

Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

Die Wasserverfügbarkeit ist eine zentrale Steuergröße für das Wachstum und die Vitalität von Wäldern. Da nahezu alle Pflanzennährstoffe aus der Bodenlösung aufgenommen werden, gibt es zudem einen engen Zusammenhang zwischen dem Wasserhaushalt und der Ernährung der Waldbäume. Das Bodenwasser ist der Transportweg für Stoffe zwischen Atmosphäre, Boden und Hydrosphäre und bestimmt damit ganz wesentlich die Filterfunktion der Böden. Kenntnisse des Wasserhaushalts sind daher eine wichtige Grundlage für die Bewertung von Waldstandorten.

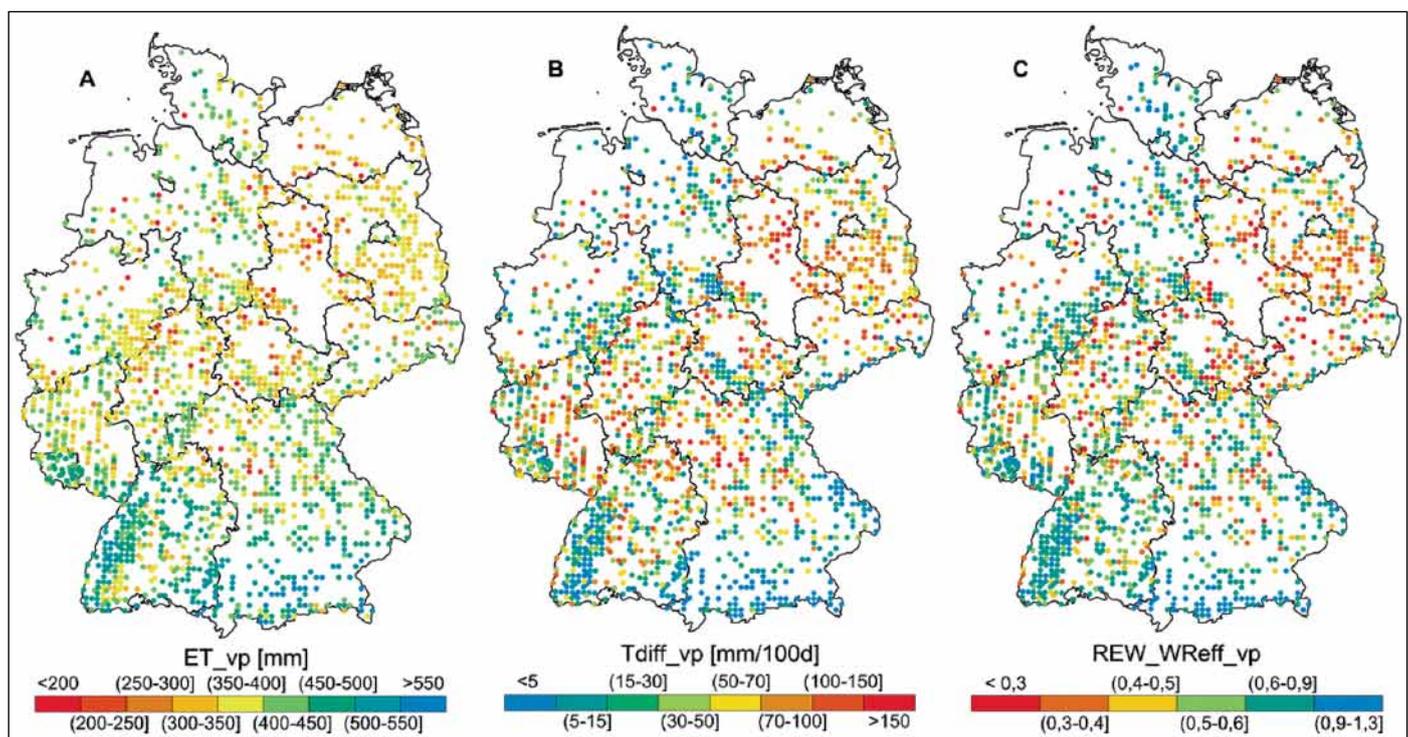


Abb. 1: Tatsächliche Evapotranspiration (A), Transpirationsdifferenz (B) und relative pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung (C) während der Vegetationszeit an den BZE II-Plots; Mediane für den Zeitraum 1981 bis 2010

Heike Puhmann, Paul Schmidt-Walter,
Peter Hartmann, Klaus von Wilpert,
Henning Meesenburg

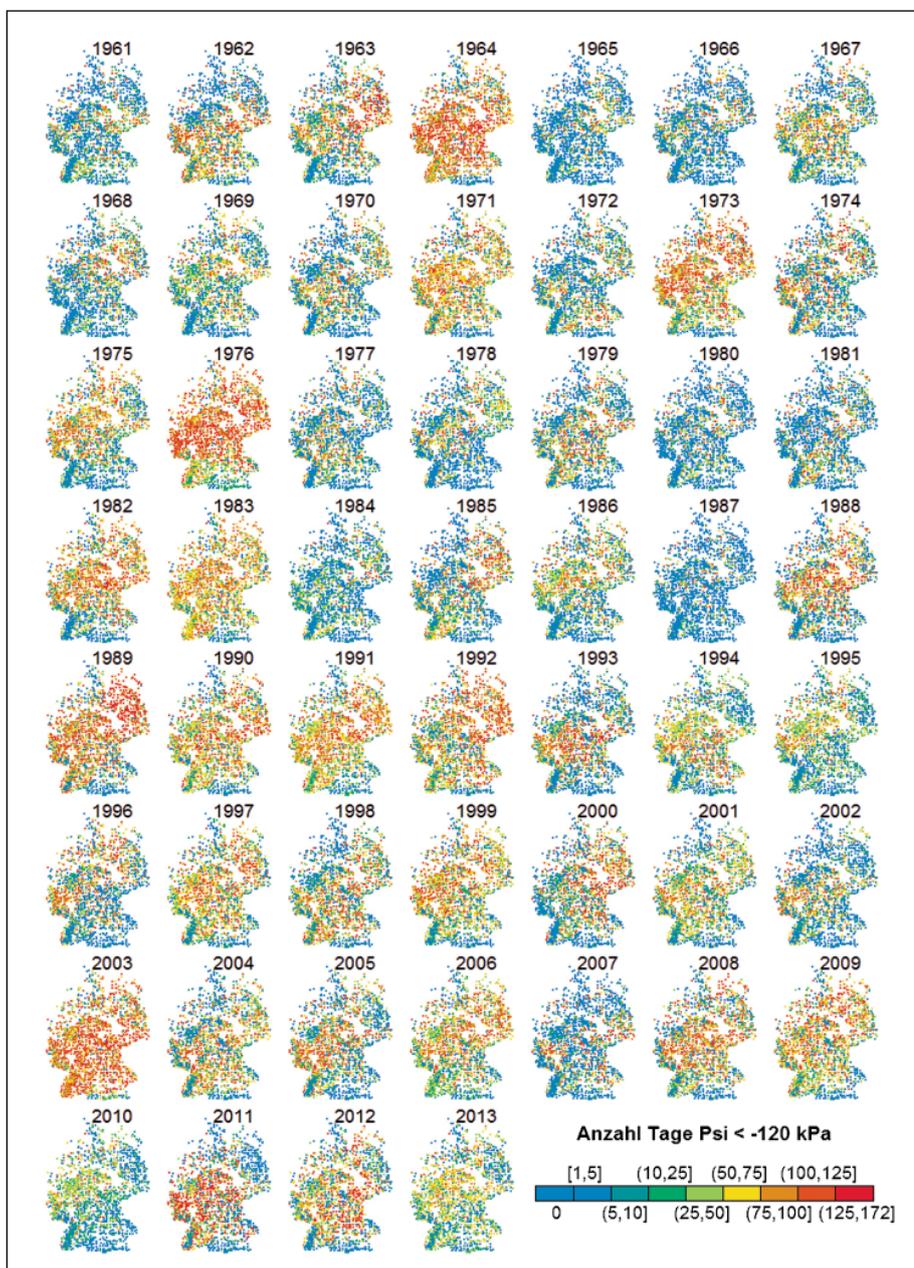
Auf der Basis der bei der BZE II erhobenen Boden- und Bestandesdaten wurde der Bodenwasserhaushalt für alle BZE-Plots für den Zeitraum 1961 bis 2013 modelliert. Es wurde das forsthydrologische Modell LWF-Brook90 [3] verwendet, welches den Wasserhaushalt eines Waldstandorts einschließlich seiner Vegetationsdecke in täglicher Auflösung berechnet. Detaillierte Angaben zu den theoretischen Modellgrundlagen sowie den benötigten Modelleingangsgrößen enthält [4].

Die Wasserhaushaltsmodellierung liefert tägliche Werte der Verdunstung (Interzeption, Bodenverdunstung, Transpiration), der Bodenwassergehalte und Bodenwasserspannungen sowie des Abflusses (Oberflächenabfluss, Sickerung, Grundwasserneubildung). Aus den Modellergebnissen wurden verschiedene Trockenstressindikatoren abgeleitet, welche Einschränkungen in der Wasserverfügbarkeit für die Waldbestände beschreiben. Häufig verwendet

werden beispielsweise verschiedene Relativwerte der Bodenwasserspeicherfüllung (z. B. das Verhältnis von aktueller Bodenwasserspeicherung zur Bodenwasserspeicherung bei Feldkapazität) oder die Differenz zwischen aktueller und potenzieller Transpiration. Weitere Indikatoren beziehen sich auf das Unterschreiten von Grenzwerten, z. B. für eine wachstumskritische Bodenwasserspannung oder Bodenfeuchte. Hierbei wird zwischen der Dauer, für die ein

Schneller Überblick

- Hochauflösende Wasserhaushaltsmodellierungen bilden räumliche und zeitliche Variabilitäten ab
- Neben regionalem Klima sind Bodeneigenschaften entscheidend
- Seit den 1990er-Jahren häufen sich Jahre mit erhöhtem Wasserstress



Grafik: Paul Schmidt-Walter (NW-FVA)

Abb. 2: Anzahl der Tage pro Vegetationszeit, bei denen die mittlere Bodenwasserspannung im Wurzelraum unter -1200 hPa lag.

bestimmter kritischer Wert unterschritten wird, und der Intensität (Höhe der Unterschreitung) von Trockenstress unterschieden. [4] enthält eine vollständige Beschreibung der abgeleiteten Trockenstressindikatoren.

Räumliche Muster im Wasserhaushalt

Abb. 1 zeigt exemplarisch Karten einiger Modellergebnisse. Die mittlere während der Vegetationszeit realisierte Evapotranspiration (Abb. 1a) lag für ca. 85 % der BZE-Plots im Bereich von 300 bis 500 mm. Knapp 10 % der BZE-Plots zeigten mittlere Evapotranspirationsraten von mehr als 500 mm (blaue und blaugüne Punkte in Abb. 1a). Hohe Verdunstungsraten finden sich in den Voralpengebieten, aber auch an den Westabdachungen von Schwarzwald,

Pfälzerwald, Odenwald und im Bergischen Land. Diese Gegenden sind einerseits sehr niederschlagsreich, andererseits aber auch warm mit hohen potenziellen Verdunstungsraten, die in langen Vegetationszeiten zum Tragen kommen. Besonders niedrige Evapotranspirationsraten sind in Regenschattengebieten (Nordöstliche Harzvorländer, Altmark, Hessisches Schiefergebirge) erkennbar. Nach Norden nehmen BZE-Plots mit weniger als 350 mm Evapotranspiration (gelbe, orange und rote Punkte) insgesamt zu. Jedoch treten mehr oder weniger überall verstreut Plots mit sehr geringen Evapotranspirationsraten auf. Bei diesen Plots ist die Transpiration aufgrund von hohen Skelettgehalten und/oder geringer Durchwurzelungstiefe stark eingeschränkt. Abgesehen von diesen Standorten folgt die mittlere Evapotranspiration einer

Wechselwirkung von Niederschlag und Temperatur, wodurch räumliche Muster undeutlich werden. So kann beispielsweise ein Standort im kühl-feuchten Hochsauerland (Niederschlag/Temperatur während der Vegetationszeit: 13 °C/420 mm), dessen Evapotranspiration eher durch geringe potenzielle Transpirationsraten begrenzt ist, im Mittel dieselbe, vergleichsweise geringe Gesamtverdunstung von unter 350 mm aufweisen wie ein in im Sommerhalbjahr warm-trockener Wald (16,5 °C/250 mm) in Brandenburg, bei dem die Verdunstungsrate eher durch geringe Niederschläge und Bodenwasserspeicherkapazitäten begrenzt ist.

Die Transpirationsdifferenz als Differenz zwischen maximal möglicher und tatsächlich realisierter Transpiration (Abb. 1b) ermöglicht es, festzustellen, ob die Verdunstung eines Standorts durch Wassermangel begrenzt ist. So lag die Transpirationsdifferenz im südlichen Brandenburg bei durchschnittlich 70 bis 100 mm, im Hochsauerland wie den Hochlagen der sonstigen Mittelgebirge und in Meeresnähe bei unter 5 mm pro 100 Tage Vegetationszeit. Standorte, deren Transpirationsdifferenz im Mittel bei über 50 mm/100 d liegt, gelten bereits als mäßig trocken und als für den Anbau von Fichtenreinbeständen ungeeignet [2]. Dies trifft für etwa 40 % aller BZE-Plots zu, wobei etwa die Hälfte der durch die Transpirationsdifferenz als „mäßig trocken“ ausgewiesenen Standorte Kiefern- und Mischwälder sind.

Die pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung während der Vegetationszeit (Abb. 1c) variierte stark zwischen den BZE-Plots. So hatten ca. 10 % der Standorte mittlere Speicherfüllungen von mehr als 90 % der nutzbaren Feldkapazität. Auf diesen Standorten sorgen einerseits Bodenhorizonte mit geringer Wasserleitfähigkeit dafür, dass sich Wasser im Wurzelraum aufstaut und so die Feldkapazität regelmäßig überschritten wird. Andererseits sorgen hohe Niederschlagsmengen dafür, dass die Transpirationsverluste regelmäßig ausgeglichen werden. Auf etwa 20 % der BZE-Plots hingegen sank die mittlere pflanzenverfügbare Wasserspeicherung im Zeitraum 1981 bis 2010 in mindestens der Hälfte der Jahre unter 40 % der nutzbaren Feldkapazität. Eine Unterschreitung dieses Schwellenwerts wird in [1] als Wassermangel interpretiert, und trat regelmäßig vor allem an BZE-Plots auf, die einerseits während der Vege-

tationszeit geringe Niederschlagsmengen erhielten, oder deren pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherkapazitäten andererseits durch hohe Skelettanteile oder geringe Durchwurzelungstiefen begrenzt sind. Solche BZE-Plots befinden sich vor allem in Teilen Brandenburgs, Thüringens und Sachsen-Anhalts, aber auch verstreut in den Mittelgebirgen auf besonders flachgründigen Standorten.

Zeitliche Entwicklung von Trockenheit

Abb. 2 zeigt für den Zeitraum 1961 bis 2013 für jeden BZE-Punkt, an wie vielen Tagen innerhalb der Vegetationsperiode eine Bodenwasserspannung von -1.200 hPa im Wurzelraum unterschritten wurde. In Abb. 2 markieren rote Symbole intensiven Wassermangel und blaue Symbole unkritische Bodenwasserspannungen. In extremen Trockenjahren (1976, 2003) wurde an nahezu allen BZE-Punkten die kritische Bodenwasserspannung unterschritten.

Seit Beginn der 1990er-Jahre häuften sich Jahre mit erhöhtem Wasserstress. So lag unter den zehn feuchtesten Jahren (also Jahre mit dem geringsten Anteil an Plots mit Trockenstress) nur ein Jahr nach 1990. In der Dekade 1970 bis 1979 waren im Mittel über alle Plots vier der zehn Jahre überdurchschnittlich trocken. Dieser Wert ist für die Dekade 1980 bis 1989 besonders niedrig (drei von zehn Jahren) und steigt seitdem an (1990 bis 1999: sieben von zehn Jahren,

2000 bis 2009: sechs von zehn Jahren, 2010 bis 2013 drei der vier Jahre). Die langfristige Entwicklung von Wassermangelperioden wird ebenfalls aus Abb. 3 ersichtlich. Dargestellt ist die pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung im Wurzelraum, als relative Abweichung vom entsprechenden Mittelwert des Zeitraums 1961 bis 1990. So können Jahre identifiziert werden, die in der Vegetationszeit gegenüber dem Referenzzeitraum überdurchschnittlich feucht (Wert > 0) oder trocken (Wert < 0) waren. Wie in Abb. 2 zeigt sich, dass Jahre mit unterdurchschnittlicher Wasserversorgung seit 1990 zugenommen haben. In den meisten Jahren seit 1990 verzeichneten die Mehrzahl der BZE-Plots im Vergleich zu 1961 bis 1990 unterdurchschnittliche Speicherfüllungen. In der Zeit von 1989 bis 1992 liegt sogar das 90%-Quantil (obere gestrichelte Linie in Abb. 3) im negativen Bereich, hier weisen also in vier aufeinanderfolgenden Vegetationsperioden 90 % der BZE-Plots eine unterdurchschnittliche Wasserversorgung auf. Seit 1990 lag der Median der pflanzenverfügbaren Speicherfüllung nur noch für die fünf Jahre 1995, 2002, 2007, 2010 und 2013 deutlich über dem Referenzwert der Periode 1961 bis 1990, in 20 Jahren lag er deutlich darunter.

Zusammenfassung

Durch die Aufarbeitung und Kombination von Boden-, Wurzel- und Bestandsparametern ist es gelungen, die Steuergrö-

ßen im Wasserhaushalt an den einzelnen BZE-Profilen verlässlich zu schätzen und auf dieser Basis das Wasserhaushaltsmodell LWF-Brook90 zu parametrisieren. Alle Modellierungen wurden in Tagesauflösung durchgeführt, sodass aus den Modellläufen Zielgrößen wie Sickerwasseraustrag, Bodenwasservorratsänderung oder Evapotranspiration in Tagesauflösung oder größer zur Verfügung stehen. In diesem Artikel wurde der Schwerpunkt der Betrachtung auf die Ableitung und Bewertung von Trockenstresskennwerten gelegt. Die Zeitreihen der pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung und der verschiedenen Trockenstressindizes zeigen gleichlaufend, dass seit 1990 die Intensität des Wassermangels zugenommen hat und Jahre mit ausreichender Bodenwasserverfügbarkeit nur noch sporadisch auftraten.

Die Modellergebnisse sind in der bundesweiten BZE-Datenbank abgelegt und können somit für differenzierte Auswertungen in der Klimafolgenforschung, etwa die Parametrisierung von klimasensitiven Wachstumsmodellen oder auch Untersuchungen zur Bedeutung von Trockenjahren für Baumwachstum und Waldgesundheit, aber auch für eine Vielzahl weiterer Anwendungen, wie z. B. die Erstellung von Sickerwasserprognosen für Schad- und Nährstoffausträge oder als Datengrundlage für eine modellgestützte Standortskartierung, verwendet werden.

Literaturhinweise:

- [1] BRÉDA, N.; GRANIER, A. (1996): Intra- and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (*Quercus petraea*). *Annals of Forest Science* 53 (2-3): 521-536. [2] FALK, W.; DIETZ, E.; GRÜNERT, S.; SCHULTZE, B.; KÖLLING, C. (2008): Wo hat die Fichte genügend Wasser? Neue überregionale gültige Karten des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung. *LWF Aktuell* 5/2008 (66): 21-25. [3] HAMMEL, K.; KENNEL, M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. *Forstliche Forschungsberichte München* 185, 135 S. [4] VON WILPERT, K.; HARTMANN, P.; PUHLMANN, H.; SCHMIDT-WALTER, P.; MEESENBURG, H.; MÜLER, J.; EVERS, J. (2016): Bodenwasserhaushalt und Trockenstress. in: Wellbrock, N.; Bolte, A.; Flessa, H. (Ed.) (2016): *Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006-2008*. *Thünen-Report* 43: 343-386.

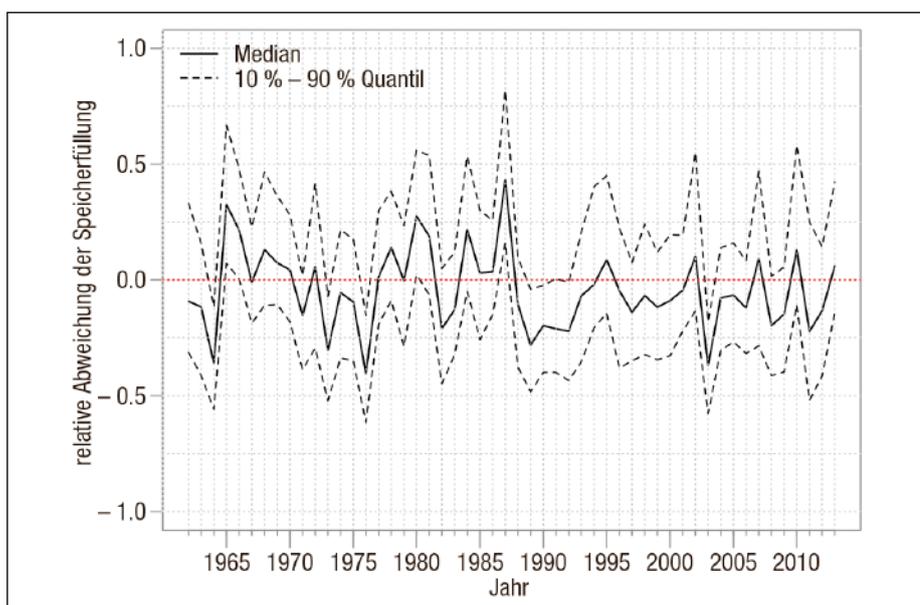


Abb. 3: Verteilungsstatistik (Mediane, 10%- und 90%-Quantil) der pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung in der Vegetationsperiode, dargestellt als relative Abweichung vom langjährigen Mittelwert des Zeitraums 1961 bis 1990

Grafik: Paul Schmidt-Walter (NW-FVA)

Dr. Heike Puhlmann, Heike.Puhlmann@forst.bwl.de, leitet die Abt. Boden und Umwelt an der FVA Baden-Württemberg. Dr. Peter Hartmann ist dort wissenschaftlicher Mitarbeiter. Paul Schmidt-Walter ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der NW-FVA. PD Dr. Klaus von Wilpert hat bis April 2016 die Abteilung Boden und Umwelt an der FVA geleitet. Dr. Henning Meessenburg leitet das Sachgebiet Intensives Umweltmonitoring an der NW-FVA.

