

14

Inwieweit stört der Klimawandel die natürliche Entwicklung?

Monitoring und Forschung zur Walddynamik im Nationalpark Hunsrück-Hochwald unter Einfluss des Klimawandels



In Nationalparken soll eine von menschlichen Einflüssen weitgehend freie, natürliche Entwicklung hin zu Wildnis ablaufen. Natürliche Störungen durch Windwurf, Waldbrand oder Borkenkäferkalamitäten sind dabei ein systemimmanenter, wesentlicher Teil der Entwicklungsdynamik. So gesehen wäre der anthropogene Klimawandel ein Störfaktor, der die natürlichen Störungsmuster überlagert und verändert. Doch die Zusammenhänge und Wirkmechanismen sind komplex, und es ist nicht zuletzt eine Frage, welche Stellung dem Menschen im System zugeschrieben wird. Der vorliegende Beitrag will Anstöße geben und sensibilisieren für den Einfluss des menschengemachten Klimawandels auf Entwicklungsprozesse im Nationalpark. Ausgehend von einigen allgemeinen Überlegungen zum Schutzzweck und zu den Einflussfaktoren der Dynamik werden der beobachtete und künftig zu erwartende Klimawandel im Hunsrück-Hochwald beleuchtet. Im Fokus stehen die Veränderung der Waldstandorte, die Perspektiven für die Buche und die Bedeutung des Klimawandels für die Störungsökologie.

Der Autor

Dr. Ulrich Matthes hat Forstwissenschaften studiert und über den Umbau von Fichtenreinbeständen in Mischwäldern aus waldökologischer Sicht promoviert. An der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft hat der Autor Anfang der 2000er-Jahre den Bereich Waldlandschaftsökologie aufgebaut. In die Koordination des Landesprojekts „Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz“ fiel im Jahr 2010 die Gründung des Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, dessen Leitung Ulrich Matthes seitdem innehat.



Einleitung

Nationalparke sind gemäß § 24 Abs. 1 BNatSchG unter anderem zu schützende Gebiete, in denen Naturvorgänge auf der überwiegenden Fläche möglichst ungestört und in ihrer natürlichen Dynamik ablaufen (BfN 2023). Orientiert an der natürlichen Vegetation repräsentiert der Hunsrück-Hochwald unter den deutschen Nationalparken bodensaure Buchen- und Eichenwälder, Blockschutthalden und Hangmoore. Auf mehr als einem Drittel der Gesamtfläche wird die Entwicklung übergangsweise gelenkt (Nationalpark 2021). Langfristig sind die „natürlichen“ Prozesse auf den Kernflächen geschützt, und die Entwicklung ist nur von den natürlichen Umweltfaktoren ohne menschlichen Einfluss abhängig. Doch was ist natürlich? Aus physiozentrischer Sicht kann angeführt werden, dass natürliche Bedingungen im Zeitalter des Anthropozän aufgrund von insbesondere hohen Stoffeinträgen und oft als unnatürlich angenommenen hohen Wilddichten nicht mehr gegeben sind. Hinzu kommt jetzt noch der anthropogene Klimawandel, der über die natürliche Klimavariabilität hinausgeht und die „natürliche“ Dynamik beeinflusst. Noch weitgehend intakte, vom Menschen unbeeinflusste Systeme wiederum können die Folgen des Klimawandels abschwächen. Wildnisgebiete tragen somit zu Mitigation und Adaption bei. Darüber hinaus können sie bei der Bewältigung der Folgen des Klimawandels als Referenz- und Lernräume dienen.

Klima und Klimawandel im Nationalpark

Temperaturanstieg und Niederschlagsentwicklung

Der Naturraum Hunsrück ist geprägt durch ein relativ mildes, subozeanisches Klima. In den höheren Lagen des Nationalparks ist das Klima betont rau, niederschlagsreich und die Sommermonate sind vergleichsweise kühl. Insgesamt reicht der Höhengradient im Nationalpark von 385 bis 816 m über dem Meeresspiegel. Zur Beschreibung des Regionalklimas wurde bislang meist die für den Zeitraum bis Ende des letzten Jahrhunderts gültige Jahresmitteltemperatur von zirka 7,2 °C angegeben. Aufgrund des Klimawandels hat sich dieser Wert bis heute um ca. 1 Kelvin erhöht. Bereits gegenüber der jüngeren Vergangenheit ist die Nationalparkregion damit von einer starken Erwärmung betroffen. Die Jahresmitteltemperatur ist vor allem seit 1980 infolge überdurchschnittlich warmer Jahre mit mehr als 8 °C stark angestiegen. Vergleichen wir den ältesten mit dem jüngsten 30-jhg. Klimazeitraum, hat sich die Temperatur seit 1881 um 1,9 Kelvin auf 8,2 °C

erhöht (Abbildung 1). Die markante Verschiebung zu höheren Temperaturen in den vergangenen 50 Jahren lässt sich anhand des räumlichen Musters der Jahresmitteltemperatur veranschaulichen (Abbildung 2). Im jüngsten Klimazeitraum von 1994 bis 2023 liegen die Werte überwiegend zwischen 7,5 und 8,5 °C. Damit einher gehen neue, bislang unbekannte Temperaturverhältnisse bis 9 °C bzw. stellenweise sogar darüber (orange Rasterzellen), während der kühle Bereich von 6 bis 6,5 °C (blaue Rasterzellen) nicht mehr existiert.

Der Jahresniederschlag ist im Hunsrück-Hochwald seit 1881 im 30-jhg. Mittel um 10% auf 1.102 mm (1994–2024) angestiegen. Sind die 10 trockensten Jahre – abgesehen von einer Häufung um 1890 – über den Gesamtzeitraum verteilt, gab es besonders niederschlagsreiche Jahre konzentriert um das Jahr 2000. Danach jedoch häufen sich niederschlagsarme Jahre. Geringe Niederschläge tragen unter anderem zu landesweit sinkenden Grundwasserständen bei.

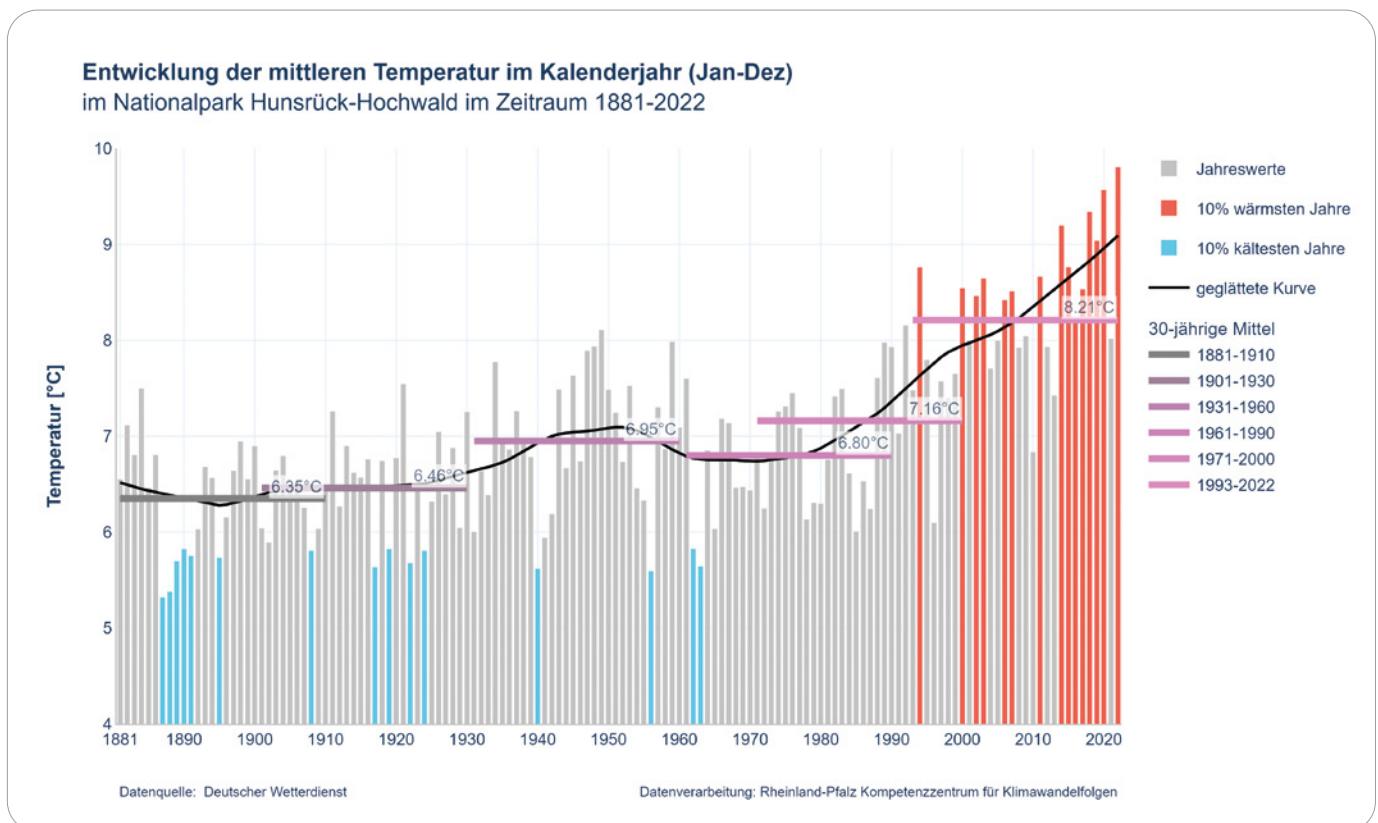


Abb. 1: Entwicklung der mittleren Temperatur im Kalenderjahr von 1881 bis 2022. Besonders warme oder kalte Jahre sind rot bzw. blau eingefärbt. Die angegebenen Zahlenwerte stehen für die in Form von Balken angegebenen 30-jhg. Mittel

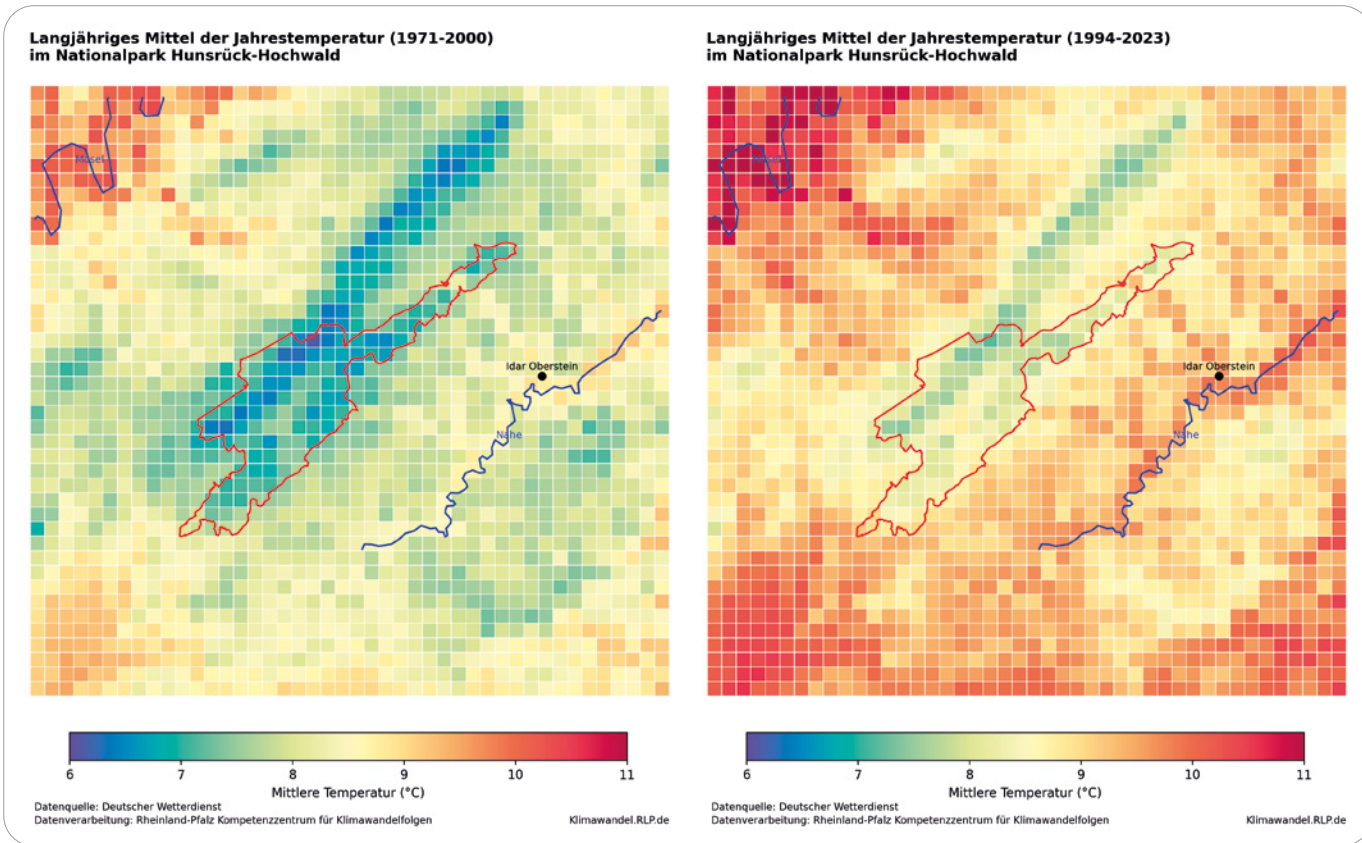


Abb. 2: Langjähriges Mittel der Jahresmitteltemperatur im Nationalpark Hunsrück-Hochwald (rote Linie) für die Vergleichszeiträume 1971–2000 und 1994–2023. Temperaturen dargestellt in Rasterzellen von jeweils 1 x 1 km Größe

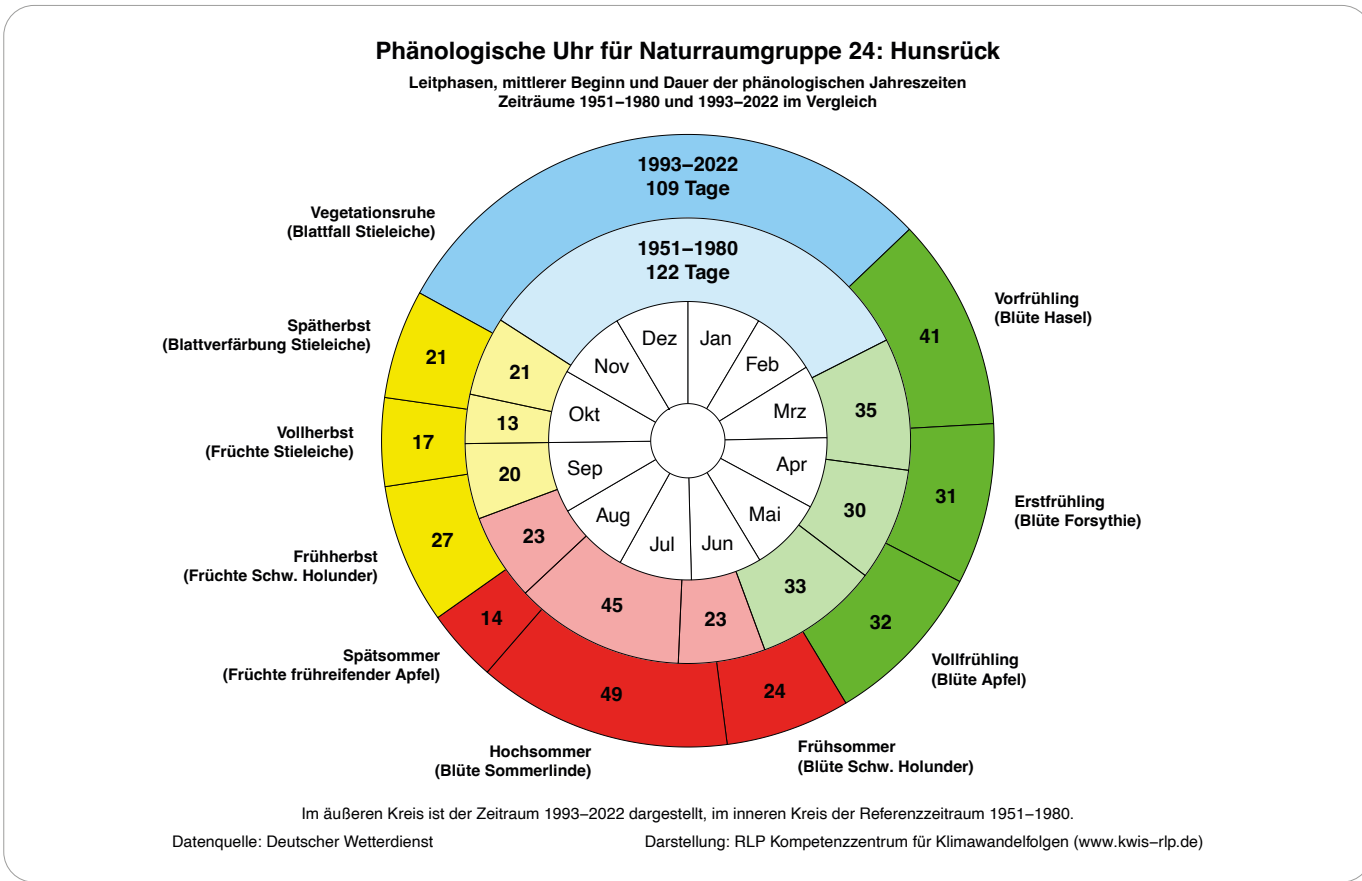


Abb. 3: Mittlerer Beginn und Dauer phänologischer Jahreszeiten anhand von Leitphasen für den Naturraum Hunsrück. Doppelte Phänologische Uhr zum Vergleich der Klimazeiträume 1993–2022 gegenüber 1951–1980

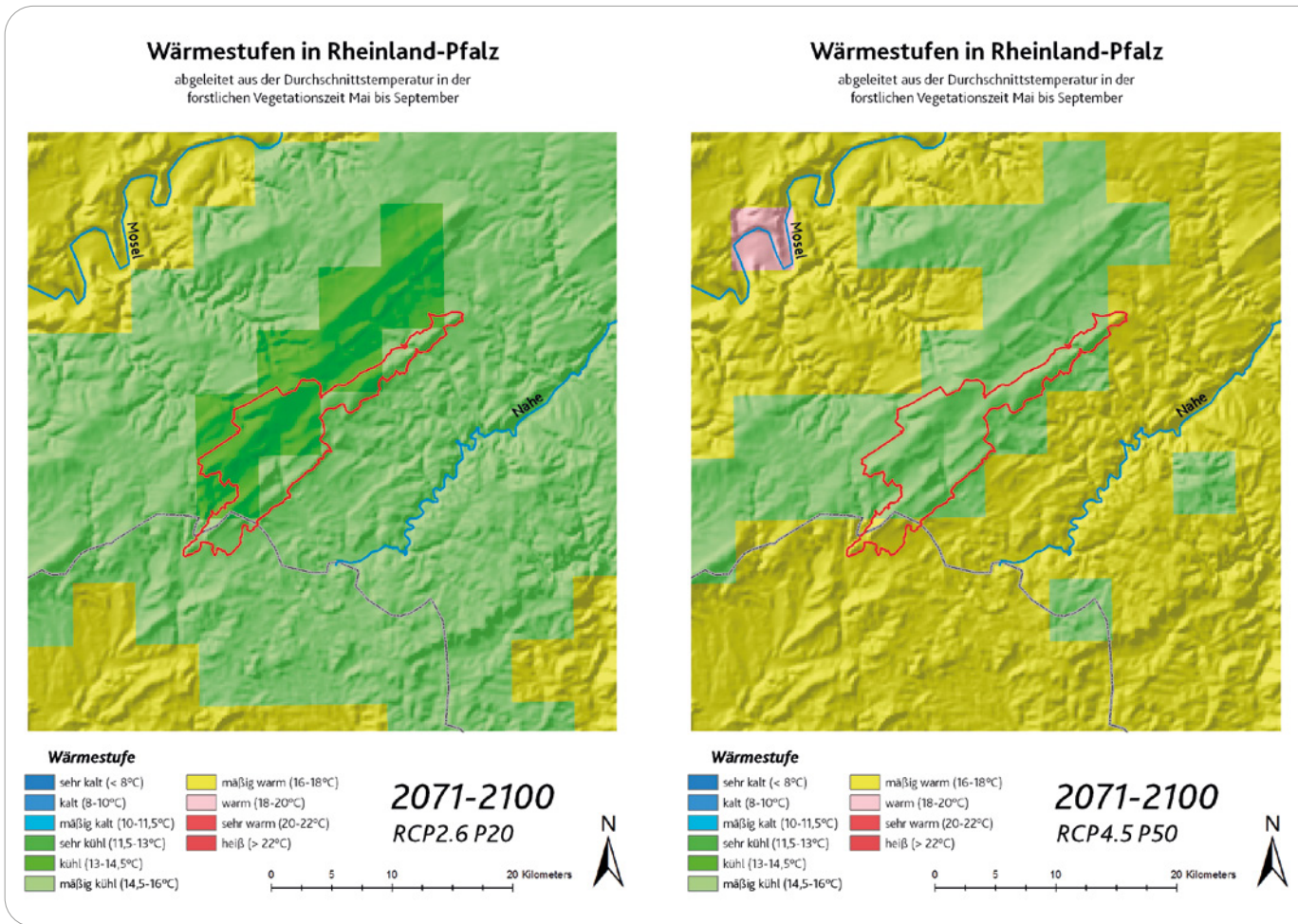


Abb. 4: Entwicklung von Wärmestufen (von sehr kühl bis heiß) im Nationalpark bis Ende 2100 unter der Annahme verschiedener Klimaszenarien (RCP2.6 für Klimaschutz, RCP 4.5 für mittelstarken Klimawandel und RCP8.5 für starken Klimawandel). Das Klimaschutzszenario entspricht weitgehend den Messdaten für die Gegenwart (1989–2018)

Phänologie

Der Klimawandel ist nicht nur messbar, sondern auch in der Natur sichtbar. Der zeitliche Eintritt und die Dauer phänologischer Erscheinungen markieren den Beginn und das Ende von Jahreszeiten. Mit Hilfe phänologischer Uhren lassen sich Veränderungen für unterschiedliche 30-jhg. Klimazeiträume darstellen (Abbildung 3). Im Naturraum Hunsrück hat sich der Winter seit 1951 bis heute um 13 Tage verkürzt. Entsprechend hat sich die Vegetationszeit deutlich verlängert, was in erster Linie aus einem früheren Vegetationsbeginn resultiert.

Extremwetter

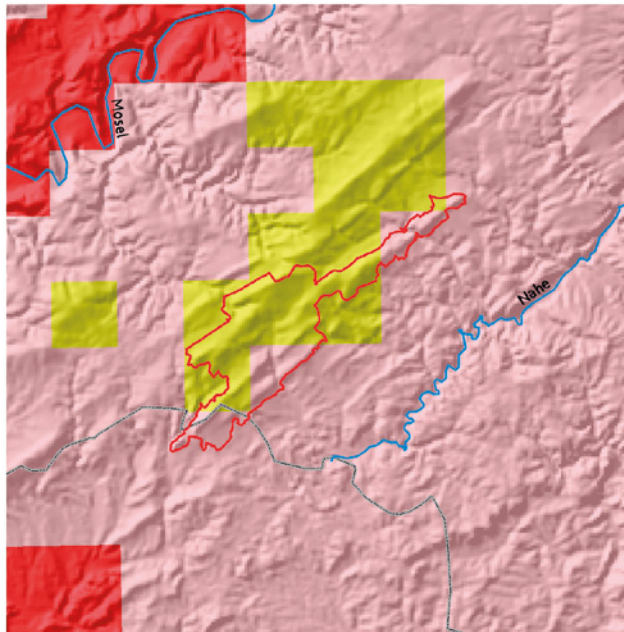
Die globale Erwärmung führt dazu, dass verschiedene Extremwetter-Phänomene wahrscheinlicher werden. Hitze hat weltweit in den meisten Gebieten an Land zugenommen, in einigen Regionen haben auch lokale Starkregen-

ereignisse und Flusshochwasser deutlich zugenommen (Deutsches Klima Konsortium 2022). Im Falle eines starken Klimawandels zeigen die Modelle für Rheinland-Pfalz in der Tendenz eine Zunahme von Tagen mit Starkniederschlag bis Ende des Jahrhunderts. Zeitlich und räumlich höher aufgelöste Klimaprojektionen deuten an, dass die stärksten Ereignisse mit wenigen Stunden Dauer zunehmen werden. Auch mit intensiveren und länger anhaltenden Trockenperioden ist in Rheinland-Pfalz bis Ende des Jahrhunderts zu rechnen. Darauf weist die Anzahl von Tagen ohne Niederschlag hin, welche von 90 bis 95 auf bis 105 Tage pro Jahr ansteigen kann (Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 2020) (RLP-KfK).

Folgen insbesondere von Trockenheit und Hitzebelastung für die Waldvegetation sind Vitalitätsverluste, Wachstumsrückgänge und damit verbunden Reduktion der

Wärmestufen in Rheinland-Pfalz

abgeleitet aus der Durchschnittstemperatur in der forstlichen Vegetationszeit Mai bis September



Wärmestufe

■ sehr kalt (< 8°C)	■ mäßig warm (16-18°C)
■ kalt (8-10°C)	■ warm (18-20°C)
■ mäßig kalt (10-11,5°C)	■ sehr warm (20-22°C)
■ sehr kühl (11,5-13°C)	■ heiß (> 22°C)
■ kühl (13-14,5°C)	
■ mäßig kühl (14,5-16°C)	

2071-2100
RCP8.5 P80

0 5 10 20 Kilometers



Kohlenstoffbindung bis hin zu Konkurrenzverschiebungen. Durch Extremereignisse ausgelöste disruptive Veränderungen haben nicht nur im Wirtschaftswald, sondern auch in Nationalparks relevante sozioökonomische und soziale (Akzeptanz, Wahrnehmung des Landschaftsbildes) Folgen, welche Gegenstand der Forschung sein sollten.

Auswirkungen des Klimawandels für den Wald

Veränderung von Standortfaktoren

Die Standortfaktoren Klima und Boden sowie die topografische Lage bestimmen maßgeblich die an einem Ort vorkommenden Baumarten und Waldgesellschaften. Der forstliche Standort konnte als über lange Zeit vergleichsweise konstante Größe und Planungsgrundlage

angenommen werden. Doch der Klimawandel verändert relevante Standorteigenschaften (Jandl et al. 2019). Die limitierenden Standortfaktoren sind je nach Waldgesellschaft verschieden. Entsprechend wirkt sich auch der Klimawandel unterschiedlich auf die Waldzusammensetzung aus (Pluess et al. 2016). Bislang war zum Beispiel die Temperatur in den höheren Lagen des Nationalparks ein begrenzender Faktor für die wärmebedürftige Eiche. Der Klimawandel bewirkt nun eine spürbare Standortverschiebung zu wärmeren und in der Vegetationszeit trockeneren Böden.

Verschiebung der Wärmestufen

Eine wichtige Kenngröße für die Baumarteneignung und die charakteristischen Waldgesellschaften ist die lokale Wärmestufe. Maßgebend dafür ist die Temperatur in der forstlichen Vegetationszeit. Ende des vergangenen Jahrhunderts war das Nationalparkgebiet noch geprägt von sehr kühlen bis kühlen Verhältnissen. Bereits bis zur Gegenwart (1989 bis 2018) kam es zu einer Verschiebung zu kühlen bis kleinflächig mäßig kühlen Verhältnissen (hier nicht dargestellt). Wie die Abbildung 4 zeigt, würde das aus heutiger Sicht unrealistische Klimaschutzszenario (Karte RCP 2.6) daran wenig ändern. Viel wahrscheinlicher ist jedoch ein mindestens mittelstarker Klimawandel, der zu flächendeckend mäßig kühlen bis vereinzelt sogar mäßig warmen (16 bis 18 °C) Bedingungen in der Vegetationszeit führen würde. Ein starker Klimawandel (RCP8.5), auf dessen Pfad wir uns momentan befinden, würde warme bis sehr warme Bedingungen bewirken. Daraus resultierende Perspektiven für die Zukunft der Buche und die von ihr geprägten Waldgesellschaften werden im nächsten Kapitel diskutiert.

Perspektiven für die Baumart Buche

Für die häufigsten europäischen Baumarten haben Hickler et al. (2011) anhand eines Vegetationsmodells erstmals großräumige Vegetationsdynamiken bis 2085 simuliert. In den meisten Gebieten zeigten sich erhebliche sukzessive Verschiebungen der Vegetationstypen; 31–42 % der Gesamtfläche Europas werden bis zum Jahr 2085 voraussichtlich von einem anderen Vegetationstyp bedeckt sein. Hotspots des Wandels umfassen arktische und alpine Ökosysteme und die Übergangszone zwischen temperierten Laubwäldern und borealen Nadelwäldern. Aufgrund der Lage des Nationalparks im

Zentrum des natürlichen Verbreitungsgebietes der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) (Aas 2022) könnten von der Baumart Buche geprägte Waldgesellschaften auf der überwiegenden Nationalparkfläche mutmaßlich weiterhin und langfristig die potenzielle natürliche Vegetation bilden – vorausgesetzt, der Klimawandel überschreitet nicht ökosystemrelevante Schwellenwerte.

Dass im Nationalpark ein klimatischer Kipppunkt zugunsten eichendominierter Waldgesellschaften erreicht wird, dürfte eher unwahrscheinlich sein. Diesbezüglich identifizierten Mette et al. (2013) in einer Modellsimulation für Mitteleuropa das Überschreiten einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 11–12 °C und jährliche Niederschläge unter 500 bis 530 mm als relevante Schwellen für den Verlust der Buchendominanz. Bei extremem Klimawandel würde zwar die Temperaturschwelle erreicht, die Niederschlagssumme würde jedoch auch in der Zukunft deutlich über dem Schwellenwert liegen. Allerdings könnte die erwartete Umverteilung der Niederschläge mit einer Abnahme im Sommer Auswirkungen auf den Schwellenwert haben. Konkurrenzverschiebungen zugunsten von Eichenwaldgesellschaften sind daher wahrscheinlich.

Einen weiteren Anhaltspunkt für die Zukunftsfähigkeit der Buche gibt eine klimatische Eignungsbewertung, welche bezogen auf Rheinland-Pfalz und das Saarland unter der Annahme eines starken Klimawandels (Klimaszenario RCP8.5) bis Ende 2100 anhand eines erweiterten Klimahüllen-Ansatzes erstellt wurde (zur Methodik siehe Zdf 2022). Für die Buche würden die Klimabedingungen im Nationalpark Ende 2100 nach wie vor „sehr gut“ passen (Abbildung 5). Allerdings sind in den regionalen Klimaprojektionen nur mittlere Veränderungen des Klimas abgebildet und keine Extremwitterung wie Dürreperioden. Wie die massiven Vitalitätsverluste und vereinzelt Absterben an der Buche infolge der extrem trockenen und heißen Jahre zwischen 2018 und 2022 zeigen, sind Extremsituationen meist viel entscheidender für die Baumvitalität, Mortalität und Konkurrenzfähigkeit als langfristige, „schleichende“ Trendentwicklungen. Insofern bilden die Eignungskarten zwar einerseits einen klimatischen „Worst Case“ ab, andererseits sind Extremjahre unzureichend berücksichtigt.

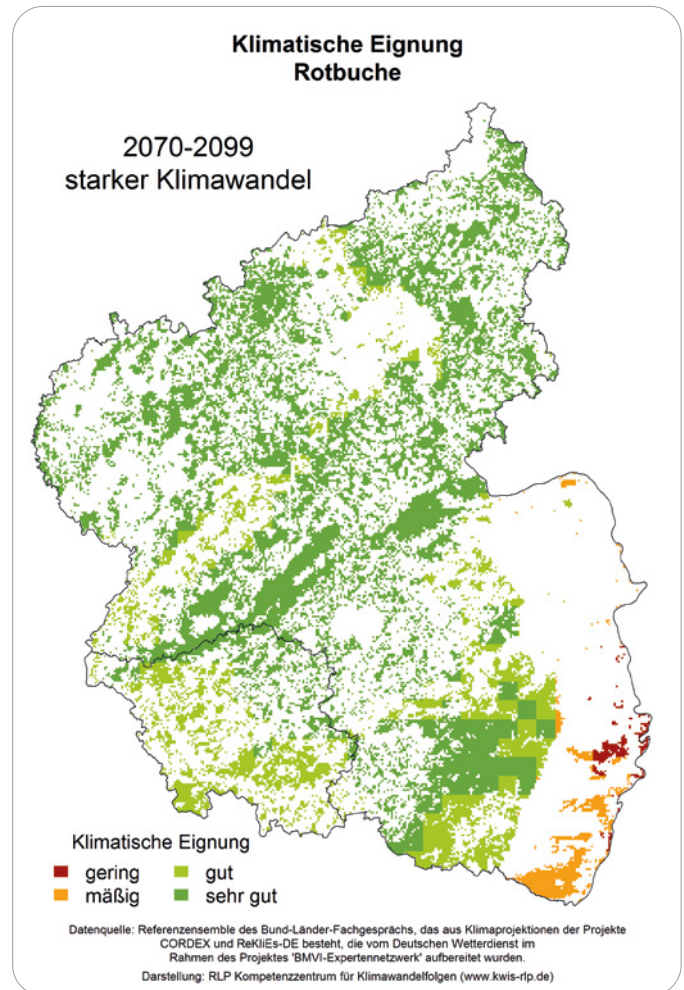


Abb. 5: Klimatische Eignung der Rotbuche in Rheinland-Pfalz und im Saarland bis Ende 2100 bei starkem Klimawandel (Emissionsszenario RCP8.5)

Zur Bedeutung des Mikroklimas in Wäldern

Die beobachteten und künftig zu erwartenden regionalen Klimaveränderungen im Nationalpark spielen sich auf der räumlichen Skala des Meso- bzw. Regionalklimas ab. Große zusammenhängende Waldflächen wie der Nationalparkwald können ihrerseits über Verdunstung sowie Aufnahme und Reflexion von Sonnenenergie das Regionalklima beeinflussen. Im Zusammenhang mit den Trocken- und Hitzeschäden sowie Käferkalamitäten der vergangenen Jahre ist dagegen immer wieder die große Bedeutung des Mikroklimas (horizontale Ausdehnung von bis zu mehreren Hundert Metern) in den bodennahen Luftschichten einzelner Wälder hervorgehoben worden (Zellweger et al. 2020). Dieses ist vom Regionalklima

beeinflusst, wird aber stark von den vorhandenen Oberflächen (Waldtyp, Alter, Beschirmung) und thermischen Eigenschaften bestimmt. Die mikroklimatischen Bedingungen werden sich durch häufigere und zunehmend intensivere Dürreereignisse verschärfen. Diese Entwicklung könnte insbesondere für die erfolgreiche Verjüngung buchendominierter Wälder nach großflächigen Störungen ungünstig sein (Qie et al. 2019).

Im Rahmen der Forschung sollte der Frage nachgegangen werden, wie lokale Standortbedingungen Interaktionen zwischen Kronendachöffnungen und Mikroklima modifizieren (Thom et al. 2023) und wie Verjüngungsprozesse in Abhängigkeit vom Mikroklima und unterschiedlich großen Störungslücken ablaufen (vgl. Rupprecht et al. 2023). Erkenntnisse daraus können eine wertvolle Hilfestellung für die Wiederverjüngung von Schadflächen und den Waldumbau im Wirtschaftswald sein.

Störungsökologie in Zeiten des Klimawandels

Einfluss des Klimawandels auf natürliche Störungsregime

Die Entwicklung des Nationalparks fällt in eine Zeit, in der sich zwei Strömungen des wissenschaftlichen Zweigs der Störungsökologie begegnen: Entwicklung und Forschung zur biologischen Vielfalt, Vegetationsdynamik und Landschaftsökologie werden zunehmend überlagert vom globalen Klimawandel und seinen Folgen. Daraus ergeben sich vielfältige und auch neue Herausforderungen für die Gebietsentwicklung sowie für Monitoring und Forschung (Jentsch et al. 2013). Natürliche Ereignisse wie Waldbrände, Insektenkalamitäten und Windwürfe sind integraler Bestandteil der Ökosystemdynamik in vielen Wäldern der Erde (Seidl et al. 2017; s. a. Jandl et al. 2019). Für die Erneuerung und Dynamik bieten sich hier zweifellos Chancen. „Störend“ sind die Ereignisse insofern, als sie mit einem Verlust oder einer Umwandlung der Biomasse einhergehen (Wohlgemuth et al. 2019) und unter anderem die Struktur, Zusammensetzung und Funktion eines Ökosystems, einer Gemeinschaft oder Population unterbrechen (Seidl et al. 2017). Der Klimawandel verändert

die natürlichen Störungsregime massiv, bis hin zum Verlust der Resilienz und zum Überschreiten kritischer Kipppunkte. Unterschiedliche Störungsregime können auch zusammen auftreten und sich verstärken, wodurch die Mortalität stark und abrupt ansteigen kann (Pluess et al. 2016).

Abiotische und biotische Einflüsse in europäischen Wäldern

Der Klimawandel beeinflusst zunehmend die Dynamik auch in europäischen Wäldern. Die enorme politische Bedeutung von Wäldern kann jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass es an empirischen Langzeitdaten mangelt, um Störungsdynamiken besser zu verstehen und sie befriedigend modellieren zu können (Patacca et al. 2023; vgl. Seidl et al. 2017). Insbesondere in Nationalparks wie im Hunsrück-Hochwald kann ein systematisches, langfristiges Monitoring auf großer Fläche Erkenntnisse liefern, wie sich die Biodiversität und die Kohlenstoffbindung regional-spezifisch unter natürlichen, vom Klimawandel beeinflussten Störungsregimen entwickeln. Nicht zuletzt können daraus wertvolle Erkenntnisse für klimaresiliente Zukunftswälder gewonnen werden (Seidl et al. 2017).

Erkenntnisse aus Naturwaldreservaten

Aus Erhebungen zahlreicher rheinland-pfälzischer Naturwaldreservate ist bekannt, dass sich Wälder nach Aufgabe der Bewirtschaftung sehr unterschiedlich entwickeln können (Balcar 2013). Buchenwälder werden bei zunehmender Buchendominanz häufig zunächst dichter, dunkler, feuchter und dadurch arten- und strukturärmer (Abbildung 6). Die vergleichsweise langsam verlaufenden Entwicklungen können durch abrupte, gravierende Ereignisse wie Windwurf, Schneebruch oder Insektenfraß „gestört“ werden. Die spontan aufkommende Verjüngung ist oft deutlich artenreicher als die Artenvielfalt der Altbestände. Zusammen mit der hohen Totholzbiomasse entsteht ein großer Strukturreichtum, der von einer hohen Arten- und Individuendichte an Pflanzen, Kleintieren und Pilzen begleitet wird. In den bereits länger als 35 Jahre sich selbst überlassenen Reservaten bewirken Totholzvorkommen und besondere Strukturen eine sehr hohe Artenvielfalt und das Vorkommen von seltenen Arten inklusive Urwaldreliktarten (Zentralstelle der Forstverwaltung (ZdF) 2018).



Abb. 6: Natürliche Buchenwälder werden bei zunehmender Buchendominanz häufig zunächst dichter, dunkler, feuchter und dadurch arten- und strukturärmer. Doch werden Buchenwälder aufgrund des Klimawandels auch künftig die prägende Waldgesellschaft sein? Foto: Ulrich Matthes

Chancen für Neophyten

Die Entwicklung von Neophyten (und Neobiota allgemein) ist in Nationalparks ein Forschungs- und Monitoringfeld von zunehmender Bedeutung. Die infolge des Klimawandels zu erwartende forcierte Ausbreitung von Neophyten könnte eine starke Veränderung der Artensammensetzung und der Lebensräume sowie geschützter Gebiete bedeuten. Während höhere Mittelgebirgslagen bislang für die meisten Neophyten eine geringe Habitateignung bieten, werden sich besiedelbare Räume mit dem Temperaturanstieg künftig ausweiten. Insbesondere die Ausbreitung wärmeliebender südländischer Pflanzenarten kann durch die projizierten klimatischen Änderungen gefördert werden (Kleinbauer et al. 2010; s.a. Kowarik 2003). Beobachtungen in Rheinland-Pfalz deuten darauf hin, dass eine Reihe von Neophyten wie die Amerikanische Kermesbeere (*Phytolacca americana*), die Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) oder das Drüsige Springkraut (*Impatiens glandulifera*) direkt vom Klimawandel bzw. damit im Zusammenhang stehenden Veränderungen profitieren (RLP-KfK 2017).

Beitrag von Naturwäldern zum Klimaschutz

Vor dem Hintergrund aktueller klimapolitischer Entscheidungen der EU und der Bundesregierung sind die Kohlenstoffspeicher- und -senkenleistung und folglich Klimaschutzwirkung von Naturwäldern Themen von zunehmender Relevanz und Brisanz (siehe zum Beispiel Luick et al. 2021). Selbst „Old Growth“-Forests (https://en.wikipedia.org/wiki/Old-growth_forest) können bei Ausbleiben gravierender Störungen noch bis zu mehreren Jahr-

hundertern Biomasse akkumulieren und einen von Standort und Waldgesellschaft abhängigen Vorrat an Biomasse aufbauen, bevor auf- und abbauende Prozesse in ein Fließgleichgewicht übergehen und sich Kohlenstoffbindung und -freisetzung nivellieren (Luysaert et al. 2008).

Durch den Klimawandel könnten Wachstumsraten im nördlichen Mitteleuropa in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts deutlich zurückgehen, wie Wachstumssignale der jüngsten Extremjahre andeuten (Scharnweber et al. 2020). Geringere Kohlenstoffbindung und folglich rückläufige Beiträge zum Klimaschutz wären die Folgen. Für Forzierer et al. (2022) sind Limitierungen der Wasservorräte und eine erhöhte Klimavariabilität maßgeblich dafür, dass weltweit seit dem Jahr 2000 die Resilienz und Primärproduktivität in temperierten Wäldern abrupt sinken, und zwar sowohl in natürlichen als auch bewirtschafteten Wäldern. Mit Hilfe räumlich hoch aufgelöster Daten können Forschung und Monitoring im Nationalpark Erkenntnisse liefern, wie und mit welcher zeitlichen Verzögerung Baumarten auf Trockenstress reagieren.

Ausblick Resilienzforschung

In der Zusammenschau sollen besonders relevante Forschungsfragen unterstrichen werden. Zentral sind biogeografische Analysen des Arteninventars unter besonderer Berücksichtigung von Verantwortungsarten sowie seltenen und störungsempfindlichen Arten. Vorkommen und Veränderungen von Arten sollten in Abhängigkeit klimawandelbedingter Standort- und Lebensraumveränderungen einschließlich Veränderungen phänologischer

und physiologischer Aspekte sowie von Interaktionen analysiert und interpretiert werden. Im Mittelpunkt steht als übergeordnetes Forschungsfeld die Untersuchung systemrelevanter ökologischer Prozesse und Veränderungen der Resilienz von Wäldern. Resilienz wird dabei verstanden als Kapazität von Waldökosystemen, natürlichen und anthropogenen Störungen zu widerstehen und sich zu erholen. Beobachtete abrupte Baum mortalität lässt Unterschiede in der Resilienz vermuten. Diesbezüglich wissen wir noch viel zu wenig darüber, wie sich die Resilienz als Reaktion auf den Klimawandel in der Zukunft entwickelt (Forzier et al. 2022).

Auf die Titelfrage, inwiefern der Klimawandel ein Störfaktor ist, können nur langfristige Beobachtungen eine Antwort geben. Unabhängig von wissenschaftlichen Analysen sollten wir als Beobachtende im Nationalpark ein Zitat nie aus den Augen verlieren: „Wildnis heißt umdenken, sich verwandeln, zuschauen und staunen lernen“ (Beate Seitz-Weinzierl).

Im Überblick

- Das Klima hat sich im Nationalpark in den letzten 130 Jahren deutlich verändert. Im Mittel ist die Jahrestemperatur seit 1881 bis heute um 1,9 auf 8,2 °C angestiegen.
- Der Klimawandel verändert relevante Standorteigenschaften, wie die Wärmestufen in der Vegetationszeit.
- Klimamodellierungen deuten darauf hin, dass von der Baumart Buche geprägte Waldgesellschaften auf der überwiegenden Nationalparkfläche auch weiterhin die potenzielle natürliche Vegetation bilden könnten.
- Der Klimawandel verändert die natürlichen Störungsregime. Die Störungsökologie ist ein Forschungs- und Monitoringfeld von hoher und zunehmender Relevanz.
- Der künftige Beitrag von Naturwäldern zum Klimaschutz dürfte aufgrund von klimawandelbedingten Rückgängen der Wachstumsleistung abnehmen. Resilienzforschung kann wertvolle Erkenntnisse auch für Wirtschaftswälder liefern.

Quellen

- Aas, G. (2022):** Die Rotbuche (*Fagus sylvatica*): Verwandtschaft, Morphologie, Verbreitung und Ökologie. LWF-Wissen 86: 7 – 14.
- Balcar, P. (2013):** Wald und Biodiversität. Veröffentlichung im Buch des Rheinischen Vereins für Denkmalpflege und Landschaftsschutz e.V., 12 S.
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2023):** Nationalparke in Deutschland. Online im Internet unter www.bfn.de/daten-und-fakten/nationalparke-deutschland (11.09.2023)
- Deutsches Klima Konsortium (2022):** Was wir heute übers Klima wissen. Online im Internet unter www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/basisfakten-klimawandel.pdf (18.08.2023)
- Forzieri, G., Dakos, V., McDowell, N.G. et al. (2022):** Emerging signals of declining forest resilience under climate change. *Nature* 608, 534–539 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04959-9>
- Hickler, T., Vohland, K., Feehan, J., Miller P.A., Smith, B., Costa L., Giesecke, T., Fronzek, S., Carter, T.R., Cramer, W., Kühn, I., Sykes, M.T. (2011):** Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00613.x>
- Jandl, R., Spathelf, P., Bolte, A., Prescott C.E. (2019):** Forest Adaptation to climate change – non-management an option? <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0827-x>
- Jentsch, M. F., James, P. A., Bourikas, L., & Bahaj, A. S. (2013):** Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable energy*, 55, 514–524.
- Kleinbauer I., Dullinger S., Klingenstein F., May R., Nehring S., Essl F. (2010):** Ausbreitungspotenzial ausgewählter neophytischer Gefäßpflanzen unter Klimawandel in Deutschland und Österreich. BfN-Skripten 275, 74 S.
- Kowarik, I. (2003):** Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa, Ulmer, 380 S.
- Luick, R., Hennenberg, K., Leuschner, C., Grossmann, M., Jedicke, E., Schoof, N., Waldenspuhl, T. (2021):** Urwälder, Natur- und Wirtschaftswälder im Kontext von Biodiversitäts- und Klimaschutz. Teil 1: Funktionen für die biologische Vielfalt und als Kohlenstoffspeicher. *Natur und Landschaft*. 53/12: 12–25.
- Luyssaert, S., Schulze, ED., Börner, A. et al. (2008):** Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213–215 (2008). <https://doi.org/10.1038/nature07276>
- Mette, T., Dolos, K., Meinardus, C., Bräuning, A., Reineking, B., Blaschke, M., Pretzsch, H., Beierkuhnlein, C., Gohlke, A. and Wellstein, C. (2013):** Climatic turning point for beech and oak under climate change in Central Europe. *Ecosphere* 4(12):145. <http://dx.doi.org/10.1890/ES13-00115.1>
- Meyer, P. (2013):** Wie schnell werden Wirtschaftswälder zu Urwäldern? *AFZ/Der Wald* 24/2013: 11 – 13.
- Mosbrugger, V., Brasseur, G., Schaller, M., Stribny, B. (2012):** Klimawandel und Biodiversität. Folgen für Deutschland. WBG, Darmstadt, 430 S.
- Nationalpark Hunsrück-Hochwald (Hrsg.) (2021):** Nationalparkplan. Steckbrief. Modul Gebietsentwicklung. Online im Internet unter www.nlphh.de/hdwcore/uploads/2021/04/02-gebietsentw-steckbrief.pdf (11.09.2023)
- Patacca, M., Lindner, M., Lucas-Borja, M. E., Cordonnier, T., Fidej, G., Gardiner, B., Hauf, Y., Jasinevičius, G., Labonne, S., Linkevicius, E., Mahnken, M., Milanovic, S., Nabuurs, G.-J., Nagel, T. A., Nikinmaa, L., Panyatov, M., Bercak, R., Seidl, R., Ostrogović Sever, M. Z., Schelhaas, M.-J. (2023):** Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology*, 29, 1359–1376. <https://doi.org/10.1111/gcb.16531>
- Pluess, A.R., Augustin, S., Brang, P. (Red.) (2016):** Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptionsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 447 S.
- Qie, L., Telford, EM, Massam, MR et al. (2019):** Drought cuts back regeneration in logged tropical forests. *Environ Res Lett.* <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0783>
- Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (Hrsg.) (2017):** Themenheft Klimawandel – Entwicklungen in der Zukunft, 23 S. Online im Internet unter www.klimawandel-rlp.de/fileadmin/website/klimakompetenzzentrum/downloads/Veroeffentlichungen/Themenhefte/Themenheft_Neophyten_kompr.pdf (11.09.2023)
- Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (Hrsg.) (2020):** Themenheft Klimawandel – Entwicklungen in der Zukunft, 23 S. Online im Internet unter www.kwis-rlp.de/fileadmin/website/klimakompetenzzentrum/downloads/Veroeffentlichungen/Themenhefte/Themenheft_Klimaprojektionen_barrierefrei.pdf (11.09.2023)

Rupprecht, T., Schall, P., Ammer, C. (2023): Lichtbedingungen in abgestorbenen Fichtenbeständen. AFZ/Der Wald 2/2023: 34–37.

Scharnweber, T., Smiljanic, M., Cruz-García, R., Manthey, M., Wilmking, M. (2020): Tree growth at the end of the 21st century – the extreme years 2018/19 as template for future growth conditions. Environ. Res. Lett. 15 074022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab865d>

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M. et al. (2017): Forest disturbances under climate change. Nature Clim Change 7, 395–402 (2017). <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>

Thom, D., Ammer, C., Annighöfer, P., Aszalós, R., Ditrach, S., Hagge, J., Keeton, W.S., Kovacs, B., Krautkrämer, O., Müller, J., von Oheimb, G., Seidl, R. (2023): Regeneration in European beech forests after drought: the effects of microclimate, deadwood and browsing. European Journal of Forest Research (2023) 142:259–273. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01520-1>

Wohlgemuth, T., Jentsch, A., Seidl, R. (Hrsg.) (2019): Störungsökologie. utb, 350 S.

Zellweger, F., De Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M. et al. (2020): Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. Science 368, 772 (2020). DOI: 10.1126/science.aba.6880

Zentralstelle der Forstverwaltung. Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2018): Biodiversität in Buchenwaldnaturwaldreservaten – 30 Jahre nutzungsfreie Waldentwicklung. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 82/18, 179 S. Online im Internet unter <https://fawf.wald.rlp.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=71179&token=708b4635cf4a86d-792ccd07ef0a93701322c9669> (11.09.2023)

Zentralstelle der Forstverwaltung. Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2022): Artensteckbriefe ergänzender Baumarten in Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 89/22: 69 S.