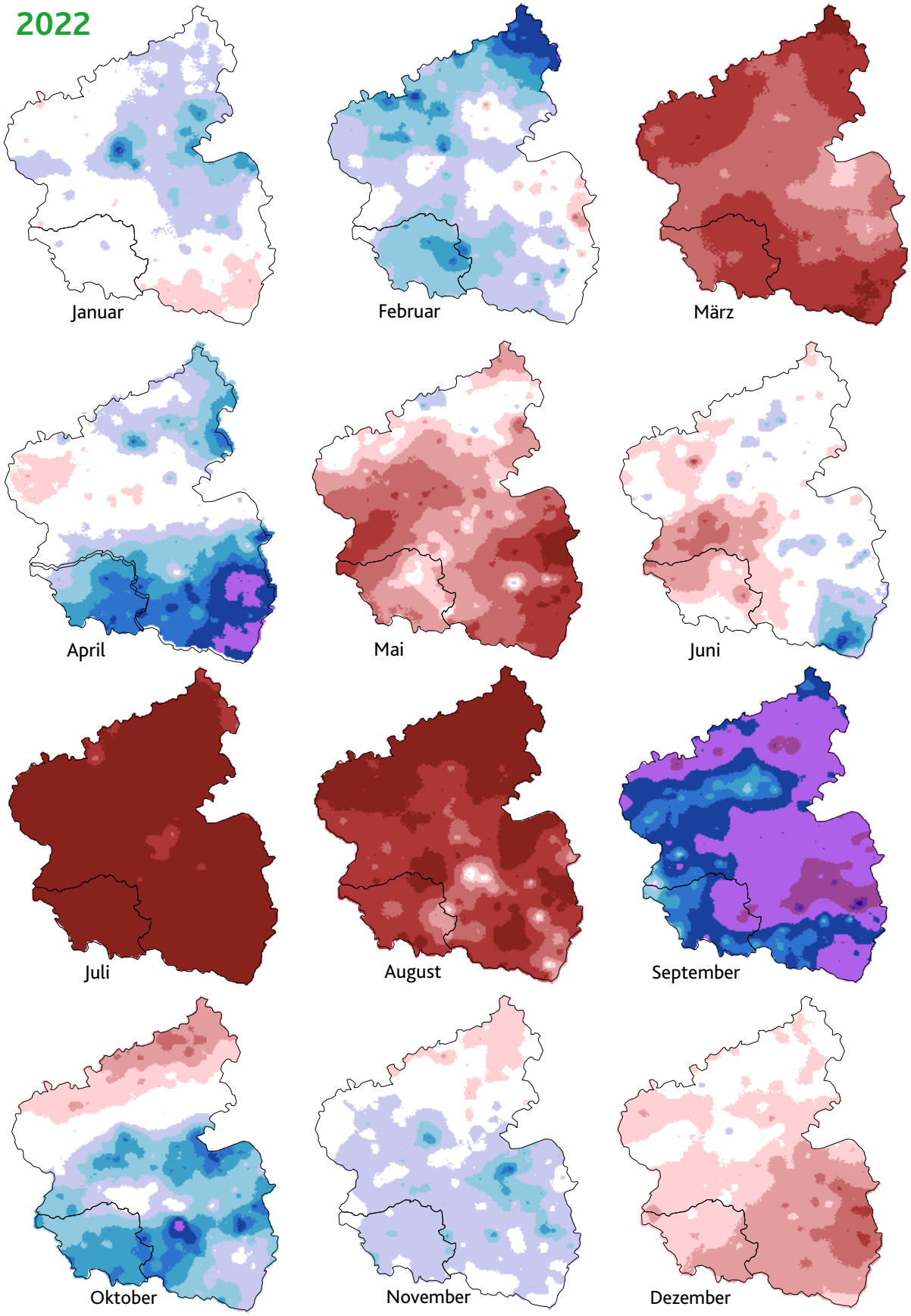
Im Jahr 1984 wurde das Stichprobenraster angelegt und die Ausgangslage zum Beginn der Zeitreihe dokumentiert. Alle folgenden Erhebungen erfolgten auf dem gleichen Grundraster, damit sind Veränderungen im Vergleich zur Ausgangslage zu erkennen. Die Zusammensetzung des Probebaumkollektives hat sich im Laufe der Jahre verändert. Der Anteil an Fichte ist geringer geworden. Die Fichtenbestände waren durch die Sturmwürfe und Käferkalamitäten der vergangenen Jahre besonders betroffen; die Wiederaufforstungen erfolgten mit höheren Laubholzanteilen. Die Zahl der Probepunkte ist größer geworden, bei der Überprüfung des Rasters sind etliche Stichprobenpunkte, die in Wald fallen, neu angelegt worden. Diese Punkte ergaben sich aus Erstaufforstungen nach 1984 und solchen Punkten die bei der Anlage des Rasters 1984 übersehen wurden (z.B. in kartographisch nicht erfasstem Kleinprivatwald), hierbei waren überproportional die sonst weniger häufigen Laubbaumarten vertreten. Im Vergleich zu anderen Inventuren zeigt sich, dass der Fichtenanteil noch geringer, der Buchenanteil jedoch höher ist, hier sind jedoch auch Baumartenanteile unter Schirm, die von der WZE verfahrensbedingt nicht erfasst werden von Bedeutung. In den Daten der Forsteinrichtung fehlt der Privatwald. Douglasie ist vom Raster der WZE mit einem zu geringem Anteil erfasst.
In 2024 konnte 1 Aufnahmepunkte mit überwiegend Laubbäumen nicht erhoben werden. An keinem der derzeit ruhenden Aufnahmepunkte hatte sich im letzten Jahr die Waldverjüngung soweit entwickelt, dass sich eine gesicherte Waldverjüngung etabliert hat. An diesen Aufnahmepunkten muss die WZE daher weiter ruhen.

Art (Gattung)	2024 Anzahl	2024 Anteil	1984 Anteil	Anteil nach Forsteinrichtung 2024	Anteil nach Bundeswaldinventur 2022
Buche	849	23,4 %	18,7 %	32,4 %	23,1 %
Fichte	652	18,0 %	32,9 %	16,0 %	21,0 %
Eiche	716	19,8 %	16,8 %	15,9 %	16,3 %
Kiefer	523	14,4 %	15,9 %	10,5 %	9,1 %
Douglasie	152	4,2 %	3,5 %	6,3 %	7,0 %
Lärche	141	3,9 %	3,4 %	2,2 %	2,3 %
Hainbuche	107	3,0 %	2,2 %	4,0 %	3,6 %
Esche	94	2,6 %	0,9 %	1,0 %	1,1%
Ahorn	73	2,0 %	0,6 %	1,7 %	3,5 %
Birke	67	1,9 %	1,2 %	2,1 %	3,5 %
Erle	45	1,2 %	0,3 %	0,9 %	1,3 %
Kirsche	39	1,1 %	0,3 %	0,6 %	1,5 %
Edelkastanie	38	1,0 %	0,5 %	0,3 %	0,6 %
Tanne	34	0,9 %	0,6 %	0,9 %	0,7 %
Kulturpappel	26	0,7 %	0,5 %	0,2 %	0,3 %
Eberesche	15	0,4 %		0,2 %	0,7 %
Roteiche	14	0,4 %	0,3 %	0,5 %	0,6 %
Linde	13	0,4 %	0,4 %	0,2 %	0,4 %
Aspe	9	0,2 %	0,3 %	0,1 %	0,9 %
Salweide	5	0,1 %		0,1%	0,8%
Strobe	4	0,1 %	0,2%	0,1%	0,1%
Elsbeere	3	0,1 %		0,0%	0,0%
Robinie	2	0,1 %	0,1%	0,2%	0,3%
Faulbaum	1	0,0 %			
Mehlbeere	1	0,0 %		0,0%	0,1%
Ulme	1	0,0 %	0,1%	0,0%	0,0%
Insgesamt	**3624**	**100,0 %**	**99,7%**	**96,4 %**	**96,4 %**

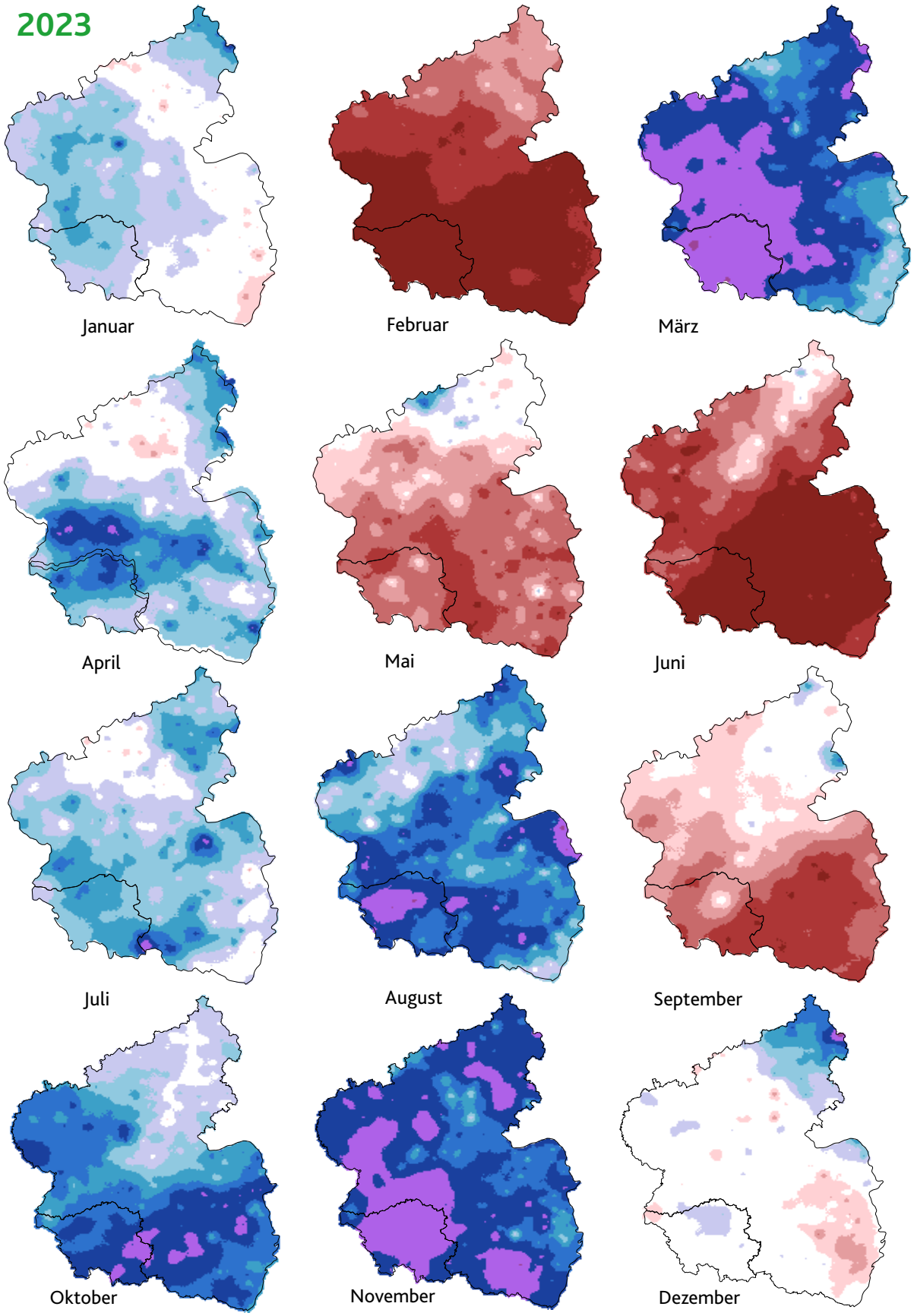
Den Fehlbetrag zu 100 Prozent bilden mit leeren Feldern belassene Baumarten bzw. Baumarten, die nicht im Kollektiv der WZE vertreten, aber von der Forsteinrichtung oder der Bundeswaldinventur erfasst sind.

Anhang 3

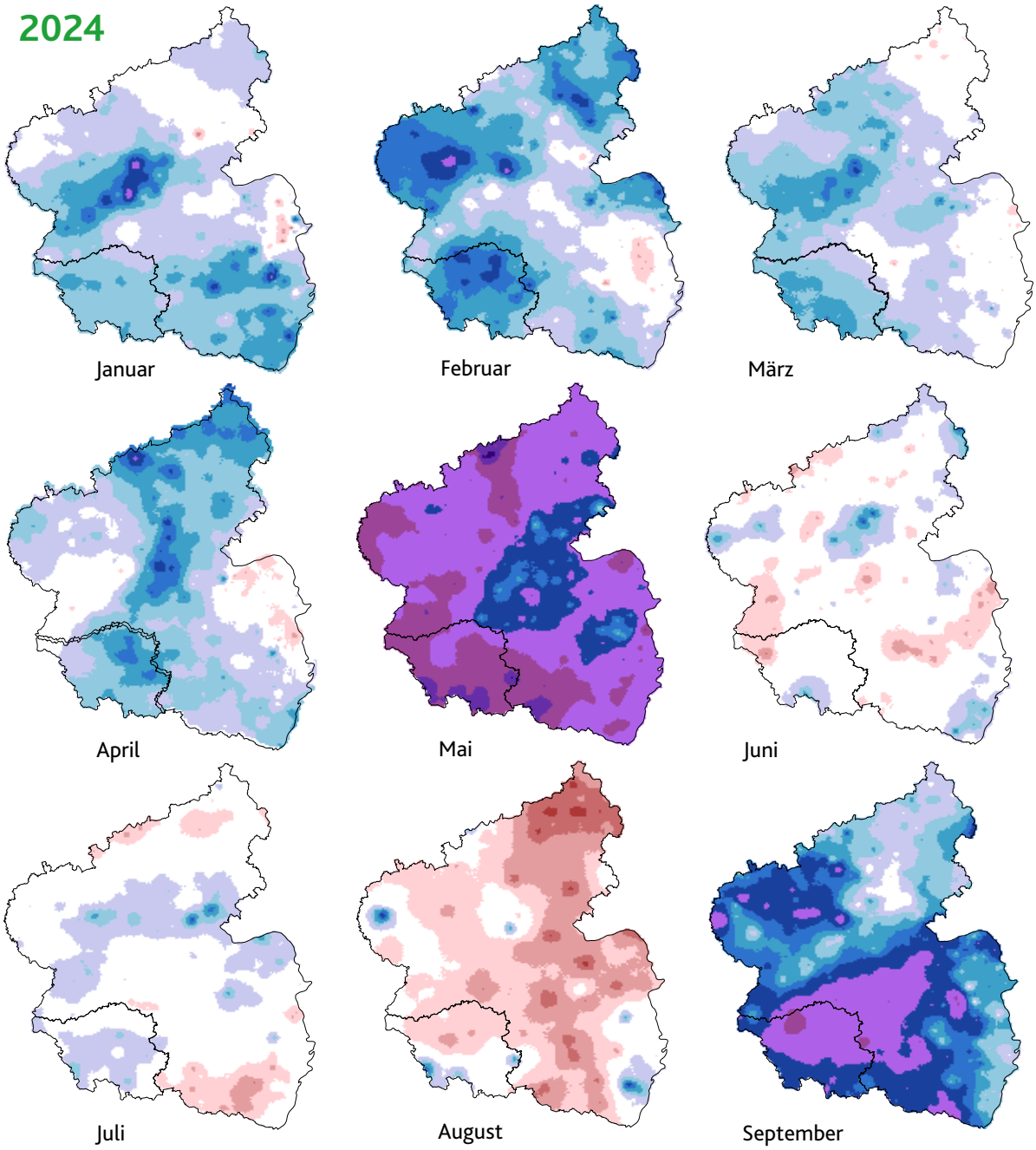
Regionale Abweichung vom Monatsniederschlag in Prozent (Januar bis Dezember)



Regionale Abweichung vom Monatsniederschlag in Prozent (Januar bis Dezember)



Regionale Abweichung vom Monatsniederschlag in Prozent (Januar bis September)



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst

Darstellung: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (www.kwis-rlp.de)

Anhang 4

Abkommen und gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung

Maßnahme	Jahr	Ziel
Internationale Abkommen und Richtlinien		
Montreal-Protokoll	1987	Schutz der stratosphärischen Ozonschicht
Europäische Abkommen zur Luftreinhaltung im Rahmen der UN-ECE-Verhandlungen:		
Helsinki-Protokoll Sofia-Protokoll	1985 1988	1. und 2. Schwefel-Protokoll zur Rückführung der Stickstoffoxidemissionen
Genfer-Protokoll	1991	Rückführung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen
Oslo-Protokoll	1994	Reduzierung der Schwefelemissionen
Aarhus-Protokoll	1998	Rückführung von Schwermetallen und persistenten organischen Verbindungen
Göteborg-Protokoll	1999	Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon
VOC-Richtlinie (VOC = Volatile Organic Compounds)	1999	Begrenzung von Emissionen flüchtiger, organischer Verbindungen
Abfallverbrennungsrichtlinie	2000	Emissionsbegrenzung bei der Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen
Großfeuerungsanlagen-Richtlinie	2001	Begrenzung von Schadstoffemissionen von Großfeuerungsanlagen in die Luft
Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe (NEC = National Emissions Ceilings)	2002	Festsetzen von nationalen Emissionshöchstgrenzen für die Mitgliedstaaten bei den Schadstoffen SO_2, NO_x, NH_3 und VOC)
Richtlinie über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und PAK in der Luft	2004	Zielwerte in der Luft, die bis 2012 eingehalten werden sollen
Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa	2008	Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität EU-Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Benzol Partikel (PM_{10}, $PM_{2.5}$) und Blei sowie Ozon in der Luft
Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie)	2008	Genehmigungspflicht für bestimmte industrielle und landwirtschaftliche Tätigkeiten mit einen hohen Verschmutzungspotential
Richtlinie über Industrieemissionen (IED-Richtlinie)	2012	Neufassung der IVU-Richtlinie Verstärkte Berücksichtigung der "besten verfügbaren Technik" (BVT)
Thematische Strategie zur Luftreinhaltung (Clean Air Policy Package mit dem Programm „Saubere Luft für Europa“) Novellierung der Richtlinie über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe (NEC = National Emission Ceilings)	2013	Kurz- und Langfristmaßnahmen im Bereich Anlagen, Verkehr, Hausbrand und Landwirtschaft zur weiteren Senkung der Emissionen und Immissionsbelastungen Festsetzung von nationalen Emissionshöchstgrenzen für die Mitgliedsstaaten für SO_2, NO_x, NMVOC, CO, NH_3, PM_{10}, $PM_{2,5}$

Maßnahme	Jahr	Ziel
Nationale Regelungen		
Bundes-Immissionsschutzgesetz (BlmSchG)	2013	Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen
1. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BlmSchV)	2010	Neufassung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen
2. BlmSchV	2013	Neufassung der Verordnung über die Emmissions begrenzung von leichtflüchtigen organischen Verbindungen
Nationales Luftreinhalteprogramm	2019	Aktuelle Emissionsprognosen sowie Strategien und Maßnahmen zur Erfüllung der Emissionsreduktionsverpflichtungen
10. BlmSchV	2013	Verordnung über die Beschaffenheit und Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen
13. BlmSchV	2013	Neufassung der Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen
17. BlmSchV	2013	Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen
20. BlmSchV	2013	Neufassung der Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen
21. BlmSchV	2013	Neufassung der Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen
28. BlmSchV	2013	Verordnung über Emissionsgrenzwerte bei Verbrennungsmotoren
31. BlmSchV	2013	Neufassung der Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen
35. BlmSchV	2007	Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung
36. BlmSchV	2012	Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote
39. BlmSchV	2010	Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen
43. BlmSchV	2018	Verordnung zur Emissionsreduktion und Emissionshöchstmengen
44. BlmSchV	2020	Verordnung über mittelgroße Feuerungs-, Gastrubinen- und Verbrennungsmotoranlagen (1-50 MW Feuerungswärmeleistung). Nationale Umsetzung der "Medium Combustion Plant Directive" (MCP)

Maßnahme	Jahr	Ziel
Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung	2009	Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraft-NachV)
TA Luft	2002	Neufassung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Emissionsbegrenzung bei Industrieanlagen nach dem Stand der Technik
Änderungen der Kfz-Steuerregelung	2009	Ausrichtung der Kfz-Steuer für Pkw nach dem Emissionsverhalten und CO_2-Emissionen
EURO 1 Norm für Pkw	1991	Verschärfung der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 1992/93
EURO I Norm für Lkw	1991	Verschärfung der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 1992/93
EURO II Norm für Lkw	1991	2. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 1995/96
EURO 2 Norm für Pkw	1994	2. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 1996/97
EURO 3 Norm für Pkw	1998	3. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 2000/2001
EURO 4 Norm für Pkw	1998	4. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 2005/2006
EURO 5 Norm für Pkw	2006	5. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 2009/2010
EURO III Norm für Lkw	1999	3. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 2000
EURO IV Norm für Lkw	1999	4. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 2005
EURO V Norm für Lkw	1999	5. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw (NO_2) ab 2008
EURO 6 Norm für Pkw	2007	6. Stufe der Abgasgrenzwerte für Pkw ab 2014/2015
EURO VI Norm für Lkw	2007	6. Stufe der Abgasgrenzwerte für Lkw ab 2013/2014
EURO 6d-TEMP Norm für PKW	2017	Stufe der Abgasgrenzwerte für Diesel-PKw ab 2017/2019
EURO 6d Norm für PKW	2017	Stufe der Abgasgrenzwerte für Diesel-PKw ab 2020/2021
Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring, ForUmV	2013	Datengrundlage für forst- und umweltpolitische Entscheidungen sowie Berichterstattung

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

Das Waldmonitoring in Rheinland-Pfalz ist eingebunden in das deutsche und europäische Forstliche Umweltmonitoring.

Die Kronenzustandserhebungen auf dem 16 x 16 km-EU-Raster und die Intensivuntersuchungen auf den rheinland-pfälzischen Level-II-Flächen wurden bis 2006 im Rahmen des EU-Forest Focus–Programms und von 2009 bis Juni 2011 im Rahmen des LIFE+-FutMon-Projekts (www.futmon.org) von der Europäischen Union finanziell unterstützt.





RheinlandPfalz
MINISTERIUM FÜR
KLIMASCHUTZ, UMWELT,
ENERGIE UND MOBILITÄT

Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz

www.mkuem.rlp.de
www.wald.rlp.de