



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
KLIMASCHUTZ, UMWELT,
ENERGIE UND MOBILITÄT

WALDZUSTANDS- BERICHT 2022



Landesforsten
Rheinland-Pfalz

Impressum

Herausgeber

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität
Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz
Telefon: 06131 16-0, Fax: 06131 165926
www.mkuem.rlp.de
www.wald.rlp.de

Mainz, Dezember 2022

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:

Im Kronenraum eines Buchen-Mischbestandes, stark geschädigte Buche mit abgestorbener Teilkrone (Foto: Tobias Stubenazy)

WALDZUSTANDS- BERICHT 2022

	Seite
Vorwort	4
Waldzustand 2022 im Überblick	6
Waldzustandserhebung (WZE)	8
Einflüsse auf den Waldzustand	28
■ Entwicklung der Luftschadstoffbelastung	29
■ Klimawandel und Witterungsverhältnisse	35
■ Waldschutz	39
Anhaltende Schadphänomene bei der Buche?	44
Bedeutung des Wasserrückhaltes im Wald für die Risikovorsorge gegen die Entstehung von Sturzfluten und für eine nachhaltigere Grundwasserneubildung	58
Anhänge	
■ Entwicklung der Waldschäden	74
■ Probestaumkollektiv 2022	80
■ Witterung	81
■ Abkommen und gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung	84

VORWORT



Nach den drei Vegetationszeiten 2018, 2019 und 2020, die von außergewöhnlicher Hitze und Dürre geprägt waren, bot das Jahr 2021 Witterungsbedingungen, die für das Gedeihen der Wälder günstig waren. Daraus nährte sich eine leise Hoffnung, dass sich dies in etwas günstigeren Befunden des Waldzustandsberichts 2022 niederschlagen könnte. Die Aufnahmen in den Wäldern wurden in der ersten Hälfte einer erneuten Sommerdürre 2022 abgeschlossen, die sich von Ende Juni bis Anfang September dieses Jahres erstreckte. Es lohnt sich, die Ergebnisse des Waldzustandsberichtes 2022 und ihre Hintergründe im Einzelnen zu analysieren. Ohne zu viel vorwegnehmen zu wollen, sei schon an dieser Stelle festgestellt, dass der Vitalitätszustand unserer Wälder in höchstem Maße besorgniserregend bleibt.

So ist es nur ein schwacher Trost, dass sich einige Befunde zur Buche, unserer von Natur aus wichtigsten Baumart, gegenüber dem Vorjahr etwas verbesserten, wenn man weiß, wie sehr gerade die Buche unter der Hitze und Trockenheit im weiteren Verlauf des Sommers litt. Im Waldzustandsbericht ist dieser Baumart ein eigenes Kapitel gewidmet, in dem die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen und Detailaufnahmen zu ihrer Situation und Perspektive im Klimastress vorgestellt werden.



©MKUEM/Heike Rost

Ein weiteres Sonderkapitel befasst sich mit dem Wasserrückhalt im Wald. Wer bisher glaubte, dass Wasser in unserem Lande immer und überall reichlich vorhanden sei, wird im voranschreitenden Klimawandel eines Besseren belehrt. Die Bedeutung des Waldes für die Menge und Güte des Wassers, aber auch für den Wasserrückhalt in der Landschaft, ist sehr bedeutend. Deswegen ist es wichtig, maßgebliche Zusammenhänge zwischen Wasser und Wald wissenschaftlich fundiert herauszuarbeiten, um daraus maßgebliche Schlussfolgerungen für die naturnahe Waldbewirtschaftung zu ziehen. Dabei wird die überragende Rolle unserer Waldböden mit ihren äußerst vielfältigen Lebensgemeinschaften deutlich.

Zur Erarbeitung des Waldzustandsberichtes 2022 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 ganz herzlich.

In dieser Zeit, die uns mit der Unmenschlichkeit des Krieges und seinen Begleiterscheinungen von Flucht, Zerstörung und Elend in fühlbarer Nähe konfrontiert, ist bisher noch zu wenig geschehen, was dem Klimawandel, dem Artensterben, dem verschwenderischen Verbrauch unserer Lebensgrundlagen entschieden Einhalt gebietet.

Der Waldzustandsbericht 2022 ist ein weiteres Mosaiksteinchen in einem sich auftürmenden Berg von Mahnmalen.

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

WALDZUSTAND 2022

EIN ÜBERBLICK



Das Schadniveau bleibt wie im Vorjahr unverändert hoch. Der Anteil deutlich geschädigter Waldbäume ist gegenüber dem Vorjahr zwar um 2 Prozentpunkte zurückgegangen, der Anteil an Probestämmen ohne sichtbare Schadmerkmale liegt um 1 Prozentpunkt höher und auch die mittlere Kronenverlichtung ist um 0,9 Prozentpunkte niedriger. Der Anteil starker Kronenschäden, abgestorbener Probestämme und infolge biotischer Schäden vorzeitig entnommener Probestämme ist jedoch weiter überdurchschnittlich hoch. Die Absterberate, der Anteil an Probestämmen, die im Jahr der Erhebung tot (100 % Nadel-/Blattverlust) angetroffen wurden, nachdem sie im Vorjahr noch gelebt hatten, liegt bei Fichte, Kiefer und Buche weiter über dem langjährigen Durchschnitt.

In den letzten fünf Jahren war lediglich im Jahr 2021 der Witterungsverlauf in der Vegetationszeit relativ günstig für den Wald mit gleichmäßig verteilten Niederschlägen über das Jahr und ohne ausgeprägte Trockenphasen in der Vegetationsperiode. Alle anderen Jahre waren zu warm und zu trocken mit ausgeprägten Trockenstressphasen während der Vegetationsperiode. Unsere Wälder leiden weiter unter Dürrejahren infolge des Klimawandels.

Auch wurde in den letzten Jahren keine durchgreifende Verbesserung bei den Luftschadstoffen 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 nicht nur für sich waldschädigend, sondern verstärken noch den Trockenstress.

Bei der Fichte schreitet die Borkenkäferkalamität fort. Die hohe Ausgangspopulation im Frühjahr und Vorschädigungen aus dem Vorjahr führten zu weiterhin hohen Mengen an Kalamitätsholz. Die

warme, trockene Witterung bot günstige Bedingungen für das Schwärmen der Borkenkäfer und ermöglichte auch in den höheren Lagen der Mittelgebirge die vollständige Entwicklung von drei Käfergenerationen.

Die aktuelle Schwächung der Buche als der von Natur aus dominierenden Baumart in Mitteleuropa ist sehr beunruhigend. Die ermittelte Absterberate liegt um ein Vielfaches höher als in der gesamten Zeitreihe. Temperaturmessungen in Bodennähe und über dem Kronendach zeigen die Fähigkeiten und Grenzen des Waldes zur Temperaturregulierung.

Die Transpiration erlaubt den Bäumen, die Blatttemperatur zu regulieren. Ist die Transpiration infolge einer Dürrephase nicht möglich, so fehlt nicht nur der für den Stoffwechsel nötige Gasaustausch, sondern auch die Möglichkeit der Temperaturregulierung und die Blattoorgane können durch Überhitzung geschädigt werden. Im Waldinneren und am Waldboden ist der Temperaturverlauf gegenüber der Freifläche gedämpft. Für die besonders empfindliche Waldverjüngung ist die Überschirmung dann vorteilhaft, wenn der Lichtgenuss zum Wachstum reicht, ohne dass es durch eine direkte Sonneneinstrahlung zu schädlich hohen Temperaturen im bodennahen Bereich kommt.

Die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen im Witterungsgeschehen erfordern Antworten auf die Frage, wie ungleichmäßig verteilte Niederschläge, insbesondere bei Starkregenereignissen, im Wald gehalten werden können, um der Gefahr von Sturzfluten vorzubeugen, die Bodenvorräte aufzufüllen und möglichst auch die Sickerwasserspende für das Grundwasser zu erhöhen. So wird aktuell ein bereits 2005 begonnenes Projekt um neue Fragestellungen erweitert und konsequent fortgeführt. Die Ursachen schnellen Wasserabflusses auch im Wald wurden aufgedeckt, Gegenmaßnahmen entwickelt und auf ihre Wirksamkeit geprüft.

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 2022 hat sich der Kronenzustand über alle Baumarten im Schnitt kaum verändert. Auch bei den einzelnen Baumarten gibt es nur geringe Veränderungen. Ein Teil der Bäume konnte sich im Kronenzustand verbessern, doch ist der Anteil absterbender oder schon abgestorbener Bäume unverändert hoch.

Durchführung

Die Waldzustandserhebung erfolgt seit 1984 auf einem systematischen, landesweiten Stichprobenraster. Die Stichprobe umfasst insgesamt 167 Aufnahmepunkte. An 12 Aufnahmepunkten war im Vorjahr kein für die Erhebung geeigneter Waldbestand vorhanden. An einem dieser Aufnahmepunkte konnten aus dem nachgewachsenen Waldbestand neue Probestämme ausgewählt und der Aufnahmepunkt so reaktiviert werden. An allen anderen fanden sich noch keine neuen Probestämme für eine Bewertung. Im Jahr 2022 wurde an zwei weiteren Aufnahmepunkten der Waldbestand infolge von Sanierungshieben zur Borkenkäferbekämpfung gefällt. Damit ist derzeit an 13 Aufnahmepunkten kein geeigneter Waldbestand vorhanden, um Probestämme auszuwählen. Die Waldzustandserhebung ruht an diesen Punkten bis die nächste Baumgeneration etabliert ist. Im Jahr 2022 wurden 3696 Stichprobenbäume an 154 Aufnahmepunkten begutachtet. Die Außenaufnahmen, einschließlich

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/bodenzustandserhebung>

Abstimmungsübung und Kontrollaufnahmen erfolgten in der Zeit vom 18. Juli bis 05. August.

Mit der Stichprobe sind statistisch abgesicherte Aussagen 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 sie ebenfalls Aussagen, jedoch bei geringerer statistischer Sicherheit.

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/>

Die dritte Bodenzustandserhebung (BZE III) hat mit ihren ersten Außenarbeiten begonnen, sie wird von 2022 bis 2024 durchgeführt. Sie ist ein bedeutender Bestandteil des forstlichen Umweltmonitorings und wird an allen 167 Punkten der WZE durchgeführt. Mit den Daten wird der aktuelle Zustand der Waldböden festgestellt. Da sie in Kontinuität der BZE I (1987 – 1992) und BZE II (2006 bis 2008) steht, liefert sie auch belastbare

Daten zur Entwicklung der Waldböden in den letzten 30 Jahren. Neben chemischen, physikalischen 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.

Waldzustand allgemein

Der Anteil deutlich geschädigter Waldbäume ist gegenüber dem Vorjahr um 2 Prozentpunkte zurückgegangen, der Anteil an Probebäumen ohne sichtbare Schadmerkmale liegt um 1 Prozentpunkt höher. Die mittlere Kronenverlichtung ist um 0,9 Prozentpunkte niedriger. 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 bleibt damit weiterhin auf dem sehr hohen Niveau der Vorjahre.

Die Winterniederschläge reichten nicht aus, um die Bodenwasservorräte vollständig aufzufüllen, insbesondere die Grundwasserspende blieb defizitär. Der Austrieb der Waldbäume im Frühjahr konnte jedoch relativ ungehindert erfolgen. Die Frühjahrs- und Sommerniederschläge waren spärlich, ungleichmäßig verteilt und fielen häufig als Starkregenereignisse. Lokale Gewitter verursachten neben Starkregen auch Schäden durch Sturmböen oder Hagel. Die bis in den Spätsommer anhaltende Trockenheit führte bei fruchttragenden Bäumen teilweise zu vorzeitigem Abwurf unreifer oder notreifer Früchte und auch die Möglichkeit Reservestoffe zu bilden, war für die Bäume eingeschränkt. Es ist zu erwarten, dass dadurch der Austrieb im folgenden Jahr eingeschränkt wird. Die Waldzustandserhebung wurde Anfang August abgeschlossen. Bis zu diesem Zeitpunkt waren Trockenschäden erst auf den besonders exponierten, flachgründigen Standorten sichtbar geworden, schritten aber im Laufe des Augusts rasch fort.

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/>

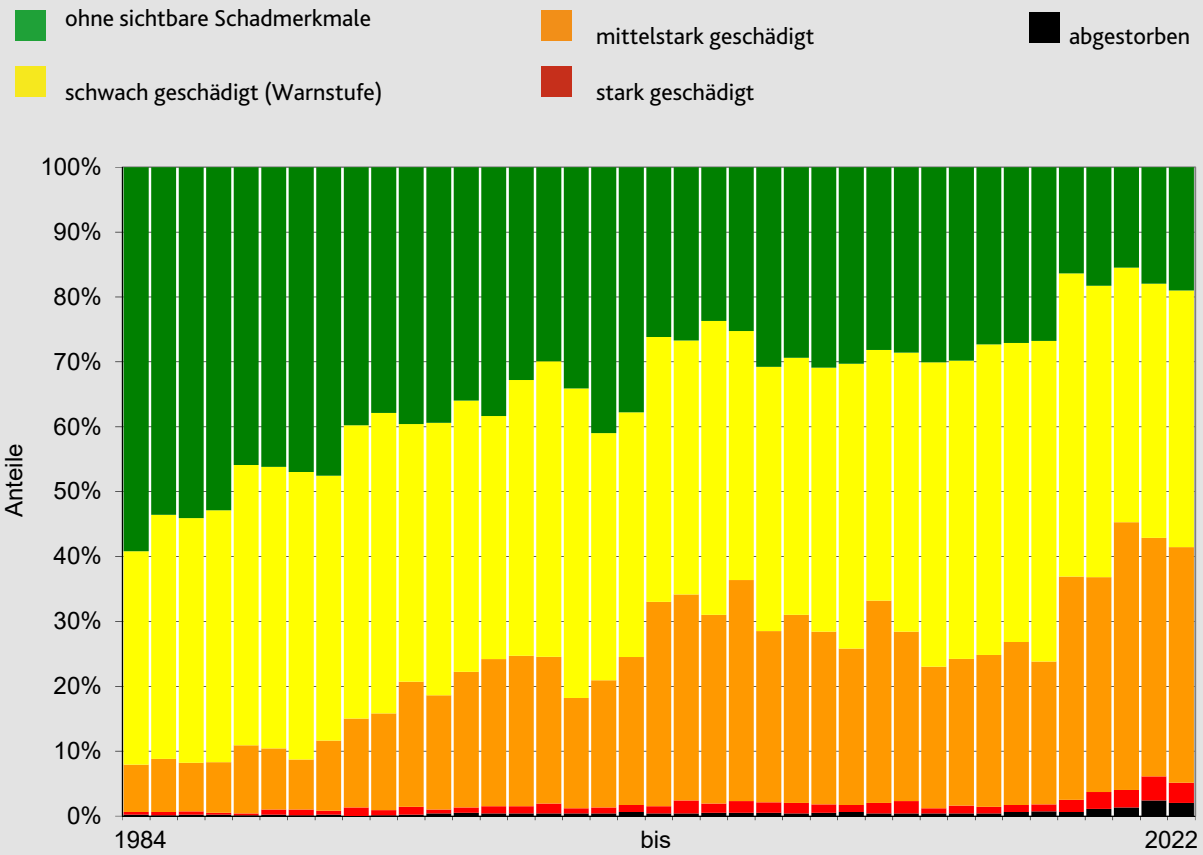
In den vergangenen fünf Jahren wies nur das Vorjahr einen für den Wald vergleichsweise günstigen Witterungsverlauf auf, alle anderen waren durch Hitze- und Trockenperioden geprägt. Diese permanente Belastung führt die Waldökosysteme an ihre klimatische Grenze und erzwingt vielfältige Anpassungen.

Bei vielen Baumarten, besonders bei Eiche und Fichte, aber auch bei Douglasie und Lärche, war eine Fruchtbildung zu beobachten, was eine zusätzliche Inanspruchnahme für die Wasser- und Nährstoffversorgung bedeutet.

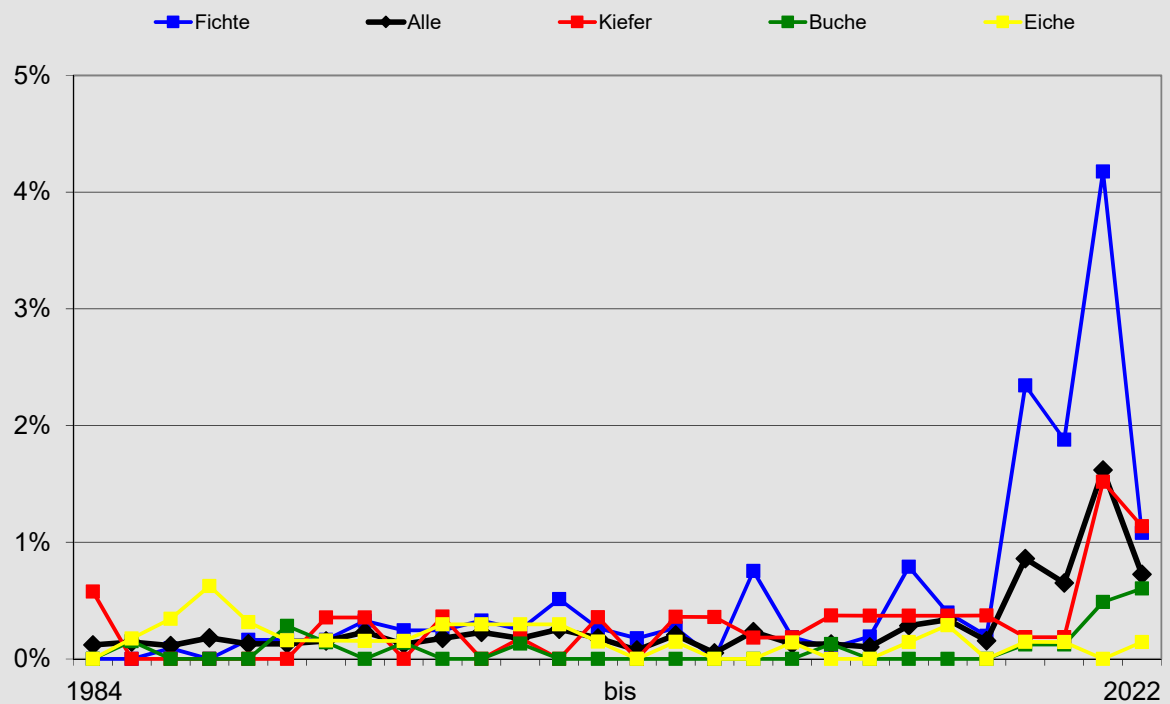
Absterberate

Die Absterberate ist der Anteil an Probebäumen, der im Jahr der Erhebung tot (100 % Nadel-/Blattverlust) angetroffen wurde, nachdem er im Vorjahr noch gelebt hatte. 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 bisher also 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 auffällig erhöht.

Entwicklung der Schadstufenverteilung über alle Baumarten



Jährliche Absterberaten im Kollektiv der Waldzustandserhebung



Fichte

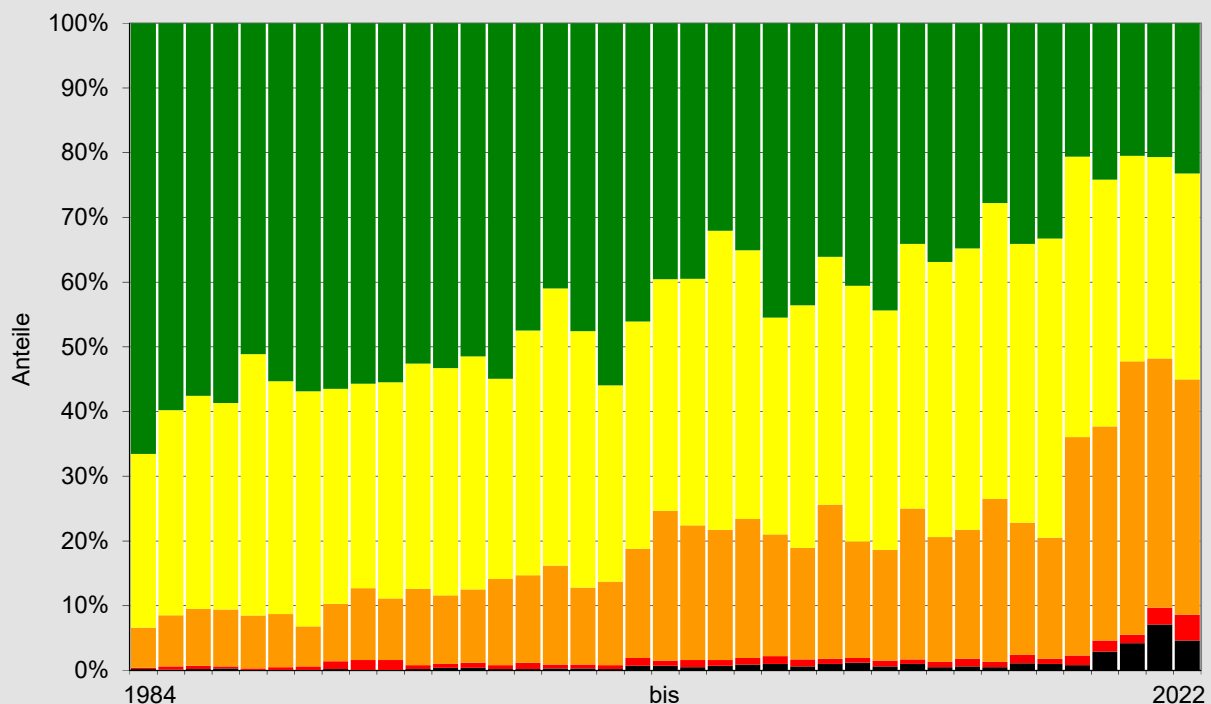
Im Jahr 2022 wird die Schadsituation der Fichte weiter durch den Borkenkäferbefall bestimmt. 6 % der Probestämme sind infolge eines Borkenkäferbefalls vorzeitig entnommen worden oder waren zum Zeitpunkt der Erhebung frisch abgestorben. Bei den verbliebenen, noch lebenden Probestämmen hat sich das Niveau der Kronenschäden gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Eine scheinbare Verbesserung erfolgte durch den Aushieb abgestorbener Probestämme (Schadstufe 4, Rückgang um 2 Prozentpunkte auf jetzt 5 %). Weiter angestiegen ist dagegen der Anteil stark geschädigter Fichten (Schadstufe 3, Anstieg um 1 Prozentpunkt auf jetzt 4 %). Der Anteil mittelstark geschädigter Fichten wiederum ging um 2 Prozentpunkte zurück. Der Anteil schwach geschädigter Probestämme liegt um knapp 1 Prozentpunkt höher, der Anteil der Probestämme ohne sichtbare Schäden um 2 Prozentpunkte

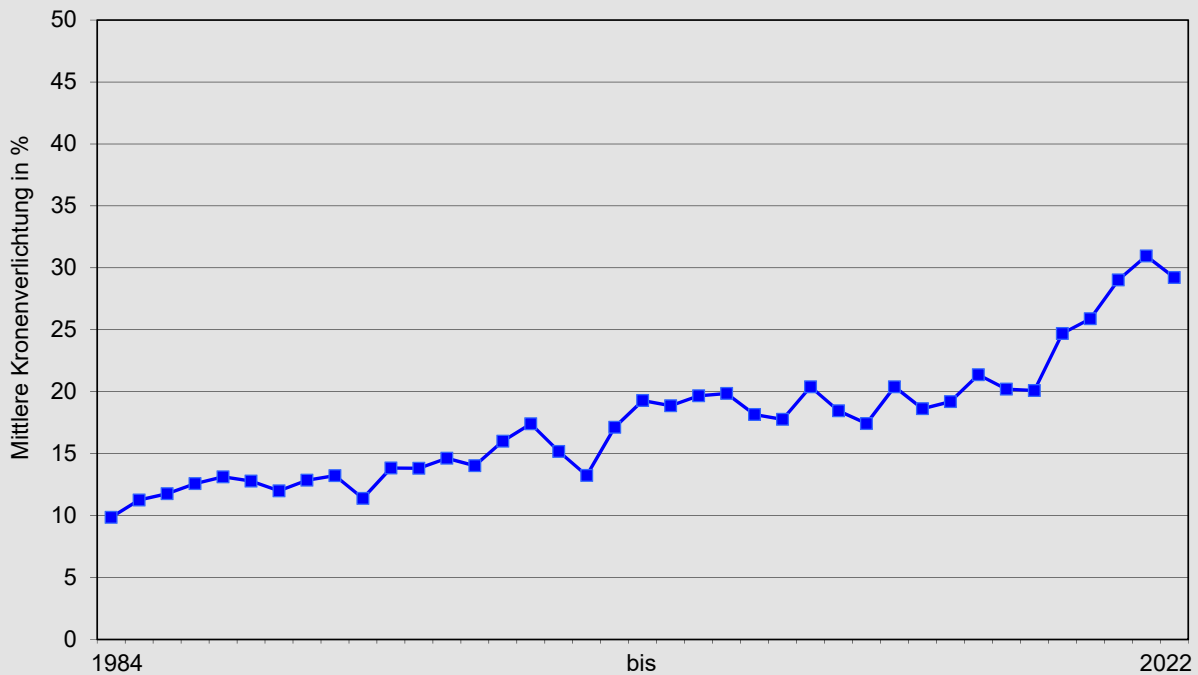
höher. Die mittlere Kronenverlichtung liegt um 1 Prozentpunkt niedriger. Frisch abgestorben waren 8 Probestämme, weitere 35 waren schon in den Vorjahren tot.

Von 2011 auf 2022 sind 74 Probestämme ausgeschieden. Mit 10,0 % ist die Ausscheiderate das vierte Jahr in Folge überdurchschnittlich hoch. Hauptursache (drei Viertel der Fälle) ist die vorzeitige Entnahme nach Borkenkäferbefall, so auch an zwei Aufnahmepunkten, an denen sämtliche Fichten-Probestämme gefällt wurden. Für 36 der noch stehenden Probestämme (4,9 %) wurde ein Borkenkäferbefall festgestellt, wovon 11 zum Zeitpunkt der Erhebung noch nicht abgestorben waren. Seit 2017 ist die Anzahl der Fichten im Probestammkollektiv um gut ein Viertel zurückgegangen. Ursächlich waren 2018 zunächst vor allem Sturmwürfe und in den folgenden Jahren Schäden durch Borkenkäfer.

Fichte

Entwicklung der Schadstufenverteilung





Im Jahr 2022 haben die Fichten wieder intensiv geblüht und Zapfen ausgebildet (73 % der Probestämme). Starke Fruchttore waren zuvor schon die Jahre 2018 und 2020, in den Zwischenjahren 2019 und 2021 bildete die Fichte dagegen kaum Zapfen aus. So kann festgehalten werden, dass in Rheinland-Pfalz die Fichte zuletzt synchron in einem zweijährigen Rhythmus geblüht und Zapfen ausgebildet hat. Starke Fruchtbildung verändert das Erscheinungsbild des Baumes und bedeutet eine zusätzliche physiologische Belastung für die Bäume. Ein Einfluss der Fruktifikation auf die Entwicklung der Kronenverlichtung der Fichte ist aus den Daten aber nicht abzuleiten.

Insekten oder Pilze, die unmittelbar die Nadeln befallen, wurden 2022 nicht beobachtet. 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. Im Jahr 2022 wurde an 26 Probestämmen eine Vergilbung beobachtet, davon

aber nur an 4 Probestämmen merkliche oder deutliche Vergilbungserscheinungen. Als eine wesentliche Ursache für den Rückgang der Vergilbung kann die verbesserte Magnesiumversorgung durch Bodenschutzkalkung auf stark versauerten Standorten angenommen werden.

Buche

Gegenüber dem Vorjahr ist das Schadniveau der Buche zurückgegangen. Der Anteil deutlich geschädigter Probestämme ist um 8 Prozentpunkte niedriger, der Anteil derjenigen ohne sichtbare Schadmerkmale liegt um 7 Prozentpunkte höher. Die mittlere Kronenverlichtung ging um 4 Prozentpunkte zurück. Diese Verbesserung betrifft jüngere (Alter bis einschließlich 60 Jahren) wie ältere (Alter ab 60 Jahren) Buchen gleichermaßen. Auch der Anteil starker Schäden (Schadstufe 3) ist mit jetzt 3,1 % um 2,4 Prozentpunkte niedriger als im Vorjahr. Allerdings haben sich die stark geschädigten Probestämme aber nicht alle erholen können, sondern sind überproportional häufig abgestorben oder ausgeschieden.

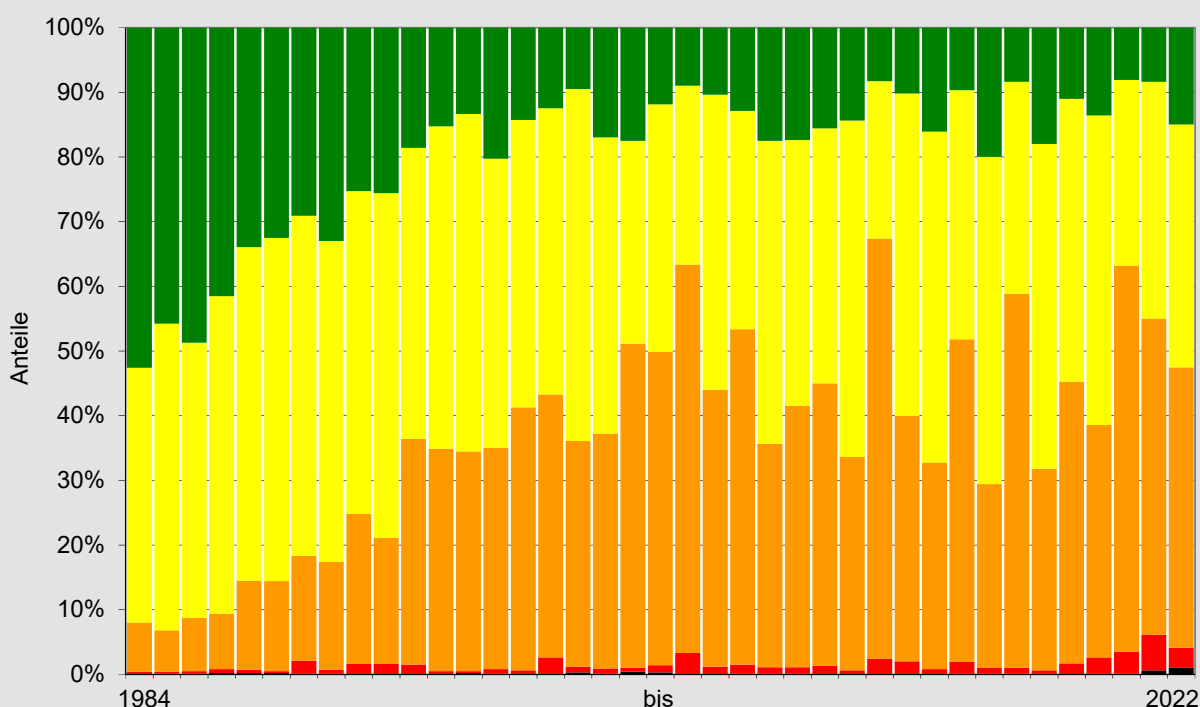
Frisch abgestorben waren 5 Probebäume (0,6 %). Das sind zwar nur wenige Einzelbäume, im Rückblick auf die Zeitreihe ist das jedoch ein auffallend hoher Wert. Für die Buche wurde die Absterberate zurückverfolgend als Zeitreihe ab dem Jahr 1985 berechnet. Die Absterberate war bis zum Jahr 2021 unauffällig und unbedeutend, pro Jahr waren nur maximal 2 Probebäume betroffen. Zum Jahr 2022 sind 15 Probebäume aus dem Stichprobenkollektiv ausgeschieden, davon 10 vorzeitig unplanmäßig infolge eines Sturmwurfes oder starker Kronenbrüche. Der Anteil ausgeschiedener Probebäume liegt mit 1,8 % im langjährigen Mittel.

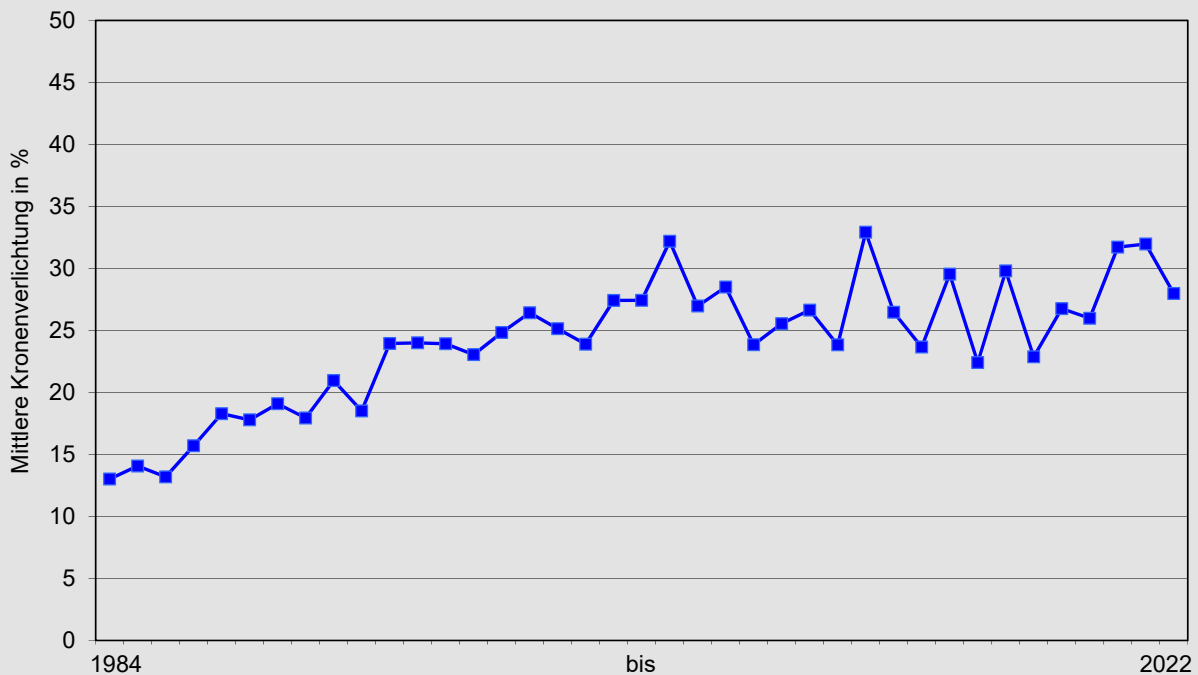
Im Jahr 2022 wurde bei 26 % der Probebäume, und damit vergleichsweise häufig, Dürre- und abgestorbene Äste beobachtet. Der Anteil an Buchen an denen Dürre- und abgestorbene Äste in größerem Ausmaß (mehr als 5 % Anteil) beobachtet wurde und auch die Stärke der abgestorbenen Äste, ist ab 2021 merklich höher als in den Jahren davor. Dürres Feinreisig und abge-

storbene 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.

Buche

Entwicklung der Schadstufenverteilung





Im letzten Jahrzehnt bildeten die Buchen nahezu jedes zweite Jahr Bucheckern. Nach dem starken Fruchtbehang des Jahres 2020 trugen im Jahr 2021 nur wenige Buchen Früchte (5 % der Probestämme). Im Jahr 2022 blieb der Fruchtbehang angesichts eines Anteils von knapp 32 % der betroffenen Buchen moderat. Die nicht oder nur schwach fruktifizierenden Buchen-Probestämme zeigten eine signifikante Verbesserung ihres Kronenzustandes gegenüber dem Vorjahr. Die stärker fruktifizierenden Buchen-Probestämme wiesen dagegen eine tendenzielle (nicht signifikante) Verschlechterung ihres Kronenzustands auf.

Schäden durch blattfressende Insekten, insbesondere ein Loch- und Minierfraß durch den Buchenspringrüssler (*Rhynchaenus fagi*), trat an rund 30 % der Probestämme auf und war damit häufiger als im Vorjahr (23 %) zu beobachten. Meist handelt es sich jedoch um leichten Fraß (bis zu 5 % der Blattmasse betroffen). Die betroffenen Probestämme konnten ihren Kronenzustand nicht verbessern. Von stärkerem Insektenfraß (mehr als 5 % der Blattmasse) betroffene Buchen-Probestämme zeigten sogar eine signifikante Verschlechterung des Kronenzustandes.

Ein Befall durch Blattpilze, wie der Blattbräune (*Apiognomonium errabunda*), wurde zwar gelegentlich (an 10 Probestämmen) beobachtet, jedoch meist nur im Bereich der Schattenkrone. Damit blieb die Blattbräune ohne Einfluss auf den bewerteten Kronenzustand. Vergilbungen wurden insgesamt an 37 Probestämmen, davon 10 in nennenswertem Umfang, notiert.

Eiche

Der Kronenzustand der Eichen ist weitgehend unverändert. Der Anteil deutlich geschädigter Probestämme ist gegenüber dem Vorjahr um 1 Prozentpunkt, die mittlere Kronenverlichtung um 1,2 Prozentpunkte, zurückgegangen. Diese Veränderung ist aber nicht signifikant. Die Eiche bleibt auf einem hohen Schadniveau, aber unterhalb des Niveaus maximaler Schäden der Periode von 1996 bis 2010. Stark geschädigt oder abgestorben waren 3,3 % der Probestämme, frisch abgestorben war ein Probestamm. Die Ausscheiderate ist mit 2,0 % zwar innerhalb der Zeitreihe etwas überdurchschnittlich, doch ist sie überwiegend durch eine reguläre Holzernte bedingt.

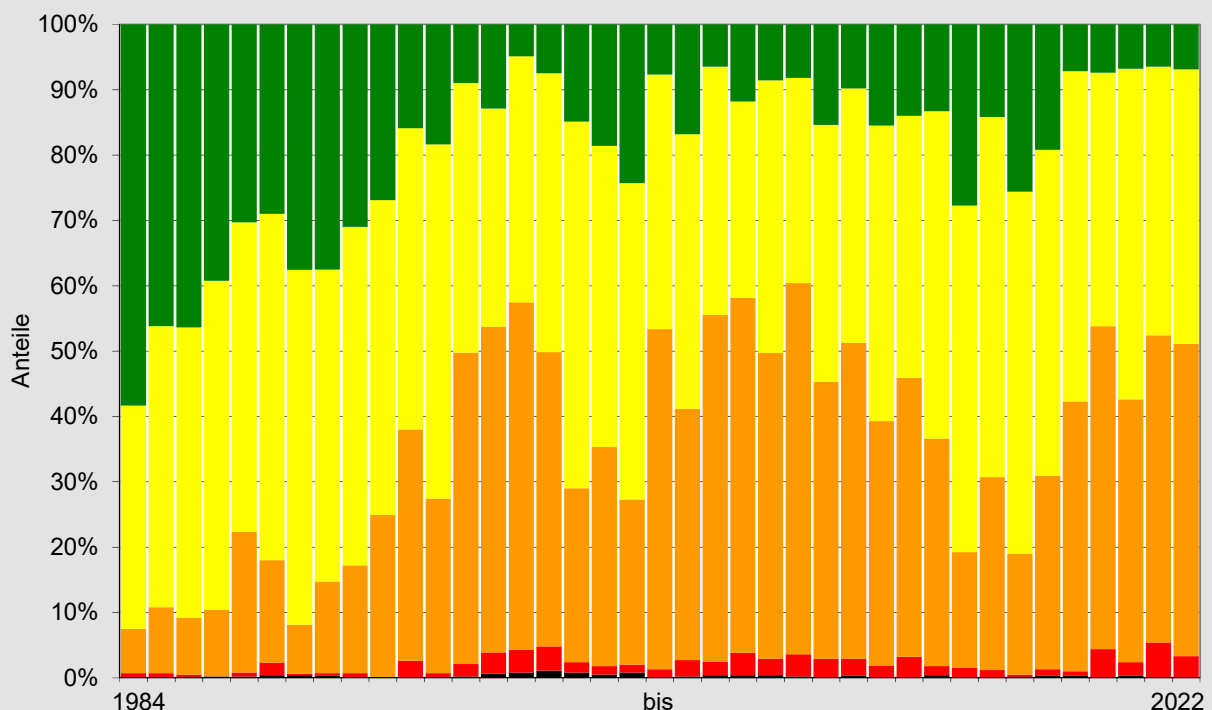
Die Eichen erleiden regelmäßig mehr oder minder starke Schäden durch blattfressende Insekten. Häufig wird der Wiederaustrieb durch den neobiotischen Eichenmehltau (*Microsphaera alphitoides*) befallen. Insektenfraß aber auch Mehltaubefall haben sich als bedeutsame Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Kronenzustandes bei der Eiche erwiesen. Im Jahr 2022 wurden an 30 % der Probestämme Fraßschäden beobachtet. Damit ist der Anteil gegenüber dem Vorjahr (17 %) höher, die Fraßintensität blieb aber überwiegend gering. Es zeigt sich, dass sich die nicht von Fraßschäden betroffenen Eichen in ihrem Kronenzustand tendenziell verbessern konnten, wohingegen die befallenen Eichen sich tendenziell verschlechterten. Der Mehltaupilz ist allgegenwärtig und befällt regelmäßig die Eiche, besonders betroffen sind meist die Sommertriebe. Das Ausmaß und die Intensität des Befalls sind

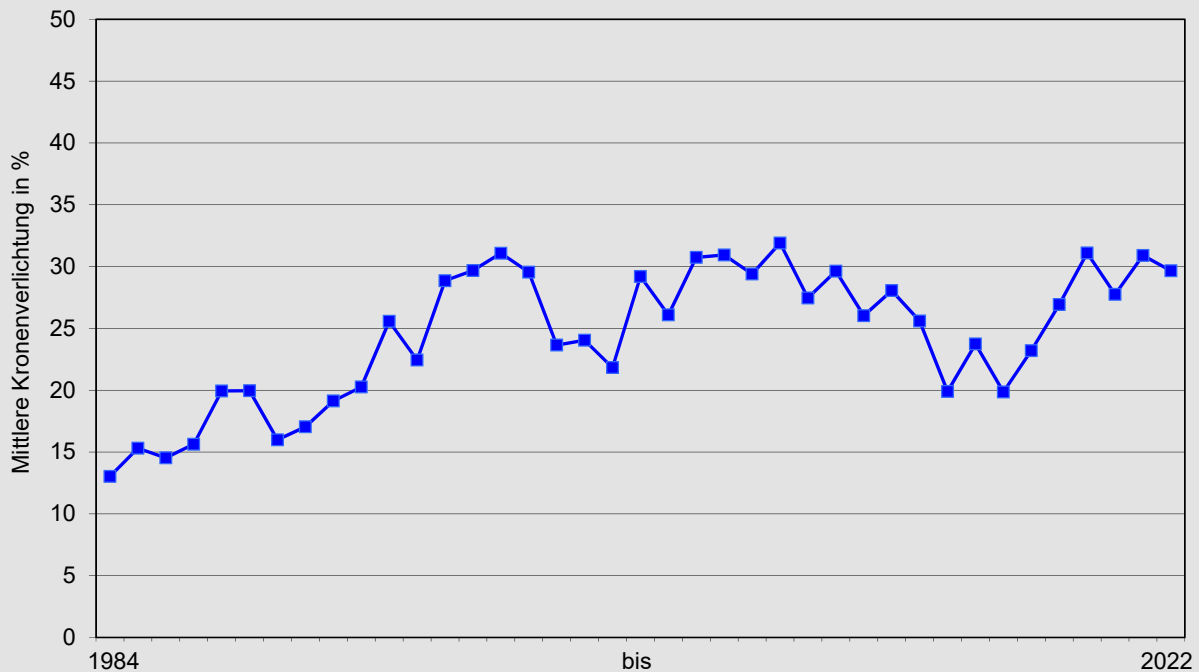
jedoch sehr unterschiedlich und nicht immer zuverlässig zu erkennen, sodass der Befall wahrscheinlich unterschätzt wird. Zum Zeitpunkt der Erhebung 2022 war Mehltau an 20 Probestämmen (2,9 %) festzustellen.

Der Eichen-Prozessionsspinner ist in den wärmebegünstigten Wuchsgebieten Saar-Nahe-Bergland, Mittelrhein- und Moseltal an insgesamt 4 Aufnahmepunkten festgestellt worden. Es traten aber nur unbedeutende Fraßschäden auf. Aus den Waldzustandserhebungen der vergangenen Jahre und den bei der Blattprobennahme für die Waldernährungserhebung 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





2022 blühte die Eiche gut und es hat sich auch reichlich Fruchtansatz entwickelt. An 37 % der Probestämme war Fruchtbehang sichtbar (im Vorjahr 5 %). Die Früchte der Eiche sind zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung aber meist noch zu klein, um den Fruchtbehang sicher abzuschätzen zu können. Bisher war der Fruchtbehang nur in wenigen Jahren gut erkennbar, doch auch mit diesen Daten war es nicht möglich abzuschätzen, ob die Fruchtbildung bei der Eiche einen Einfluss auf die Entwicklung der Kronenverlichtung hat.

Explizite Ursachen für die Schwankungen im Schadniveau der letzten Jahre bei den Eichen sind allein aus den Daten der Waldzustandserhebung nicht erkennbar oder abzuleiten.

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 2022 an 2 Probestämmen beobachtet, unbedeutende Vergilbungen an 14 Probestämmen.

Kiefer

Bei der Kiefer hat sich der Kronenzustand gegenüber dem Vorjahr verschlechtert. Der Anteil an Probestämmen mit deutlichen Schäden liegt um 5 Prozentpunkte, die mittlere Kronenverlichtung um 1,4 Prozentpunkte, höher. Diese Veränderung ist signifikant. Das Schadniveau bleibt damit aber im Rahmen der Streuung der Zeitreihe.

Stark geschädigt oder abgestorben sind 3,3 % der Probestämme. Dieser Wert bleibt damit im Verlauf der Zeitreihe, wie schon in den Vorjahren, unverändert hoch. Frisch abgestorben waren 6 Probestämme (Absterberate 1,1 %), was ein vergleichsweise hoher Wert innerhalb der Zeitreihe ist. Der Anteil der ausgeschiedenen Probestämme

liegt mit 2,6 % merklich über dem langjährigen Durchschnittswert. Ursächlich ist hierfür eine hohe Anzahl an Kronenbrüchen im Pfälzerwald infolge des Nassschneeereignisses Anfang April.

Im Jahr 2022 wurden an 24 % der Probestämme Vergilbungserscheinungen notiert, in nennenswertem Umfang (15 % oder mehr der Nadelmasse) in 10 Fällen (2 %). Durch die anhaltende Trockenheit neigt die Kiefer dazu, ihren dritten Nadeljahrgang vorzeitig zu verfärben und abzuwerfen, was während der diesjährigen Erhebung bereits Ende Juli beobachtet werden konnte. Dieser an sich natürliche Prozess setzt unter normalen Witterungsbedingungen erst im Herbst (Oktober) ein. Diese vorzeitige Nadelschütte ist offenbar wesentlich mitverantwortlich für die höhere Kronenverlichtung im Jahr 2022 und wurde

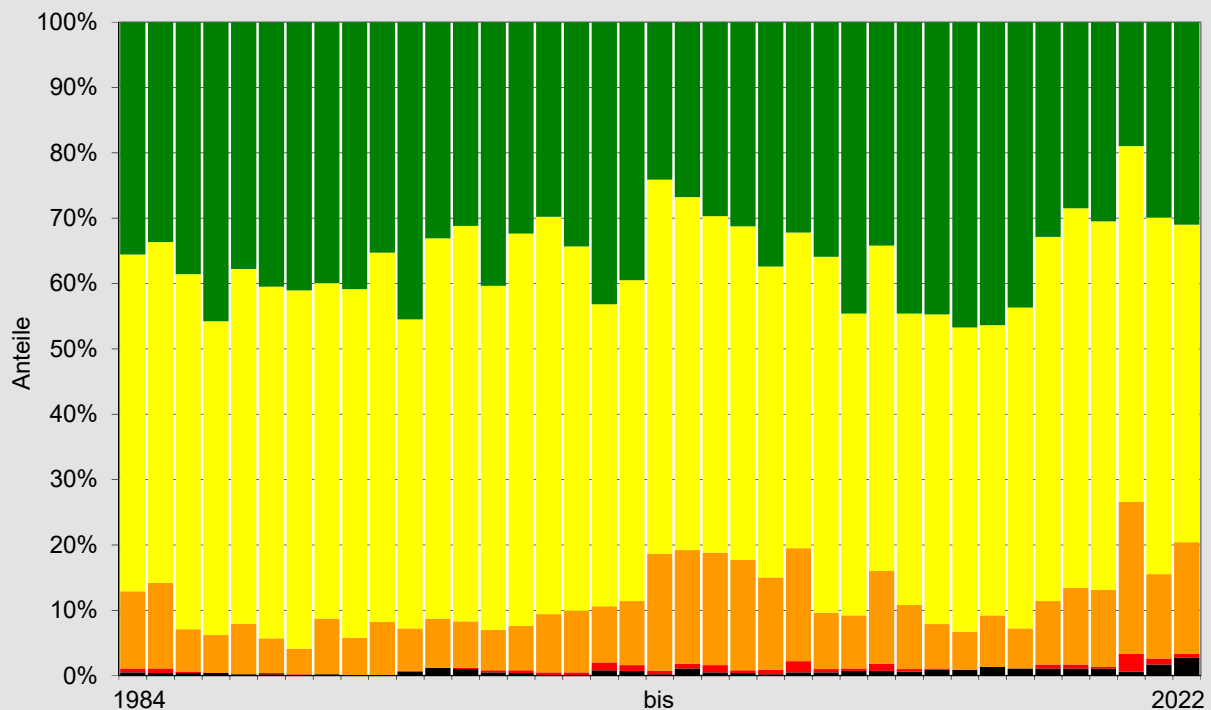
schon in früheren Jahren (z.B. dem Trockenjahr 2003) bei der Waldzustandserhebung beobachtet. Mit nur drei Nadeljahrgängen reagiert die Kiefer in Rheinland-Pfalz vergleichsweise flexibel mit variabler Benadelungsdichte und kann Verluste aus dem Vorjahr, die sich auf den ältesten Nadeljahrgang beschränken, auch schnell wieder ausgleichen.

Die Kiefern zeigen regelmäßig einen Zapfenbehang und haben im Jahr 2022 normal getragen. Ein Zusammenhang zwischen der Intensität des Zapfenbehanges und der Entwicklung der Kronenverlichtung ist nicht erkennbar.

Bei 12 % der Kiefern war Reifefraß durch den Großen oder Kleinen Waldgärtner (*Tomicus piniperda* oder *T. minor*) zu beobachten. Durch

Kiefer

Entwicklung der Schadstufenverteilung



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 2022 wurde sie an 45 % der Probestämme notiert. Infektionen weiterer Pilze betrafen die diesjährigen Triebe und können sie gänzlich zum Absterben bringen. Dieses Triebsterben wurde im Jahr 2022 an einem Probestamm festgestellt und stellt eine erhebliche zusätzliche Belastung dar. Die durch diese Pilzkrankungen betroffenen Douglasien sind zum Teil sehr stark verlichtet. Zu einem vorzeitigen Ausfall oder Absterben von Probestämmen ist es bisher aber nur im Ausnahmefall gekommen. Die Douglasiengallmücke (*Contarinia pseudotsugae*) wurde an einem der Probestämme der Waldzustandserhebung festgestellt, ebenso die Douglasien-Wolllaus (*Adelges cooleyi*). Abiotische Schäden wurden an den Aufnahmepunkten der Waldzustandserhebung nicht festgestellt.

Im Jahr 2022 war an 32 % der Probestämme Fruchtbehang zu beobachten (Vorjahr 6 %). 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 2022 nur an sieben Probestämmen, meist in unbedeutendem Ausmaß, beobachtet.

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

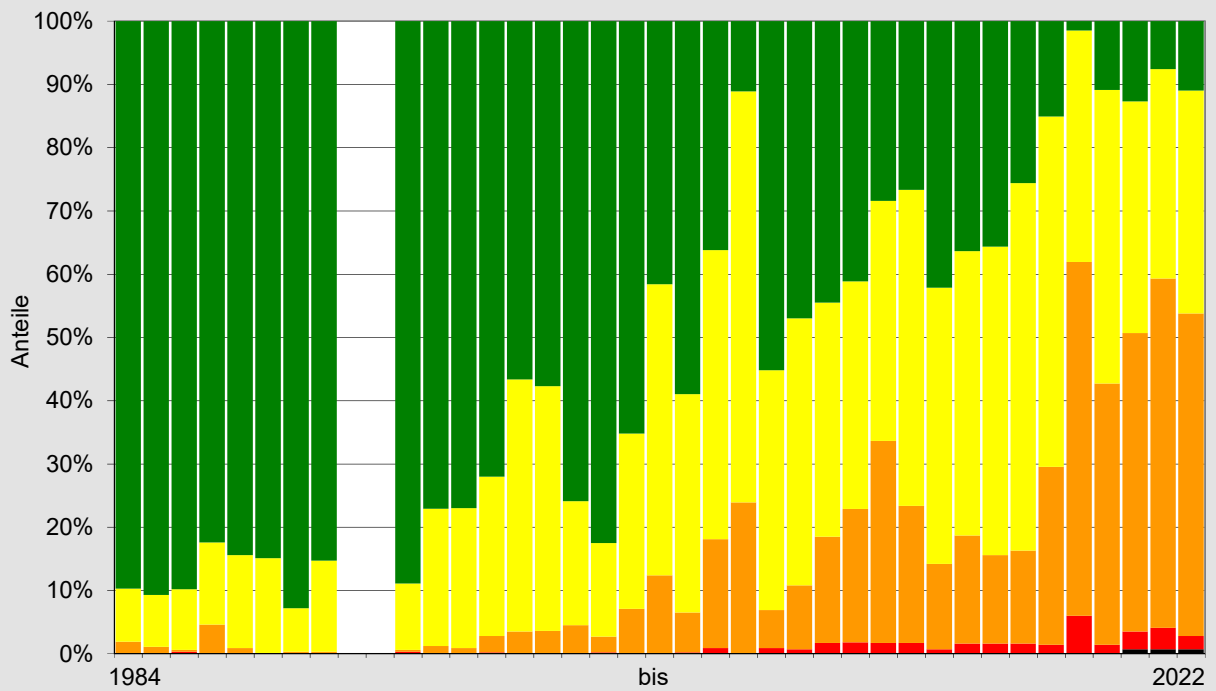
Für die Douglasie häufen sich in jüngster Zeit die Hinweise auf Vitalitätsstörungen durch Rußige Douglasienschütte, Douglasiengallmücke und Sekundärerkrankungen beziehungsweise –schäden, die die Vitalität und damit auch die Stabilität und die Ertragsicherheit ganzer Bestände grundsätzlich infrage stellen. Die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) führt daher in den Jahren 2022 bis 2024 das VitaDou-Projekt mit Förderung durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) durch, um das Ausmaß der Devitalisierung zu erfassen, physiologisch tolerante Herkünfte oder Individuen zu identifizieren, ökonomisch zu bewerten und Hinweise zu waldwirtschaftlichen Konsequenzen abzuleiten. Informationen zum Projekt: <https://holz.fnr.de/index.php?id=16064&fkz=2220NR290A>

Probestämmen 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 2022 ist das Schadniveau der Nebenbaumarten insgesamt leicht angestiegen.

Bei den Lärchen ist der Anteil der deutlichen Schäden gegenüber dem Vorjahr um 8 Prozentpunkte und die mittlere Kronenverlichtung um 3,0 Prozentpunkte angestiegen. Diese Veränderung ist signifikant. Stark geschädigt oder abgestorben waren 8,4 % der Probestämme, frisch abgestorben ist keiner der Probestämme (Absterberate 0,0 %). Ein Probestamm wurde allerdings infolge von einem Insektenbefall vorzeitig entnommen, an einem weiteren war ein Befall durch Borkenkäfer erkennbar.

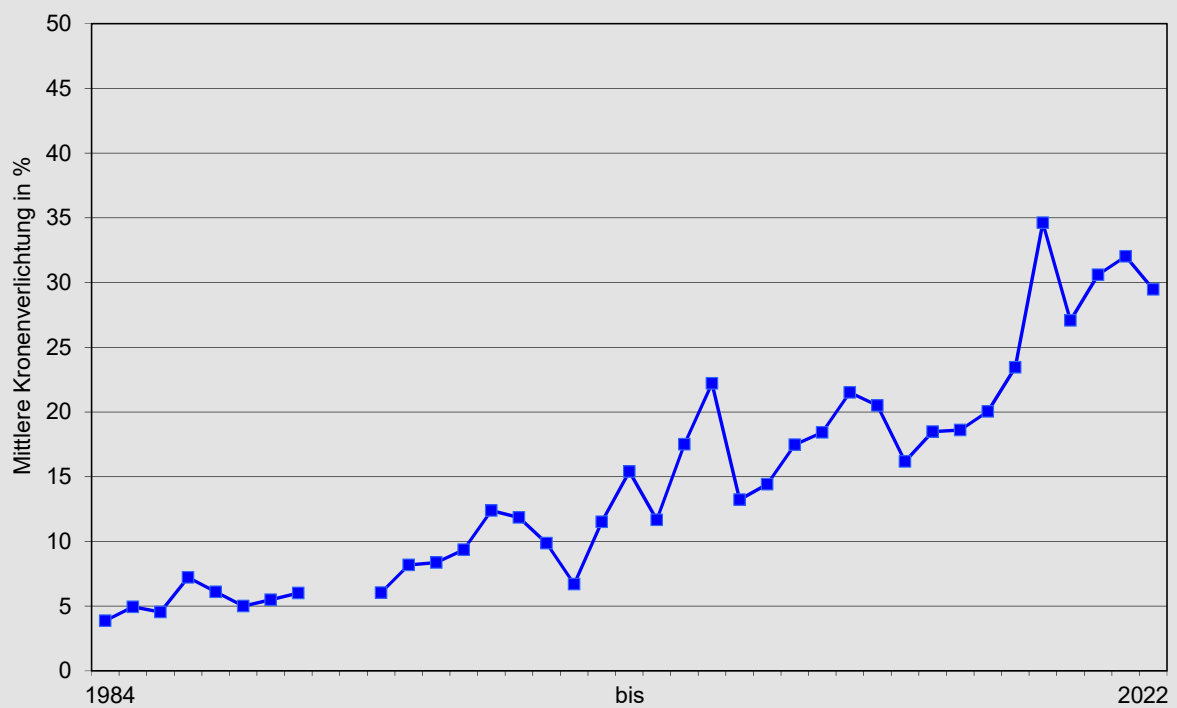
Douglasie

Entwicklung der Schadstufenverteilung



Douglasie

Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung



Im Jahr 2022 wurde an 68 % der Probestämme ein frischer Zapfenbehang beobachtet. Schon im Vorjahr war ein häufiger Fruchtbehang (41 % der Probestämme) 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 2022 nicht erkennbar.

Das Schadniveau bei der Esche ist seit 2015 extrem hoch. Der Anteil deutlich geschädigter Probestämme ist um 3 Prozentpunkte, die mittlere Kronenverlichtung um 1,8 Prozentpunkte gegenüber dem Vorjahr angestiegen. Diese Veränderung ist signifikant. Eschen ohne sichtbare Schadmerkmale sind im Kollektiv der Probestämme selten zu finden. Die Anteile stark geschädigter oder abgestorbener Probestämme sind weiter sehr hoch. Frisch abgestorben sind 5 Probestämme (Absterberate 4,3 %); diese Probestämme waren schon im Vorjahr deutlich geschädigt. Ausgeschieden sind 7 Eschen-Probestämme. Es wurden nur drei Eschen als Probestämme neu ausgewählt. Die Anzahl der Eschen im Kollektiv der Waldzustandserhebung geht seit 2016 kontinuierlich zurück.

Das Eschentriebsterben ist in allen Landesteilen und allen Altersstufen gegenwärtig. Diese Infektionsschwelle eines neobiotischen Pilzes aus Ostasien, des Falschen Weißen Stängelbecherchens (*Hymenoscyphus fraxineus*), ist für das Schadniveau der Esche prägend. An rund 37 % aller Eschen (im Vorjahr 49 %) 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,

Eine ausführliche Darstellung der Auswertungen der Waldschäden - differenziert nach Altersklassen für 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/>

über neu gebildete Triebe aus dem Kroneninneren heraus. Auch wenn an den Probestämmen keine frischen Symptome des Eschentriebsterbens erkennbar sind, ist der Pilz im Wald doch allgegenwärtig. An allen Aufnahmepunkten mit Eschen unter den Probestämmen wurden im Verlauf der letzten Jahre Eschen mit Schadsymptomen beobachtet. Das Eschentriebsterben ist im Jahr 2022 auch ursächlich für das Absterben und auch für das Ausscheiden bei allen betroffenen Probestämmen.

An 32 % der Probestämme wurden Blattschäden durch Insektenfraß beobachtet (Vorjahr 8 %). Im Jahr 2022 trugen 10 % der Eschen Früchte. Die büschelartige Anordnung der Früchte, bei fruchttragenden Bäumen anstelle normaler Blätter, führt tendenziell zu einer geringeren Belaubungsdichte. Blattvergilbungen wurden an einem Probestamm festgestellt.

Die Vitalität der Hainbuche hat sich gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Der Anteil der deutlichen Schäden ist zwar um 4 Prozentpunkte angestiegen, die mittlere Kronenverlichtung allerdings um 0,1 Prozentpunkt niedriger. Diese Veränderung ist nicht signifikant. Stark geschädigt und abgestorben sind 8,5 % der Probestämme, frisch abgestorben sind zwei Probestämme (Absterberate 1,9 %).

Die Hainbuche wächst vergleichsweise häufig in den Gebieten alter Niederwälder in den Seitentälern von Rhein und Mosel und ist an die dort herr-

Häufigste Nebenbaumarten

Entwicklung der Schadstufenverteilung

Baumart (bzw. Gattung)	Jahr	Anzahl an Probebäumen	Anteile der Schadstufen (in %)			mittlere Kronenverlichtung
			0	1	2-4	
Lärche	2022	142	11	40	49	31,9
	2021	141	17	42	41	28,1
	2020	140	6	45	49	30,4
	2018	144	6	54	40	27,5
	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	2022	115	13	35	52	36,0
	2021	119	17	34	49	34,1
	2020	121	6	30	64	37,5
	2018	125	2	27	71	42,4
	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	2022	106	21	42	37	27,6
	2021	105	10	57	33	27,7
	2020	104	22	49	29	24,3
	2018	96	12	55	33	24,3
	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	2022	357	30	45	25	21,7
	2021	349	40	36	24	19,3
	2020	334	36	36	28	22,3
	2018	295	27	48	25	22,1
	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

schen Standortverhältnisse gut angepasst. Diese Standorte sind aber auch vergleichsweise trocken. Die im Jahr 2022 vergleichsweise häufig beobachtete Vergilbung (25 %, davon 6 % merklich) kann damit als ein Anzeichen von Trockenschäden gedeutet werden.

Eine eingehende Beschreibung der Methodik (Auswahl und Anlage der Probepunkte, Auswahl und Ersatz der Probebäume) finden Sie auf den Webseiten der FAWF:
<https://fawf.wald.rlp.de/fileadmin/website/fawfseiten/fawf/FUM/UM/methoden.pdf>

Im Jahr 2022 wurde an 8 % der Hainbuchen ein Fruchtbehang festgestellt und damit ausgesprochen selten (Vorjahr 85 %). Die Fruchtstände der Hainbuche sind durch grüne Hochblätter getragen, die zur Photosynthese des Baumes beitragen. Damit führt der Fruchtbehang bei der Hainbuche nicht direkt zu einer höheren Kronenverlichtung, obgleich die Fruchtstände in der oberen Baumkrone an der Stelle normaler Blätter stehen.

Schäden durch Insektenbefall wurden an 14 % der Probestämme beobachtet, damit etwas häufiger als im Vorjahr, aber nur in geringer Intensität und ohne erkennbaren Einfluss auf den Kronenzustand.

Bei Ahorn und Vogelbeere war 2022 ein tendenzieller Rückgang des Schadniveaus gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen. Bei Ahorn waren vereinzelt die Teerfleckenkrankheit, ein Blattpilz (*Rhytisma acerinum*), oder Fraßschäden durch Insekten zu beobachten.

Die anderen Laubbaumarten und die Tanne tendierten zu einer Verschlechterung ihres Kronenzustandes. Bei der Kirsche waren häufig leichte Schäden durch die „Schrotschusskrankheit“ zu erkennen. Dieser Blattpilz (*Wilsonomyces carpophilus*) führt zu einer vorzeitigen Verfärbung und einem Blattfall, was aber erst nach dem Abschluss der Erhebung deutlich wird. Die neobiotische Edelkastanien-Gallwespe (*Dryocosmus kuriphilus*) ist zwar in den Wäldern vorhanden und wurde an einem Probestamm beobachtet, führte aber noch nicht zu einer merklichen Schädigung der Kastanien.

Einfluss ausgeschiedener und ersetzter Probestämme

Von den markierten Stichprobenbäumen scheidet jedes Jahr einige aus dem Beobachtungskollektiv aus. Die Waldteile, in denen die Aufnahmepunkte der Waldzustandserhebung angelegt und die Stichprobenbäume markiert sind, werden meist regulär forstlich bewirtschaftet. Maßgeblich sind

Eine ausführlichere Darstellung zum Ausscheiden und Ersatz von Probestämmen 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-probestaemen/>

dabei die Ziele der jeweiligen Waldbesitzenden. Einzelne Probestämme werden daher im Zuge von Pflege- oder Ernteeingriffen gefällt. Zudem werden durch Sturmwurf, Schneebruch oder Insektenbefall betroffene Bäume entnommen. Probestämme scheidet 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 Probestämme ist notwendig, damit die Waldzustandserhebung den aktuellen Zustand des Waldes widerspiegelt. Im Jahr 2022 sind insgesamt 135 Probestämme ausgeschieden, von denen 87 ersetzt werden konnten. Insgesamt sind 2 Aufnahmepunkte komplett ausgeschieden. Bis zur Etablierung des Baumnachwuchses ruht die Erhebung an diesen Punkten. An einem Aufnahmepunkt wurden 24 Probestämme neu ausgewählt und erstmals begutachtet. Von den im Jahr 1984 angelegten 148 Aufnahmepunkten und den damals ausgewählten 3.480 Probestämmen sind noch 1.211 im Kollektiv der Stichprobe erhalten. Das sind 34,8 % des ursprünglichen Gesamtkollektivs.

Stehende, abgestorbene Probestämme verbleiben mit 100 % Nadel-/Blattverlust als bewertbare Probestämme im Aufnahmekollektiv, bis das feine Reisig aus der Krone herausgebrochen ist. Danach werden sie aus dem Probestammkollektiv entfernt. Insgesamt wurden 75 abgestorbene Probestämme im Kollektiv vermerkt, davon waren 48 bereits beim letzten Erhebungstermin 2021 tot. Im Jahr 2022 selbst waren 27 Probestämme frisch abgestorben, das entspricht einer Abster-

berate von 0,7 %. Von den im Jahr 2021 bereits abgestorbenen Probebäumen schieden 39 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 nach wie vor als gering zu bewerten. Auch im Jahr 2022 war der Anteil der deutlich geschädigten Ersatzbäume merklich geringer als unter den ausgeschiedenen Probebäumen im Vorjahr. An einem Aufnahmepunkt wurden alleine 23 im Vorjahr abgestorbene Fichten entnommen. Bisher, das heißt über die gesamte Zeitreihe hinweg betrachtet, unterschied sich die Schadstufenverteilung der Ersatzbäume nicht wesentlich von der ihrer Vorgänger zum letzten Bonitieringstermin. 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 nicht wesentlich bemerkbar.

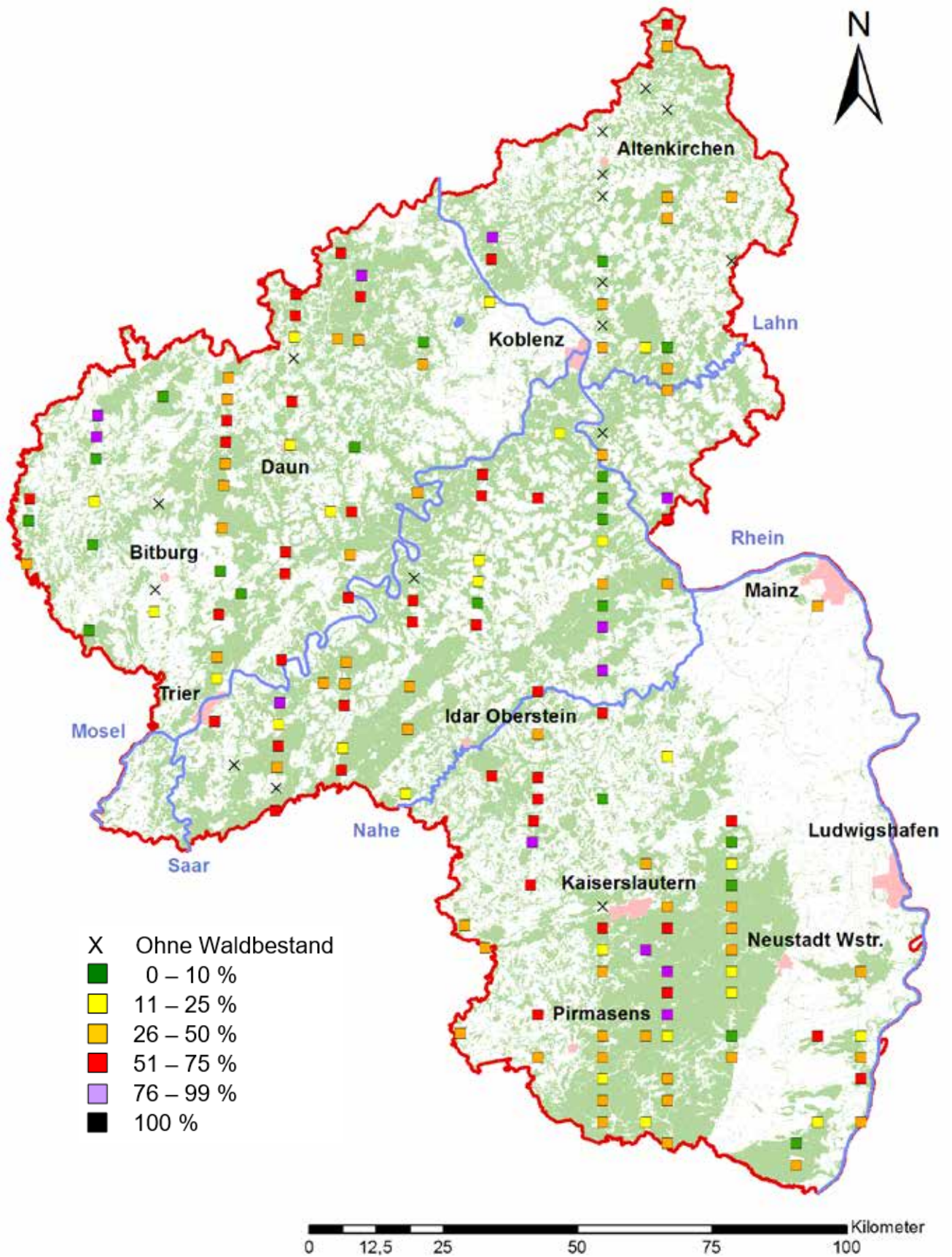
Die Ausscheiderate von 2021 auf 2022 liegt mit 3,6 % des Kollektivs der Stichprobe etwas höher als im Vorjahr (3,3 %) und bleibt weiter über der im Laufe der gesamten Zeitreihe seit 1984 beobachteten durchschnittlichen jährlichen Ausscheiderate von 2,7 %. Auch im Jahr 2022 ist dies dem hohen Anteil ausgeschiedener Fichten geschuldet, doch auch bei Eiche und Kiefer liegt die Ausscheiderate etwas über dem langjährig beobachteten Schnitt, bei Buche etwa im langjährig beobachteten Schnitt.

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.

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/>





Buche mit abgestorbener Oberkrone und Rindenbrand über
vitalem Jungwuchs; Foto: Thomas Wehner

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 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 Stresswirkungen 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 starke Fruchtbildung.

Schwefel

Schwefelverbindungen werden insbesondere bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Kraftwerken, Industrieheizungsanlagen und Heizungen freigesetzt. Durch Rauchgasentschwefelung in Kraftwerken, Altanlagenanierung 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 **233.000** Tonnen SO₂ ausgestoßen, gegenüber fast **5,5** Millionen Tonnen im Jahr 1990. Dies entspricht einer Reduktion um 96 %. Die Emissionsminderung hat sich auch in einer erheblichen Verringerung der

Entwicklung der Schadstoffemissionen in Deutschland

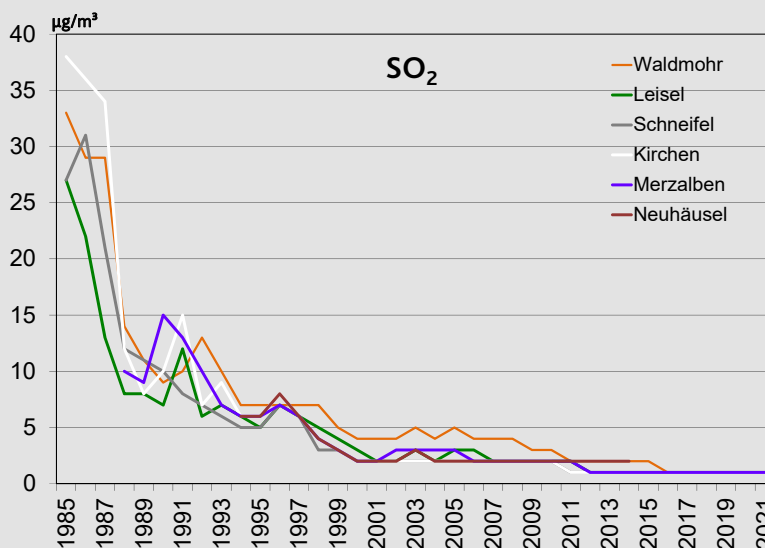
Schadstoffe in Kilotonnen	1980	1990	2000	2010	2020	Veränderung in % 1990 - 2020
Schwefeldioxid (SO ₂)	7514	5460	643	403	233	- 96 %
Stickoxide (NO _x)	3334	2839	1893	1445	978	- 66 %
Ammoniak (NH ₃)	835	718	624	614	537	- 25 %
Flüchtige organische Verbindungen [ohne Methan] (NMVOC)	3224	3892	1806	1362	1036	- 73 %

Quelle: Umweltbundesamt (Januar 2022): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland#entwicklung-der-luftschadstoffbelastung-;>
für 1980: UNECE 2012: www.emep.int; NO_x gerechnet NO₂

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 SO₂-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.

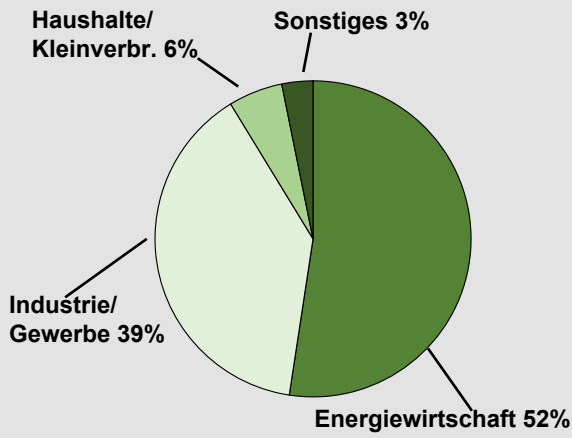
Entsprechend der merklichen Abnahme der Schwefeldioxidemission und -immission ist auch die Belastung der Waldökosysteme über den Bodenpfad deutlich zurückgegangen. Während der Schwefeleintrag in Fichtenbeständen zu Beginn der Messreihen Mitte der 1980er Jahre meist zwischen 40 und 70 kg/ha lag, gelangen aktuell meist nur noch 2-7 kg Schwefel auf den Waldboden. Allerdings wurden in Zeiten hoher Einträge große Schwefelvorräte in den Waldböden aufgespeichert, die auch heutzutage mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden. Diese Altlasten führen immer noch zu Nährstoffverlusten und tragen zur Bodenversauerung bei.

Jahresmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentrationen in Waldgebieten

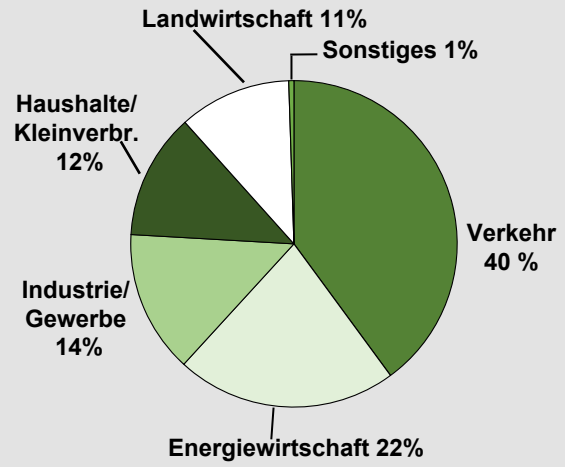


Verteilung der Emissionsquellen wichtiger Luftschadstoffe in Deutschland

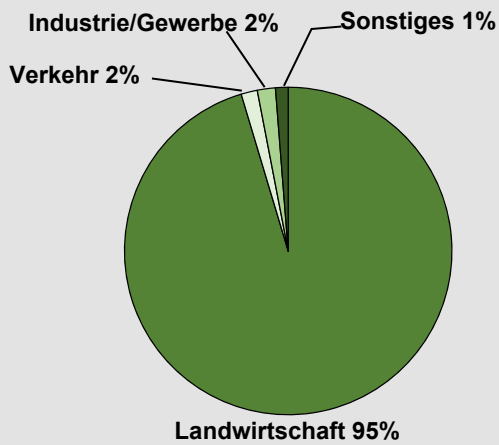
Schwefeldioxid (SO₂)



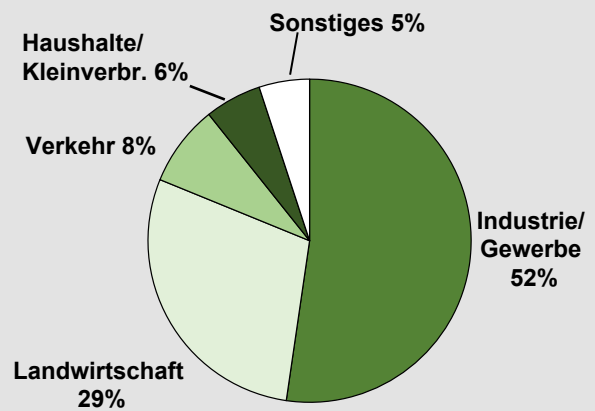
Stickstoffoxide (NO_x)



Ammoniak (NH₃)

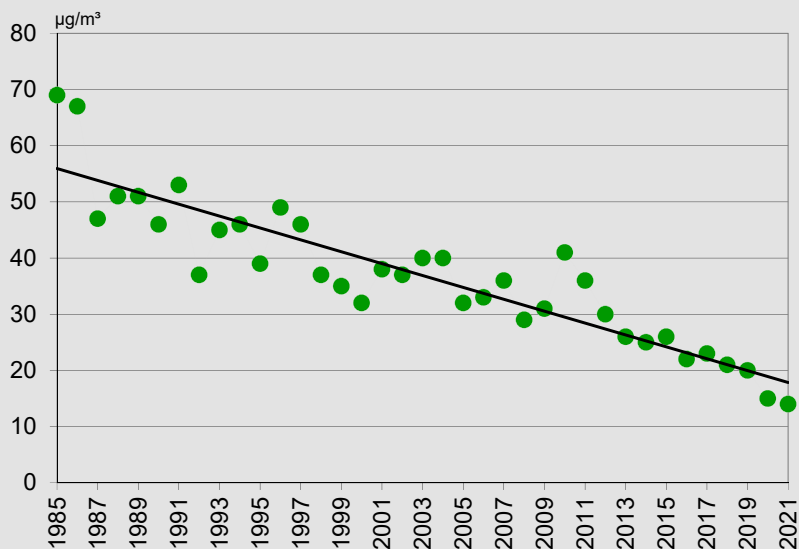


Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC)



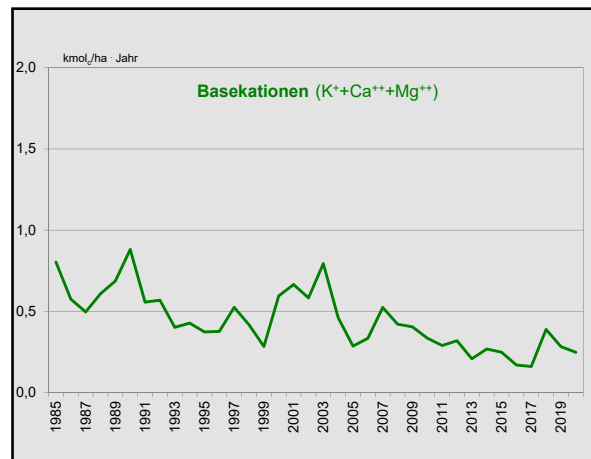
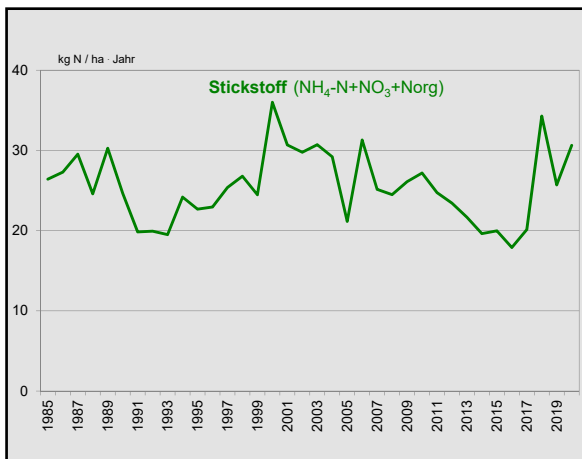
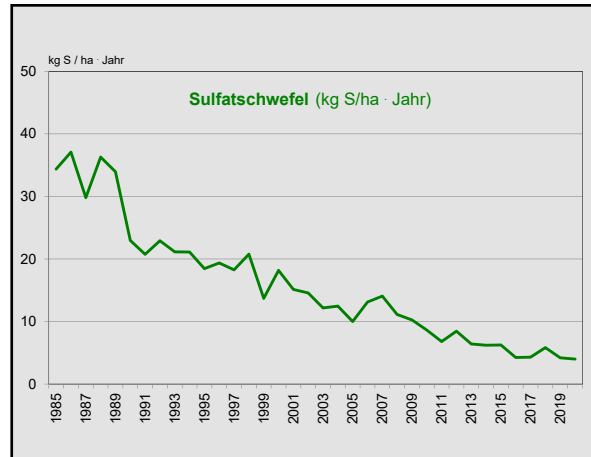
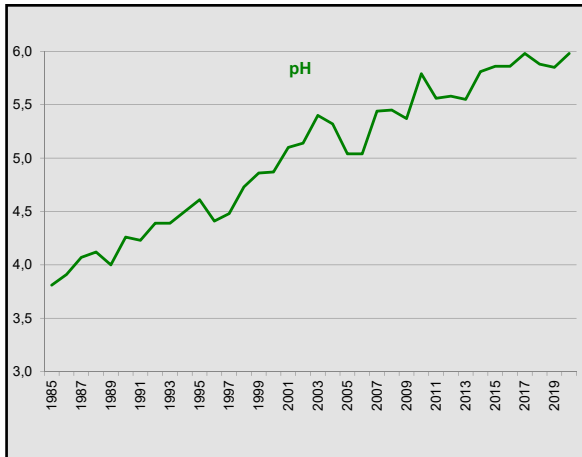
Quelle: Umweltbundesamt 2021: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland>

Verlauf der NO₂-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 überwiegend aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung und in geringem Umfang auch aus der Herstellung und Anwendung stickstoffhaltiger Mineraldünger, der Rauchgasstickung und dem Kraftfahrzeugverkehr.

Die Emission der Stickoxide (NO und NO₂, kalkuliert als NO₂) ist in Deutschland insbesondere durch den Einsatz von Katalysatoren in Kraftfahrzeugen und Entstickungsanlagen in Kraft- und Heizwerken seit 1990 um mehr als 60 % zurückgegangen. Dementsprechend sind auch die Stickstoffdioxidkonzentrationen in der bodennahen Luft, vor allem die NO₂-Spitzenwerte in den rheinland-pfälzischen Waldgebieten, merklich gesunken.

Bei den reduzierten Stickstoffverbindungen (Ammoniak) konnte die Emission demgegenüber nur wenig (**von 1990 auf 2020 um 25 %**) reduziert werden. Die in der EU-Richtlinie über natio-

nale Emissionshöchstmenge (NEC-Richtlinie 2001/81/EG) für das Jahr 2010 für Deutschland festgelegte Ammoniak-Emissionshöchstmenge von 550 kt je Jahr **wird dieses Jahr erstmals unterschritten**. Die Ende 2016 verabschiedete Nachfolgerichtlinie (EU 2016/2284) sieht für Deutschland bei Ammoniak eine Emissionsminderungsverpflichtung für 2020 bis 2029 von nur 5 % vor. Erst ab 2030 sollen die Emissionen um 29 % gegenüber dem Jahr 2005 gesenkt sein. Die Projektionen des im Mai 2019 veröffentlichten Nationalen Luftreinhaltprogramms gehen allerdings davon aus, dass die NH_3 -Emissionen bis 2030 lediglich um 8 % vermindert werden können, wenn kein umfangreiches Maßnahmenpaket eingeführt wird. 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 NO_x erreichte Emissionsminderung nur gering ausgewirkt. 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 Land-

wirtschaft 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.

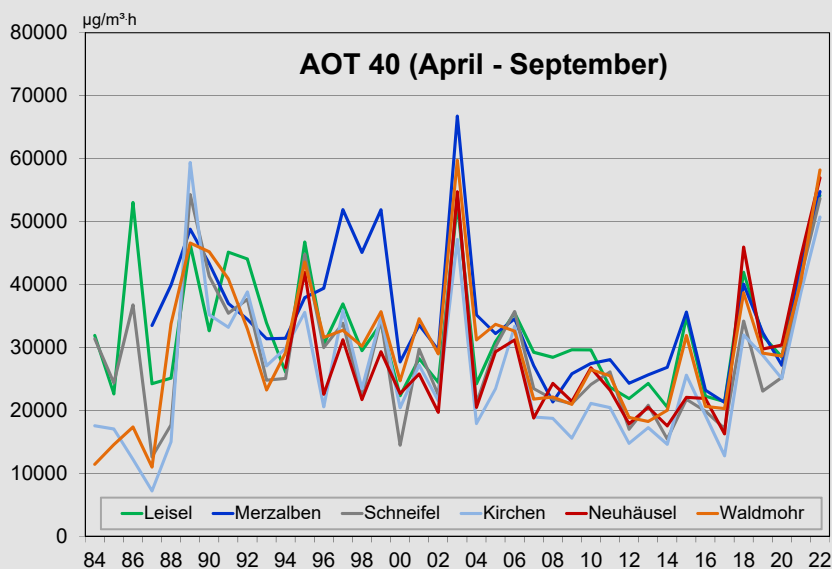
Ozonmessungen erfolgen im Rahmen des rheinland-pfälzischen Forstlichen Umweltmonitorings an 5 ZIMEN-Waldstationen sowie an einem weiteren Standort mit Passivsammlern. Die Befunde werden nach der MPOC (Maximum Permissible Ozone Concentration)-Methode, dem AOT 40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold 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

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

Standorten werden die Verträglichkeitsgrenzen deutlich überschritten. Dies belegt die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen zur Reduktion der Emission der Ozonvorläufersubstanzen Stickstoffoxide und flüchtige Kohlenwasserstoffe.

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: Hitzeperioden, langanhaltende Trockenperioden in den Vegetationszeiten, Nass-Schneefälle im Winter oder beginnenden Frühjahr oder Sommerhochwasser. So muss man sich der Erkenntnis stellen, dass solche Extremereignisse wohl nunmehr immer häufiger zum Witterungsverlauf eines jeden Jahres gehören.

Die Witterungsbedingungen wirken 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. Seit 1997 waren die forstlichen Vegetationszeiten (Mai bis September) im Vergleich zum langjährigen Mittel der Referenzperiode 1881 bis 1910 fast ausnahmslos zu warm. Für die Periode 1993 bis 2022 liegt die mittlere Temperatur der Vegetationsperiode mittlerweile mit 16,2 °C um 1,5 °C höher als das langjährige Mittel der Referenzperiode 1881 bis 1910 mit 14,7 °C.

Die Daten der *rheinland*-pfälzischen Waldklimastationen und vieler weiterer Messstationen in Rheinland-Pfalz finden Sie im Landesportal www.wetter-rlp.de

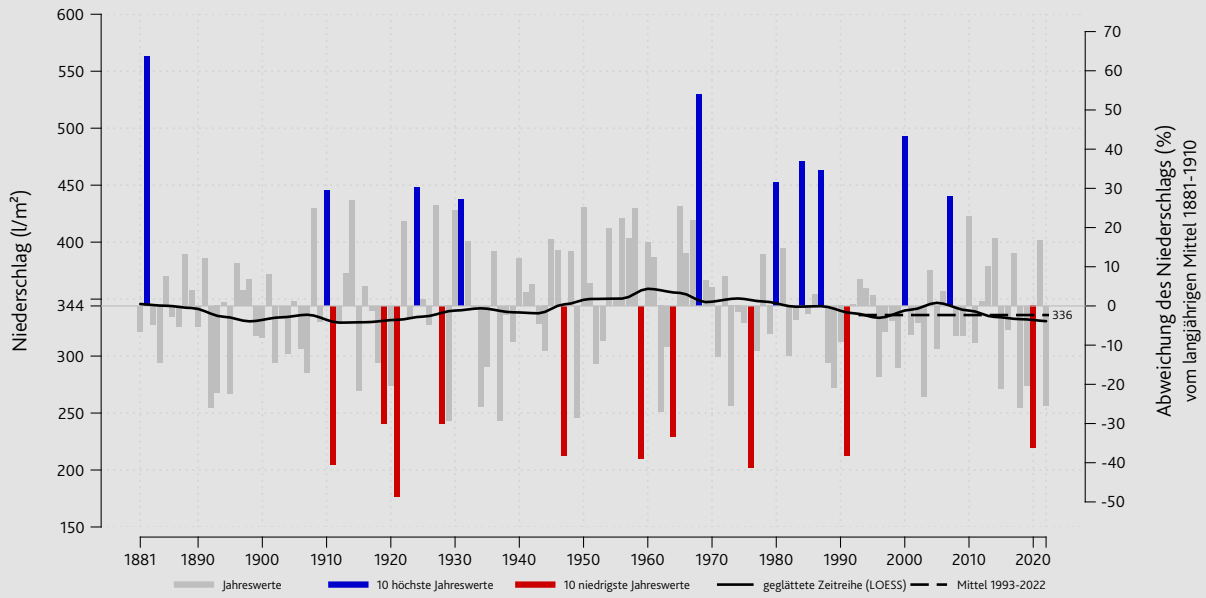
Neben aktuellen und vergangenen Messwerten können für alle Stationen auch Wettervorhersagen abgefragt werden.

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.kwis-rlp.de

In diesen Daten werden die Auswirkungen des Klimawandels sichtbar. Regionale Klimamodelle projizieren für Rheinland-Pfalz bis zum Ende des Jahrhunderts einen Temperaturanstieg von ca. 1,5 bis 5 °C gegenüber dem Vergleichszeitraum 1971 bis 2000. Bei der möglichen zukünftigen Niederschlagsentwicklung sind die Unsicherheiten in den Klimaprojektionen noch groß. Es deutet sich sowohl eine Abnahme der Niederschlagsmengen im Sommer und in der forstlichen Vegetationszeit, als auch eine Zunahme der Niederschlagsmengen im Winter an. Bezogen auf den Niederschlag im Gesamtjahr sowie in den Übergangsjahreszeiten zeigen die Projektionen keine eindeutige Richtung. Die letzten Jahre zeigten eine sehr ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge sowohl im Jahresverlauf als auch zwischen den Regionen. Daher ist eine Zunahme der direkten und indirekten witterungsbedingten Schäden in den Waldökosystemen zu befürchten.

Das Vorjahr startete mit ausreichenden Bodenvasservorräten und die niedrigen Temperaturen sorgten für einen verzögerten Vegetationsbeginn. Ab Mai 2021 gab es wieder überdurchschnittliche Niederschlagsmengen und abgesehen von einer kurzen Hitzeperiode im Juni blieb es eher kühl. Insgesamt stand der Vegetation weithin genügend

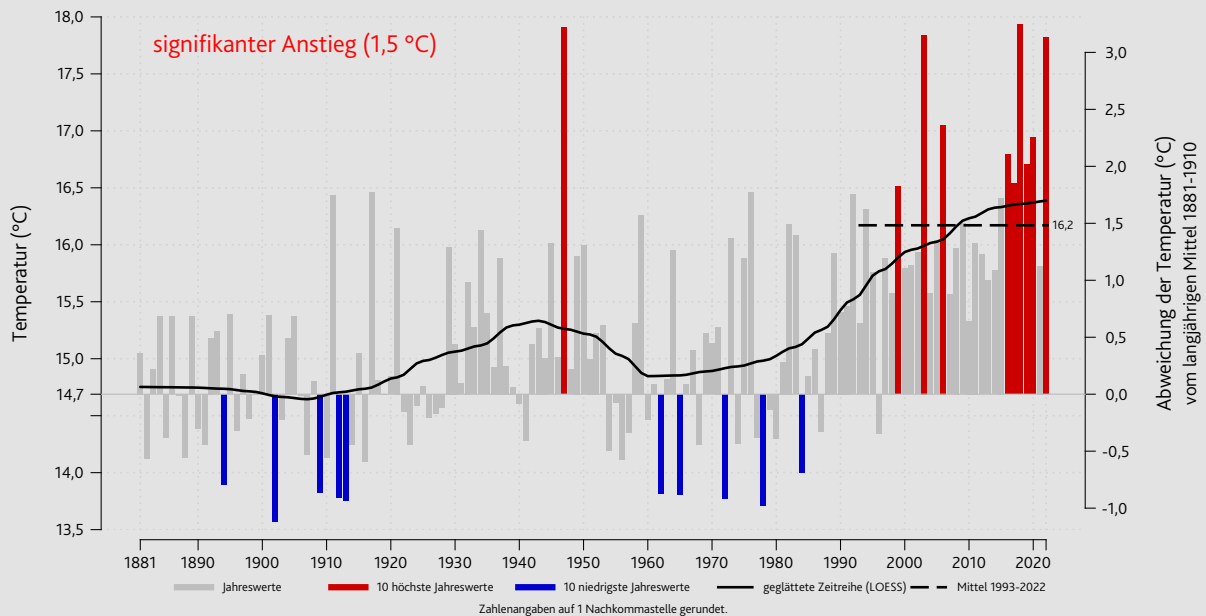
Entwicklung des Niederschlags in der forstlichen Vegetationszeit (Mai-Sep) im Bundesland Rheinland-Pfalz im Zeitraum 1881 bis 2022



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst

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

Entwicklung der Temperatur in der forstlichen Vegetationszeit (Mai-Sep) im Bundesland Rheinland-Pfalz im Zeitraum 1881 bis 2022



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst

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

Wasser während der Vegetationsperiode zur Verfügung. Die Niederschläge fielen allerdings zu einem erheblichen Anteil bei Starkregenereignissen und waren lokal recht ungleichmäßig verteilt. Hohe Anteile gingen durch Oberflächenabfluss verloren und haben an Waldwegen und insbesondere in den Tallagen teilweise zu extremen Schäden geführt, im Ahrtal kam es zu einer Katastrophe mit schwersten Flutschäden. Das Jahr 2021 endete ungewöhnlich mild und auch im Frühjahr 2022 lagen die Temperaturen merklich über, die Niederschläge dagegen merklich unter dem jeweiligen langjährigen Mittel. Nasser Schneefall vom 8. auf den 9. April 2022 führte besonders in der Pfalz zu unpassierbaren Straßen und Bahnlinien. Besonders bei der Fichte kam es zur Zwangsnutzung von Bruchholz aber auch bei anderen Baumarten zu Schäden durch Astbrüche und niedergedrückte junge Baume. Der April war vergleichsweise unbeständig und insgesamt zu kühl und niederschlagsreich. Der Mai und der Juni waren dagegen wieder zu warm und zu trocken. Lokal kam es immer wieder zu heftigen Gewittern

mit Hagelschlag, Starkregen und sogar Mini-Tornados mit entsprechenden Sturmschäden. Die Umweltmessstationen im Wald verdeutlichen mit ihren Ergebnissen die noch günstige Wasserversorgung der Waldbäume im Frühjahr 2022 zum Beginn der Vegetationsperiode. Im Mai setzte eine lange Trockenperiode ein, die Bodenfeuchtwerte gingen kontinuierlich zurück und erreichten je nach Standort im Laufe des Julis kritische Werte.

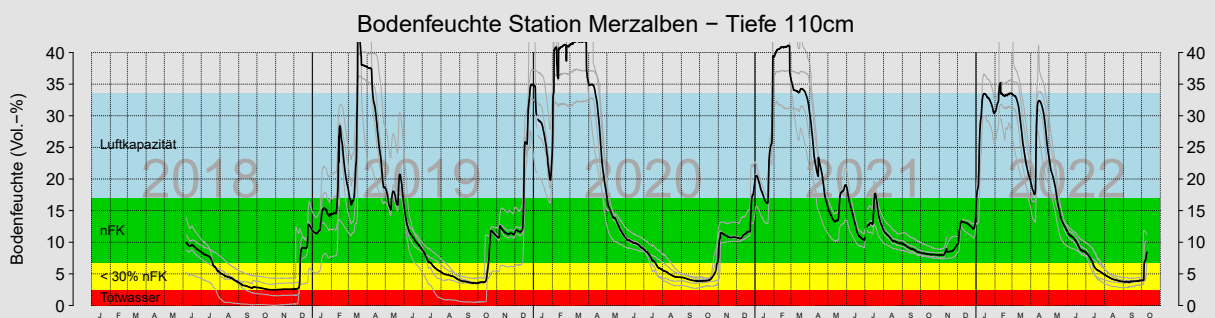
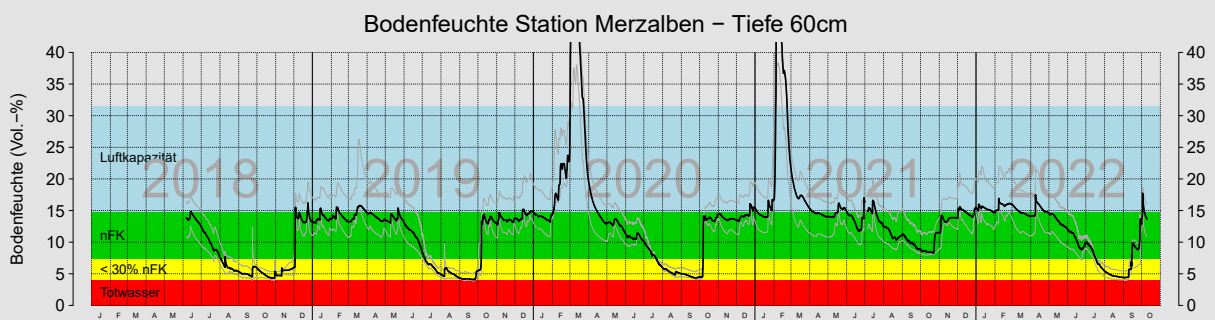
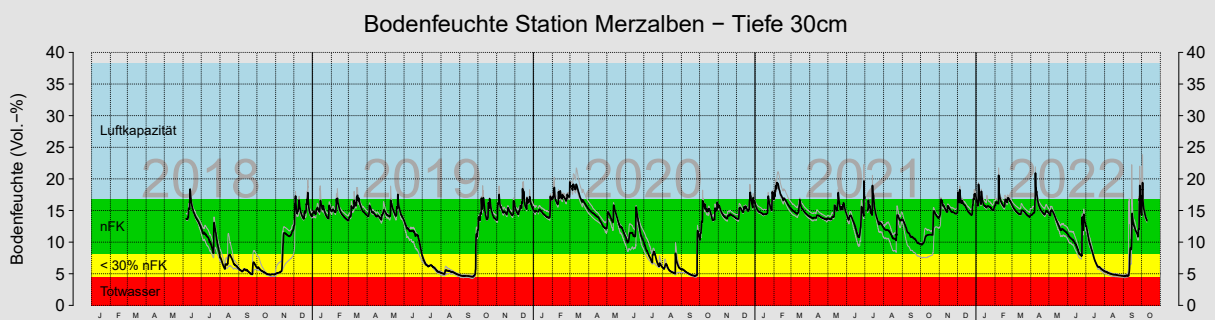
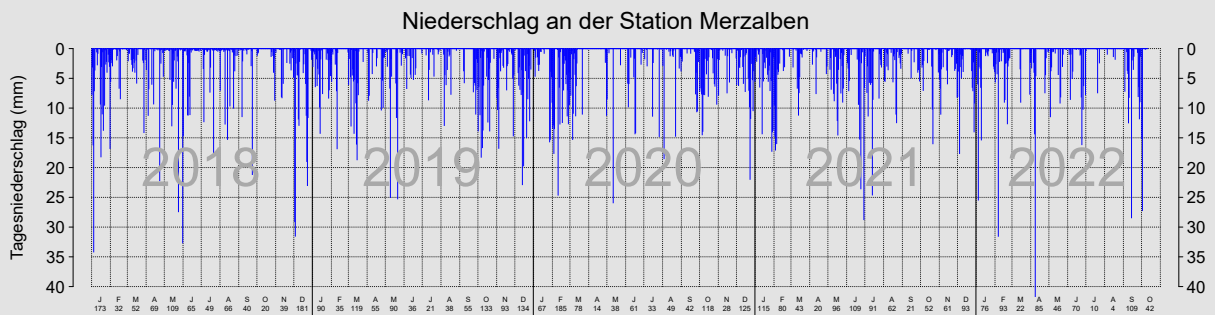
Das Beispiel der Messstation in einem Eichenwald im Pfälzerwald bei Merzalben bestätigt, dass die Bodenwasservorräte nur im Jahr 2021 den gesamten Sommer über in allen Tiefenstufen in dem für die Waldbäume nutzbaren Bereich (nutzbare Feldkapazität, nFK) blieben. In den Jahren 2019, 2020 und 2022 waren dagegen die Bodenwasservorräte ab Juli durchgehend in den Mangelbereich (unter 30 % der nFK) gesunken, der für die Waldbäume Trockenstress bedeutet.

Selbst die Edelkastanie am Haardtrand zeigt Welke-Schäden infolge der Dürre; Foto: Hans-Peter Ehrhart



Bodenfeuchte-Messungen an der Umweltkontrollstation Merzalben; Traubeneiche

(Dargestellt sind 3 Einzelmessungen (grau) sowie der Mittelwert (Median, schwarz) der Einzelmessungen)



- Luftkapazität (blau):** Wasseranteil, den der Boden nicht gegen die Schwerkraft halten kann (in den Grobporen)
- nutzbare Feldkapazität:** Wassergehalt, den der Boden gegen die Schwerkraft halten kann (pflanzenverfügbares Wasser)
- (grün, gelb):** < 30 % der nutzbaren Feldkapazität: Bereich beginnenden Trockenstresses (noch pflanzenverfügbares Wasser)
- Totwasser (rot):** nicht pflanzenverfügbares Wasser (Feinporen)

WALDSCHUTZ

Trockenheit und Hitze führten in diesem Jahr zu einer Vitalitätsschwächung der Bäume. Da geschwächte Bäume für den Befall durch Schaderreger anfälliger werden, sind die Auswirkungen des ungünstigen Witterungsverlaufs noch nicht abzusehen. Zusätzlich verschärfen die warmen Temperaturen die Waldbrandgefahr und begünstigen die Entwicklung vieler Insektenarten, wie zum Beispiel die des Buchdruckers (*Ips typographus*).

Der Witterungsverlauf dieses Jahres führte zu zwei abiotischen Schadereignissen.

Am 08. April setzte ein verspäteter Schneefall mit hohem Wassergehalt ein. Dieser Nass-Schneefall hielt die ganze Nacht über an und führte zu Bruchschäden an allen Baumarten. Besonders betroffen waren die Nadelbaumarten Kiefer und Fichte, unter den Laubbaumarten die Birke, doch auch an Eichen und Buchen kam es zu Astbrüchen, Kronenbrüchen oder umgebogenen Bäumen. Besonders betroffen war der Pfälzerwald, in dem zahlreiche Straßen und Waldwege von Bruchholz freigeräumt werden mussten. In den Waldbeständen selbst kam es zu einem zerstreuten Anfall von Bruchholz.

Mit zunehmender Hitze und Trockenheit stieg die Waldbrandgefahr an. Europaweit kam es zu verheerenden Waldbränden, in Deutschland besonders in Sachsen und Brandenburg. Aber auch Rheinland-Pfalz war betroffen. Dank des hohen Anteiles an Mischwald konnten sich die Brände aber nicht so schnell ausbreiten und dank der guten Walderschließung war die Feuerwehr schnell vor Ort und brachte die Brände rasch unter Kontrolle. So kam es in Rheinland-Pfalz bis Ende August zwar zu zahlreichen Waldbrandereignissen, die Brandfläche blieb aber vergleichsweise gering. Die Ereignisse unterstreichen aber die Notwendigkeit, auch auf Waldbrände vorbereitet zu sein.



Vom Nass-Schnee abgebrochene Kronenteile einer Kiefer im Pfälzerwald; Foto: Friedrich Engels

Fichte

Zu Beginn des Jahres 2022 trat in den nordöstlichen Landesteilen vermehrt der Rotrandige Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola*) auf; er wird auch als Fichtenporling bezeichnet. Als Wundfäuleerreger tritt dieser Pilz vor allem an alten, geschwächten und absterbenden Bäumen auf. Die durch den Befall entstehende Braunfäule nimmt dabei maßgeblichen Einfluss auf die Schnelligkeit der Holzersetzung und somit auch auf die Arbeits- und Verkehrssicherheit.

Wie im vergangenen Jahr blieben die Wälder von größeren Winterstürmen verschont. Allerdings kam es Anfang April 2022 im Bereich der Pfalz zu starken Nassschneefällen, die teilweise zu erheblichen Schäden führten. In der Regel kam es dabei aber zu zerstreutem Anfall von Kronenbrüchen, verteilt über große Flächen. Die direkten Schäden im Waldbestand und die Schadholzmengen sind untergeordnet, problematisch ist das solcherart geschwächte Fichten ideale Brutbedingungen für Borkenkäfer bieten. Förderlich für die Entwicklung der Borkenkäfer waren dazu die warmen und trockenen Witterungsverhältnisse ab Mai.



Weithin sichtbare Rauchsäule am Haardtrand bei Hambach; Foto: Ulrich Matthes



Die Waldbrandfläche unterhalb des Hambacher Schlosses. Drohnenbild mit freundlicher Genehmigung der Polizeiinspektion Neustadt; Foto: Katja Weickert



Ein Monat nach dem Brand, eine Edelkastanie treibt neu aus dem Wurzelstock; Foto: Hans-Peter Ehrhart

Monitoring des Buchdruckers

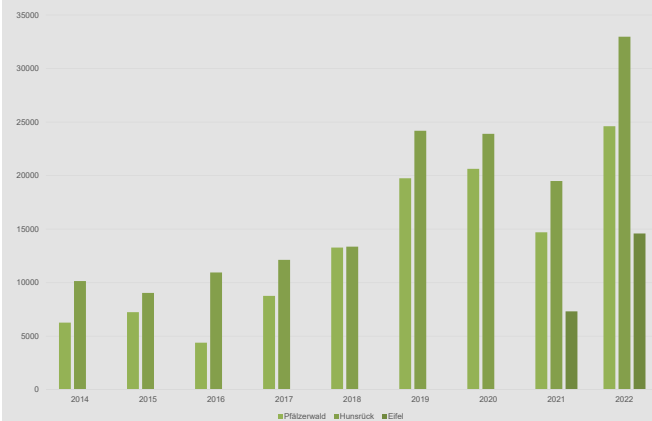
Der Buchdrucker wird gegenwärtig in den Regionen Eifel, Hunsrück und Pfälzerwald mit Hilfe von Schlitzfallen überwacht. Zudem werden an den Standorten im Hunsrück und im Pfälzerwald Brutbeobachtungsstämme ausgelegt, um die Entwicklung zu verfolgen.

Auf Grundlage dieser Daten werden fortlaufend Empfehlungen zur effektiven Kontrolle der Fichtenwälder auf Stehendbefall für die Waldbesitzenden abgeleitet und wöchentlich aktualisiert (<https://buchdrucker-monitoring.wald.rlp.de>). Die Käferfangzahlen pro Falle stiegen im Vergleich zum Vorjahr deutlich an. Zudem konnte eine verhältnismäßig lange Schwärm- und Befallsaktivität der Buchdrucker beobachtet werden, sodass dieses Jahr nahezu landesweit eine dritte Käfergeneration angelegt wurde.

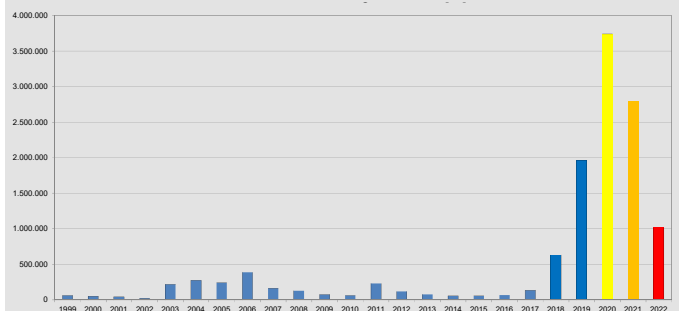
Im Vergleich zu den drei vorangegangenen Jahren waren die landesweiten Kalamitätsholz mengen rückläufig.

Zu flächenweisen Absterbeprozessen in Fichtenwäldern kam es im Jahr 2022 vor allem im westlichen Hunsrück.

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



Jährliche Käferholzmengen 1999 - 2022 [fm]





Monitoring Buchdrucker mit Schlitzfallen und Fanghölzern, typisches Fraßbild mit Larven und fertig entwickelten Käfern; Fotos: Tobias Stubenazy

Rotbuche

Die warmen und trockenen Witterungsverhältnisse des Jahres 2022 haben auch die Vitalität der Rotbuchen zusätzlich geschwächt. Gerade in Altbeständen sind die Trockenschäden der vergangenen Jahre bereits auffällig. Zusätzlich zu aktuellen Trockenschäden tritt gegenwärtig außerdem vermehrt der Buchenspringrüssler (*Orchestes fagi*) in Erscheinung. Häufig kommt neben den Fraßspuren des Buchenspringrüsslers auch ein Befall durch die Buchengallmücke (*Mikiola fagi*) vor. Beide Insekten verursachen aber keine nennenswerten Vitalitätsminderungen.

Eiche

In Mitteleuropa stellen die autochthonen Eichenarten für die Raupen von vielen Schmetterlingsarten ein wichtiges Nahrungshabitat dar. Als Bestandteil der Eichenfraßgesellschaft spielt der wärmeliebende Eichenprozessionsspinner im Klimawandel eine an Bedeutung zunehmende Rolle.

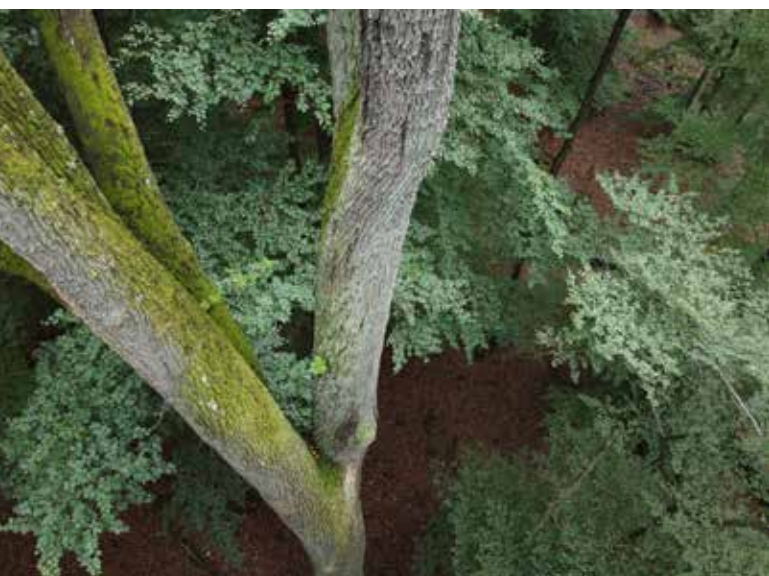
Diese Art hat sich in Rheinland-Pfalz über die letzten Jahrzehnte weiter ausgebreitet und neue Lebensräume besiedelt. Bei Massenvermehrungen kann es zu erheblichen Fraßschäden kommen. Viel bedeutsamer ist aber die gesundheitliche



Alte absterbende Eiche im Pfälzerwald bei Kaiserslautern; Foto: Tobias. Stubenazy

Gefahr für den Menschen. Die Raupen besitzen Brennhaare, in denen das Nesselgift Thaumetopoein enthalten ist. Zusätzlich sind die Haare mit Widerhaken besetzt und lassen sich nicht von der Haut und aus der Kleidung entfernen. Die Symptome reichen von Hautentzündungen über Atemwegserkrankungen bis hin zu Fieber. Häufig anzutreffen ist der Eichenprozessionsspinner an solitärstehenden, lichtumfluteten Eichen entlang von Wegen oder Waldrändern, die auch für Erholungssuchende attraktiv sind. Konzentrierte Vorkommen befinden sich in den niedrigen Lagen entlang der Fluss- und Seitentäler von Rhein, Nahe und Mosel. Aber auch in höheren Lagen hat sich das Verbreitungsgebiet in den letzten Jahren weiter ausgedehnt. Aus dem Forstamt Soonwald wurden im Jahr 2022 Eichenwälder gemeldet in denen der Eichenprozessionsspinner bereits an vielen Bäumen vorkommt.

Gegen Ende August wurden einzelne, absterbende Eichen sichtbar. Die durch die Trockenheit geschwächten Eichen wurden vom Zweipunktigen Eichenprachtkäfer (*Agilus biguttatus*) befallen. Die sich unter der Rinde entwickelnden Käferlarven unterbrechen den Saftstrom und bringen bei intensivem Befall einzelne Stark-Äste oder sogar den ganzen Baum zum Absterben.



Typische Schleimflussflecken im Kronenbereich durch die Abwehrreaktion des Baumes gegen rindenbrütende Käfer; Foto: Tobias Stubennazy“

Kiefer

Lange anhaltende Trockenheit und Hitze führten auch bei Kiefern zu Vitalitätsverlusten. 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.

Die durch Hitze und Dürre geschwächten Kiefern werden in zunehmendem Umfang durch Pilzkrankungen, wie das durch *Sphaeropsis sapinea* hervorgerufene Diplodia-Triebsterben, oder auch durch Kiefernborckenkäfer 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, aber auch



Starker Mistelbefall an Kiefern am Aufnahmepunkt 1223 bei Kandel in der Rheinebene; Foto oben: Tobias Stubennazy, Foto unten: Thomas Wehner

in anderen Landesteilen wurden frisch abgestorbene Kieferngruppen beobachtet.

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. Es besteht allerdings die begründete Hoffnung, dass ein, wenn auch geringer, Teil der Eschen diesem neuen Schaderreger eine natürliche Resistenz oder Toleranz entgegensetzen kann, sodass ein völliges Verschwinden der Eschen nicht zu befürchten ist. Die ökologischen Störungen mit Blick auf die zahlreichen mit der Esche vergesellschafteten oder gar an sie gebundenen Organismen, aber auch die wirtschaftlichen Einbußen durch den Ausfall dieser hochwertigen Holz liefernden Baumart sind beträchtlich.

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



Stark geschädigte Esche bei Zweibrücken;
Foto: Wolf Hoffmann

profitiert. Er löst die sogenannte Rußrindenkrankheit aus. Dabei können die Sporen dieses Pilzes auch beim Menschen zu Atemwegsbeschwerden führen. Von den warmen und trockenen Witterungsverhältnissen dieses Jahres könnte der Schadpilz profitieren, sodass ein stärkerer Befall im kommenden Jahr nicht ausgeschlossen werden darf.

Birke

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.

Zusätzlich führten die regional starken Nassschneefälle Anfang des Jahres 2022 zu teilweise erheblichen Schäden.

Als Pioniergehölz kommt den Birkenarten eine sehr große waldökologische und waldwirtschaftliche Bedeutung bei der Wiederbewaldung von störungsbedingten Freiflächen zu.

ANHALTENDE SCHAD- PHÄNOMENE BEI DER BUCHE?



Die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) ist die von Natur aus dominierende Baumart in den Wäldern Mitteleuropas, wächst auf den unterschiedlichsten Standorten und weist eine hohe genetische Vielfalt auf. Rheinland-Pfalz liegt im Zentrum des natürlichen Buchenverbreitungsgebietes. Die Schwächung der Buche im Kerngebiet ihrer Verbreitung ist daher sehr beunruhigend.

Die Waldzustandserhebung (WZE) zeigt keine Entspannung der Schadsituation bei Buche. Die ermittelte Absterberate ist wie im Vorjahr deutlich erhöht, der Anteil stark geschädigter Buchen ebenso. An vielen Buchen sind stärkere Äste abgestorben und dürr geworden. Auch wenn etliche Buchen aus dem Kroneninneren heraus eine Sekundär-Belaubung bilden und so ihre Kronenschäden teilweise auch regenerieren können, stellen die toten Äste ein schwerwiegendes Problem für die Sicherheit derer dar, die im Wald arbeiten oder dort Erholung suchen. Die im Vorjahr initiierten, ergänzenden Untersuchungen werden daher fortgeführt.

Zunehmende Schäden waren der Anlass für ein im September 2020 erlassenes Buchenmoratorium. Dies beinhaltet einen grundsätzlichen Einschlagsstopp im Landeswald für über 100-jährige noch geschlossene Buchenwälder. Auf der breiten Basis mehrerer Untersuchungen (Waldzustandserhebung, Buchenaustriebsbonitur, Intensivuntersuchungsflächen mit zusätzlichen Beobachtungen) wird abgeschätzt, welche Faktoren einen Einfluss auf die Vitalität der Buchen haben. Besondere Aufmerksamkeit gilt den Dürreschäden. Es soll geprüft werden, welche Stressfaktoren durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflussbar sind und wie die sich die bisher übliche Bewirtschaftung auf die Vitalität der Buchenbestände auswirkt. Daraus können dann wiederum Konsequenzen für das weitere waldwirtschaftliche Vorgehen abgeleitet werden.

Buchen-Intensivuntersuchungsflächen

Die Buchen-Intensivuntersuchungsflächen erweitern die Vitalitätserhebung um die Entwicklung der Verzweigungsstruktur und das Zuwachsverhalten und ermöglichen zudem den Blick auf den Stoffhaushalt von Buchenwaldökosystemen. Zu Beginn des Umweltmonitorings wurden dafür gezielt stabile, mittelalte Bestände ausgewählt, um kontinuierliche Messreihen erzeugen zu können und das Risiko für starke Störungen gering zu halten. Mittlerweile sind diese Buchenbestände zwischen 100 und 180 Jahre alt und damit teilweise auch an der Grenze des Beginns der Zerfallsphase.

Die Zeitreihe seit Beginn des Untersuchungsprogrammes 1984 zeigt für alle diese Dauerbeobachtungsflächen einen Anstieg der Kronenverlichtung und eine Verschlechterung der Verzweigungsstruktur, also durchweg einen Anstieg der Schäden, wenn auch auf unterschiedlichem, bestandesspezifischem Niveau. In der Vergangenheit kam es in Jahren mit stärkerem Fruchtbehang oder mit fröhsommerlichen Trockenphasen zu Schüben in der Kronenverlichtung und auch zu Zuwachseinbrüchen. Bis 2018 konnten sich die Buchen jedoch in den günstigen Zwischenjahren von den Zuwachseinbrüchen erholen und auch die Minderbelaubung zumindest teilweise regenerieren. Absterbeprozesse beschränkten sich auf einzelne Sonderfälle. Die Entwicklung wurde im Waldzustandsbericht 2021 ausführlich beschrieben. Diese Entwicklung trat auf im Gefolge des,

S. 44: Der Soonwald bei Ippenschied im August 2020 (Bild oben) und 2022 (Bild unten); Fotos: Frank Schmidt

für das Wachstum der Buche günstigen, Jahres 2021 in der ersten Hälfte der Vegetationszeit 2022 eindrucksvoll in Erscheinung. Die Buchen waren aus großen Winterknospen mit einer dichten Belaubung aus vergleichsweise großen Blättern gestartet.

Temperaturmessungen in Buchenbeständen

Infolge der neuen Schadsituation bei Buche wurde das Programm der Intensivuntersuchungen für neue Fragestellungen gezielt erweitert. Ein wichtiger Punkt ist die Temperaturentwicklung im Buchenwald und zwar nicht nur allgemein die Temperaturentwicklung im Bestandesinneren im Vergleich zum Freiland, sondern gezielt die Temperaturentwicklung im Kronenraum und an der Blattoberfläche, da hier ein wichtiger Ort des Gas- und den Stoffwechsels lokalisiert ist, dazu die Temperaturentwicklung an der Bodenoberfläche, da sich in diesem Bereich die empfindlichen Keimlinge entwickeln und Jungpflanzen etablieren müssen. Exemplarisch wurde der Buchenbestand der Intensivuntersuchungsfläche Neuhäusel ausgewählt.

Die Temperatur beeinflusst viele Abläufe im Waldökosystem. Das beginnt im Kleinen mit Reaktionsgeschwindigkeit von Enzymen bis hin zum großflächigen Wasser- und Stoffhaushalt. Für Bäume bedeuten hohe Umgebungstemperaturen zumeist eine hohe Verdunstung. Wenn in Dürreperioden der Boden nicht mehr ausreichend Wasser zur Verfügung stellen kann, entsteht Trockenstress. Die Pflanze schließt die Spaltöffnungen, um den Wasserverlust zu begrenzen, was aber an heißen Tagen zu Hitzestress führt, denn Pflanzen schützen ihre Blätter vor dem Überhitzen indem sie Wasser verdunsten. Treten hohe Temperaturen zusammen mit einer geringen Wasserverfügbarkeit über mehrere Tage oder Wochen auf, ist dies eine hohe Belastung. Die Bäume haben Schwierigkeiten, gleichzeitig für eine ausreichende Kühlung zu sorgen, ihre Wasserversorgung und den damit verbundenen Nähr-

stofftransport aufrecht zu erhalten, sowie mit der Photosynthese genug Kohlenstoff zu binden, der für das Wachstum aber auch zur Bildung von Abwehrstoffen gegenüber Schädlingen benötigt wird.

Im forstlichen Umweltmonitoring werden an den Waldklimastationen die Witterungsbedingungen sowohl im Wald als auch auf einer nahe gelegenen Freifläche aufgezeichnet, um den Zustand des Waldes und die einwirkenden Stresseinwirkungen beschreiben zu können. Auf der Dauerbeobachtungsfläche Neuhäusel wird die Lufttemperatur in 2 m Höhe zudem in verschiedenen Bestandessituationen mit belüfteten Sensoren in einer Strahlenhütte (Modell Galtec) gemessen.

Standort 1 ist eine stark aufgelichtete Stelle, wo noch wenige alte Buchen über einem geschlossenen Buchennachwuchs stehen. Der Standort 2 liegt im geschlossenen Buchenbestand, wo eine Lücke im Kronendach so viel Licht auf den Boden lässt, dass auch hier junge Buchen wachsen. Der Standort 3 liegt im geschlossenen Buchenbestand ohne Lücken im Kronendach, sodass sich hier bisher kein Buchennachwuchs etablieren konnte. Die drei Bestandessituationen zeigen insgesamt einen ähnlichen Tagesgang der Lufttemperatur, weisen aber auch klar erkennbare Unterschiede auf. Die lichte Situation (Standort 1) erwärmt sich morgens deutlich früher und schneller als die anderen beiden Standorte, die im geschlossenen Buchenbestand liegen. Gegen 10 Uhr fällt ein kurzer Temperaturrückgang auf, der durch die Beschattung der Messstelle von einer der verbliebenen Altbuchen verursacht wird. Sobald die Sonne wieder hinter der Baumkrone hervorkommt, setzt sich die Erwärmung fort. Um die Mittagszeit werden hier die höchsten Lufttemperaturen gemessen, die über den Werten der beiden anderen Standorte liegen.

Der Standort mit der Lücke im Kronendach (Standort 2) erwärmt sich langsamer, aber so-



Die Dauerbeobachtungsfläche Neuhäusel ist eine Schwerpunktfläche des intensiven forstlichen Umweltmonitorings an der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft und ist in das EU-weite Level II Monitoring-Netz zur Überwachung von Waldökosystemen eingebunden. Sammelgefäße erfassen die Deposition und den Streufall. Auch die Bodenvegetation, der Kronenzustand, die Nährstoffversorgung, der Bodenzustand und das Bodenwasser werden regelmäßig untersucht. (Foto: Martin Greve)

bald am Mittag die Sonne in der Lücke steht und direkt hindurchscheinen kann, steigt auch hier die Lufttemperatur schnell an. Im geschlossenen Bestand (Standort 3) erwärmt sich die Luft am langsamsten und erreicht erst gegen Nachmittag die Werte der anderen Situationen. In der Nacht kühlt die Luft im geschlossenen Bestand aber langsamer ab, sodass die Lufttemperatur bis zum frühen Morgen über der der beiden lichtereren Standorte liegt.

An den heißen Sommertagen lagen die bisher im Jahr 2022 höchsten gemessenen Temperaturen der lichten Situation an wenigen Tagen bis zu

6 °C über und nachts bis zu 4 °C unter den Messwerten im geschlossenen Buchenbestand. Der deutlichste Unterschied innerhalb eines Tages wurde am eher kühlen 10. Juli aufgezeichnet. Das Tagesmaximum unterschied sich um 4,6 °C (18,0 °C gegenüber 13,4 °C) und das Tagesminimum um 4,3 °C (7,8 °C gegenüber 12,1 °C). Das Beispiel zeigt, dass starke Auflichtungen (Standort 1), aber auch schon kleinere Lücken (Standort 2) Effekte auf den Tagesverlauf der Lufttemperatur haben. Die Auswirkungen kleiner Lücken bleiben aber kleinräumig auf die durch den Bestand wandernden Sonnenflecken beschränkt (Standort 3). Der stark aufgelichtete Bestandes-

Hemisphärische Fotos des Kronenraums an den drei unterschiedlich überschirmten Standorten der Buchendauerbeobachtungsfläche Neuhäusel, in die für den Zeitraum vom 1. Mai bis 30. September der Verlauf des Sonnenstandes eingezeichnet und der Anteil der Freilandstrahlung, die den Punkt erreicht, aufgeführt ist.



teil kühlt abends schneller aus und erwärmt sich in der Mittagszeit stärker.

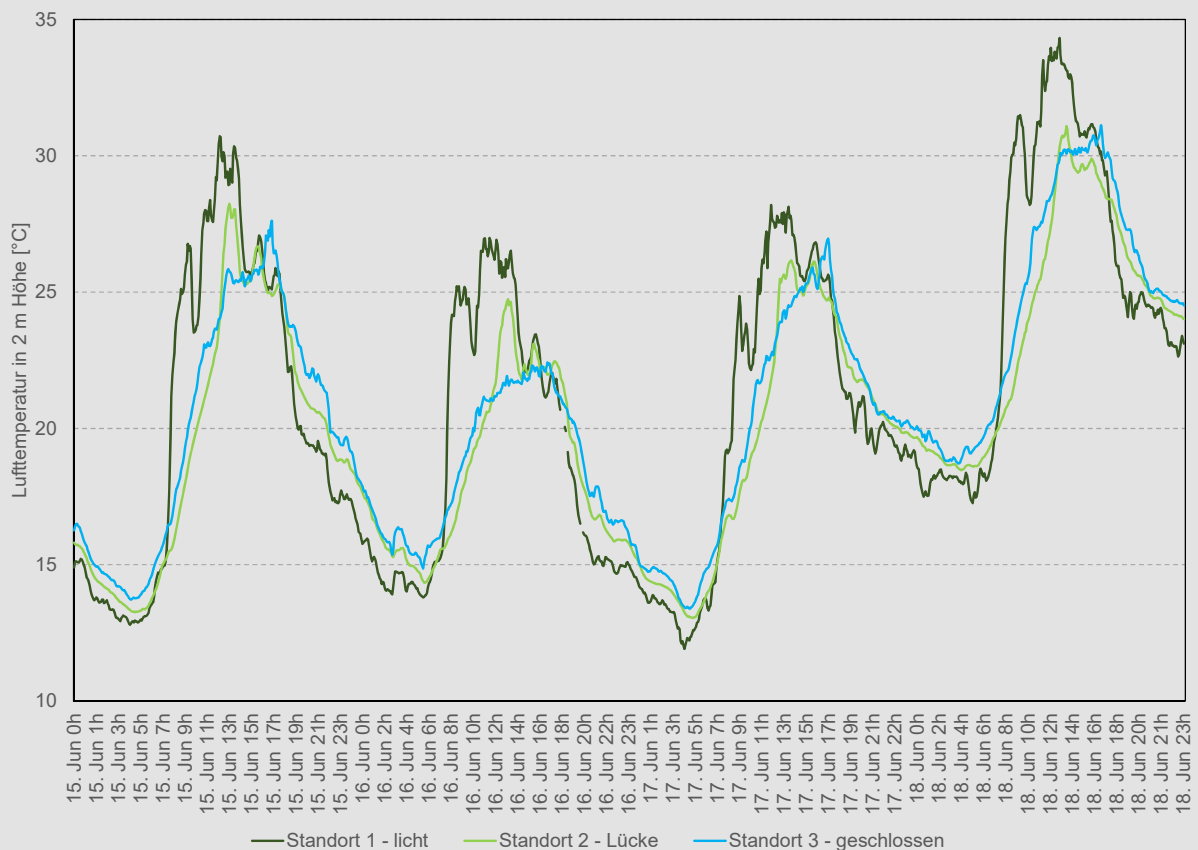
Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Temperatur von Oberflächen zu messen. An einem heißen Sommertag (03.08.2022, ca. 13 Uhr) wurden mittels einer mit Wärmebildkamera ausgestatteten Drohne die Dauerbeobachtungsfläche Neuhäusel und eine nahe gelegene Freifläche zur Temperaturmessung überflogen. Diese Art der Messung stellt eine Momentaufnahme der Oberflächentemperaturen im Sichtbereich der Kamera dar, die sich aufgrund der unterschiedlichen Albedo- bzw. Rückstrahlungseigenschaften der Oberflächen relativ rasch ändern können. Je nach Oberfläche schwanken die gemessenen Temperaturen zwischen ca. 20 und 70 °C.

Messung der Oberflächentemperatur (blau = kühl, gelb = warm) mittels Drohne und Wärmebildka-

mera an einem heißen Sommertag (03.08.2022, ca. 13 Uhr). Deutlich sind sowohl im Wald (links) als auch auf der Freifläche (rechts) die von der Oberfläche abhängigen Temperaturunterschiede zu erkennen. Achtung: Die beiden Fotos weisen eine unterschiedliche Temperaturskala auf.

Der Vergleich der Messmethoden zeigt, dass die Oberflächentemperaturen von Blättern der Buchen teils über, teils unter der zum Zeitpunkt der Aufnahme herrschenden Lufttemperatur liegen. Die Oberflächentemperaturen beschatteter Buchenblätter liegen mit 15 - 25 °C unterhalb der im Zeitraum des Drohnenflugs herrschenden Lufttemperatur. Besonnte Blätter weisen Oberflächentemperaturen im Bereich von 30 - 40 °C auf und liegen damit tendenziell oberhalb der Lufttemperatur. Hier ist die Kühlung durch die Transpiration merklich, denn an Stellen, an denen die Sonne direkt den Boden oder Totholz bescheint

Tagesgang der Lufttemperatur für drei Standorte mit unterschiedlich dichtem Kronendach der Buchendauerbeobachtungsfläche Neuhäusel an vier aufeinanderfolgenden Tagen im Juni 2022



und wenig oder kein Wasser verdunsten kann, steigen die Temperaturen auf bis zu 60 °C. Im Extremfall, wie im Fall eines zur Messtechnik gehörenden schwarzen Koffers, können auch um die 70 °C erreicht werden. Welche bedeutende Rolle auch kleine Pflanzen bei der Kühlung spielen, sieht man an der im Wärmebild dunkel hervortretenden Vegetation am Boden. Deren Oberfläche weist, wie die der besonnten Buchenblätter, Temperaturen von 30 - 40 °C auf.

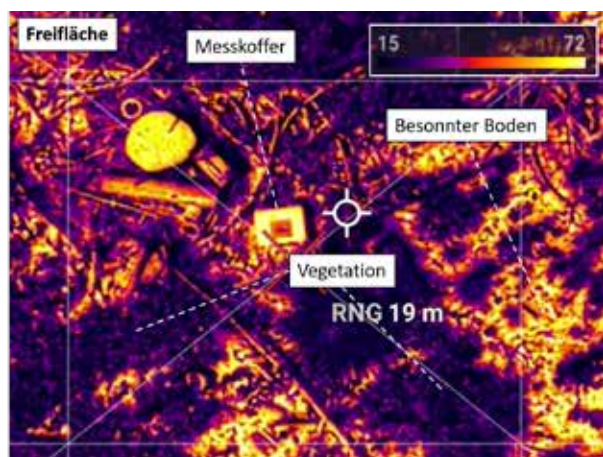
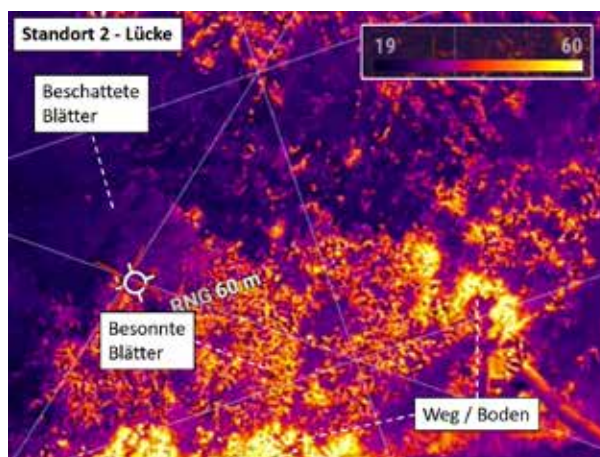
Ausreichend Licht ist für eine ausgeprägte Bodenvegetation und flächig heranwachsenden Baumnachwuchs unverzichtbar. Standort 2 (Lücke im Kronendach) ist ein positives Beispiel dafür, wie sich unter ausreichendem Licht ein dichter Buchennachwuchs einstellt. Da der Tagesgang der Lufttemperatur im Bereich der Lücke mit geschlossenen Bestandesteilen vergleichbar bleibt, ist die Verjüngung vor starker Hitzeeinwirkung und Frostschäden besser geschützt als bei der stärkeren Auflichtung am Standort 1. Gleichzeitig bleibt das Risiko für einen Sonnenbrand an den Stämmen der alten Buchen gering. Die Wärmebilder der Drohnenbefliegung zeigen deutlich, wie

wichtig eine Bodenbedeckung mit Pflanzen ist, falls der Altbestand großflächig absterben sollte. Die Bodenvegetation beschattet den Boden und kühlt zusätzlich durch die Verdunstung über ihre Blattoberfläche, was sich auf die bodennahe Lufttemperatur und die Bodentemperatur auswirkt.

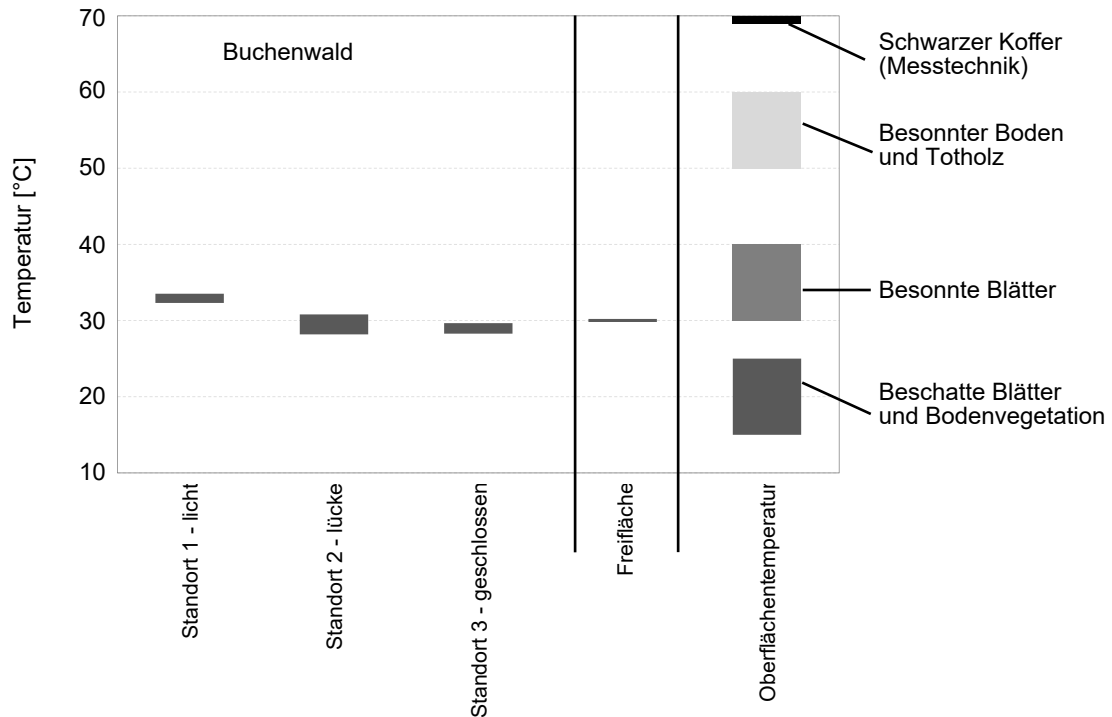
Dies unterstreicht die Wichtigkeit, mit der Entwicklung ungleichaltriger, reich gemischter Dauerwälder möglichst frühzeitig zu beginnen und im Falle einer naturfernen Reinbestockung, beispielsweise mit Fichte, auch die Entwicklung der nächsten Baumgeneration frühzeitig schon vor einem möglichen Absterben der alten Bäume einzubringen. Nur dadurch können die beim plötzlichen Entstehen von Freilagen ohne vorhandene Bodenvegetation auftretenden ökologischen Schäden weitgehend vermieden werden.

Die vorgestellten Temperaturmessungen wurden im Rahmen der Begleitforschung zum Buchenmuratorium begonnen. Im frisch gestarteten Landesprojekt „Klimawald 2100“ sollen sie nun unter anderem mit einer Versuchsreihe erweitert

Messung der Oberflächentemperatur (blau = kühl, gelb = warm) mittels Drohne und Wärmebildkamera an einem heißen Sommertag (03.08.2022, ca. 13 Uhr). Deutlich sind sowohl im Wald (links) als auch auf der Freifläche (rechts) die von der Oberfläche abhängigen Temperaturunterschiede zu erkennen. Achtung: Die beiden Fotos weisen eine unterschiedliche Temperaturskala auf.



Spanne der am 03.08.2022 gegen 13 Uhr gemessenen Lufttemperatur an drei Stellen der Buchen-Dauerbeobachtungsfläche Neuhäusel mit unterschiedlichem Kronenschluss und auf einer nahegelegenen Freifläche. Gleichzeitig fand eine Messung der Oberflächentemperaturen mittels Drohne und Wärmebildkamera statt. Die Oberflächentemperatur variiert aufgrund der unterschiedlichen Albedo- bzw. Rückstrahlungseigenschaften der Oberflächen und kann sich relativ rasch ändern.



werden, um Oberflächen-, Luft- und Bodentemperatur sowie Bodenfeuchte auf unterschiedlich behandelten Schadflächen (vollständig geräumt; Belassen von Mikrostrukturen; Belassen von stehendem Schadholz) mit unterschiedlich strukturierten vitalen Waldbeständen zu vergleichen. Diese Erhebungen liefern wichtige Eingangsgrößen, auch um die Auswirkungen der Waldbehandlung auf die Biodiversität sowie den Stoff- und Wasserhaushalt zu bewerten und weitere Handlungsempfehlungen abzuleiten. Als ein Schwerpunkt ist die Region Westerwald vorgesehen.

Entwicklung in ausgewählten Buchen-Naturwaldreservaten

In den Naturwaldreservaten Wüsttal und Wildensteinertal waren unmittelbar vor dem ersten Trockenjahr 2018 Erhebungen durchgeführt worden.

Mit den Folgeerhebungen 2021 und 2022 konnte damit ein sehr genauer Einblick in die durch die wiederholten Trockenperioden verursachten Absterbeprozesse gewonnen werden. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse auf den schon seit Jahrzehnten nicht mehr bewirtschafteten Naturwaldreservaten mit solchen von bewirtschafteten Vergleichsbeständen in unmittelbarer Nachbarschaft oder auf vergleichbarem Standort erlaubt einen Eindruck, welchen Einfluss die Bewirtschaftung der Buchenwälder auf das in den letzten Jahren beobachtete Schädgeschehen hat. Bei dem NWR Wüsttal und den zugehörigen Vergleichsbeständen handelt es sich um weitgehend reine Buchenwälder auf mäßig nährstoffversorgten Böden des mittleren Buntsandsteins im Pfälzerwald. Im NWR Wildensteinertal handelt es sich um einen Laub-Mischbestand aus dominierender Buche (62 %) mit Bergahorn, Linde, Traubeneiche, Esche, Bergulme, Hainbuche, Mehlbeere und Vo-

gelbeere auf vergleichsweise nährstoffarmen und meist nur gering wasserversorgten skelettreichen Böden aus Melaphyr und Porphyrit.

Unterschieden wurde bei dieser Aufnahme nach Bäumen der Oberschicht und der nachrückenden Mittelschicht. Die einzelbaumweise durchgeführte langfristige Beobachtung der Bäume in Naturwaldreservaten erfolgt auf 1 ha großen Kernflächen.

Für die Buchenwälder des Pfälzerwaldes lassen sich aus diesen Erhebungen keine Hinweise ableiten, dass unbehandelte Buchenwälder geringere Schäden aufweisen als regulär bewirtschaftete Wälder. Die zusätzlich durchgeführten Begehungen der gesamten Reservatsfläche bestätigten die Ergebnisse aus den Kernflächen. Das Wildensteinertal stellt einen vergleichsweise extremen Standort dar, die flächige Begehung des relativ inhomogenen Reservates ergab ein ausgesprochen inhomogenes Bild. Auffällig war insbesondere

ein hoher Anteil frisch abgestorbener Buchen in einem Teilareal auf einer Rhyolith-Blockhalde. Die Erkenntnisse aus diesem NWR bestätigen damit die Beobachtungen auf den ebenfalls teilweise extrem schlecht nährstoff- und wasserversorgten, exponierten Hangstandorten der Mosel-, Mittelrhein- oder Nahetalandschaft.

Neu angelegte Beobachtungsflächen

Lokal wurden teils extreme Schäden auf besonderen Standorten beobachtet. Im bestehenden Beobachtungsnetz der Waldzustandserhebung und auf Intensivuntersuchungsflächen traten solche Schadbilder nicht auf. So konnte zum einen der Schluss gezogen werden, dass sich die extremen Schäden auch nur auf extreme Standorte beschränken und nicht typisch für den gesamten Wald in Rheinland-Pfalz sind. Zum anderen ist aber auch der Schluss geboten, dass die Entwicklung dieser Sonder-Standorte durch das bestehende Beobachtungsnetz nicht erfasst wird und

Flächengröße, Absterberate

Rate absterbender Buchen und Klimadaten untersuchter Naturwaldreservate und Vergleichsflächen

Fläche	Alter	Ha ¹⁾	Anzahl	Absterberate ²⁾ in %				aktuell absterbend ²⁾ in %				Jahres-Nieder-schlag mm ³⁾	Jahres-Mittel-Tem- peratur °C ³⁾
				Ober-schicht		Mittel-schicht		Ober-schicht		Mittel-schicht			
				2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022		
NWR Wüsttal	274	2	354	2	0,3	5	0,0	7	2	17	1,7	935	9,26
Wüsttal Ver- gleichs- bestände	180 bzw. 218	2	269	0	0 %	3	0	4	0,4	4	1,1	935	9,26

¹⁾ Kernfläche: ha einzelbaumweise erfasste Fläche

²⁾ Wüsttal: Bezugszeitraum NWR 2018-2021, Wildensteinertal sowie Vergleichsbestand Wüsttal 2019-2021

³⁾ Datengrundlage: Monatsraster des DWD 1991 bis 2020

daher eine gezielte Ergänzung erforderlich war. Die Beobachtung der Standorte mit massiven Schäden soll Hinweise auf die Ursache-Wirkungsbeziehungen und damit auch auf mögliche Gegenmaßnahmen liefern. So wurden im Lennebergwald und am Donnersberg jeweils eine Versuchsfläche mit je zwei Parzellen neu angelegt. Eine weitere Beobachtungsfläche ohne explizit ausgewiesene Versuchsfläche liegt im Soonwald. An den Versuchsflächen wurden Blattproben genommen, um den Ernährungsstatus der Bäume zu analysieren und Informationen zum Status der Blattflächengröße und Knospenbildung zu gewinnen.

Lennebergwald

Der Lennebergwald wurde ausgewählt, da er in einer der wärmsten und trockensten Regionen von Rheinland-Pfalz liegt und weil für diesen Naturraum aktuell eine große Unsicherheit zur künftigen Waldentwicklung besteht. In den Jahren 2018 bis 2021 sind bereits 5 % der Buchen

abgestorben. Weitere 6 % wurden als mutmaßlich absterbend klassifiziert. In Anbetracht des hohen Totholzanteiles sind alle Arbeiten hier mit äußerster Vorsicht und Sorgfalt durchzuführen, um unnötige und unkalkulierbare Risiken für das Forstpersonal zu vermeiden. Einige der stark betroffenen Waldflächen sind aus Sicherheitsgründen für Erholungssuchende abseits der Wege gesperrt. Die Fläche im Lennebergwald wurde in das langfristige Versuchsflächenprogramm aufgenommen und mit Messeinrichtungen ausgestattet. An Buchen unterschiedlicher Vitalität wurden Durchmesser und Höhe gemessen und Zuwachsmessbänder installiert. In den Waldboden wurden Saugkerzen für die Entnahme von Sickerwasserproben und Tensiometer zur Messung der Saugspannung, also der Kraft, die die Bäume aufwenden müssen um Wasser aufzunehmen, sowie SMT-Sonden zur Messung von Bodentemperatur und Bodenfeuchte eingebaut. Diese Messgeräte liefern im Jahr des Einbaus noch keine zuverlässigen Messwerte, sondern sind Voraussetzung für das Langzeit-Monitoring.

Größe, Absterberate und Klimapartner der Untersuchungsflächen

Fläche	Alter	Hektar	Bäume gesamt	davon Buchen	Absterberate		aktuell absterbend ¹⁾		Jahres- Nieder- schlag ²⁾	Jahres- Mittel- Tempera- tur ²⁾
					2018 - 2021	2021 - 2022	2021	2022		
Lenneberg	95	19,1	1941	1284	5,22 %	3,35 %	5,76 %	5,76 %	576,2	11,01
Soonwald	160	21,7	1669	1663	0,3 %	0,9 %	1,56 %	nicht erho- ben	726,7	8,9
Kirch- heim- bolanden	170	7,8	390	220	5,91 %	3)	17,3 %	3)	672,9	9,83

1) Definition: Lebend, Kronenverlichtung > 60 % und Dürrastanteil > 40 %

2) Datengrundlage: Monatsraster des DWD 1991 bis 2020

3) Im Jahr 2022 war eine Erhebung nicht möglich, da ein hoher Anteil starker Totäste in den Braunkronen eine zu große Gefahr bei einem Begang darstellten.

Fazit: Mischwald und stabile Einzelbäume

Die Abfolge der trocken-warmen Jahre zeigt, dass die bisher als potentielle, natürliche Vegetation eingeschätzten Waldgesellschaften in Anbetracht des aktuell ablaufenden Klimawandels unter dem künftig zu erwartenden Klimaregime nicht überall Bestand haben werden. Gleich welche Reaktionen von Bäumen und überhaupt den vielfältigen Organismen auf die prognostizierten klimatischen Veränderungen erwartet werden, die Unsicherheiten hinsichtlich der künftigen Lebensbedingungen sind sehr groß. Das gilt für die Beziehungen verschiedener Baumarten zueinander und auch für die empfindlichen Gleichgewichte zwischen den Bäumen und den mit, von oder an ihnen lebenden Wirbeltieren, Insekten, Pilzen und Mikroorganismen. Das betrifft insbesondere die Mykorrhiza-Symbiosen und auch die Wirt-Parasit-Verhältnisse. Resiliente Waldökosysteme setzen eine möglichst breite Vielfalt auf allen Ebenen bis hin zu den Genen voraus, wie sie mit der naturnahen Waldwirtschaft angestrebt wird. Durch baumartengemischte Naturverjüngung wird eine vorhandene hohe innerartliche Breite in die Folgegeneration übernommen. Wo dies nicht gegeben ist, sollte die Vielfalt durch entsprechend ausgewählte Pflanzen und gesicherte Herkünfte erweitert werden. Für die waldbauliche Entwicklung der einzelnen Bäume eines Waldes gilt es die optimale Wachstumsphase zu nutzen, damit die Bäume eine stabile, große Krone und ein entsprechendes Wurzelsystem aufbauen können.

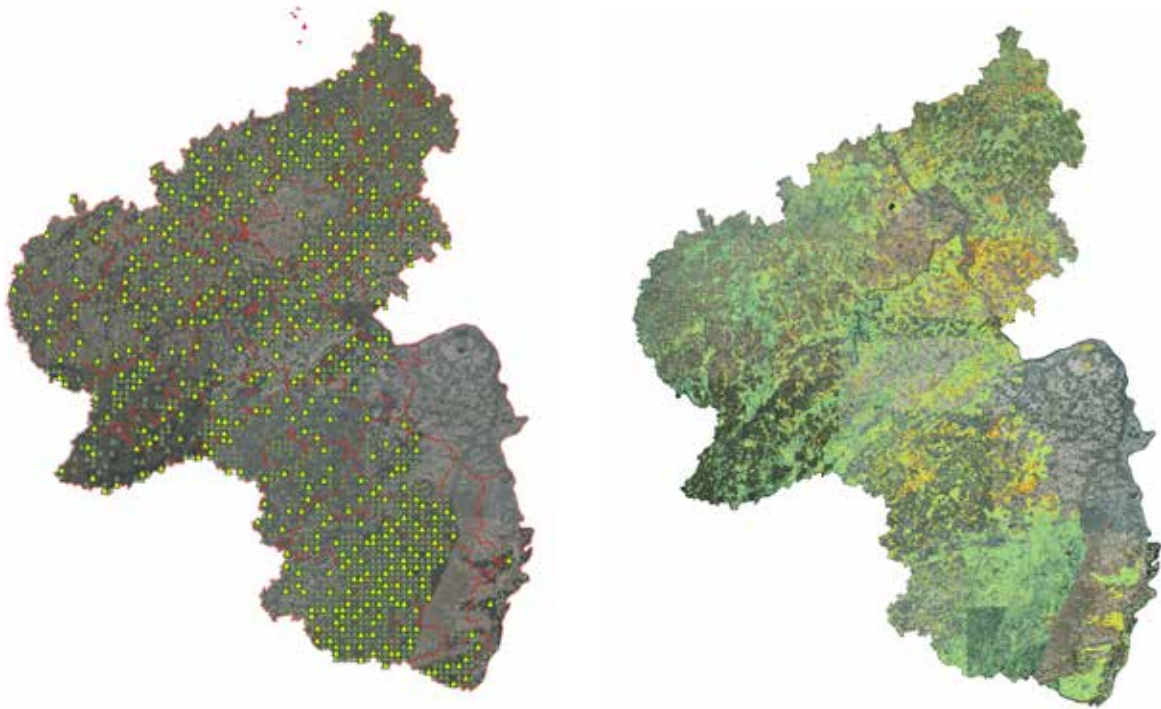
Starke Auflichtungen in alten Buchenwäldern können eine Risikophase einleiten. Dagegen können früh einsetzende, wiederholte und kräftig fördernde Eingriffe zugunsten junger und mittelalter Buchen deren Vitalität unterstützen.

Auf Basis der Erkenntnisse aller Erhebungen zur Buche werden die Möglichkeiten der Handlung in alten Buchenwäldern aufgezeigt und an die Waldbesitzer und vor Ort Wirtschaftenden vermittelt. Im erforderlichen Fall hin bis zu einer individuellen Betreuung und Beratung in der konkreten Fläche durch besonders fortgebildete Waldbautrainer.

Ergebnisse der Buchenaustriebsinventur 2021

Ergänzend zur jährlichen WZE wurde im Juni 2021 durch die Abteilung 4 der Zentralstelle der Forstverwaltung unter Leitung der Fachgruppe Stichprobeninventuren eine landesweite und speziell auf das Buchenschadgeschehen ausgelegte Stichprobenerhebung- und Auswertung durchgeführt. Über die Ermittlung des Schadausmaßes hinausgehend sollte in dieser Studie untersucht werden, ob und in welchen Regionen von Rheinland-Pfalz Buchenschäden besonders häufig auftreten, und in welchem Maße baumindividuelle Faktoren wie das Baumalter, der Dichtstand (Kronenschluss) und die Konkurrenzkraft das Schadrisko positiv oder negativ beeinflussen. Um Aussagen auf der Ebene dieser Beobachtungsstraten zu ermöglichen, wurde ein wesentlich höherer Stichprobenumfang als bei der WZE realisiert (2500 Buchenindividuen an 445 Aufnahmetrakten). Die Aufnahmen wurden dabei an einem Unterstichprobennetz der Bundeswaldinventur (BWI) durchgeführt. Durch Nutzung von Vorinformationen der dritten Bundeswaldinventur und abgeleiteten Vegetations-Vitalitätsindikatoren aus Satellitendaten konnte durch Auswahl entsprechender Stichprobenpunkte (Balanced-Sampling-Verfahren) die Repräsentativität der erhobenen Daten bzgl. räumlicher Verteilung und Altersstruktur der Buche sowie deren Stressdisposition der Jahre 2018 bis 2020 in Rheinland-Pfalz sichergestellt werden.

Links: Verteilung der 445 BWI-Trakte, an welchen die Erhebung der Buchenaustriebsinventur durchgeführt wurde. Hintergrund: BWI-Trakte mit mindestens einer Buche. Rechts: Vegetations-Vitalitätsindex des Jahres 2020 aus Sentinel-2-Satellitendaten.

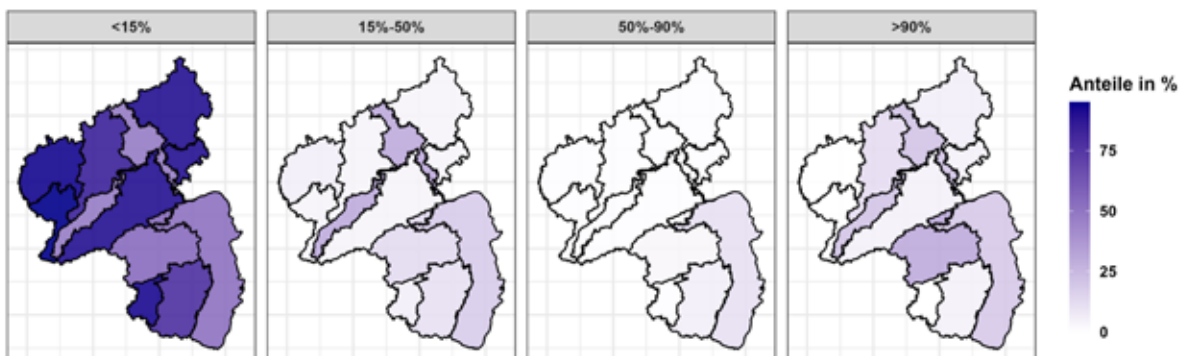


Warme und trockene Regionen stärker betroffen

Die räumliche Auswertung der beobachteten Schadanteile zeigt ein erhöhtes Auftreten der Schadphänomene in den Wuchsregionen Saar-Nahe-Bergland, Mosel- und Mittelrheintal, Ahr-efifel sowie Oberrhein- und Mainebene.

Ein Vergleich mit den räumlichen Niederschlägen und Temperaturverläufen der Jahre 2018 bis 2020 verdeutlicht, dass besonders warme und trockene Regionen in Rheinland-Pfalz häufiger und von schwereren Schäden betroffen sind.

Anteile (lila) der prozentualen Kronenverlichtung in den Wuchsgebieten von Rheinland-Pfalz.

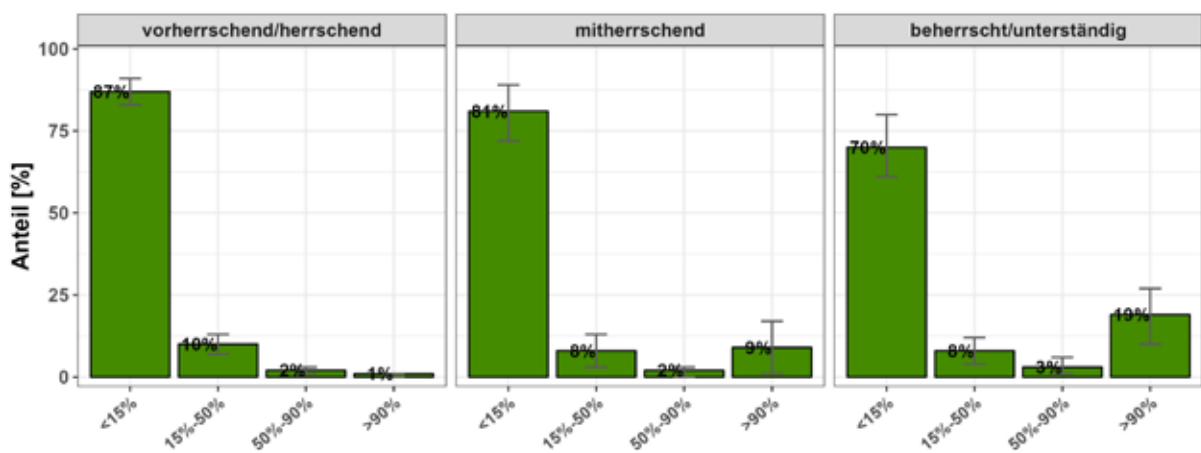


Konkurrenzstarke Buchen im Vorteil

Neben dem räumlichen Auftreten konnte die soziologische Stellung als Indikator für die Konkurrenzkraft und Vitalität eines Buchenindividuums als wichtiger Einflussfaktor auf die Schadanfälligkeit identifiziert werden. Konkurrenzstarke Buchen (vorherrschende und herrschende Baumschicht) sind im Vergleich zu konkurrenzschwächeren Buchen (Unter- oder Zwischenstand) grundsätzlich seltener von Schäden betroffen.

Darüber hinaus sind starke Schäden bis hin zum kompletten Absterben in diesem Kollektiv bisher selten. Diese Effekte zeigen sich auch bei Hinzunahme zusätzlicher schadensbegünstigender Faktoren, wie der Wasserverfügbarkeit (Frischestufe) und unterstreichen den Vorteil vitaler Individuen im Konkurrenzkampf um limitierte Ressourcen unter verschärften klimatischen Bedingungen.

Anteil Schadgrade stratifiziert nach hoher, mittlerer und niedriger Konkurrenzstärke (Vitalität).

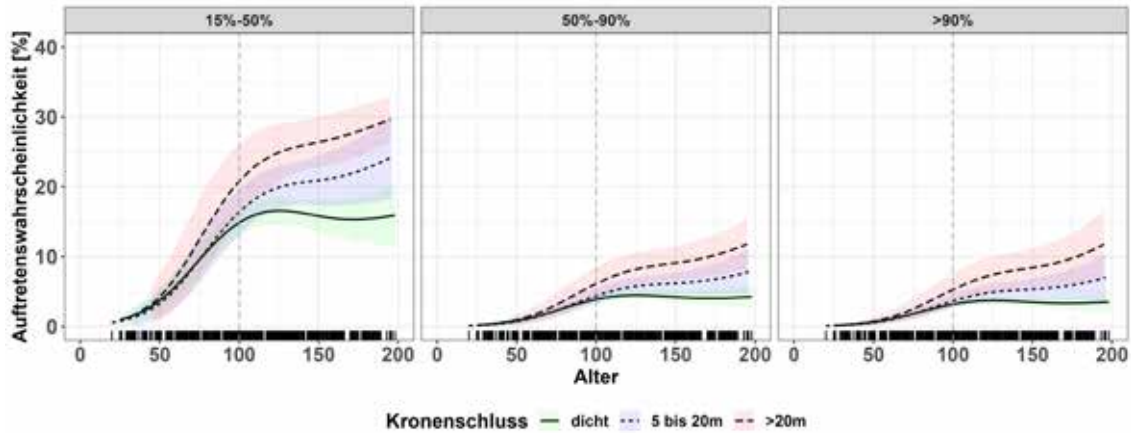


Alterstrend und Kronenschluss

Über generell-additive Modellierungsmethoden (GAM) war es zudem möglich, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schäden und deren Stärke in Abhängigkeit der erhobenen baumindividuellen Merkmale und deren Ausprägungskombinationen zu bewerten. So kann festgestellt werden, dass in allen soziologischen Klassen und Kronenschluss-Kategorien die Schadwahrscheinlichkeit für alle Schadgrade bis zum Alter 100 grundsätzlich altersbedingt zunimmt. Ein zusätzlicher Einfluss des Kronenschlusses auf die Schadwahrscheinlichkeit zeigt sich für herrschende und vorherrschende Buchen, welche meist in der oberen Baumschicht vertreten sind. Ein Frei-

stand bis zum doppelten Kronendurchmesser (20 Meter) hat für dieses Buchenkollektiv bis zum Alter 100 keinen feststellbaren Einfluss auf das Schadgeschehen. Während das Schadrisiko für dichtstehende Buchen (Kronenberührung, keine Zwischenräume) ab dem Alter 100 allerdings nicht weiter zunimmt, steigt das Schadrisiko für Buchen in Freistand bis zum doppelten Kronendurchmesser ab dem Alter 100 mit fortschreitendem Alter weiter an. Für extrem freistehende Buchen (Kronenabstand über 20 Meter) deutet sich sogar bereits ab dem Alter 60 ein erhöhtes Schadrisiko an. Diese Effekte sind in allen Schadgraden zu beobachten.

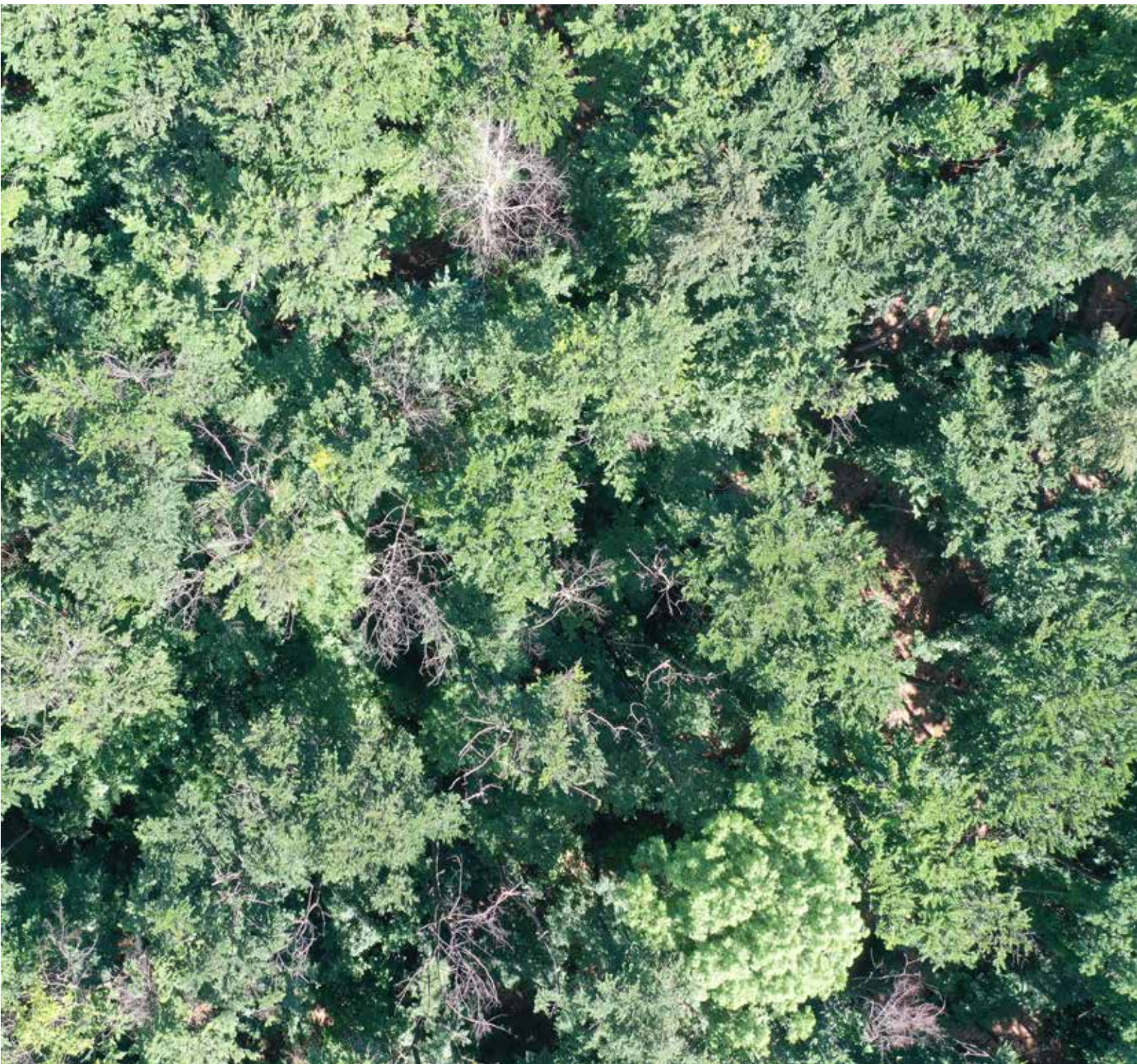
Einfluss von Baumalter- und Dichtstand auf die Auftretenswahrscheinlichkeit der jeweiligen Schadgrade für das Kollektiv der konkurrenzstarken Buchen (vorherrschend und herrschend).



Fazit der Buchenaustriebsinventur

Die Buchenaustriebsinventur ermöglicht nicht nur eine objektive Bewertung des Schadausmaßes und der regionalen Verteilung, sondern liefert auch erste auf wissenschaftlicher Basis hergeleitete Hinweise zu Einflussfaktoren (geoklimatische Lage, Baumalter, Konkurrenzkraft und Dichtstand) der Schadwahrscheinlichkeit. Die Ergebnisse bestätigen die Annahme der Gefährdung älterer Buchen und der erhöhten Vitalitätsschwächung älterer Buchen durch starke Freistellung. Die Befunde zeigen aber auch, dass entscheidende Handlungsoptionen für aktive Maßnahmen zur Anpassung der Buchenwälder an den Klimawandel bestehen:

- Die Resilienz der Buche gegenüber Trockenheit kann durch eine frühzeitig begonnene (idealer Beginn 35 Jahre) und kontinuierlich betriebene Ausformung großer Kronen und Wurzelsysteme und dadurch erreichte Stärkung ihrer Konkurrenzkraft erhöht werden. Die dazu notwendige systematische Kronenfreistellung erfolgt in der Dimensionierungsphase bis zum Alter 80 nachweislich ohne Erhöhung des Schadrisikos. Durch Nutzung dieser Vitalisierungschancen werden zudem gute Ausgangsbedingungen für eine frühzeitig einsetzende Naturverjüngung gebildet. Im Mittelpunkt der Behandlung sollte dabei der Aufbau resilienter Mischwälder stehen.
- In der Reifephase sind die Einflussmöglichkeiten auf die Resilienz der Einzelbäume begrenzt. Da ab dem Alter 100 das Schadrisiko auch konkurrenzstarker Buchen durch Freistellung nachweislich deutlich zunimmt, sollte die Entwicklung auch weiterhin mit ganz gezielten und damit beschränkten Eingriffen ins Kronendach (Patches) erfolgen. Die Schaffung und Förderung der Verjüngungsansätze zur Entwicklung zukünftig angepasster Mischbaumarten sollte dabei bevorzugt über die Lichtsteuerung durch Entnahme von Schattern erfolgen und weniger durch Eingriffe in den Hochschirm der Altbäume.
- In Bereichen des fortgeschrittenen Generationenwechsels steht die Sicherung und Förderung des Nachwuchses durch angepasste Lichtdosierung bei gleichzeitiger Sicherung der Hochschirmwirkungen der Altbäume im Vordergrund. Da außerdem auch regelmäßig Pflegemaßnahmen des Nachwuchses insbesondere zur Sicherung der Mischbaumarten notwendig werden, muss in dieser Entwicklungsphase besonderes Augenmerk der Beachtung der Arbeitssicherheit mit der Folge ggf. notwendiger Entnahmen gefährdender Altbäume gelten.



Im Lennebergwald am 25. Mai, der Blick von oben zeigt das enge Nebeneinander von Buchen, die stark geschädigt oder abgestorben sind und Buchen, die vergleichsweise gut ausgetrieben haben. Aufnahme der Firma Drohnen Service Pro im Auftrag der FAWF.

BEDEUTUNG DES
WASSERRÜCKHALTES
IM WALD FÜR DIE
RISIKOVORSORGE GEGEN
DIE ENTSTEHUNG VON
STURZFLUTEN UND FÜR
EINE NACHHALTIGERE
GRUNDWASSERNEU-
BILDUNG

Autoren: Gebhard Schüler und Eva Verena Müller. Dieser Abschnitt basiert auf der Dissertation von Frau Eva Verena Müller „Assessment of forest-specific Ecosystem Services with regard to water balance components: Runoff and groundwater recharge in the forest“. Approved dissertation University of Trier “ eingereicht am 18.05.2022, in der sich das ausführliche Quellen- und Literaturverzeichnis findet.

Ausgangssituation: Rheinland-Pfalz und das Saarland sind durch ein westeuropäisch-atlantisches Klima geprägt, das bisher durch milde Winter, gemäßigte Sommer und ausgeglichen hohe jährliche Niederschlagsmengen gekennzeichnet war. Aufgrund der Topographie treten jedoch starke räumliche Unterschiede auf. So zählen einige Regionen mit zu den wärmsten Deutschlands, während andere ein raueres Klima aufweisen. Der Klimawandel hat und wird sich weiterhin in beiden Ländern stark auswirken. So wurde in Rheinland-Pfalz von 1881 bis 2020 bereits ein signifikanter Temperaturanstieg um 1,6 °C festgestellt. Mit der klimawandelbedingten Temperaturerhöhung kam es insbesondere in den Jahren 2018, 2019 und 2020 zu längeren Trockenperioden innerhalb der Vegetationsperiode, mit negativen Folgen für die klimatische Wasserbilanz in den Waldgebieten.

Die Kombination aus höheren Lufttemperaturen und Trockenperioden erhöht die potentielle Evapotranspiration der Waldbestände bei gleichzeitig abnehmendem Bodenwasservorrat. Dadurch entwickelte sich regional eine starke Bodentrockenheit. Auch die Winterniederschläge haben nicht ausgereicht, um das jeweilige Wasserdefizit der Vorjahre auszugleichen und die pflanzenverfügbare Feldkapazität der Böden aufzufüllen. Schon in der Periode von 2000 bis 2020 sind die Infiltrationsraten für Sickerwasser und infolge dessen der Bodenwassergehalt im Pfälzerwald permanent zurückgegangen, wie unsere Messungen und Modelliererergebnisse aus dem Projekt Ecoserv eindrucksvoll zeigen. Unter Berücksichtigung der regionalisierenden Klimaprojektionen RCP2.6 und RCP8.5 wird sich dieser Trend in der Zukunft noch verschärfen. Die Bodenfeuchte wird bis zum Jahre 2099 voraussichtlich stark abnehmen, die Länge der Phase geringerer Bodenfeuchte in der Vegetationszeit wird zunehmen, was den Trockenstress für die aufstockenden Waldgesellschaften weiter steigert.

In der Folge zeigten sich beispielsweise bei Alt-Buchen und Kiefern seit dem Sommer 2020 deutliche Trockenstress-Symptome bis hin zu Absterbe-Erscheinungen.

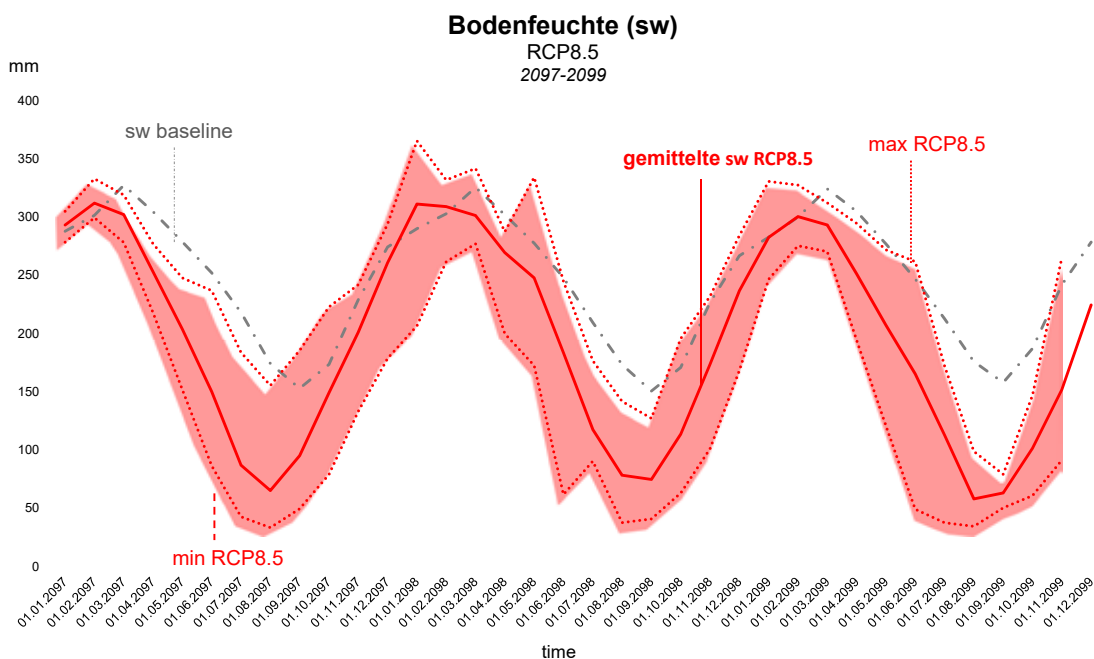
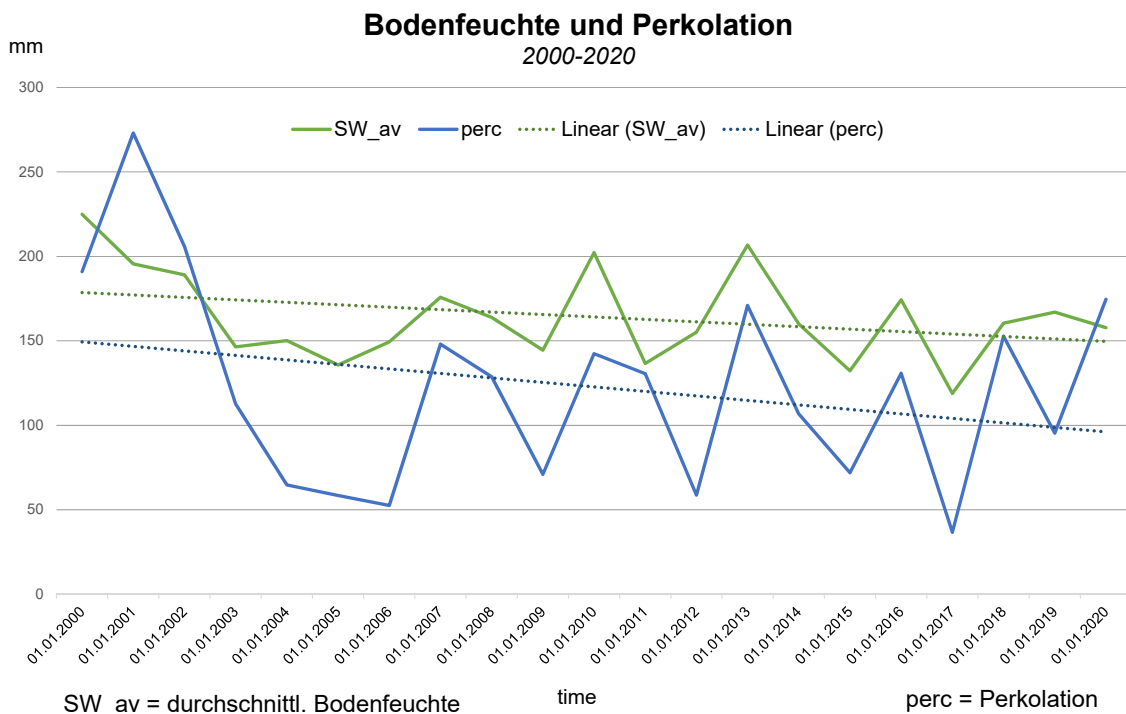
Bei Starkregen kann es dann auf den ausgetrockneten, hydrophoben Böden zu einer verschlechterten Wasseraufnahme kommen, sodass mit einer Erhöhung des Oberflächenabflusses das Erosionsrisiko und die Gefahr von Sturzfluten zunehmen. Gleichzeitig führen häufiger auftretende konvektive Niederschlagsereignisse vermehrt zu Starkregen und, insbesondere wenn sie längere Zeit an einem Ort niedergehen, zu Sturzfluten und Erosion auch im Wald, z.T. sogar zu Erderschüttungen und menschengefährdenden Überschwemmungen.

Aktuelle Daten und Fakten zum Klimawandel in Rheinland-Pfalz bietet das Klimawandelinformationssystem des Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrums für Klimawandelfolgen: <https://www.kwis-rlp.de>

Im Zuge der erwarteten Klimaveränderungen wird auch eine Häufung der Wetter-Extrema erwartet. Die Waldbewirtschaftungsmaßnahmen müssen daher an den geänderten Wald-Wasserhaushalt angepasst werden.

Im Wasserportal Rheinland-Pfalz ist die Gefährdungsanalyse Sturzflut nach Starkregen vorgestellt <https://wasserportal.rlp-umwelt.de/servlet/is/10080/>

Entwicklung der Bodenfeuchte im Pfälzerwald in den Jahren 2000 bis 2020 (oben) und Bodenfeuchteprognose 2097 bis 2099 im Vergleich zur Bodenfeuchte in den Jahren 1961 bis 1963 (unten)





Differenzierte Vitalitätsbefunde bis hin zu Absterberscheinungen nach den Trockenjahren 2018 – 2020 an freistehenden Altbuchen im Pfälzerwald (Foto: Gebhard Schüler)

Die regulative Ökosystemdienstleistung zum Oberflächenabfluss im Wald mit Blick auf die Vorsorge gegen die Entstehung von Sturzfluten

Naturnahe und naturbelassene Wälder haben durch das Brechen der Niederschlagsenergie im Kronenraum und durch günstige physikalische Bodenbedingungen für die Infiltration und Bodenwasserspeicherung per se ein höheres, aber standortsabhängiges Wasserrückhaltevermögen. Sie leisten dadurch einen Beitrag zum dezentralen Hochwasserschutz. Die Verringerung des Oberflächenabflusses wirkt einer Bodenverlagerung entgegen (Erosionsschutz), und bremst den Stofftransport in Oberflächengewässer (Eutrophierungsschutz). Der Erhalt intakter Bodenfunktionen ist Voraussetzung für diese Prozesse der Wasserrückhaltung und Wasserreinigung im Wald. Der Schutz der Wasserressourcen im Wald ist so untrennbar mit dem Bodenschutz verbunden.

Jedoch werden im bewirtschafteten Wald aufgrund von notwendigen Infrastruktureinrichtungen, insbesondere von Waldwegen mit wegebegleitenden Grabensystemen, von den vor mehr als 100 Jahren angelegten Drainagegräben zur Entwässerung nasser Waldstandorte und von Befahrungslinien für die maschinelle Holzernte und -vorlieferung Wasserrückhaltefunktionen und die Versickerungsleistung für Wasser eingeschränkt. Die im Pfälzerwald ausgelösten Veränderungen von Oberflächenabfluss und Grundwasserneubildung wurden mit dem im Projekt ECOSERV weiterentwickelten Gebietswasserhaushaltsmodell SWAT+ in Kombination mit dem Grundwassermodell SWATMODFLOW analysiert und in Klimaprojektionen bis Ende des Jahrhunderts abgebildet. So lassen sich die hydrologischen Folgen des Waldwegenetzes im Hinblick auf den Oberflächenabfluss und die Abflussspende in den Vorflutern sogar auf den durchlässigen Buntsandsteinverwitterungsstandorten des Pfälzerwaldes sehr gut erkennen.

Hydrologische Folgen des Waldwegenetzes im Pfälzerwald (2001-2010), berechnet mit dem Wassereinzugsgebietsmodell SWAT+ (MÜLLER 2022)

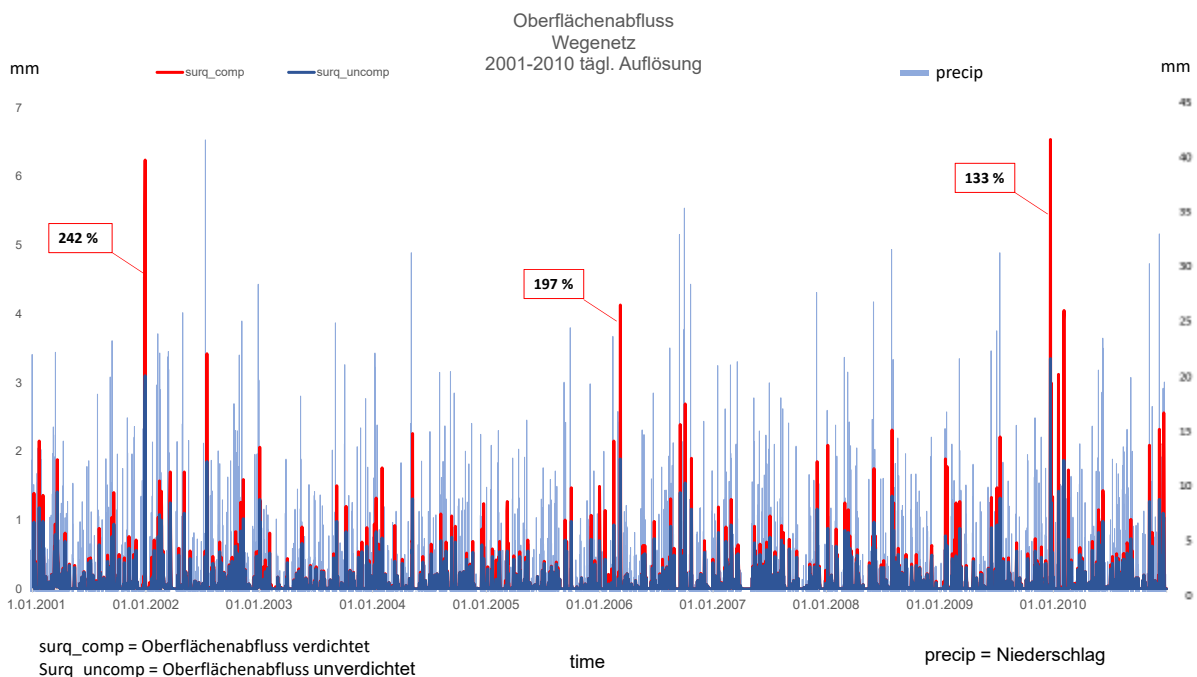
Das Waldwegenetz im Biosphärenreservat Pfälzerwald verdichtet die Böden auf 10,87 % der Gesamtfläche

Wasserhaushaltsparameter	Änderungen in % in Bezug zur reinen Waldfläche
Oberflächenabfluss	+36,2 %
Beitrag in die Vorfluter	+ 12,3 %
Grundwasserneubildung (oberes Grundwasserstockwerk)	-2,0 %
Grundwasserneubildung (tieferes Grundwasserstockwerk)	-1,7 %

Durch die Linienstruktur der Waldwege wird der Oberflächenabfluss an den Wegen gesammelt und konzentriert, er nimmt um 36,2 % zu, obwohl die durch die Waldwege verdichtete und zum Teil versiegelte Fläche nur 10,87 % ausmacht.

Bei einer tageweisen zeitlichen Auflösung des Abflussgeschehens ist zu erkennen, dass durch das Wegenetz Abflussspitzen beim Oberflächenabfluss entstehen, was wiederum das Risiko der Entstehung von Sturzfluten steigert.

Oberflächenabflussspitzen durch das Waldwegenetz (comp) im Pfälzerwald (2001-2010) im Vergleich zur reinen Waldfläche (uncomp) in hoher zeitlicher Auflösung



Risikobeladen für die Sturzflutentstehung ist auch der Oberflächenabfluss, der durch das Rückegassennetz auf der Waldfläche ausgelöst wird. Allerdings ist die Bodenverdichtung durch schwere Forstmaschinen abhängig vom Bodensubstrat, was sich bei der Steigerung des Oberflächenabflusses deutlich bemerkbar macht.

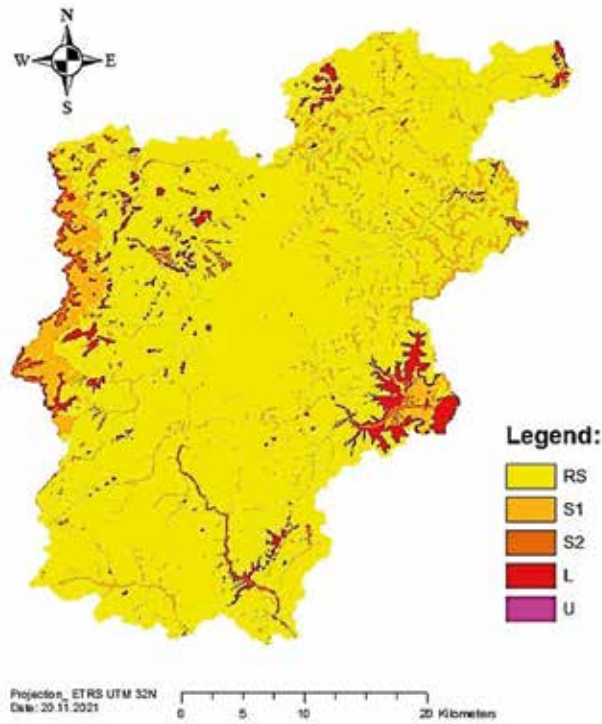
Da die Böden im Pfälzerwald von sandigen Substraten dominiert werden (zu über 90 %) hat die Befahrung von Waldstandorten im Pfälzerwald

insgesamt nur geringe Auswirkungen auf den Gesamtwasserhaushalt. Dagegen ist die Gefahr der Sturzflutentstehung bei schluffigen und lehmigen Substraten erheblich. Damit sind die negativen Auswirkungen des Einsatzes von schweren Forstmaschinen im Pfälzerwald weniger gravierend, aber im Nordteil von Rheinland-Pfalz und im Saarland mit lehmigeren und schluffigeren Bodensubstraten umso bedeutungsvoller für den Oberflächenabfluss.

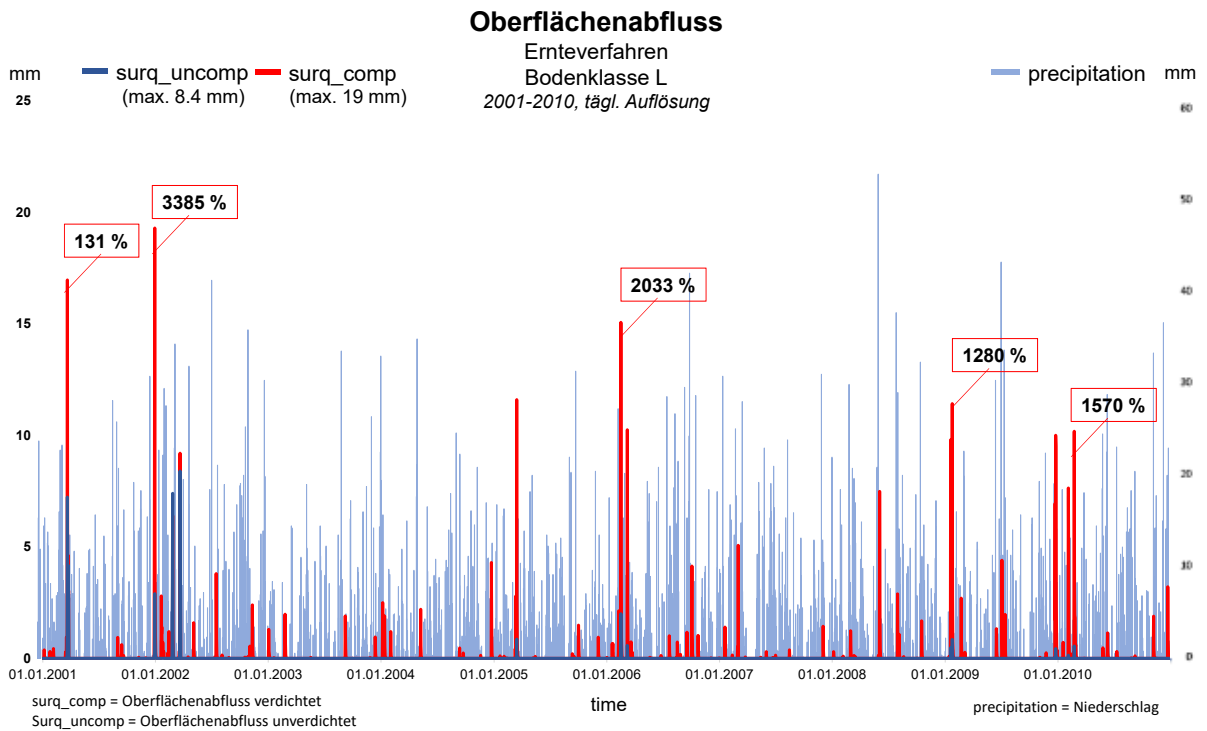
Hydrologische Folgen des Rückegassennetzes im Pälzerwald (2001-2010), berechnet mit dem Wassereinzugsgebietsmodell SWAT+ (MÜLLER 2022)

Rückegassen im Abstand von 40 m zueinander = 13,5 % der Waldfläche mit Bodenverdichtung, gemäß des Handbuch Walderschließung, Landesforsten Rheinland-Pfalz (2018)	
Bodensubstrat	Änderung des Oberflächenabflusses in % mit Bezug zur unbefahrenen Waldfläche
Sande aus Buntsandsteinverwitterung	+9,00 %
Sandige Lehme	+ 11,18 %
Sandige Schluffe	+126,10 %
Lehme	+46,03 %

Risikobehaftete Substratreihen für Sturzflutenstehung im Pfälzerwald durch die Rückegassenerschließung (MÜLLER 2022)



Oberflächenabflussspitzen durch das Rückegassennetz (comp) bei lehmigen Bodensubstraten im Pfälzerwald (2001-2010) im Vergleich zur reinen Waldfläche (uncomp) in hoher zeitlicher Auflösung (MÜLLER 2022).



Die versorgende Ökosystemdienstleistung zur Grundwasserneubildung unter Wald

In Rheinland-Pfalz wird Trinkwasser zu 95 Prozent aus Grundwasser gewonnen. Neben den Wasserversorgern entnimmt auch die Landwirtschaft aus Grundwasservorräten Wasser für die Bewässerung ihrer Kulturen.

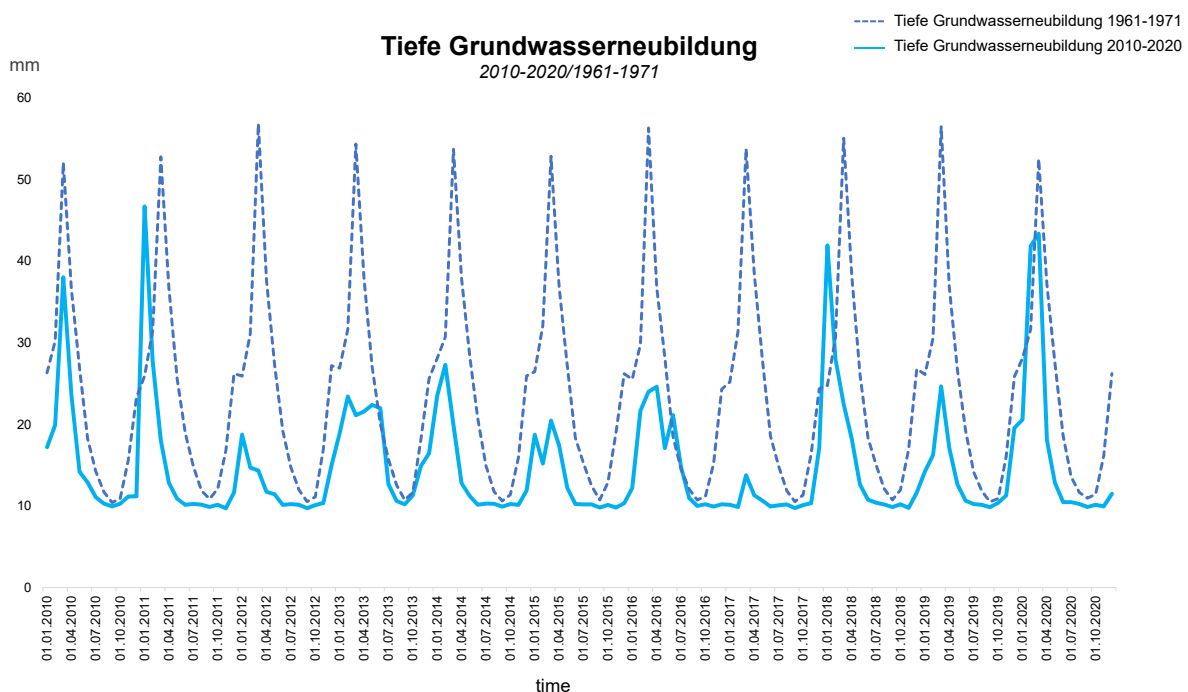
Werden aber größere Mengen Wasser über Tiefbrunnen aus einem Grundwasserleiter entnommen, führt dies regelmäßig zu einer Absenkung des Grundwassers an der Entnahmestelle.

Die einzelnen Wasserversorger und die Landwirtschaft konkurrieren dann um die begrenzte Ressource Grundwasser, da die meisten Grundwasserstockwerke über hydraulische Fenster miteinander verbunden sind. Diese Wasserentnahmen können auch Auswirkungen auf die oberen ungespannten Grundwasserleiter haben

und die klimabedingte Bodentrockenheit verstärken bzw. verlängern. Aus diesen oberen, nicht gespannten Grundwasserleitern beziehen die Wälder in Trockenperioden ihr Wasser zum Überleben, wenn für die aufstockenden Bäume in ihrem Wurzelraum durch Druckumkehr bereitgestelltes Grundwasser erreichbar ist. Ist dieses durch Absenkung nicht mehr erreichbar, können die betroffenen Wälder unter starken Trockenstress geraten. In der Folge erleiden die Bäume je nach individueller Empfindlichkeit Vitalitätsverluste und können sogar absterben.

Der Pfälzerwald, als größtes geschlossenes Waldgebiet Deutschlands, ist ein überregional bedeutender Grundwasserspeicher. Allerdings hat im Pfälzerwald die Grundwasser-Neubildungsrate seit 20 Jahren gegenüber dem Referenzzeitraum von 1961 - 1990 deutlich abgenommen. Auch die für die nähere (2031 -2050) und fernere Zukunft (2071 - 2099) errechneten Grundwasser-Neubil-

Grundwasserneubildung in tieferen Grundwasserstockwerken unter dem Pfälzerwald im Vergleich der Perioden 1961-1971 und 2010-2020 (MÜLLER 2022)



Grundwasserneubildungsraten im Pfälzerwald, berechnet mit dem Wassereinzugsgebietsmodell SWAT+ (MÜLLER 2022)

	Vergleichs- zeitraum 1961-1990	Beobachtungs- zeitraum 2011-2020	Klimaprojektionen RCP 2.6 / RCP 8.5 2031-2050		Klimaprojektionen RCP 2.6 / RCP 8.5 2071-2099	
			Min	Max	Min	Max
Grundwasserneubildung [mm/a]	286	178	173	259	168	292

dungsraten bleiben mit den meisten Klimaprojektionsdaten geringer als die der Referenzperiode von 1961 - 1990.

Die mit SWAT+ berechneten forsthydrologische Folgen zeigen, dass eine geringe Bodenfeuchte auch in der Zukunft zu erwarten ist und Trockenstress für die Wälder bedeutet. Auch die Grund-

wasserneubildungsrate geht deutlich zurück, zumindest solange ein Kipp-Punkt zur erhöhten Verdunstung über den Meeren nicht erreicht wird. Beim Oberflächenabfluss deutet sich dagegen keine Entspannung an, sodass immer mit Sturzfluten zu rechnen ist. Mittelwerte sind hier allerdings wenig aussagekräftig, da Abflussspitzen für die Entstehung von Sturzfluten entscheidend sind.

Änderungssignale von Wasserhaushaltsgrößen in der Vergleichsperiode 1961-1990, in der rezenten Periode 2000-2020 und in den Klimaszenarien 2031-2050 und 2071-2099 im Biosphären-Reservat Pfälzerwald (MÜLLER 2022)

	1961-190	RCP2.6/RCP8.5						
		Bezugs- periode	2000-2020		2031-2050		2071-2099	
			Absolut- werte	% zur Bezugs- periode	worst case	best case	worst case	best case
Niederschlag [mm]	1184.56	821.38	-30.66	-36.37	-3.77	-36.01	2.02	
aktuelle ET [mm]	707.13	635.7	-10.10	-15.07	3.48	-31.70	4.11	
Bodenfeuchte [mm]	246.08	164.17	-33.29	-34.52	-7.52	-38.50	-6.90	
Grundwasser- Neubildung [mm]	285.7	177.6	-37.8	-39.45	-9.23	-41.18	2.07	
Oberflächen- abfluss [mm]	30	12.47	-58.43	-13.30	-62.18	28.90	-63.13	

Management der Ökosystemdienstleistungen (ÖSDL) „Wald für Wasser“

Ursprünglich war die Mittelgebirgslandschaft in Rheinland-Pfalz und im Saarland geprägt durch ausgedehnte Wälder, auch auf nassen Standorten. Bäche und Flüsse mäandrierten in den Bachauen, also in ihren natürlichen Überschwemmungsgebieten. Schon in den ursprünglichen Landschaften gab es bereits Hochwasser, denn Abfluss und Hochwasser sind natürliche Prozesse. Später mit steigender Bevölkerungsdichte nutzten die Menschen das Land zunehmend durch Landwirtschaft, Siedlungsflächen und Verkehrsinfrastruktur. Diese geänderte Flächennutzung verminderte dauerhaft die Wasserversickerung und beschleunigte den Oberflächenabfluss. Gleichzeitig wurden auch die Bach- und Flussauen zunehmend versiegelt, sodass dem erhöhten Oberflächenabfluss nicht mehr genügend Raum blieb, um sich auszubreiten ohne Schäden anzurichten. Zur Schadensvorsorge in der vom Menschen veränderten Mittelgebirgslandschaft muss der Oberflächenabfluss kontrolliert werden. Dabei sollte im Wald abfließendes Wasser aus Wegen, Entwässerungsgräben und Rückegassen schon so früh wie möglich kontrolliert in den Wald zurückgeleitet werden, sodass es dort versickern oder sich in bereitgestellten Retentionsräumen verteilen kann.

Der signifikante Einfluss menschlicher Aktivitäten auf wasserbezogene Waldfunktionen macht also die Auseinandersetzung und Überprüfung der waldwirtschaftlichen Eingriffe im Hinblick auf die Erbringung von wasserbezogenen Ökosystem-Dienstleistungen (ÖSDL) des Waldes unabdingbar. Zu diesem Zweck sollen im Modul „Wald und Wasser“ des Landesprogrammes Klimawald2100 hydrologische Folgen der Waldbewirtschaftung zusätzlich zu der vorgestellten Studie im Pfälzerwald auch in anderen Landesteilen von Rheinland-Pfalz analysiert werden. Diese Analyseergebnisse dienen als Grundlage

für die Optimierung von standortsangepassten Praxismaßnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhaltes und damit zur Vorsorge gegenüber der Entstehung von Sturzfluten und zur Erhaltung der Grundwasserneubildung. Dabei geht es nicht darum, natürliche Gewässerläufe oder einen naturnahen Wasserhaushalt zu verändern. Es sollen vielmehr aus menschengemachten infrastrukturellen Linienstrukturen in die Vorfluter mündende Abflussspitzen verhindert oder zumindest verzögert werden, und möglichst viel Wasser in der Fläche zurückgehalten werden, sodass es dort den Bäumen bzw. der Grundwasserneubildung zugutekommt.

Dazu bedarf es einer eingehenden Standorts- und Wasserhaushaltsanalyse, um regional angepasste und effektive Maßnahmen zu ergreifen. In der Waldentwicklung geht es darum, die Niederschlagsenergie zu brechen. Mit einem Bodenschutzkonzept soll die Infiltration von möglichst viel Oberflächenwasser ermöglicht werden. In und auf allen linienhaften Infrastruktureinrichtungen wie Wegen, Gräben und Feinerschließungslinien sollte jeglicher Linienabfluss vermieden und/oder in den benachbarten Waldflächen versickert werden. Schließlich sollten sich Hochwasserwellen in Bachauen, den natürlichen Retentionsräumen für Wasser, ausbreiten können, um sie zeitlich zu verzögern und zu entzerren.

Waldwirtschaftlich sind gut strukturierte, ökologisch stabile, naturnahe, standortsangepasste und klimaresiliente Mischwälder anzustreben. Winterkahle Laubwälder ermöglichen in der laubfreien Zeit einen besseren Wasserzutritt zum Waldboden und wegen verminderter Interzeption außerhalb der Vegetationsperiode eine höhere Grundwasserneubildungsrate. Labile Bestockungen sind im Voraus zu unterpflanzen bzw. zu verjüngen, um ggf. im Störungsfall bereits einen Grundbestand an Waldvegetation zu behalten.



Störungsflächen, z.B. nach Borkenkäferkalamitäten, dürfen nicht flächig befahren werden und bei Aufräumarbeiten sollte möglichst viel Totholz, Ast- und Reisigmaterial auf der Fläche verbleiben, weil es einen Oberflächenabfluss zumindest teilweise abbremsen kann. Besteht jedoch die Gefahr, dass stärkeres Totholz in nahegelegene Bäche und Flüsse geschwemmt werden kann, so sollte dieses wegen möglicher Verkläuerungen an Brücken und ähnlichen Hindernissen aus der Fläche entfernt werden. Kahllagen selbst sollten möglichst zeitnah unter Ausnutzung der natürlichen Sukzession wiederbewaldet werden.

Biologisch aktive und durch Befahrung unbelastete Böden besitzen ein wasseraufnehmendes primäres Porensystem. Dieses Porensystem ist durch umfangreiche Bodenschutzmaßnahmen vorrangig zu erhalten. Die Infiltrationsmöglichkeit von Wasser kann durch die Bodenschutzkalkung wegen einer dadurch ausgelösten verbesserten Durchwurzelung und einer gesteigerten Bioturbation verbessert werden.

Andere Maßnahmen betreffen die Waldwege mit wegebegleitenden Gräben. Ggf. sind nicht benötigte Wege aufzulassen oder sogar zurückzubauen. Beim Wegeneubau, bzw. überall dort wo neue Linienstrukturen geschaffen werden, sind die Einwirkungen auf das Grundwasser und die Wasserführung im Einzelfall zu prüfen. In manchen Fällen, z.B. wenn der Weg nicht ganzjährig LKW-fähig sein muss, werden wegebegleitende Gräben auch nicht benötigt. So kann ein überhöhtes Wegerundprofil, welches eine breitflächige Entwässerung in den angrenzenden Wald ermöglicht, genügen. Ein einseitiges Wegequerprofil kann zwar sehr effektiv Wasser vom Wegekörper flächig in den talseitigen Wald leiten. Diese Wege sind jedoch zeitweise, zum Beispiel bei Frost und Eis, nicht befahrbar. Auf der Bergseite können Spitzgräben überschießendes Wasser aufnehmen. Trapezförmige wegebegleitende Gräben sind grundsätzlich zu vermeiden, da sie sehr viel Wasser aufnehmen und kurzgeschlossen ableiten können, was die Gefahr der Abflusskonzentration und Abflussspitzen steigert. Bevor sich fließendes

Wasser auf der Bergseite der Wege sammelt, ist dieses Wasser in breiten diagonalen Vertiefungen über den zusätzlich befestigten Wegekörper auf die Talseite zu leiten und dort flächig im angrenzenden Waldbestand zu verteilen. Auch können Versickerungs- und Verdunstungsmulden auf weniger durchlässigen Böden überschüssiges Wasser aufnehmen. Solche bis 1 m tiefe und 3 – 6 m³ fassende Mulden müssen jedoch in kurzem Abstand angelegt werden, um deren Aufnahmekapazität nicht zu überschreiten. Damit diese Mulden bei Starkregenereignissen nicht überborden, sollte ein Überlauf in den angrenzenden Waldbestand angelegt werden. Je größer das Volumen des Wegeabflusses wird, desto unwahrscheinlicher wird eine rasche Versickerung und desto mehr Mulden werden benötigt. Diese sollten in einem terrassenförmigen Netzwerk miteinander verbunden werden. Die Belange des Naturschutzes sind bei der Anlage von Sicker- und Verdunstungsmulden zu beachten. Wasserleitungen durch Rohrdurchlässe (Dolen) konzentrieren Wasser in linearen Abflüssen mit der Gefahr der Tiefenerosion. Daher sollten so viele Durchlässe einen Wegekörper queren, dass sich in bergseitigen Gräben kein Wasser ansammelt. Hydrologisch sinnvoller sind Rigolen, die das Wasser durch den aus Grobschlag aufgebauten Wegeunterbau hindurchleiten und dann hangabwärts im Wald versickern lassen. Dabei wird der Wegekörper auf einer Strecke von mehreren Metern und einer Tiefe von bis zu einem Meter ausgebaggert und mit Grobschlag ohne feinere Korngrößen aufgefüllt. Darüber kann dann eine Tragdeckschicht aufgebracht werden. Hangparallele Wege, die sonst das Hangzugwasser abschneiden und so den Wasserhaushalt erheblich stören, können auch komplett als „Rigole“ ausgebaut werden.

Nach dem Handbuch Walderschließung der Landesforsten Rheinland-Pfalz dürfen Waldböden mit schweren Forstmaschinen zur Holzernte und zum Vorliefern von Holz nur auf festen, vorgegebenen Linien mit einem Regelabstand von 40 m befahren werden, um eine flächige Bodenverdichtung zu vermeiden. In der Realität wird jedoch

vom Regelabstand abgewichen, zum Beispiel bei der Feinerschließung von Hangflächen, bei Hindernissen. Jedoch sollte das Netz aus Rückegassen nie eine Fläche mit Bodenverdichtung durch Befahrung und damit eine Schädigung des wasseraufnehmenden Bodenporensystems von mehr als 13,5 % der bewirtschafteten Waldfläche überschreiten. Landesforsten gibt vor, dass eine technische Befahrbarkeit von Rückegassen nicht mehr gegeben ist,

- bei Bodenstrukturveränderungen mit plastischem Fließen,
- bei stehendem Wasser in der Fahrspur,
- bei Erosion und
- bei Beeinträchtigung der Waldästhetik.

Wegen des erheblichen Risikos von Oberflächenabfluss und Erosion von und auf Rückegassen müssen möglichst alle Bodenschäden vermieden werden.

Grundsätzlich sind nach jeder Holzerntemaßnahme gerade auf Rückegassen Spurgleise zu beseitigen und im hängigen Gelände Wasser-rückleitungsvertiefungen diagonal durch die Rückegasse in den benachbarten Wald anzulegen, um so Erosion oder Oberflächenabfluss zu vermeiden.

Die schützenswerten Quell- und Hangbruchbiotop mit ihren Moorwäldern sind charakteristische Naturelemente in unseren Mittelgebirgen und einzigartige Lebensraumtypen, die der Erhaltung der biologischen Vielfalt dienen. Sie genießen daher auch den besonderen Schutz des § 30 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG). Ihnen wird wegen ihrer an vorhandenes Wasser gebundenen Eigenschaften oft auch ein Schutz gegen raschen Oberflächenabfluss zugeschrieben. Um diese nasen Standorte für eine auf Produktion ausgerichtete Forstwirtschaft zu gestalten, wurden jedoch schon im 19. Jahrhundert in den hochsensiblen Moorwaldflächen des Hunsrücks systematisch Netze von Entwässerungsgräben angelegt und

unterhalten. Um die typischen Eigenschaften der Hangmoore wiederzugewinnen, wurden diese Entwässerungsgräben auf ersten Flächen in jüngerer Zeit verschlossen. Allerdings reagiert der oberflächennahe Durchfluss in den Hangmoorbereichen fast ohne zeitliche Verzögerung auf Niederschlagsereignisse, und er kann auch innerhalb von wenigen Stunden nach Beendigung des Niederschlagsereignisses wieder deutlich abnehmen. Auch bei anderen anthropogenen Störungen des Wasserhaushaltes auf diesen Nassstandorten, wie Wegebau mit Wegebegleitgräben oder Konzentration des freien Wassers durch Rohrdurchlässe, sinkt der freie Wasserspiegel fast ohne zeitliche Verzögerung ab. Auch bei einer großflächigen Nutzung der Baumbestockung von Hang- und Quellmoorbereichen im Kahlschlag sinkt der freie Wasserspiegel, da sich das Mikroklima in extremer Weise verändert, denn die Verdunstungsebene oberhalb der Baumkronen wird nun auf die Ebene der Torfmoose reduziert. In den wassergesättigten Hangbrüchern muss nun von einer Verdunstung nahe der potenziellen Verdunstung ausgegangen werden, welche nur durch atmosphärische Bedingungen gesteuert wird, während vorher die Spaltöffnungen in den Nadeln und Blättern der aufstockenden Wälder entsprechend dem geringer werdenden Wasservorrat in den Böden die aktuelle Verdunstung eingeschränkt haben. Hinzu kommt, dass die Baumwurzeln das Verdunstungswasser zumindest teilweise aus mehreren Dezimetern Bodentiefe entnehmen. Im Hangbruch ohne Waldbestand stammt das Wasser dagegen unmittelbar aus der Verdunstungsebene, da die Torfmoose keine Wurzeln besitzen und das ungespannte Grundwasser im Idealfall bis an die Oberfläche ansteht.

Aus gestörten Hangmooren fließt das Wasser in stark ausgeprägten Spitzen ab. In naturnahen Hangbrüchern und Waldmooren ist der Abfluss ausgeglichen und ohne wesentliche Abflussspitzen. Hier steht ungespanntes Grundwasser

permanent in den obersten Zentimetern der Torfaufgabe an, wenn es das Mikrorelief und die oberflächennahe Wasserführung durch das Bodensubstrat zulassen. Das Vermeiden von Abflussspitzen und die zeitliche Entzerrung von Abflussspitzen aus unterschiedlichen Seitentälern und von verschiedenen Vorflutern kann aber eine wirksame Maßnahme zur Risikodämmung bei Sturzfluten sein. Renaturierungsmaßnahmen regulieren damit den Oberflächenabfluss, insbesondere, wenn die zurückgebauten Drainage- und Wegebegleitgräben ursprünglich zur Tiefenerosion neigten und nicht Teil des natürlichen, reliefbedingten und permanent vorhandenen Entwässerungssystems waren.

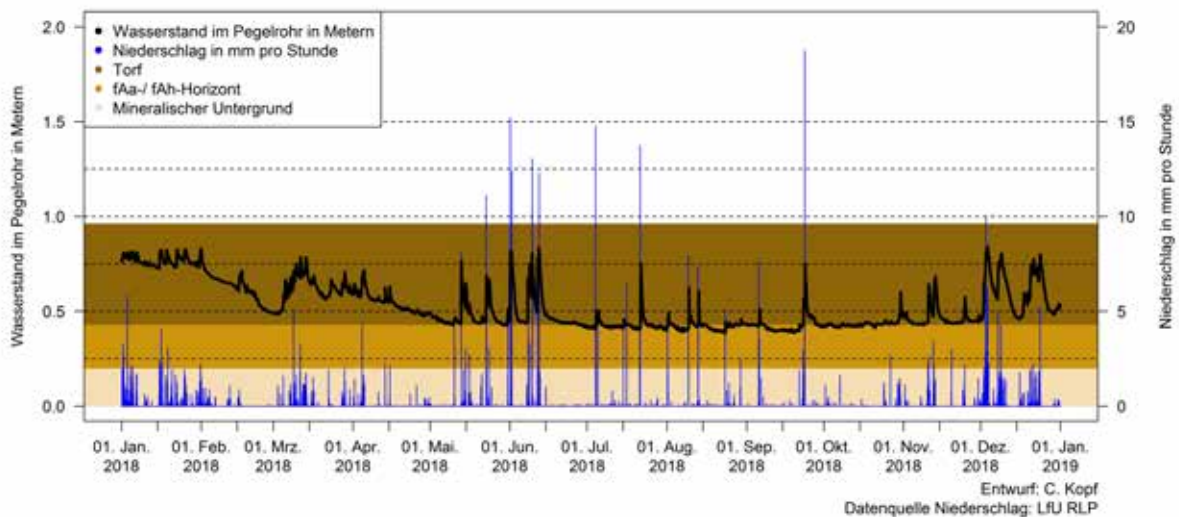
Da Hochwasserwellen auch in unbewirtschafteten Wäldern in Abhängigkeit von den auslösenden meteorologischen Ereignissen und den Standortbedingungen entstehen können und weil auch die umsichtigste Waldbewirtschaftung starke Abflussspitzen nicht verhindern kann, muss dem abfließenden Wasser Platz gegeben werden, wo immer es möglich ist. Um den Abfluss so lange wie möglich hinauszuzögern, muss sich das Wasserrückhaltmanagement darauf konzentrieren, das Wasser in ausreichend dimensionierten Retentionsräumen wie Bach- und Flusstälern zurückzuhalten; sie sind natürliche Retentionsräume. Hier muss sich im Falle von Sturzfluten und Hochwasserwellen Oberflächenwasser in der gesamten Fläche verteilen können, sodass Abflussspitzen gebrochen und zeitlich verzögert werden. Die natürliche Struktur von Waldbächen, Flüssen und Bach- wie Flussauen muss daher geschützt, gefördert oder wiederhergestellt werden, mit dem Ziel, ihre Wasserrückhalte-Funktion wiederherzustellen bzw. zu erhalten. Die Fließlinien, die Sohlstruktur sowie der Zustand der Ufer und der Vegetation in den Tälern sollten so natürlich wie möglich sein, um möglichst viel Wasser zurückzuhalten und den Abfluss möglichst lange zu verzögern. Natürliche Bäche und Flüsse haben oft

einen unregelmäßigen, mäandrierenden Verlauf, ein reichhaltig und vielfältig strukturiertes Flussbett und eine entsprechende Ufervegetation. Die Bepflanzung mit Weiden in Wellenbrechern und Buhnen als Fließhindernis und zur Unterstützung der Mäandrierung von Bächen und Flüssen ist eine biologisch-technische Maßnahme, um einen naturnahen Zustand von Flüssen und Auen wiederherzustellen und das Flusstal als Retentionsraum

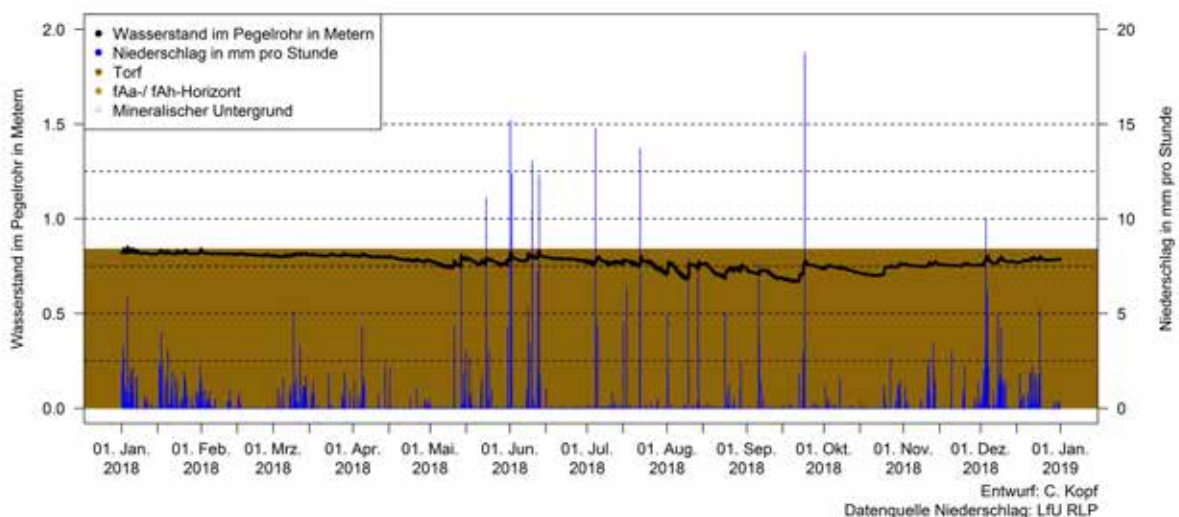
zurückzugewinnen. Waldwege in Überschwemmungsgebieten schränken deren Retentionsvermögen ein. Wenn neue Straßen oder Waldwege entlang von Bach- und Flussläufen gebaut werden, sollten sie weit genug vom Fluss entfernt sein, um einen Konflikt zwischen Flussentwicklung und Straßenbau zu vermeiden. Alte Wege entlang von Flussläufen sind zu deaktivieren und langfristig zu sanieren.

Pegelstand, stark wechselnd in einem gestörten Hangbruch (Thranenbruch) oben, und ausgeglichen in einem naturnahen Hangbruch (Riedbruch) unten, beide im Nationalpark Hunsrück-Hochwald (Kopf 2019)

Thranenbruch 4.3 : stündlicher Pegelwasserstand und Niederschlag



Riedbruch 2.2 : stündlicher Pegelwasserstand und Niederschlag



Überschwemmungsgebiete in unbesiedelten Gebieten haben dann ein gutes natürliches Rückhaltevermögen, wenn sich ein Spitzenabfluss während der Hochwasserentstehungsphase über die gesamte Talsohle ausbreiten kann um die Hochwasserwelle flussabwärts zu verzögern, ohne gleichzeitig einen solchen Rückstau zu erzeugen, der Oberlieger gefährden kann. Daher sollte die Flächennutzung in den Überschwemmungsgebieten die Wasserstandsdynamik in den Tälern widerspiegeln.

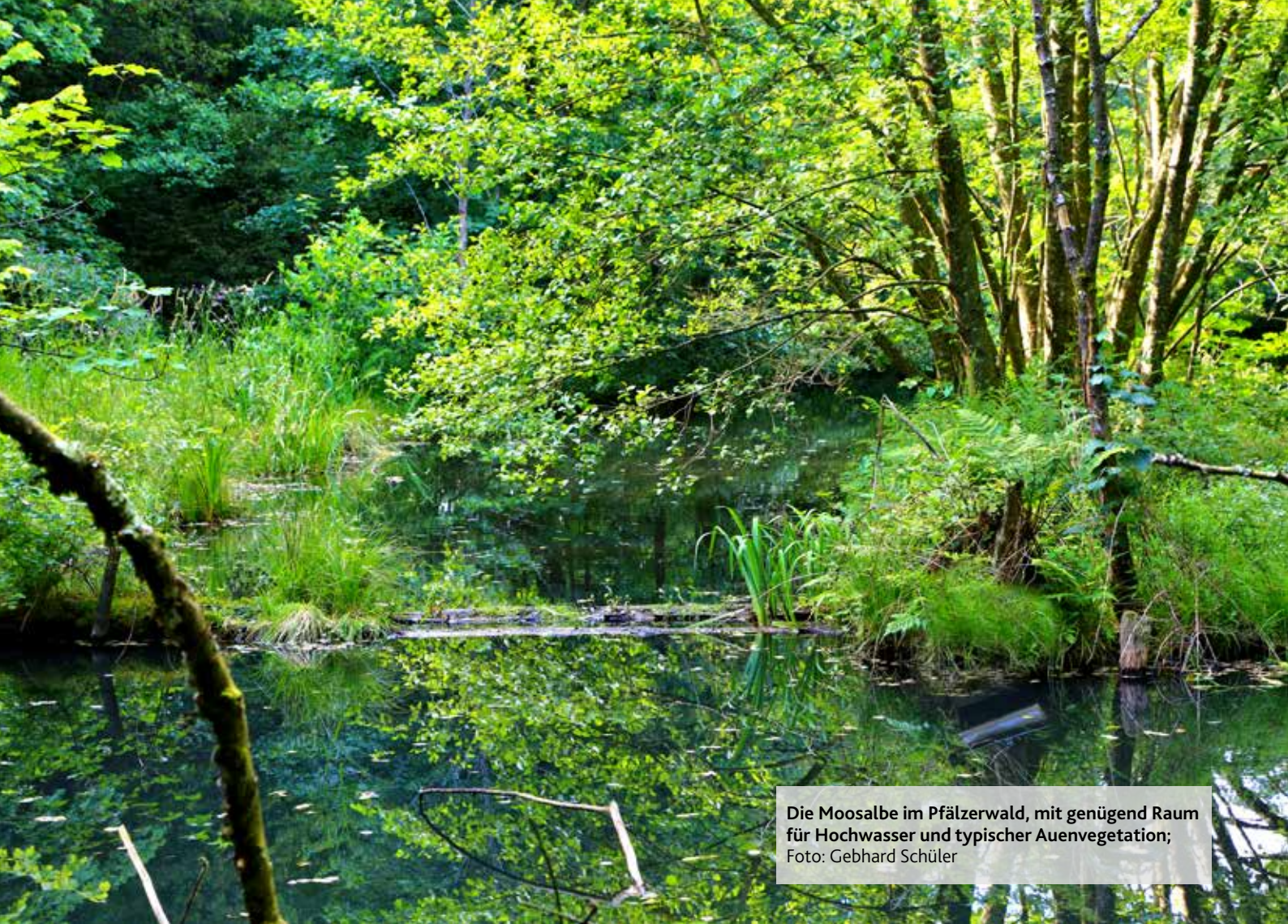
Dem Hochwasserschutz dienen auch künstliche Kleinretentionsräume (Kleinrückhalte), z.B. Wegedämme die ein Fließgewässer kreuzen, Rückhaltebecken oder ehemalige Fischteiche in engen Kerbtälern. In einer größeren Anzahl terrassenartig hintereinandergeschaltete Rückhaltebecken verzögern auch bei nur geringem Einstauvolumen den ungebremsten Abfluss einer Hochwasserspitze. Kleinrückhalte sollten sich allerdings auch wieder antizyklisch zur Wasserwelle entleeren.

Zur Ausnutzung eines effektiven Wasserrückhalte- und -speichervermögens im Wald müssen alle örtlich möglichen Maßnahmen ergriffen werden und zwar beginnend nahe am Ort der Abflussentstehung. Im engen räumlichen Zusammenhang wirkt sich jede Maßnahmenkombination positiv auf die Spitzenabflussminderung aus und Abflusspeaks werden zeitlich entzerrt. Kleinräumlich führt jede zusätzliche Hochwasservorsorgemaßnahme zu einer Verlängerung der Periode, in der Hochwasser zu erwarten ist. Ab einer gewissen Schwelle sind die Hochwasserwellen allerdings so groß, dass selbst die Kombination verschiedener Landnutzungsmaßnahmen nur noch einen untergeordneten Einfluss auf den Gesamtabfluss haben. Ab da schützen nur noch technische Maßnahmen und Vorwarnsysteme. Dieser Schwellenwert hängt von der meteorologischen Situation, vom Standort und seiner Wasserspeicherkapazität, damit vom Boden, von der Geologie, von der Landnutzung und der Landschaftsmorphologie ab.

Die Wirksamkeit von vorsorglichen Wasserrückhaltemaßnahmen in Wäldern muss auch immer im Zusammenhang mit der jeweiligen Beobachtungsebene diskutiert werden.

Das Schlüsselwort ist "verringert", denn wenn großräumige extremklimatische Situationen Hochwasserwellen erzeugen, müssen übergeordnete räumliche Hochwasserschutzplanungen die jeweilige Gefahrenschwelle in Abhängigkeit vom Schadenspotenzial in den Einzugsgebieten prognostizieren und entsprechende Schutzmaßnahmen einleiten können.

Eine sinnvolle Hochwasservorsorge erfordert in allen unterschiedlichen räumlichen Ebenen das Zusammenwirken von Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Weinbau sowie der Raum- und Infrastrukturplanung und -bewirtschaftung im Siedlungs- und Verkehrsbereich in Verbindung mit der Raumordnung in einem echten ökohydrologischen Ansatz.



Die Moosalbe im Pfälzerwald, mit genügend Raum für Hochwasser und typischer Auenvegetation;
Foto: Gebhard Schüler



Der Frankelbach in der Nordpfalz, eingeeengt und verrohrt, kein Überflutungsraum, keine Auenvegetation, Gefahr durch Verkläuserung;
Foto: Hans-Werner Schröck

Anhang 1

Entwicklung der Waldschäden nach Baumarten im Vergleich der Jahre 1984 bis 2022 über alle Alter

Alle Baumarten		Anteile der Schadstufen [in %]						Mittlere Kronenverlichtung
Jahr	Anzahl Probebäume N	ohne Schadmerkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittelstark geschädigt 2	stark geschädigt 3	abgestorben 4	
2022	3696	19,0	39,5	41,4	36,3	3,1	2,0	21,4
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	27,4	48,0	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 %]						Mittlere Kronenverlichtung
Jahr	Anzahl Probebäume N	ohne Schadmerkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittelstark geschädigt 2	stark geschädigt 3	abgestorben 4	
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	27,3	45,7	27,0	25,7	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 %]						Mittlere Kronenverlichtung
Jahr	Anzahl Probebäume N	ohne Schadmerkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittelstark geschädigt 2	stark geschädigt 3	abgestorben 4	
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	47,0	44,0	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 %]						Mittlere Kronenverlichtung
Jahr	Anzahl Probebäume N	ohne Schadmerkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittelstark geschädigt 2	stark geschädigt 3	abgestorben 4	
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 %]						Mittlere Kronenverlichtung
Jahr	Anzahl Probebäume N	ohne Schadmerkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittelstark geschädigt 2	stark geschädigt 3	abgestorben 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	15,3	54,2	30,6	29,4	1,2	0,0	23,6
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 %]						Mittlere Kronenverlichtung
		ohne Schadmerkmale 0	schwach geschädigt 1	Summe deutlich geschädigt 2 bis 4	mittelstark geschädigt 2	stark geschädigt 3	abgestorben 4	
Jahr	Anzahl Probebäume N							
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	43,7	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 Erst-aufforstungen 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.

Im Jahr 2022 sind 2 Aufnahmepunkte mit überwiegend Fichte ausgefallen. An einem der derzeit ruhenden Aufnahmepunkte hatte sich im letzten Jahr die Waldverjüngung soweit entwickelt, dass sich eine gesicherte Waldverjüngung etabliert hatte. An diesem Aufnahmepunkt konnten daher neue Probebäume ausgewählt werden.

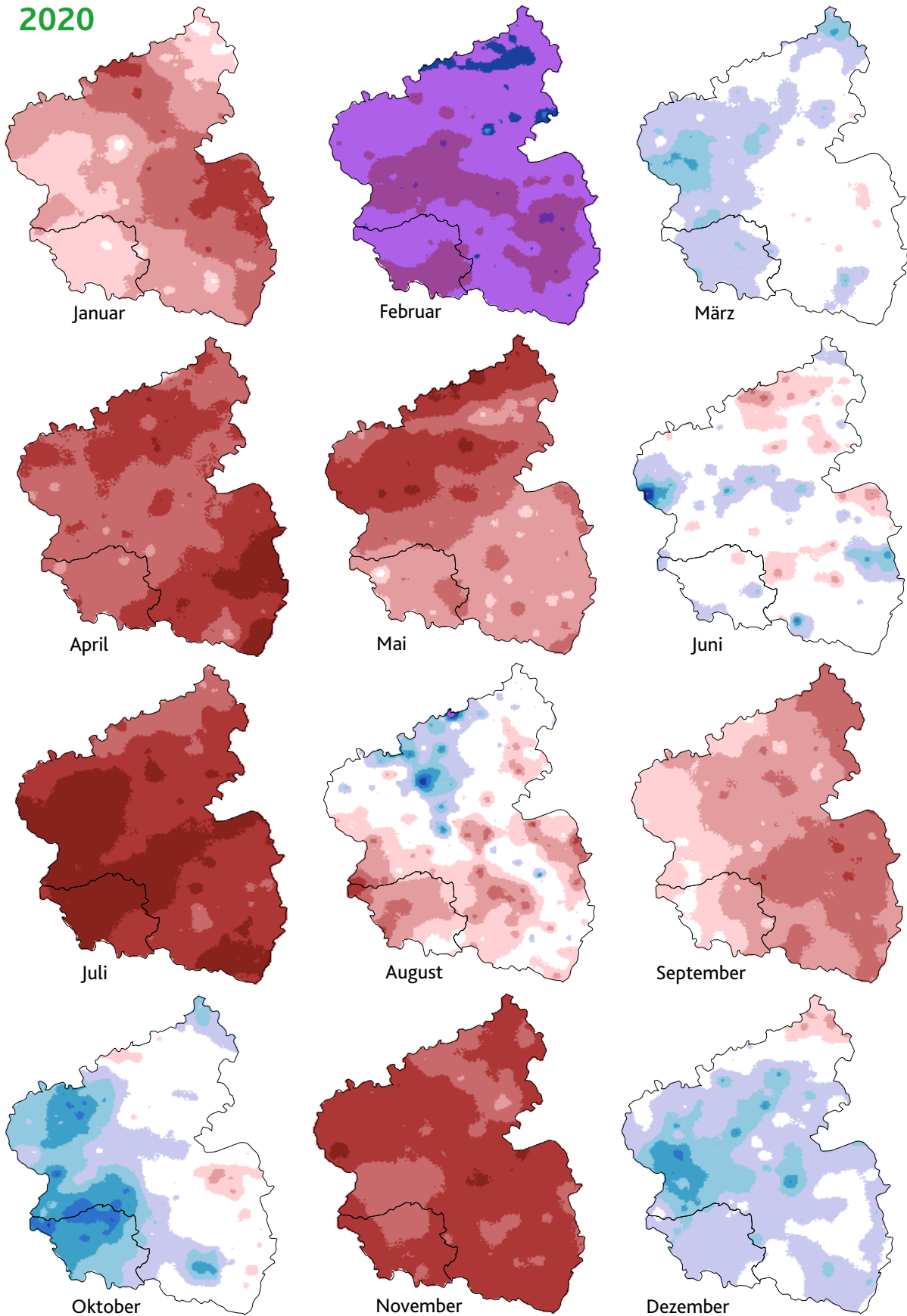
Art (Gattung)	2022 Anzahl	2022 Anteil	1984 Anteil	Anteil nach Forsteinrichtung 2017	Anteil nach Bundeswaldinventur 2012
Buche	836	22,6%	18,7%	30,9%	23,6%
Fichte	741	20,0%	32,9%	18,9%	20,5%
Eiche	697	18,9%	16,8%	16,5%	16,3%
Kiefer	519	14,0%	15,9%	11,6%	6,9%
Douglasie	145	3,9%	3,5%	6,3%	5,0%
Lärche	142	3,8%	3,4%	2,3%	1,5%
Esche	115	3,1%	0,9%	1,0%	1,1%
Hainbuche	106	2,9%	2,2%	3,6%	8,9%
Ahorn	72	1,9%	0,6%	1,5%	2,4%
Birke	65	1,8%	1,2%	2,0%	4,5%
Erle	48	1,3%	0,3%	0,9%	1,6%
Edelkastanie	36	1,0%	0,5%	0,3%	0,4%
Kirsche	34	0,9%	0,3%	0,6%	1,4%
Tanne	34	0,9%	0,6%	0,8%	0,6%
Kulturpappel	25	0,7%	0,5%	0,3%	0,1%
Eberesche	23	0,6%		0,2%	0,7%
Linde	15	0,4%	0,4%	0,2%	0,6%
Roteiche	13	0,4%	0,3%	0,4%	0,8%
Aspe	10	0,3%	0,3%	0,1%	0,8%
Salweide	7	0,2%		0,0%	0,8%
Strobe	4	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%
Elsbeere	3	0,1%		0,0%	0,1%
Robinie	2	0,1%	0,1%	0,2%	0,3%
Faulbaum	1	0,0%			
Mehlbeere	1	0,0%		0,0%	0,3%
Schwarznuss	1	0,0%		0,0%	0,0%
Ulme	1	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
Insgesamt	3696	100,0%	99,7%	98,7 %	99,3 %

Den Fehlbetrag zu 100 % 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

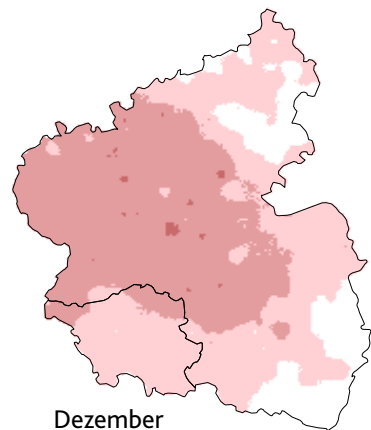
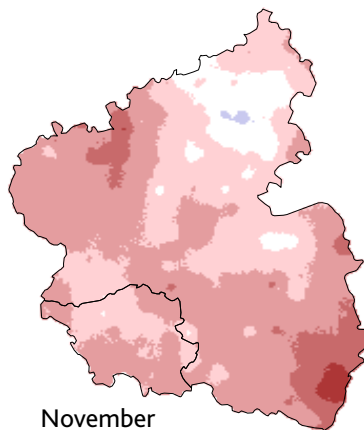
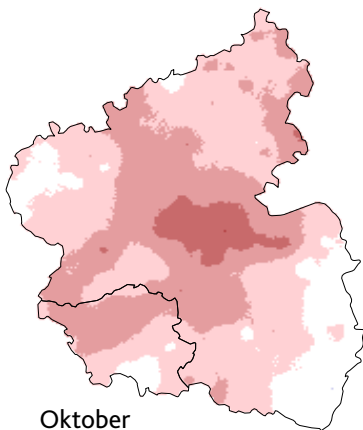
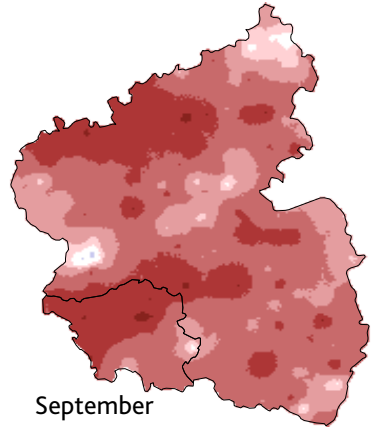
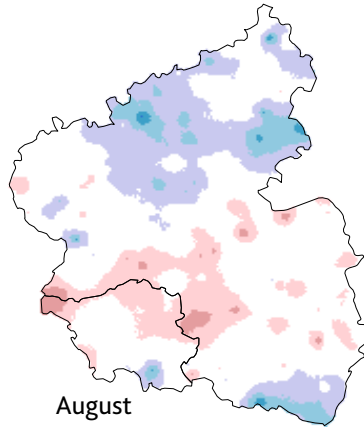
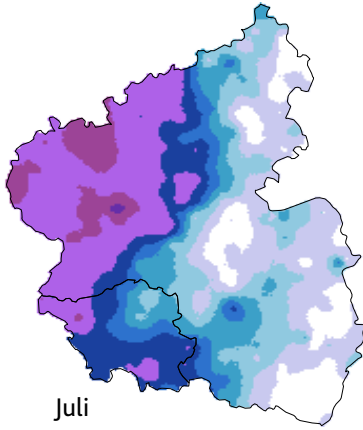
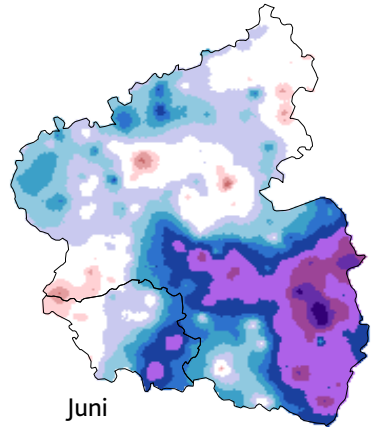
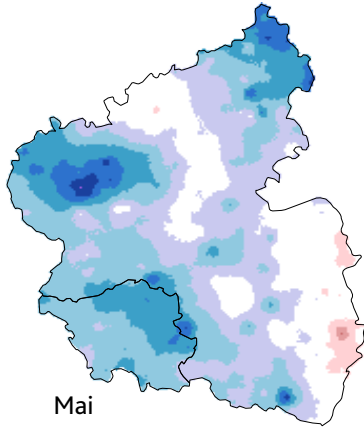
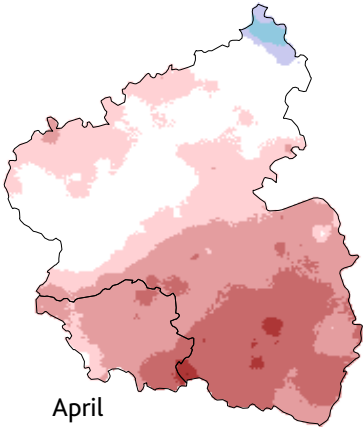
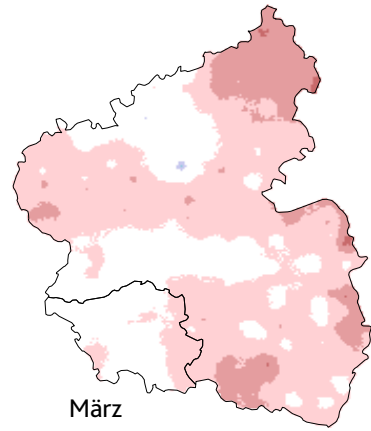
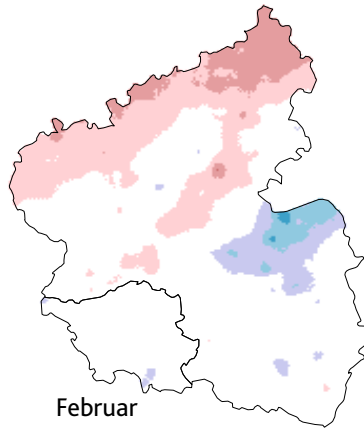
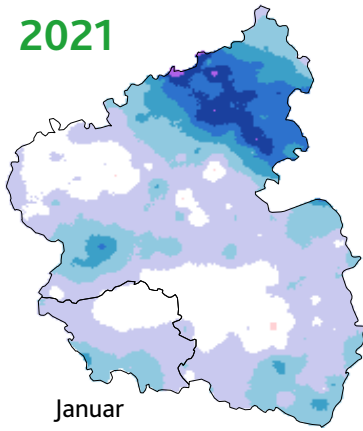
Regionale Abweichung vom Monatsniederschlag in Prozent (Januar bis Dezember)

2020



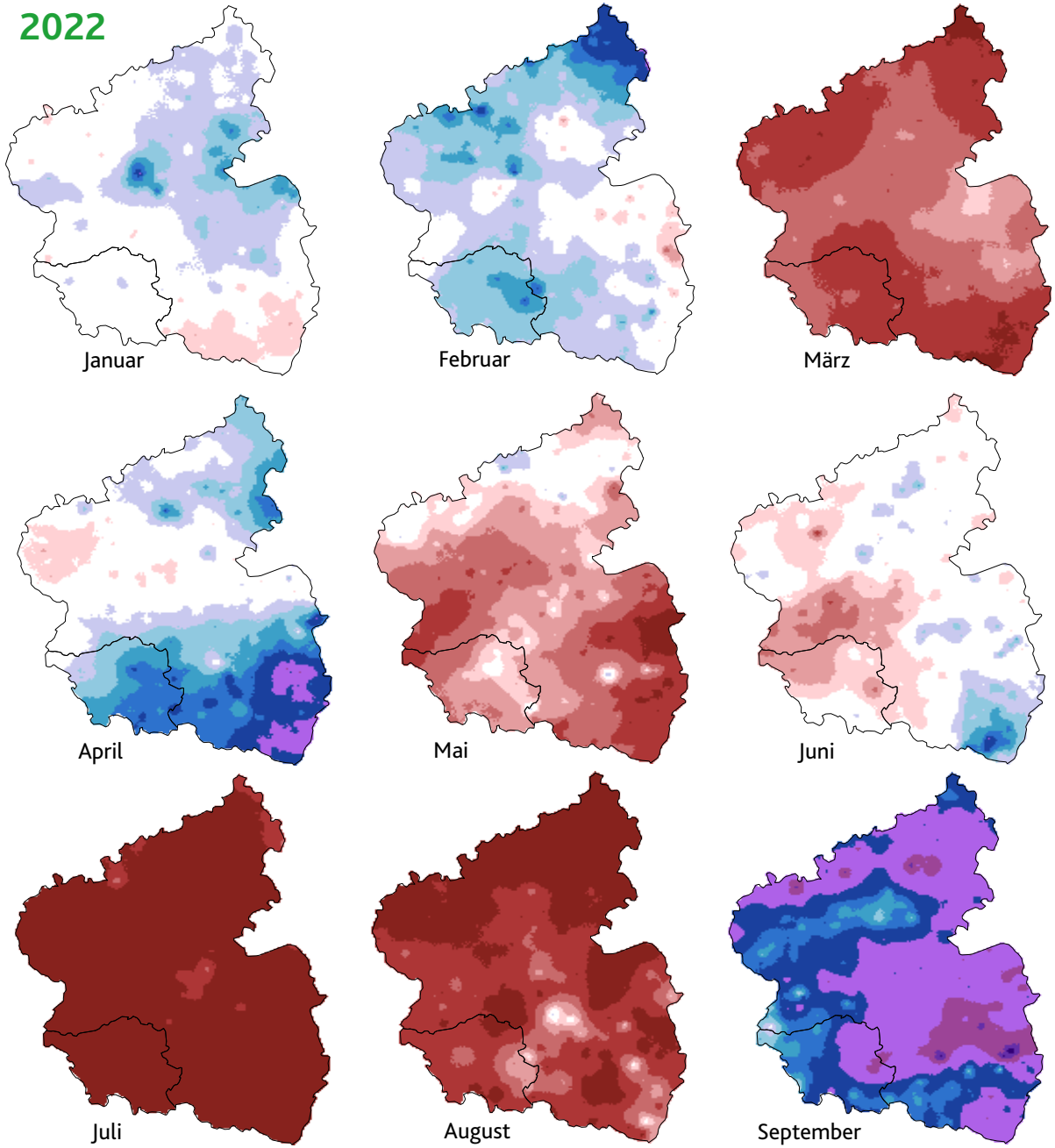
Regionale Abweichung vom Monatsniederschlag in Prozent (Januar bis Dezember)

2021

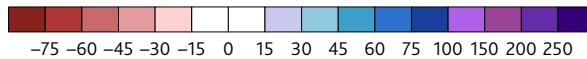


Regionale Abweichung vom Monatsniederschlag in Prozent (Januar bis September)

2022



Abweichung Monatsniederschlag (%)



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	1985	1. und 2. Schwefel-Protokoll zur Rückführung der
Sofia-Protokoll	1988	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 einem 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)	2005	Neufassung vom September 2002
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 Emissionsbegrenzung 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-, Gasturbinen- 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.





Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
KLIMASCHUTZ, UMWELT,
ENERGIE UND MOBILITÄT

Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz

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