

Auswirkungen der Trockenheit 2015 auf den Bodenwasserhaushalt und das Baumwachstum von Waldstandorten in Nordwestdeutschland

The effects of the 2015 drought on soil water availability and tree growth at forest sites in northwest Germany

Johannes Suttmöller, Henning Meeseburg, Jan Evers und Markus Wagner

Zusammenfassung

Im Frühjahr und Frühsommer 2015 waren viele Regionen Nordwestdeutschlands von einer Trockenperiode betroffen. Bereits im Herbst und Winter 2014/2015 fielen im südlichen Sachsen-Anhalt und im Harz weniger Niederschläge als im langjährigen Mittel. Im Frühjahr weitete sich die Trockenheit insbesondere auf Hessen aus. Regional betrug das Niederschlagsdefizit bis zu 50 % der langjährigen Mittelwerte. Die Folge waren bisher noch nicht beobachtete Tiefstwerte der Bodenwassergehalte. Während die Trockenperiode in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Nordhessen im Laufe des Juli endete, litt Südhessen bis in den Spätsommer 2015 unter der Trockenheit, sodass die Bodenwassergehalte auch zum Ende der Vegetationsperiode sehr niedrig blieben. Während des Höhepunktes der Trockenperiode im Juni/Juli 2015 standen den Waldbeständen auf den Plots der Bodenzustandserhebung II (BZE II) regional weniger als 20 % des pflanzenverfügbaren Bodenwassers für die Verdunstung zur Verfügung. Im Mittel aller BZE II-Plots sank der Anteil des

verfügbaren Bodenwassers an der nutzbaren Feldkapazität in Niedersachsen und Hessen auf 50 % und in Sachsen-Anhalt auf 38 % und lag damit signifikant unter den langjährigen Mittelwerten.

Die gute Anpassungsfähigkeit der Kiefer an Trockenheit verdeutlicht der Wachstumsverlauf auf zwei Intensiv-Monitoringflächen in Sachsen-Anhalt. Während der Trockenperiode wurde nur bei einzelnen Niederschlagsereignissen eine geringe Durchmesserzunahme der Kiefern beobachtet. Die Hauptwachstumsphase setzte mit Ende der Trockenheit im Juni/Juli ein und dauerte bis in den Oktober 2015 an, sodass die Kiefern trotz der ausgeprägten Trockenheit zu Beginn der Vegetationsperiode noch ein mit Vorjahren vergleichbares Wachstum aufwiesen. In Niedersachsen konnte nur in einem Fichtenbestand auf einer Intensiv-Monitoringfläche im Harz ein vermindertes Wachstum festgestellt werden. Da der Solling nicht von der Trockenheit betroffen war, verzeichneten die Fichten und Buchen dort keine Wachstumseinbußen. Obwohl in einem Buchenbestand in der südlichen Lüneburger Heide im Juni 2015 sehr geringe Bodenwassergehalte gemessen wurden, konnten keine signifikanten Wachstumseinbußen beobachtet werden. Vermutlich haben die im Juli einsetzenden Niederschläge dazu geführt, dass der Buchenbestand einen im Vergleich zu den Vorjahren durchschnittlichen Durchmesserzuwachs aufwies.

Stichworte: Trockenperiode, Bodenwassergehalt, Wachstumseinbußen, Intensiv-Monitoringflächen, Bodenzustandserhebung im Wald

Abstract

In the spring and early summer of 2015 much of northwest Germany experienced a drought period. Precipitation in southern Saxony-Anhalt and the Harz Mountains had already been below average in the autumn and winter of 2014/2015. In the spring the drought spread, effecting Hesse in particular. Regional precipitation was as low as 50 % of the long-term average, resulting in record low soil water contents being observed. While in Lower Saxony, Saxony-Anhalt and in the north of Hesse this dry period ended in July, southern Hesse suffered drought conditions into the late summer, with soil water contents remaining very low until the end of the growing season. At the height of the drought in the south Hesse region, in June/July 2015, the plant available soil water was reduced to less than 20 % of the available soil water capacity at plots of the German National Forest Soil Inventory (BZE II).

On average at the BZE II plots, the plant available soil water dropped to 50 % in Lower Saxony and as low as 38 % in Saxony-Anhalt. These figures were significantly lower than the long-term averages. The ability of pine to adapt to dry periods is shown by the growth patterns on two intensive monitoring plots in Saxony-Anhalt. During the drought, modest diameter growth was observed only after single precipitation events. The main growth phase began with the end of the drought in

June/July and lasted into October 2015. In this time the pine trees were still able to achieve an annual growth comparable with that of the previous years, despite the pronounced drought at the start of the growing season. In Lower Saxony, reduced growth was only observed in one spruce stand in the Harz Mountains. Because the Solling area was not affected by drought there was no growth reduction in the spruce and beech stands in this region. Although very low soil water contents were recorded in one beech stand in the southern Lueneburger Heide area in June 2015, no significant decline in growth was observed. The onset of rain in July seems also to have enabled the beech stand to achieve a diameter increment comparable to the previous years.

Keywords: drought period, soil water content, growth reduction, intensive monitoring plots, National Forest Soil Inventory

1 Einleitung

In der Meteorologie werden Zeiträume mit im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich geringeren Niederschlägen als Trockenperiode bezeichnet. Eine allgemein gültige Definition von Trockenheit existiert allerdings nicht (BENDER u. SCHALLER 2012). MANIAK (2005) spricht von einer Trockenperiode, wenn im Mittel von 15 bzw. 30 Tagen die Niederschlagshöhe 0,25 mm/Tag oder weniger beträgt. BERNHOFER et al. (2005) definieren eine Trockenphase dagegen, wenn an mindestens 11 aufeinanderfolgenden Tagen 1 mm/Tag oder weniger Niederschlag fällt und BECKER u. SCHRÖTER (2001) setzen das Limit bei 40 mm/Monat an. Um das Ausmaß einer Trockenperiode und die Auswirkungen auf Waldbestände beurteilen zu können, ist deren Wasserbedarf eine entscheidende Größe. Daneben ist die Dauer und Intensität einer Trockenperiode sowie der Zeitpunkt ihres Auftretens im Jahresverlauf eine wichtige Einflussgröße. Wassermangel in der Vegetationsperiode kann die Vitalität und das Wachstum der Bäume stark beeinträchtigen. Trockenphasen im Herbst und Winter können sich dann nachteilig auf das Wachstum auswirken, wenn dadurch der Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationsperiode nur unzureichend aufgefüllt ist. Dieser kann dann in der folgenden Hauptwachstumsphase auftretende Wasserdefizite nicht kompensieren und somit Wassermangelerscheinungen in den Wäldern zur Folge haben.

Ist die Wasserverfügbarkeit sehr gering, kann die Trockenheit als Dürre bezeichnet werden. Eine Dürre ist ein seltenes Ereignis, dessen Auswirkungen auf die Umwelt unterschiedlich stark sind und über einen längeren Zeitraum anhalten. In der Forstwirtschaft sollten nach METTE et al. (2011) mindestens drei Monate betrachtet werden, um eine Trockenperiode gegebenenfalls als Dürre zu bezeichnen.

Die Folgen einer Trockenperiode auf die Vegetation sind sehr vielfältig. Trockenstress reduziert einerseits die Effektivität von pflanzlichen Prozessen und kann andererseits direkt die Pflanzenstruktur schädigen (VAN HEERDEN u. YANAI 1995).

Dies wirkt sich negativ auf die Vitalität und das Wachstum der Bäume aus. Erhöhte Nadel- und Blattverluste können sichtbare Folgen sein. Im äußersten Fall steigt die Mortalitätsrate an. Dabei reagieren Baumarten sehr unterschiedlich auf Wassermangelsituationen. Während Fichte und Buche als sehr trockenheitsempfindlich eingeschätzt werden, sind Eiche, Douglasie und Kiefer besser an Trockenheit angepasst (v. LÜPKE 2004, ROLOFF u. GRUNDMANN 2008, ELLENBERG u. LEUSCHNER 2010, KÄTZEL 2009, KÄTZEL et al. 2015, VOR et al. 2015). Entsprechend sind auf den Standorten mit geringer Kapazität pflanzenverfügbaren Bodenwassers (Sandböden) eher die trockenresistenten Baumarten zu finden, während auf den gut wasser versorgten Standorten (Schluff- und Lehmböden) Baumarten mit hohem Wasseranspruch wachsen (Edellaubholz, Buche, Fichte).

Am Beispiel von Intensiv-Monitoringflächen sowie Aufnahmepunkten der Bodenzustandserhebung (BZE) in Nordwestdeutschland wurden Auswirkungen des Trockenjahres 2015 auf den Bodenwasserhaushalt und das Durchmesserwachstum von Waldbeständen untersucht. Von besonderem Interesse war dabei die Fragestellung, ob eine zeitweise reduzierte Bodenwasserverfügbarkeit zu einer Einschränkung der jährlichen Durchmesserentwicklung führt.

2 Datengrundlage und Methoden

Die Flächen des Intensiven Umweltmonitorings der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) zeigen anhand von Messwerten zum Bodenwasserhaushalt die Austrocknung der Böden im Frühjahr und Sommer 2015. Das Intensive Monitoring umfasst Flächen ausgewählter Waldökosysteme, die einer intensiven Dauerbeobachtung unterliegen (PAAR et al. 2016, BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT 2016). Die Messungen der Bodenwassergehalte auf den sieben Level II-Flächen Solling (Buche und Fichte), Lüss (Niedersachsen), Klötze und Nedlitz (Sachsen-Anhalt), Krofdorf und Hessisches Ried (Hessen) wurden mit dem Stammumfangzuwachs der aufstockenden Bestände verglichen. Zusätzlich wurden Stammumfangmessungen der Fläche Lange Bramke, Kamm herangezogen. Nähere Angaben zu den untersuchten Flächen finden sich bei LEUSCHNER et al. (2001), AHNER et al. (2013), FLECK et al. (2016), MEESENBURG et al. (2016), AHRENDTS et al. (2017).

Der Stammumfang wurde an jeweils sechs Bäumen pro Fläche mit kontinuierlich aufzeichnenden Dendrometern vom Typ UMS D6 gemessen. Die Aufbereitung und Berechnung der täglichen Zuwachsraten erfolgte in Anlehnung an DOWNES et al. (1999) und DESLAURIERS et al. (2003). Der Durchmesser eines Baumes unterliegt täglichen Schwankungen. Dabei wird zwischen Phasen der Kontraktion (Schrumpfen), Ausdehnung und gegebenenfalls des Wachstums unterschieden. Überschreitet der Durchmesser im Tagesverlauf das bis zu diesem Tag gemessene Maximum, wird

die sich ergebende Differenz als Wachstum ausgewiesen (Phase der maximalen Ausdehnung). In der Folgezeit wird solange kein Wachstum ausgewiesen, bis das bisherige Durchmessermaximum durch das Tagesmaximum wieder überschritten wird.

Der Bodenwassergehalt wurde mit kapazitiven Sensoren der Fa. Delta T Typ PR2/6 in jeweils dreifacher Wiederholung pro Fläche bestimmt. Für die Level II-Fläche Lange Bramke konnten keine Bodenwassergehalte herangezogen werden, da aufgrund mehrerer Datenausfälle ein abgesicherter Lückenschluss nicht möglich war. Die Zuwachsdaten der Fichtenfläche fließen jedoch in die Auswertung ein. Für die Flächen Krofdorf und Hessisches Ried liegen nur Bodenwassergehaltsmessungen vor, da auf diesen Flächen keine Dendrometermessungen erfolgten. Aufgrund der unterschiedlichen Datenlage (unterschiedliche Instrumentierung sowie Messfehler und -ausfall) wurden die Wassergehalte aus verschiedenen Bodentiefen herangezogen. In Lüss und Solling sind dies 20 cm unter Mineralbodenoberfläche, in Klötze und Nedlitz 45 cm sowie in Krofdorf und im Hessischen Ried 60 cm Bodentiefe.

Um Aussagen für den gesamten Untersuchungsraum treffen zu können, wurde der Wasserhaushalt auf den Aufnahmepunkten der Bodenzustandserhebung (BZE II) mit Hilfe des hydrologischen Modells WaSiM-ETH auf Tagesbasis simuliert (SCHULLA 2015). Angetrieben wurde das Modell mit Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes. Niederschlag, Temperatur, relative Feuchte, Sonnenscheindauer und Windgeschwindigkeit wurden auf die Standorte der BZE II nach einem kombinierten Verfahren (IDW, Höhenregression) regionalisiert. Parametrisiert wurde das Modell mit Bestandesdaten und bodenphysikalischen Aufnahmen aus den Jahren 2006 bis 2008. Die potenzielle Evapotranspiration wurde nach der Methode von Penman-Monteith (MONTEITH 1965) berechnet. Die Berechnung der Wasserflüsse in der ungesättigten Bodenzone erfolgte auf Grundlage der Richards-Gleichung (RICHARDS 1931) in eindimensionaler, vertikaler Form (SCHULLA 2015). Die Parametrisierung der verwendeten pF-Kurven erfolgte nach VAN GENUCHTEN (1980), die Ableitung der Van Genuchten-Parameter in Anlehnung an WESSOLEK et al. (2009). Die BZE II ist eine bundesweit systematische Stichprobenerhebung im Wald, die ein umfassendes und flächenrepräsentatives Bild des aktuellen Zustands wichtiger Boden- und Bestandeskenngrößen erfasst (WELLBROCK et al. 2016, BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT 2016). In Niedersachsen wurden insgesamt 169, in Sachsen-Anhalt 76 und Hessen 139 BZE II-Punkte untersucht.

3 Trockenheit 2015

Die Witterung im Jahr 2015 zeichnete sich durch viele Wetterextreme aus. Besonders in den mittleren Regionen Deutschlands führte das hohe Niederschlagsdefizit zu einer außergewöhnlichen Trockenperiode (WITTICH u. LÖPMEIER 2015), die teilweise bis in den Spätsommer andauerte. Im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA waren Hessen, Sachsen-Anhalt sowie Teile von Niedersachsen betroffen. Von besonderer Bedeutung für die Forstwirtschaft war die Trockenheit im Frühjahr und Frühsommer. Bereits der Herbst und Winter 2014/2015 war in vielen Regionen Nordwestdeutschlands deutlich trockener als im langjährigen Mittel (s. Abb. 1). Besonders im südlichen Sachsen-Anhalt und im Harz betrug das Niederschlagsdefizit zum langjährigen Mittel der Periode 1981-2010 regional mehr als 30 %. Entsprechend gering waren die gemessenen Bodenwassergehalte, beispielsweise in Klötze. In weiten Bereichen Niedersachsens und Hessens wurde das Niederschlags-soll dagegen erreicht bzw. nur leicht unterschritten, sodass die Böden auf den Intensiv-Monitoringflächen teilweise überdurchschnittlich feucht waren (Krofdorf, Hessisches Ried). Im Frühjahr und Frühsommer 2015 weitete sich die Trockenheit fast auf den gesamten Untersuchungsraum aus (s. Abb. 1). Von April bis Juli erreichte das Niederschlagsdefizit regional mehr als 50 % (Rhein-Main-Gebiet). Die Folge waren bisher noch nicht beobachtete Tiefstwerte bei den Bodenwassergehalten (s. Abb. 2).

Während die Trockenperiode in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Nordhessen im Laufe des Julis endete, litt Südhessen bis in den Spätsommer 2015 unter einem hohen Niederschlagsdefizit.

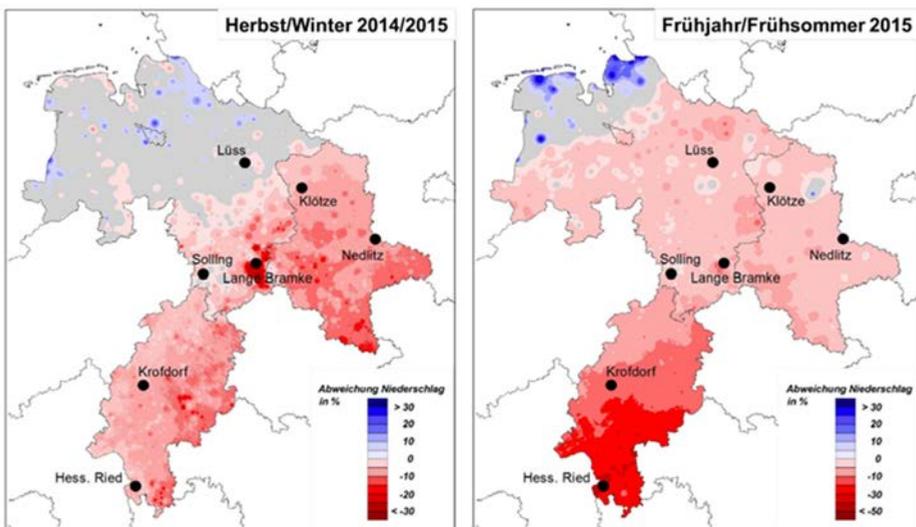


Abbildung 1: Abweichung der gemessenen Niederschlagssummen zum langjährigen Mittel 1981-2010 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst DWD)

4 Beobachteter Bodenwasserhaushalt und Baumwachstum

Die Messungen der Bodenwassergehalte und des Stammumfangzuwachses wurden für mehrere Intensiv-Monitoringflächen des Level II-Programms ausgewertet. Exemplarisch wurden vier Buchenbestände (Lüss, Solling, Krofdorf, Hessisches Ried), zwei Kiefernbestände (Klötze, Nedlitz) und zwei Fichtenbestände (Solling, Lange Bramke) untersucht.

In Abbildung 2 sind für alle untersuchten Standorte die mittlere Bodenfeuchte und deren Bandbreite der Vorjahre im Vergleich zum Jahr 2015 dargestellt. Der zugrunde liegende Messzeitraum variiert von Fläche zu Fläche und umfasst die Jahre 2003 bis 2014 (Solling, Klötze, Nedlitz), 2010 bis 2014 (Lüss) und 2012 bis 2014 (Krofdorf und Hessisches Ried).

Zu Beginn des Jahres 2015 wurden auf den niedersächsischen und hessischen Flächen im Vergleich zu den Vorjahren mittlere bis überdurchschnittlich hohe Bodenwassergehalte gemessen. Insbesondere die niederschlagsreichen Monate Dezember und Januar führten auf diesen Flächen zu einer Auffüllung des Bodenwasserspeichers. Anders stellte sich die Situation auf den beiden Kiefernstandorten in Sachsen-Anhalt dar. Hier wurden bereits zu Beginn des Jahres 2015 zeitweise extrem geringe Bodenwassergehalte gemessen. Das hohe Niederschlagsdefizit im Herbst/Winter 2014/2015, von dem insbesondere weite Teile von Sachsen-Anhalt betroffen waren (s. Abb. 1), ist für die geringe Bodenfeuchte verantwortlich. Erst ein mehrtägiges Niederschlagsereignis Ende März ließ den Bodenwasserspeicher auf annähernd mittlere Verhältnisse ansteigen.

Mit Beginn der Vegetationsperiode Ende April/Anfang Mai nahm auf fast allen Flächen die Bodenfeuchte kontinuierlich ab. Eine Ausnahme bildete der durch zeitweiligen Stau geprägte Standort im Solling (Fichte), auf dem erst im Juni die Bodenwassergehalte kurzfristig unter die langjährigen Mittelwerte fielen. Bereits im Juli wurden aber wieder überdurchschnittlich hohe Wassergehalte gemessen. Auf allen anderen Standorten wurden während der Hauptwachstumsphase von Mai bis in den Juli hinein die bisher gemessenen Minimalwerte des Bodenwassergehaltes zeitweise unterschritten, sodass das pflanzenverfügbare Bodenwasser nahezu komplett aufgebraucht war. Auf den Flächen Lüss, Klötze und Nedlitz begann mit den einsetzenden Niederschlägen Ende Juni/Anfang Juli die Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers, sodass sich im Hochsommer die Wassergehalte den mittleren Verhältnissen annäherten bzw. diese überschritten. Auf den hessischen Flächen endete dagegen trotz vereinzelter Niederschlagsereignisse die Trockenheit erst im Spätsommer.

Damit dauerte die Trockenperiode mit Ausnahme des Sollings rund zwei Monate an. Insbesondere in Südhessen kann aufgrund des Ausmaßes und der Andauer von mehr als vier Monaten von einer extremen Dürre gesprochen werden.

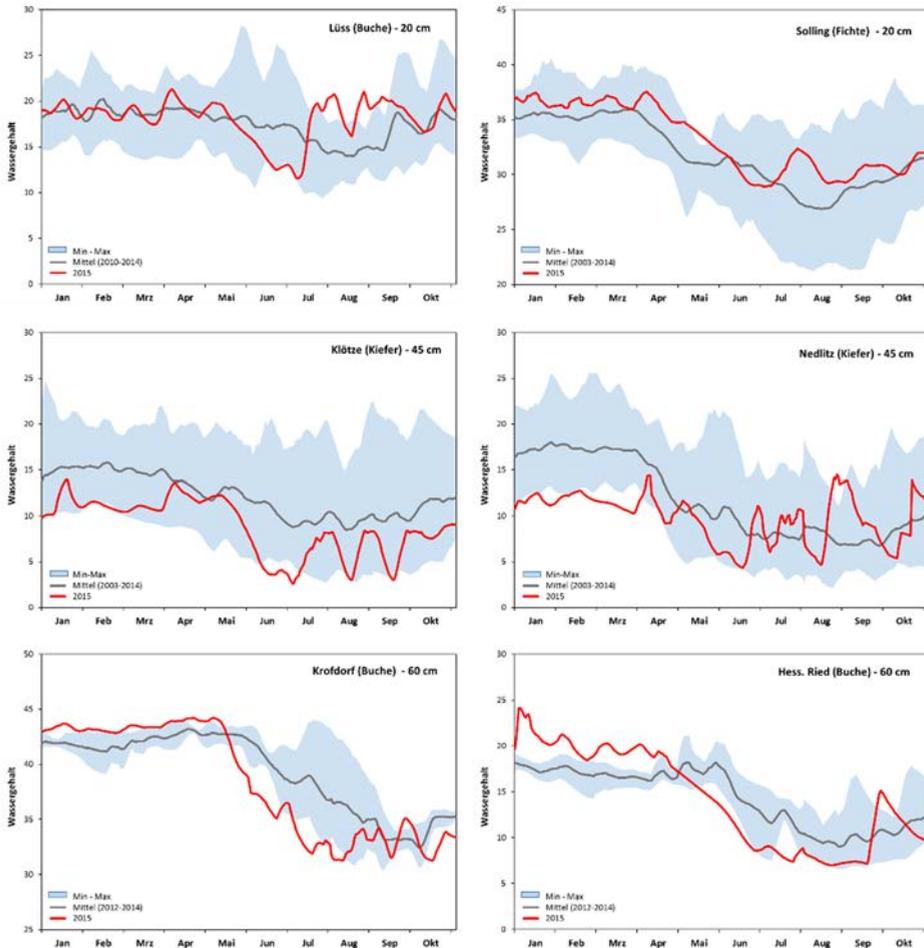


Abbildung 2: 2015 auf verschiedenen Intensiv-Monitoringflächen gemessene tägliche Bodenwassergehalte (Jan-Okt). Zum Vergleich sind die mehrjährigen Mittelwerte sowie die Bandbreite der minimal und maximal gemessenen täglichen Wassergehalte der Jahre 2003 bis 2014 (2010 bis 2014 für Lüss, 2012 bis 2014 für Krofdorf und Hessisches Ried) dargestellt (alle Werte als 10-tägiges gleitendes Mittel).

Wie hat sich nun die Trockenheit auf das „Dickenzwachstum“ der aufstockenden Bestände ausgewirkt? Hierzu wurde die Stammumfangzuwächse, die seit 2012 an ausgewählten Standorten mit Dendrometern kontinuierlich gemessen werden, miteinander verglichen (s. Abb. 3). Dabei zeigen sich zwischen den Standorten und den Baumarten während des Beobachtungszeitraumes deutliche Unterschiede. Die jährlichen Zuwachsraten für die Jahre 2012 bis 2015 sind in Abbildung 3 dargestellt.

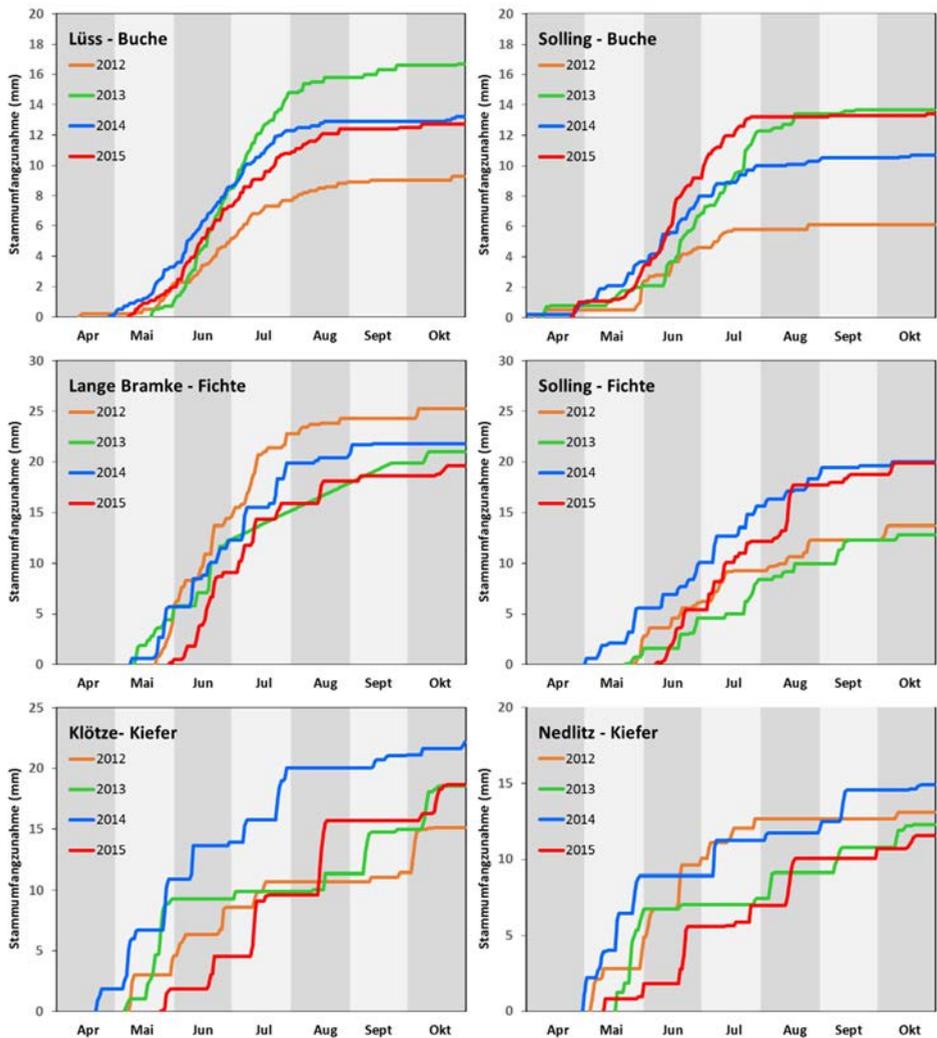


Abbildung 3: Verlauf der kumulierten jährlichen Stammumfangzunahme der Jahre 2012-2015 auf verschiedenen Intensiv-Monitoringflächen, abgeleitet aus zeitlich hoch aufgelösten Dendrometermessungen (Mittelwerte aus bis zu sechs Bäumen pro Fläche)

Der jährliche Wachstumsverlauf zeigt, dass der Zuwachs der Buche auf den Flächen Lüss und Solling bis Ende Juli weitgehend abgeschlossen ist. Während in den Jahren 2012 bis 2014 auf beiden Flächen die Buche einen ähnlichen Wachstumsverlauf aufzeigt, mit dem geringsten Wachstum im Jahr 2012, gefolgt von 2014 und dem stärksten Zuwachs im Jahr 2013, stellt sich die Situation im Jahr 2015 anders dar. Während das Wachstum der Buche im Solling dem des Jahres 2013 entspricht, war die Wuchsleistung der Buche in Lüss deutlich geringer und entsprach der des Jahres 2014. Offensichtlich hat die Trockenheit am Standort Lüss ein stärkeres Wachstum

verhindert. Möglicherweise haben die Niederschläge im Juli und August dazu geführt, dass sich das Wachstum der Buche in Lüss bis Ende August fortgesetzt hat.

Die Hauptwachstumsphase der Fichte reicht von Mai bis August. In Abhängigkeit von der Witterung kann es aber auch noch im September zu leichten Zuwächsen kommen. Im Jahr 2015 setzte das Wachstum auf den Flächen Solling und Lange Bramke jedoch erst im Juni ein. Während im Solling die Fichte aufgrund der fast durchgehend guten Wasserversorgung im Vergleich zu den Vorjahren keine Wachstumseinbußen erlitt, wurde auf dem Standort in der Langen Bramke der geringste Zuwachs seit 2012 gemessen. Dies korrespondiert gut mit den hohen Niederschlagsdefiziten, die für den Harz im Winter und Frühjahr 2015 berechnet wurden (s. Abb. 1). Aufgrund des hohen Bestandesalters des Fichtenbestandes im Solling fällt der Stammumfangzuwachs generell geringer aus als beim Fichtenbestand der Langen Bramke.

Der Wachstumsverlauf auf den Standorten in Klötze und Nedlitz zeigt, dass sich der Zuwachs der Kiefer über die gesamte Vegetationsperiode von Ende April bis Anfang Oktober erstreckt. Dabei lassen sich keine Hauptwachstumsphasen erkennen. Offensichtlich scheint die Kiefer in Abhängigkeit von Witterung und verfügbarem Bodenwasser ihr Wachstum zu steuern. Während längerer Trockenphasen kommt es zu keinem nennenswerten Stammumfangzuwachs auf beiden Flächen, wie beispielsweise im Juni und Juli 2013. Mit beginnender Auffüllung des Bodenwasserspeichers setzt dann unmittelbar das Wachstum wieder ein. Dies lässt sich auch für das Jahr 2015 feststellen. Infolge des trockenen Frühjahrs und der geringen Bodenwassergehalte zu Beginn der Vegetationsperiode war der Stammumfangzuwachs der Kiefern gering. Erst mit den einsetzenden Niederschlägen Ende Juni kam es zu einem verstärkten Dickenwachstum, sodass bis Ende August 2015 der kumulierte Stammumfangzuwachs in Klötze rund 15 mm und in Nedlitz auf dem etwas nährstoffärmeren Standort rund 10 mm betrug. Damit wurden die Zuwächse der Vorjahre teilweise übertroffen. Der Zuwachsverlauf im Jahr 2015 belegt die offensichtlich gute Anpassungsfähigkeit der Kiefer an längere Trockenperioden und deren effizientes Wassermanagement.

5 Ergebnisse der Wasserhaushaltssimulation auf den BZE II-Standorten

Die Messungen der Bodenwassergehalte auf den Intensiv-Monitoringflächen sind nicht ohne zusätzliche Informationen auf den gesamten Untersuchungsraum übertragbar. Hierzu wurde der Wasserhaushalt auf den Standorten der BZE II mit Hilfe des hydrologischen Modells WaSiM/ETH (SCHULLA 2015) berechnet.

Um das Ausmaß der Trockenheit 2015 beurteilen zu können, wurde das maximal pflanzenverfügbare Bodenwasser (nutzbare Feldkapazität nFK) im durchwur-

zelten Bodenraum berechnet und der relative Anteil an der nFK zu Beginn der Vegetationsperiode und zum Ende der Trockenphase bestimmt (GRANIER et al. 1999). Diese Werte wurden mit den langjährigen Mittelwerten der Periode 1981 bis 2010 verglichen. Die langfristige Simulation des Bodenwasserhaushalts ergab, dass die Böden durchschnittlich im März die höchsten Bodenwassergehalte aufwiesen.

Im langjährigen Mittel der Periode 1981 bis 2010 waren die Bodenwasserspeicher im März über alle BZE II-Standorte in Niedersachsen mit einem relativen Anteil der nFK von 87 % aufgefüllt. Das bedeutet, dass in normal feuchten Jahren bei rund zwei Dritteln aller Waldstandorte zu Beginn der Vegetationsperiode ein nahezu vollständig gefüllter Bodenwasserspeicher ($> 80\%$ nFK) zur Verfügung stand. Auf den verbliebenen BZE II-Plots lag der Anteil des Bodenwasservorrats an der nFK im März zwischen 60 und 80 % oder knapp darunter. Im März 2015 wiesen rund 10 % aller untersuchten Flächen einen Anteil an pflanzenverfügbarem Bodenwasser von weniger als 60 % auf. Diese befanden sich hauptsächlich im Ostniedersächsischen Tiefland. Im Mittel über alle Flächen lag der relative Anteil des Bodenwassers an der nFK bei 79 % und damit unter dem Mittelwert für den Monat März der Periode 1981 bis 2010 (s. Abb. 4).

Der relative Anteil des Bodenwassers an der nFK über alle BZE II-Standorte in Sachsen-Anhalt betrug im langjährigen Mittel 74 %, sodass nur auf wenigen Waldstandorten den Beständen zum Beginn der Vegetationsperiode ein vollständig gefüllter Bodenwasserspeicher zur Verfügung stand (s. Abb. 4). Auf den meisten BZE II-Plots lag die Bodenfeuchte zwischen 60 und 80 % der nFK, bei knapp einem Drittel über 80 % und auf einigen Flächen unter 60 %. Die unterdurchschnittlich wasserversorgten Standorte sind im östlichen und südlichen Altmoränenland und im Fläming zu finden. Im März 2015 wiesen hier gut ein Drittel aller untersuchten Flächen einen Anteil des Bodenwassers an der nFK von weniger als 60 % auf. Nur auf 25 % der BZE II-Plots wurden Anteile des Bodenwassers von 80 % und mehr an der nFK erreicht. Diese befinden sich vornehmlich im Harz. Im Mittel über alle Flächen lag der relative Anteil des Bodenwassers an der nFK bei 68 % und damit deutlich unter dem langjährigen Mittelwert für den Monat März.

In Hessen betrug im Mittel der Periode 1981 bis 2010 der relative Anteil des Bodenwassers an der nFK im März über alle BZE II-Standorte 85 %. Damit waren auf vielen Standorten im Hessischen Bergland die Böden zu Beginn der Vegetationsperiode annähernd mit Wasser gesättigt, während in der Rhein-Main-Ebene nur 70 % der nFK für die Verdunstung zur Verfügung stand (s. Abb. 4). Auf vielen BZE II-Plots in der Rhein-Main-Ebene lag die Bodenfeuchte im Mittel sogar unter 60 % der nFK. Dies betrifft vornehmlich Sandböden, die eine geringe nFK aufweisen. Im März 2015 lag der Anteil an pflanzenverfügbarem Bodenwasser mit 82 % der nFK (über alle BZE II-Plots) nur geringfügig unter den langjährigen Mittelwerten. Auch in der Rhein-Main-Ebene entsprach der relative Anteil des Bodenwassers an der nFK mit 66 % annähernd dem Mittelwert für den Monat März der Periode 1981 bis 2010.

Im Juni/Juli 2015 wurde der Höhepunkt der Trockenperiode erreicht, wobei in allen Ländern der relative Anteil des Bodenwassers an der nFK signifikant unter den langjährigen Mittelwerten lag. In Niedersachsen sank der Anteil des verfügbaren Bodenwassers an der nFK über alle BZE II-Punkte auf 50 % (langjähriges Mittel 64 %), in Sachsen-Anhalt auf 38 % (langjähriges Mittel 51 %) und in Hessen auf 50 % (langjähriges Mittel 70 %). Vergleichbar niedrige Bodenwassergehalte werden in durchschnittlich feuchten Jahren erst im August erreicht.

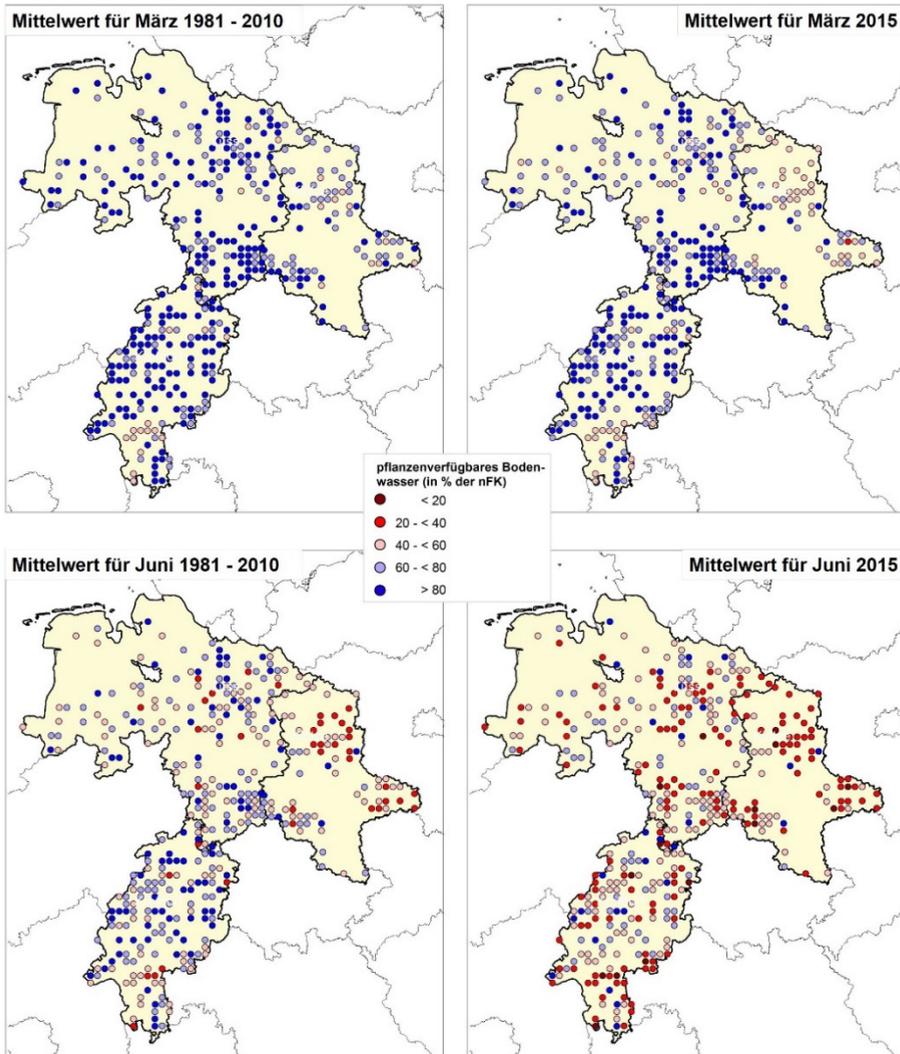


Abbildung 4: Pflanzenverfügbares Bodenwasser (in % der nFK) für die BZE II-Standorte in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Hessen im März (oben) und Juni (unten) als Mittel der Jahre 1981-2010 (links) und für das Jahr 2015 (rechts)

Zum Ende der Trockenperiode sank auf knapp einem Drittel aller BZE II-Plots in Niedersachsen der Anteil des pflanzenverfügbaren Bodenwassers auf 20 bis 40 % der nFK, auf einigen Flächen sogar unter 20 % der nFK (s. Abb. 4). Im langjährigen Mittelwert (1981-2010) für den Monat Juni wiesen nur 3 % aller Flächen so geringe Bodenwassergehalte auf. Dabei konzentrierte sich die Mehrzahl der Standorte mit einer geringen Bodenfeuchte auf das östliche und südöstliche Niedersachsen. Auffällig ist, dass auch die meisten Standorte im Harz über außergewöhnlich niedrige Bodenwassergehalte verfügten.

In Sachsen-Anhalt lag der Anteil des pflanzenverfügbaren Bodenwassers im Juni 2015 auf rund zwei Drittel aller BZE II-Plots zwischen 20 und 40 % der nFK, auf einigen Flächen sogar unter 20 % der nFK (s. Abb. 4). Die extreme Trockenheit betraf dabei alle Wuchsregionen.

In Hessen waren insbesondere die Standorte in der Rhein-Main-Ebene betroffen. Hier verfügten die BZE II-Plots im Juni im Mittel sogar nur über 41 % des pflanzenverfügbaren Bodenwassers, auf einigen Flächen auch nur über 20 % der nFK oder sogar darunter, sodass den Pflanzen kaum noch Wasser für die Verdunstung zur Verfügung stand. Auch in den übrigen Wuchsgebieten Hessens betrug der Anteil an pflanzenverfügbarem Bodenwasser bei mehr als zwei Drittel aller Standorte weniger als 60 % bzw. bei mehr als einem Drittel aller Standorte weniger als 40 % der nFK. Während in den meisten Regionen Mittel- und Nordhessens ab Juli infolge vermehrter Niederschläge die Trockenheit abgemildert wurde, verschärfte sich in Südhessen das Niederschlagsdefizit weiter. Im August sank der mittlere Anteil des Bodenwassers an der nFK in der Rhein-Main-Ebene auf 28 % (langjähriges Mittel 42 %). Die Trockenperiode 2015 stellt für Südhessen damit ein extrem seltenes Ereignis dar und kann aufgrund der mehrmonatigen Dauer als Dürreperiode bezeichnet werden.

6 Fazit

Die Trockenheit im Frühjahr und Frühsommer 2015 stellt für weite Bereiche Nordwestdeutschlands ein außergewöhnliches – für Südhessen ein extrem seltenes – Ereignis dar. In Niedersachsen waren das Ostniedersächsische Tiefland, Teile des Niedersächsischen Berglandes und der Harz betroffen, während die Küstenregionen immer wieder von Niederschlagsgebieten erfasst wurden. Da die Wintermonate landesweit sehr feucht waren, war zu Beginn der Vegetationsperiode der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher der meisten Böden gut gefüllt. Somit gab es beim Wachstum der Bäume keine messbaren Einbußen, obwohl im Juni 2015 regional sehr niedrige Bodenwassergehalte auftraten. Die überdurchschnittlich hohen Niederschläge, die Anfang Juli einsetzten und den gesamten Hochsommer anhielten, haben möglicherweise Wachstumseinbußen in den Wäldern Niedersachsens verhindert.

In Sachsen-Anhalt begann die Trockenperiode bereits im Herbst 2014 und dauerte mit kurzen Unterbrechungen bis Ende Juni 2015 über mehr als ein halbes Jahr an. Als Folge wiesen bereits zu Beginn der Vegetationsperiode die Böden sehr niedrige Bodenwassergehalte auf. Die Austrocknung der Böden erreichte dann im Juni seinen Höhepunkt, sodass den Pflanzen kaum noch Wasser für die Verdunstung zur Verfügung stand. Die überdurchschnittlich hohen Niederschläge im Juli und August haben möglicherweise in Sachsen-Anhalt größere Schäden in den Wäldern verhindert. Die Kiefer konnte ihr Wachstumsdefizit aus dem Frühjahr kompensieren und bewies damit eine gute Anpassungsfähigkeit an die Trockenheit.

Aufgrund der überdurchschnittlich hohen Niederschläge im Januar 2015 wiesen zu Beginn der Vegetationsperiode die Böden auf den meisten Standorten in Hessen Bodenwassergehalte auf, die nur geringfügig unter den langjährigen Mittelwerten lagen. Die Austrocknung der Böden schritt im Frühjahr 2015 infolge fehlender Niederschläge außergewöhnlich schnell voran und erreichte Ende Juni/Anfang Juli 2015 landesweit ihren Höhepunkt. In Südhessen (insbesondere in der Rhein-Main-Ebene) dauerte die extreme Trockenheit sogar bis Ende August an und führte dazu, dass auf vielen Standorten den gesamten Sommer über nur geringe Bodenwasservorräte zur Verfügung standen. Nur während einzelner Niederschlagsereignisse wurde die extreme Trockenheit kurzfristig und regional begrenzt unterbrochen. Trockenschäden wurden bei Jungbeständen beobachtet. Zuwachseinbußen sind wahrscheinlich, wurden jedoch nicht durch kontinuierliche Messungen erfasst.

Ob es auch zu langfristigen Schäden in den Wäldern des Untersuchungsgebietes kommen wird, müssen die Untersuchungen der nächsten Jahre zeigen.

Literatur

- AHNER, J.; AHRENDTS, B.; ENGEL, F.; HANSEN, J.; HENTSCHEL, S.; HURLING, R.; MEESEBURG, H.; MESTEMACHER, U.; MEYER, P.; MÖHRING, B.; NAGEL, J.; PAPE, B.; ROHDE, M.; RUMPF, H.; SCHMIDT, M.; SCHMIDT, M.; SPELLMANN, H.; SUTTMÖLLER, J. (2013): Waldentwicklungsszenarien für das Hessische Ried: Entscheidungsunterstützung vor dem Hintergrund sich beschleunigt ändernder Wasserhaushalts- und Klimabedingungen und den Anforderungen aus dem Europäischen Schutzgebietssystem Natura 2000. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 10, 398 S.
- AHRENDTS, B.; WAGNER, M.; SUTTMÖLLER, J.; MEESEBURG, H. (2017): Auswirkungen des Klimawandels auf Waldböden. Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt, (eingereicht)
- BECKER, T.; SCHRÖTER H. (2001): Die Ausbreitung des Borkenkäferbefalls im Bereich von Sturmwurf-Sukzessionsflächen. Eine Untersuchung in Sturmwurfbannwäldern Baden-Württembergs. Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 26, 10 S.
- BENDER, S.; SCHALLER, M. (2012): Vergleichendes Lexikon – Wichtige Definitionen, Schwellenwerte, Kenndaten und Indices für Fragestellungen rund um das Thema „Klimawandel und seine Folgen“. Climate Service Center. 80 S.
- BERNHOFER, C.; GOLDBERG, V.; FRANKE, J. (2005): REKLI II – Optimierung der Klimadatenbank REKLI für Auswertungen im Bereich der Wasserwirtschaft. Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben des Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt und der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (VertragNr.: 54/20202), 22 S.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (2016): Forstliches Umweltmonitoring in Deutschland – Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring. Berlin, 39 S.
- DESLAURIERS, A.; MORIN, H.; URBINATI, C.; CARRER, M. (2003): Daily weather response of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) stem radius increment from dendrometer analysis in the boreal forests of Québec (Canada). *Trees* 17, 477-484
- DOWNES, G.; BEADLE, C.; WORLEDGE, D. (1999): Daily stem growth patterns in irrigated *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in relation to climate. *Trees* 14, 102-111
- ELLENBERG, H.; LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 6. Aufl., Ulmer Verlag, Stuttgart, 1333 S.
- FLECK, S.; COOLS, N.; DE VOS, B.; MEESENBERG, H.; FISCHER, R. (2016): The Level II aggregated forest soil condition database links soil physicochemical and hydraulic properties with long-term observations of forest condition in Europe. *Annals of Forest Science* 73, 945-957, DOI: 10.1007/s13595-016-0571-4
- GRANIER, A.; BRÉDA, N.; BIRON, P.; VILETTE, S. (1999): A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological Modelling* 116, 269-283
- KÄTZEL, R. (2009): Möglichkeiten und Grenzen der Anpassung an Klimaextreme – eine Betrachtung zu baumartenspezifischen Risiken aus Sicht der Ökophysiologie. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 42, 22-34
- KÄTZEL, R.; ZANDER, M.; LÖFFLER, S. (2015): Wenn der Durst kommt – Eiche, Buche, Kiefer und Douglasie im Trockenstresstest. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 59, 40-54
- LEUSCHNER, C.; BACKES, K.; HERTEL, D.; SCHIPKA, F.; SCHMITT, U.; TERBORG, O.; RUNGE, M. (2001): Drought responses at leaf, stem and fine root levels of competitive *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. trees in dry and wet years. *Forest Ecology and Management* 149, 33-46
- LÜPKE, B. v. (2004): Risikominderung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau: ein Spannungsfeld. *Forstarchiv* 75, 43-50
- MANIAK, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. – 5. Aufl., Springer, Berlin, 666 S.
- MEESENBERG, H.; AHRENDTS, B.; FLECK, S.; WAGNER, M.; FORTMANN, H.; SCHELER, B.; KLINCK, U.; DAMMANN, I.; EICHHORN, J.; MINDRUP, M.; MEIWES, K. J. (2016): Long-term changes of ecosystem services at Solling, Germany: Recovery from acidification or new risks due to climate change? *Ecological Indicators* 65, 103-112, doi: 10.1016/j.ecolind.2015.12.013
- METTE, T.; RÖTZER, T.; PRETZSCH, H. (2011): Ein Dürre-Index für die Forstwirtschaft. – LWL aktuell, 85, 19-21
- MONTEITH, J. L. (1965): Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 19: 205-224
- PAAR, U.; EVERS, J.; DAMMANN, I.; KÖNIG, N.; SCHULZE, A.; SCHMIDT, M.; SCHÖNFELDER, E.; SCHELER, B.; ULLRICH, T.; EICHHORN, J. (2016): Waldbodenzustandsbericht für Hessen – Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Beiträge aus der NW-FVA, Band 15, 466 S.
- RICHARDS, L. A. (1931): Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1 (5): 318-333
- ROLOFF, A.; GRUNDMANN, B. (2008): Bewertung von Waldbaumarten anhand der KlimaArtenMatrix. *AFZ-DerWald*, 20, 1086-1088
- SCHULLA, J. (2015): Model Description WaSIM completely revised version of 2012 with 2013 to 2015 extensions. Technical Report: 332 S.
- VAN GENUCHTEN, M. T. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44 (5): 892-898
- VAN HEERDEN, K.; YANAL, R. D. (1995): Effects of stresses on forest growth in models applied to the Solling spruce site. *Ecological Modelling* 83, 273-282
- VOR, T.; SPELLMANN, H.; BOLTE, A.; AMMER, C. (2015): Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten: Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung. *Göttinger Forstwissenschaften*, Bd. 7, 229 S.

- WELLBROCK, N.; BOLTE A.; FLESSA H: (HRSG.) (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, Thünen Report 43, 550 S.
- WESSOLEK, G.; KAUPENJOHANN, M.; RENGER, M. (2009): Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis. In: Bodenökologie und Bodengenese, Band 40, Selbstverlag TU Berlin, Berlin, 80 S.
- WITTICH, K.-P.; LÖPMEIER F.-J. (2015): Kurzer Überblick über die Dürre in Deutschland im Juni 2015. Deutscher Wetterdienst
http://www.dwd.de/DE/Home/functions/aktuelles/2015/20150619_duerre_juni2015.html?n=510076

Korrespondierender Autor:

Johannes Suttmöller
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Umweltkontrolle
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
johannes.sutmoeller@nw-fva.de
www.nw-fva.de

Dr. Henning Meesenburg
Dr. Jan Evers
Dr. Markus Wagner
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt