



Fakten zum Thema: Wald und Wassermangel



Die Dürreereignisse der letzten Jahre waren Vorboten der zukünftigen Extreme, die durch den Klimawandel häufiger werden. Der Wald und seine Bewirtschaftung müssen dementsprechend angepasst werden.

TEXT: PETER SPATHELF, MARCO NATKHIN, DOMINIK THOM, HEIKE PUHLMANN, ANDREAS BOLTE, UTE SASS-KLAASSEN, JÜRGEN BAUHUS, TANJA SANDERS

In diesem Artikel erläutern wir die Auswirkungen zunehmender Trockenheit auf Wälder und diskutieren Anpassungsmaßnahmen, um die Leistungen unserer Wälder in Zukunft zu erhalten.

Wie verstärkt der Klimawandel den Wassermangel?

Wasser ist eine grundlegende Ressource für das Wachstum und die Vitalität von Bäumen und Wäldern sowie für die Bereitstellung wichtiger Waldleistungen. Die meisten Baumarten bevorzugen ähnliche Bedingungen: eine ausgewogene, kontinuierliche Wasserversorgung ohne Phasen längerer Trockenheit oder Stauässe in der Vegetationsperiode. Vermehrt kommt es jedoch durch längere Trockenzeiten und die stärkere Verdunstung zu Klimawandel-bedingtem Wassermangel (z. B. in Nordostdeutschland, im Rhein-Main-Gebiet oder Unterfranken) und entsprechendem Stress für unsere Waldökosysteme [1, 2], bis hin zu einer deutlich erhöhten Baum mortalität [3]. Längere Vegetationsperioden und damit einhergehende höhere Verdunstung und ein generell geringeres Wasserdargebot wirken sich auf die Baumartenzusammensetzung und die Struktur unserer Wälder aus, hin zu trockenheitstoleranteren Arten und niedrigeren Bäumen [4]. Der Wasserspeicherfähigkeit des Waldbodens und der Auffüllung dieses Speichers in der Vegetationsruhe kommt daher in Zukunft eine zunehmende Bedeutung zu.

Welche Faktoren beeinflussen den Wasserhaushalt?

Der Wasserverbrauch von Wäldern wird durch das Wasserdargebot limitiert und durch die *Gesamtverdunstung* bestimmt. Das Wasserdargebot resultiert aus den

Niederschlägen, dem Bodenwasserspeicher und gegebenenfalls einem Grundwasseranschluss. Die Gesamtverdunstung setzt sich aus der *Transpiration* und *Interzeption* der Waldvegetation und, zu meist geringen Anteilen, der *Evapotranspiration* der Krautschicht und des Bodens zusammen (vgl. Abb. 1).

Ein direkter Vergleich des Wasserverbrauchs der Baumarten ist oftmals aufgrund unterschiedlicher Bezugsgrößen, Bestandes- und Standortseigenschaften und des Wasserdargebots schwierig [5]. Bei der *Transpiration* variieren die Reinbestände unserer Hauptbaumarten in größerem Umfang [5]. Dabei ist die mittlere spezifische Transpirationsleistung (mittlere tägliche Transpiration je g Blattmasse) von Laubbäumen an warmen und trockenen Tagen höher als die der Nadelbäume und die von Lichtbaumarten höher als die von Schattenbaumarten [5]. In der Jahresbilanz transpirieren jedoch immergrüne Nadelbaumbestände unter warmen Bedingungen auch außerhalb der Vegetationszeit und wegen ihrer deutlich höheren Nadelmasse häufig mehr. Dies trifft allerdings nicht auf die nadelmassearmen Kiefernbestände mit weniger als 200 bis 300 mm pro Jahr zu. So transpirieren Buchenaltbestände etwa 300 bis 370 mm pro Jahr, das sind durchschnittlich etwa 3,0 bis 3,7 Mio. l pro ha (Abb. 1) [5, 9]. Dies ist weniger als bei Fichte, Lärche, Douglasie und Birke mit knapp 400 bis max. 580 mm (Abb. 1) [5, 9]. Bei zusätzlicher Betrachtung der *Interzeption* und der *Evapotranspiration* der Bodenvegetation zeigt sich bei der Kiefer jedoch ein ganz anderes Bild. Die hohe Interzeption sowohl in jungen bis mittelalten dicht bestockten Beständen als auch in Altbeständen mit den Wasserverlusten durch Interzeption und *Evapotranspiration* einer dichten Bodenvegeta-

tion sichert der Kiefer einen Spitzenplatz in der Gesamtverdunstung beim Baumartenvergleich (Abb. 1) [6, 7, 9].

Die trocken-tolerante Kiefer kommt mit den Bedingungen gut zurecht, allerdings bleibt die Tiefenversickerung weitgehend aus, das Ökosystem ist sehr trocken und anfällig für z. B. Waldbrände.

Als weiterer Faktor ist die Speicherung von Niederschlagswasser und Feuchtigkeit in Totholz, Streu- und Humusaufgabe sowie in temporären Schneeaufgaben zu nennen, welche zeitversetzt wieder verdunsten und somit den Bestandeswasserhaushalt beeinflussen [8].

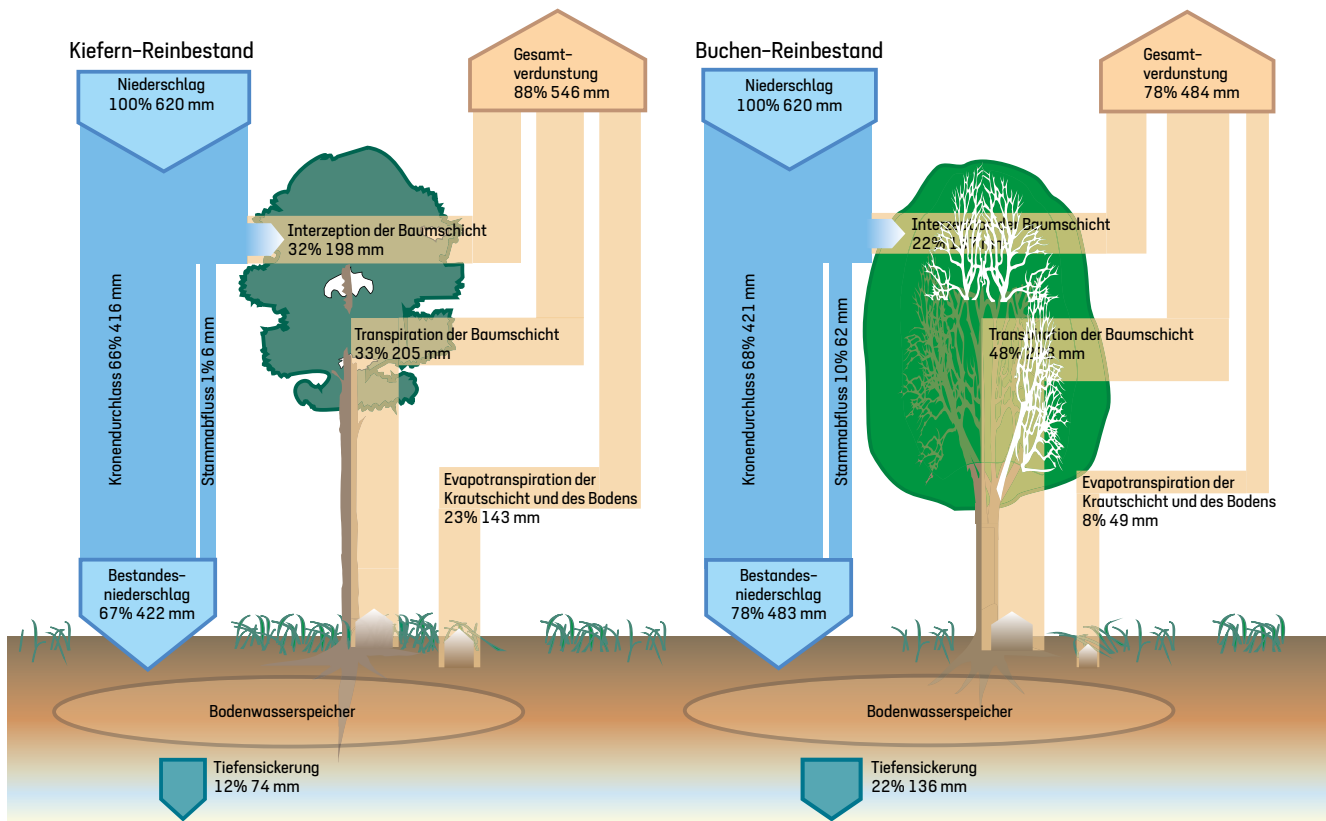
Wie wirkt Wassermangel auf Baumwachstum und -vitalität?

Trockenheit und der damit einhergehende Wassermangel beeinflussen Bäume von der molekularen Ebene bis hin zu dem gesamten Bestand; die Bäume erfahren Stress, es kann zu Vitalitätsverlust, Wachstumsrückgängen und letztendlich auch zu Mortalität kommen [10, 11, 12, 13, 14], dabei verschärfen vorangegangene Stressereignisse die Situation [15]. Weiterhin macht der Wassermangel die Arten anfälliger für verschiedene biotische Schaderreger, aber auch gegenüber Waldbrand.

Wassermangel kann auch zu Ausfällen in der Verjüngung führen, da diese zwar hydraulisch sehr effizient ist, jedoch noch kein tiefes Wurzelwerk gebildet hat [16]. Grundsätzlich variiert die Wirkung je nach Alter der Bäume, nach Jahreszeit des Auftretens (Frühjahr oder Sommer) oder nach Intensität sowie der Häufigkeit (zeitlich aufeinanderfolgende Dürren) [17].

Hauptsächlich wirken zwei Prozesse bei Trockenstress: (1) hydraulisches Versagen (Vertrocknen) [18] und (2) Kohlenstoffmangel (Verhungern) [19]. Hydraulisches

Komponenten des Wasserhaushaltes in Waldbeständen des Tieflandes



Grafik: Thünen-Institut

Abb. 1: Zahlen beispielhaft für einen sandigen Standort bei einem Freilandniederschlag von 620 mm/a, Prozentangaben bezogen auf Freilandniederschlag [9].

Versagen beschreibt den plötzlichen Zusammenbruch des hydraulischen Systems von Bäumen mit Leitfähigkeitsverlust des Holzes/Xylems nach fortschreitender Kavitation [20]. Dies ist zu erwarten, wenn die Wasserverluste durch Transpiration nicht mehr durch die Wasseraufnahme durch die Wurzel und die Stammwasserreserven gedeckt werden können. Durch die hohen Saugspannungen im Stamm reißen die Wassersäulen (Kavitation) in den wasserleitenden Zellen, den Gefäßen und Tracheiden, und die Zellen füllen sich mit Luft (Embolie). Dies führt zum meist irreversiblen Zusammenbruch des wasserleitenden Systems [21]. Ein Zusammenbruch des hydraulischen Systems kann den ganzen Baum betreffen oder auf Teile der Krone begrenzt bleiben.

Kohlenstoffmangel bedeutet ein Defizit an Baustoffen für Wachstum und Energie für alle physiologischen Prozesse und kann auftreten, wenn die Photosynthese stark beeinträchtigt wird oder ganz stoppt. Um Wasserverluste in Trockenperioden zu vermeiden, schließen Bäume die Spaltöffnungen (Stomata) ihrer Blät-

ter (Nadeln). Damit wird weniger Wasser verdunstet, aber im Gegenzug kann auch kein CO₂ für die Photosynthese aufgenommen werden. Die Produktion von Zuckern wird gestoppt, was zu einer anhaltend negativen Kohlenstoffbilanz auch über längere Zeiträume führt [19]. Es ist bekannt, dass trockenheitsbedingte Mortalität infolge hydraulischen Versagens bei allen Baumarten auftritt, während Kohlenstoffmangel häufig keine universelle Rolle spielt [22]; wahrscheinlich ist jedoch, dass bei längeren Trockenheiten eine Kombination aus beiden Faktoren bei einigen Baumarten fatal werden kann [23, 24].

Besonders Baumarten wie z. B. Fichte und Kiefer neigen dazu, ihre Spaltöffnungen relativ schnell zu Beginn von Dürreereignissen zu schließen. Die Buche hingegen hält ihre Spaltöffnungen länger geöffnet, was möglicherweise auf eine höhere Resistenz gegen Kavitation zurückzuführen ist [25]. Hydraulisches Versagen und Absterben tritt gemäß [26] bei Laubbaumarten erst bei fast vollständigem Verlust der hydraulischen Leitfähigkeit auf. Bei Nadelbäumen ist dies

deutlich früher bei etwa halbiertem Leitfähigkeit der Fall, was einer Bodenwasserverfügbarkeit entspricht, die unter einen kritischen Schwellenwert von 20 % der nutzbaren Wasserspeicherkapazität fällt [27, 28].

Wassermangel bremst generell das Baumwachstum. Insbesondere für die Wälder in den tieferen Lagen (planare und kolline Stufe) Mitteleuropas, die besonders von (multiplen) Trockenjahren betroffen sind, ist mit teilweise starken Zuwachsrückgängen zu rechnen. Modellberechnungen, basierend auf dem Simulationsmodell ForClim, gehen von einer sinkenden Produktivität der Wälder in den Tieflagen der Schweiz zur Mitte des 21. Jahrhunderts aus [29, 30]. Schließlich kann auch eine mögliche Veränderung der Baumartenzusammensetzung aufgrund des Klimawandels, z. B. von bisher wuchskräftigen Nadelbaumarten hin zu wenig produktiven Laubholzarten oder gar mediterranen Eichenarten wie der Zerreiche, zu einer Verringerung von Produktivität und Wertleistung führen [31].



Wie können sich Bäume an Wassermangel anpassen?

Bäume können sich an Wassermangel anpassen, indem sie etwa (1) Wasserverluste durch eine xeromorphe Blattarchitektur (z. B. Behaarung) minimieren, (2) ihre Wuchshöhe und Blattfläche reduzieren, (3) hydraulisches Versagen durch effiziente Wasserleitung oder Verstärkung der Zellwände von Gefäßen und Tracheiden verhindern oder (4) die Wasseraufnahme durch intensive Bewurzelung verbessern [32]. Ist der Trockenstress dauerhaft zu hoch, kommt es zu Arealverlusten von Baumarten, so wie zum Beispiel bei der Waldkiefer in den inneralpinen Trockentälern (Rhône und Vinschgau) [33]. Obwohl eine epigenetische Anpassung der Nachkommen von unter Wassermangel leidenden Individuen im schweizerischen Rhônetal nachgewiesen wurde [34], wird die Waldkiefer unterhalb von 1.000 m über NN nach und nach durch die Flaumeiche ersetzt [35]. Die Grenzen der Anpassung führen zu einer Abnahme der Konkurrenzfähigkeit.

Einzelne Individuen einer Baumart können sich in ihrer Trockenheitstoleranz deutlich unterscheiden und auf unterschiedliche Strategien im Umgang mit Trockenheit setzen [36]. Generationsübergreifend können diese Unterschiede zur Ausbildung stärker an Trockenheit angepasster lokaler Populationen bzw. Herkünfte einer Baumart führen, wenn immer wieder die trockenheitsempfindlichen Baumindividuen ausselektiert werden und so nur trockenheitstolerantere Bäume ihren Genpool an die Folgegeneration weitergeben (evolutionäre Anpassung). Dies erfolgt insbesondere an den trockenheitsbestimmten Arealgrenzen der Baumarten [25, 26]. Die größten Unterschiede in der Anpassung an Wassermangel bestehen aber zwischen verschiedenen Baumarten.

Heute noch seltene heimische Baumarten wie z. B. der Spitz- und der Feldahorn oder die Sorbusarten Elsbeere und Speierling zeigen häufig in dendroökologischen Studien eine hohe Trockenstress-Toleranz [37]. Aber auch die Hauptbaumarten weisen deutliche Unterschiede auf. So variiert die mittlere Wachstumsreduktion während der Dürre 2018 bis 2020 in einer Studie für Bayern zwischen 43,3 % (Gemeine Fichte), 33 % (Waldkiefer), 19 % (Stieleiche) und 15,2 % (Rotbuche) [38].

Wie kann Management die Problematik verringern?

In bestehenden Wäldern stellt die Konkurrenz um knappe Bodenwasserressourcen einen wichtigen Faktor für Trockenstress in Bäumen dar. Konkurrenzreduktion durch Waldpflege mindert daher die Effekte von Trockenheit [39]. Die im Wege einer Durchforstung freigestellten Fichten mit längeren und größeren Kronen erholten sich nach Trockenperioden schneller als nicht freigestellte, meist weniger vitale Fichten mit kleineren Kronen. Auch Kiefern zeigen eine höhere Resilienz im Wachstum, wenn sie früh durchforstet werden, wie eine Untersuchung von Bäumen in der Oberrheinebene in Baden-Württemberg gezeigt hat [40]. Gleichzeitig können starke Auflichtungen des Kronendaches zu einer Verringerung der mikroklimatischen Pufferwirkung bei Witterungsextremen führen, wodurch insbesondere die Verjüngung gefährdet werden könnte [41]. Eine mögliche Lösung stellt die Bewirtschaftung nach dem Verfahren des Qualifizierens und Dimensionierens (QD-Verfahren) dar, bei dem Auswahlbäume (Wertträger) freigestellt werden, wodurch Ressourcen auf einzelne Bäume gelenkt werden und der umliegende Bestand erhalten bleibt. Auch die gestaffelte Durchforstung (intensiv im Jugendalter, nachlassend in Altbeständen) ist geeignet, Bäume zu fördern, wenn sie besonders reaktiv sind; in Alt-

beständen hingegen soll weniger in den Bestandesschluss eingegriffen werden [42]. Andererseits zeigen Beobachtungen nur geringe Dürrefolgen in Mittelwäldern mit freigestellten Oberstämmen [43, 44]. Die geringen Schäden an der exponierten Unterschicht lassen sich hier womöglich durch die geringen Baumhöhen bei gleichzeitig großer Wurzelmasse erklären [45]. Die möglichen Vorteile des QD-Verfahrens und der Mittelwälder während Dürren müssen aber erst noch wissenschaftlich überprüft werden.

Mehr Optionen der Waldanpassung bieten die Integration alternativer, trockenheitsangepasster Baumarten und die Nutzung angepasster Herkünfte bzw. Populationen vorkommender Baumarten. Unter dem Begriff „Assisted Migration“ bzw. „Assisted Geneflow“ wird der Transfer von Baumarten oder Baumherkünften entlang eines Klimagradienten z. B. von trocken-heißen südlicheren Regionen in (noch) kühlere nördliche Regionen verstanden, im Sinne einer potenziellen Wanderung der Arten entlang der Verschiebung ihrer klimatisch bedingten Lebensräume [46, 47, 48]. Dies umfasst den Transfer von Baumartenherkünften innerhalb ihres Verbreitungsgebiets (z. B. Buchenherkünfte vom Balkan nach Mitteleuropa), die Ausweitung des Verbreitungsgebiets von Baumarten nach Norden (z. B. Flaumeiche nach Norddeutschland) sowie die Einbringung exotischer Baumarten anderer Kontinente (z. B. Baumhasel aus Asien oder Altaszeder aus Afrika). Wichtig sind dabei die gründliche Erforschung der Optionen und Grenzen eingeführter Baumarten und Herkünfte sowie die gezielte Erprobung in umfassenden Versuchsanbauten, um eine unerwünschte Fehlanpassung und eine Invasivität neuer Arten zu vermeiden. Eine breite Kombination der Optionen von „Assisted Migration“ mit den Möglichkeiten heute heimischer Baumarten und Einzelindividuen mit höherer Trockenheitsanpassung liefert eine Basis für eine Anpassung der Wälder an dynamische Klima- und Umweltveränderungen.

Wie können Aufbau und Bewirtschaftung das Waldinnenklima beeinflussen?

Wälder können je nach Typ (Nadelwald, Laubwald), Aufbau (horizontale und vertikale Waldstruktur) und Nutzungsform (z. B. Altersklassenwald mit Kahlschlagver-

Schneller ÜBERBLICK

- » Die Beimischung von trockenstresstoleranten Baumarten unter Berücksichtigung zukünftiger Baumartenareale erhöht die Resilienz der Wälder gegenüber Wassermangel
- » Eine lediglich vorsichtige Öffnung des Bestandesschirmes bei Verjüngungshieben, insbesondere in Buchenwäldern, reduziert das Risiko von Trocken- oder Hitzeschäden an Altbäumen
- » Die Beimischung von winterkahlen Laubbäumen in Nadelbaumbestände verbessert die Wasserversorgung der Waldbestände

jüngung vs. Dauerwald) (Extrem-)Temperaturen abpuffern und damit das Waldinnenklima beeinflussen. Die Beschattung und die Verdunstungskühle durch erhöhte Evapotranspirationsleistung sind hier ausschlaggebend [49].

Von Arx et al. [50] maßen Temperaturdifferenzen von bis zu 5 °C (tägliche max. Lufttemperatur) in Beständen mit intakten Kronen im Vergleich zu Freiflächen auf Dauerbeobachtungsflächen in der Schweiz. Auch die Luftfeuchte in den Beständen mit Kronendach war höher als in Beständen ohne Kronendach. Die stark gedrosselten Windgeschwindigkeiten im Inneren von relativ geschlossenen Beständen können dazu beitragen, dass feuchte Luftpakete langsamer abtransportiert werden und somit die Verdunstung verringert ist. Die mikroklimatische Pufferwirkung des Waldes bei Wetterextremen war besonders ausgeprägt in schattentoleranten Laub- und Nadelwäldern, jedoch vergleichsweise niedrig in Kiefernwäldern [50]. Das Ausmaß der Kronendachöffnung (canopy openness) bei der Waldverjüngung und seine Wirkung auf die Temperatur-Pufferung wird deshalb zunehmend diskutiert. Insbesondere kleinflächige Femel- oder Lochhiebe (z. B. bei einem Verhältnis Lückendurchmesser zur Baumhöhe des umgebenden Bestandes ≤ 1) führen hier zu einer lediglich geringen Temperaturerhöhung in der Lücke [49]. Thom et al. [41] maßen im Bayerischen Wald einen Temperaturunterschied in den Sommermonaten zwischen Lochhieben und intakter Überschilderung von 1,9 °C bei einer Lückengröße von 625 m². Ein Vergleich der Pufferwirkung eines Kiefernwaldes mit der eines Buchenwaldes auf der Intensivmonitoringfläche Britz des Thünen-Instituts Eberswalde zeigte, dass im Buchenwald am wenigsten Hitzetage vorkommen und die Durchschnittstemperatur an den Hitzetagen dort geringer ist [51]. Vor allem die bodennahe Lufttemperatur wird mit Zunahme der Temperaturen besser gepuffert, insbesondere bei der Buche.

Werden Parameter der Bestandsstruktur analysiert, so hat die Kronendachöffnung den größten Effekt auf die Temperaturpufferwirkung [52, 53]. Im Gegensatz dazu hat Baumartendiversität nur einen marginalen direkten Effekt auf das Waldinnenklima [53, 54]. Eine Studie aus dem Nationalpark Berchtesgaden zeigt, dass die Pufferwirkung bei Temperaturextremen während der Etablierungs- und Opti-

„Eine aktive Waldbewirtschaftung mit Pflegeeingriffen, v. a. in jüngeren Entwicklungsphasen des Waldes, und vorsichtigen Verjüngungshieben führt zu vitalen Bäumen und entspannt die Wasserhaushalts-situation.“

PETER SPATHELF

malphase besonders hoch ist, wohingegen es in Lücken sowie während Terminal- und Zerfallsphasen wärmer ist [55]. Dies deutet auf eine schnelle Erholung des Waldinnenklimas nach Störungen hin.

Auch globale Studien bestätigen diese moderierende Wirkung des Wald-Kronendaches [56, 57]. Ein geschlossenes Kronendach puffert starke makroklimatische Veränderungen und führt zur Verlangsamung von Veränderungen in der Artenzusammensetzung des Ökosystems, während starke Kronendachöffnungen die Veränderung beschleunigen. Diese puffernde Wirkung scheint sich zu verstärken, je stärker die Temperaturextreme werden.

Welche Maßnahmen können den Wasserhaushalt verbessern?

Die Forstwirtschaft hat die Möglichkeit, durch Management den Bestandesniederschlag (Kronendurchlass, Stammabfluss) und die Verdunstung (Interzeption, Transpiration, Evaporation) in Wäldern als wachstumsrelevante Faktoren des Gesamtwasserhaushaltes zu beeinflussen [58]. Wichtige waldbauliche Stellschrauben sind hierbei (1) die Regelung der Bestandesdichte bzw. des Kronenschlussgrads, (2) die Baumartenwahl und -mischung sowie ihre Auswir-

kungen auf die vertikale und horizontale Strukturierung der Bestände sowie die Durchwurzelungstiefen und (3) die Totholzanzreicherung. Gelangt dadurch ein höherer Anteil der Niederschläge in den Boden und wird eine schnelle Tiefensickerung durch ausreichend organische Substanz in der Auflage und im Mineralboden verhindert (Abb. 1), stehen den Bäumen insbesondere in Trockenperioden mehr Wasserressourcen zur Verfügung. Mit Zunahme des Kronenschlusses der Waldbestände und der Blattfläche steigt die Gesamtverdunstung (Interzeptionsverdunstung und Evapotranspiration). In einem geschlossenen Bestand kann dadurch der sommerliche Niederschlag vollständig verdunstet werden. Im Winter hingegen nimmt der Anteil der Evapotranspiration vor allem bei sommergrünen Laubbäumen ab, während der Stammabfluss und die Kronentraufe ansteigen, womit 80 bis 90 % des Freilandniederschlags den Boden erreichen [59]. Die gerade in winterkahlen Laubwaldökosystemen stark schwankende intraannuelle Wasserbilanz ermöglicht deshalb zu Frühjahrsbeginn und nach der Schneeschmelze die höchste Bodenwasserauffüllung.

Aus forsthydrologischer Sicht ist deshalb die verstärkte Beimischung von Laubbaumarten in nadelbaumdominierte Bestände empfehlenswert, ebenso die moderate Vorratshaltung in älteren Nadelbaum-Beständen zur Reduktion der Bestandesdichte. Dies betrifft vor allem Fichten-dominierte Bestände, aber auch die stammzahlreichen mittelalten Kiefernreinbestände in Nordostdeutschland mit ihren erheblichen Interzeptionsverlusten, die in Mischwäldern umzubauen sind (vgl. die umfangreichen Untersuchungen von Müller 2019) [9]. Die Verringerung der Bestandesdichte in Wäldern kann daher zu einer Entspannung der Wasserhaushalts-situation der verbleibenden Bäume führen [60, 61].

Bei der Mischung von Baumarten bewirken die Eigenschaften der jeweiligen Mischbaumart eine Erhöhung oder Verringerung des Wasserverbrauches. So hat die Buche zwar eine höhere Transpiration je Splintflächeneinheit im Stammquerschnitt als die Fichte, liegt aber mit ihrem hohen Stammabfluss von bis zu 20 % deutlich über den 5 % Stammabfluss, der für andere Baumarten gemessen wurde. Im Vergleich zur Buche ist die Interzeption bei der Fichte auf-



grund der vielen Nadeln bei vergleichbarem Blattflächenindex höher [5]. Die häufig höhere Kronenrauigkeit führt im Mischbestand zu einer stärkeren Transpiration und Interzeption als im Reinbestand [59]. Echte positive Mischungseffekte auf die Wasserversorgung bestehen z. B. in Form des sogenannten „Wasserlifts“ in Eichen-Buchen-Mischbeständen, also der Wasseraufnahme der Eiche aus tieferen Bodenschichten und der Wasserabgabe in die oberen Bodenschichten zugunsten der flacher wurzelnden Buche [62]. Auch wenn dieser Effekt in der Literatur grundsätzlich beschrieben ist, gibt es insgesamt nur sehr wenig Information darüber, auf welchen Standorten er auftritt und in welcher Größenordnung der Trockenstress bei den davon profitierenden Baumarten abgemildert wird.

Als nicht zu vernachlässigendes Wasserreservoir in Wäldern kann das mit Bodenkontakt liegende Totholz gesehen werden. Totholz, insbesondere von größerer Dimension, speichert Niederschlagswasser und setzt Wasser im Zuge der Dekomposition von Holz durch Pilze und Bakterien frei [63, 64].

Von zentraler Bedeutung ist in Zukunft, neben der Sicherung der Wasserspeicherefähigkeit des Bodens, auch die Sicherung eines ausreichenden Landschaftswasserhaushalts. Wichtige Maßnahmen hierfür sind eine bodenschonende und humuspfleghche Waldwirtschaft sowie die Wiedervernässung von Mooren und Feuchtbiotopen [65]. Insbesondere der Zufluss von Sickerwasser zum Grundwasser, die sogenannte Grundwasserneubildung, kann durch Maßnahmen des Waldumbaus gefördert werden. Neuere Untersuchungen zeigen, dass vor allem die zeitliche Verteilung und die Intensität der Niederschlagsereignisse selbst die Tiefenversickerung und damit die Grundwasserneubildung beeinflussen. So können im Tiefland auch die Klimawandelbedingten häufigeren Starkregenereignisse in diesem speziellen Kontext eine positive Wirkung haben. Diese führen auf Waldstandorten auch unter der Kiefer zu einer (wenn auch relativ geringen) Tiefenversickerung, da der Nie-

derschlag nicht in der Krone verbleibt und von dort verdunstet [66]. Während beispielsweise im niederschlagsarmen Nordostdeutschland die Sommerniederschläge fast vollständig verdunstet werden, sorgen die Niederschläge des Winterhalbjahres für die Auffüllung des Bodenspeichers, Überschüsse speisen dann die Tiefenversickerung [67].

Insgesamt stellt neben der Wiedervernässung entwässerter Feuchtwälder und Waldmoore der Umbau von Nadelbaumbeständen mit geringerer Tiefenversickerung in Laub- und Mischwälder mit höherer Versickerungsleistung in Regionen mit geringerer Grundwasserneubildung wie z. B. dem nordostdeutschen Tiefland eine wichtige Maßnahme zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts dar.

Folgerungen

Waldbewirtschaftung kann einen Beitrag leisten, die Wälder an zukünftig verstärkten Wassermangel anzupassen und z. T. das Wasserangebot im Wald und in der Landschaft zu erhöhen. Geeignete Maßnahmen für eine Anpassung der Wälder an Wassermangel sind:

- *früh einsetzende Bestandespflege zur Förderung von Bäumen mit großen Kronen und großem Wurzelwerk,*
- *Bestandesöffnungen mit einer an die diversen Standorts- und Bestandes-eigenschaften angepassten Spreitung: in Buchenaltbeständen auf aktuell weniger von Wassermangel betroffenen Standorten eine eher vorsichtige Bestandesöffnung (Lochhiebe oder eine dauerwaldartige Bewirtschaftung), um das kühl-feuchte Bestandesklima zu erhalten; auf stärker von Wassermangel betroffenen Standorten dagegen ggf. stärkere Eingriffe, um trockenstresstolerante, meist Lichtbaumarten (z. B. Eichenarten, Elsbeere, Wildobst, andere Pionierbaumarten) in ausreichendem Maße durch Natur- oder Kunstverjüngung beimischen zu können,*
- *bei einem erforderlichen Waldumbau auf (zukünftigen) Trockenstandorten Förderung eines Baumartenwechsels hin zu Mischungen trockenheitstoleranter Baumarten und Herkünfte unter Berücksichtigung zukünftiger Baumartenareale (im Sinne von „Assisted Migration“).*

Geeignete Maßnahmen für eine Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts sind:

- *Beimischung von winterkahlen Laubbäumen (insbesondere Buche) in Nadelbaumbestände; dies erhöht die Infiltration in den Waldboden insbesondere im Winterhalbjahr und führt zu einer Anreicherung von organischem Kohlenstoff im Mineralboden, was wiederum den Wasserhaushalt des Bodens verbessert; der Boden kann damit seine Ausgleichsfunktion im Landschaftswasserhaushalt besser wahrnehmen und Trockenperioden abmildern [68].*
- *Wiedervernässung von Waldmooren und Rückbau von Entwässerungseinrichtungen, um Grundwasser nachhaltig in den Wäldern zu halten. Dies folgt der Mehrfachstrategie, die Wasserversorgung aller Wälder mit Grundwasseranschluss zu verbessern, durch höhere Verdunstung das Waldinnen- und das Lokalklima abzukühlen und durch die Erhöhung von Kohlenstoffvorräten in Moorrwäldern Klimaschutz zu betreiben.*



Prof. Dr. Peter Spathelf

peter.spathelf@hnee.de

ist Professor für Angewandten Waldbau an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung in Eberswalde.

Dr. Marco Natkhin ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und betreut die ökologische Versuchsstation Britz des Thünen-Instituts für Waldökosysteme in Eberswalde.

Prof. Dr. Dominik Thom ist Professor für Waldbau an der Technischen Universität Dresden in Tharandt. **Dr. Heike Puhmann** leitet die Abteilung Boden und Umwelt an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt in Freiburg. **Prof. Dr. Andreas Bolte** leitet das Thünen-Institut für Waldökosysteme in Eberswalde. **Prof. Dr. Ute Sass-Klaassen** ist Professorin für nachhaltige Waldwirtschaft an der Universität Van Hall in Larenstein (NL). **Prof. Dr. Jürgen Bauhus** ist Professor für Waldbau an der Universität Freiburg und Vorsitzender des Waldbeirates beim BMEL. **Dr. Tanja Sanders** leitet die Abteilung Ökologie und Walddynamik beim Thünen-Institut für Waldökosysteme in Eberswalde.

Literaturhinweise:

Download des Literaturverzeichnis in der digitalen Ausgabe von AFZ-DerWald (<https://www.digitalmagazin.de/marken/afz-derwald>) sowie unter: www.forstpraxis.de/downloads