

Tagungsbeitrag zu:

Sitzung der Kommission VI der DBG

Titel der Tagung:

Jahrestagung der DBG, Böden – eine endliche Ressource

Veranstalter: DBG**Termin und Ort:** 05.-13.09.2009 Bonn**Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)**<http://www.dbges.de>

Vergleich von Trockenstressperioden unter derzeitigem und zukünftigem Klima für verschiedene Baumarten

Lothar Zimmermann*

Zusammenfassung

Zum Vergleich derzeitiger mit künftigen, möglichen Standortwasserhaushalte sowie von Perioden mit potentiell Trockenstress unterschiedlicher Baumarten wurden zwei Niederschlagsrealisationen des A1B-Szenario für 2071-2100 sowie des Ist-Klimas (1961-90) mit dem physikalisch basierten Modell LWF-BROOK90 für einen trocken-warmen (Würzburg) sowie einen mittleren Standort (Freising) berechnet. In Würzburg zeigte sich bei allen betrachteten Baumarten (Eiche, Buche, Fichte) ein Rückgang der aktuellen Verdunstung in den Szenarien, während es in Freising zu einer Zunahme kam. Da gleichzeitig die Verdunstungsdifferenz in Würzburg deutlich ansteigt, ist nicht mehr genügend Wasser vorhanden, um dort den sommerlichen Verdunstungsanspruch des wärmer werdenden Klimas zu erfüllen. Die Grundwasserneubildung nimmt in Freising im trockenen Szenario ab, während sie in Würzburg in beiden Szenarien ansteigt. Folge der dort starken Umverteilung des Niederschlags ins Winterhalbjahr. In künftigen Extremjahren tritt die Transpirationdifferenz früher und länger bei vergleichbarer Höhe wie im Jahrhundertssommer 2003 auf.

Schlüsselworte

Klimawandel, WETTREG, Wasserhaus-

halt, Waldklimastation, hydrologische Modellierung, LWF-BROOK90

Einleitung

Der Wasserhaushalt steuert entscheidend die Vitalität und das Wachstum von Wäldern. Der Klimawandel wird den Wasserhaushalt von Wäldern durch seine Temperaturzunahme und Änderungen im saisonalen Niederschlagsregime verändern. Neben der Änderung der mittleren Verhältnisse wird dabei auch die Häufigkeit wie die Stärke und Andauer extremer Witterungsperioden wie Hitze- und Trockenperioden zu nehmen (*Schär et al. 2004*).

Die Umtriebszeiten unserer hiesigen Wirtschaftswälder entsprechen den Prognosezeiträumen der Klimaszenarien. Die Wälder bzw. die Forstwirtschaft wird damit mit Umweltfaktoren konfrontiert, die es in der Vergangenheit noch nicht gegeben hat, d.h. es müssen Anpassungsstrategien entwickelt werden um die Widerstandsfähigkeit und das Anpassungsvermögen der Wälder zu erhöhen. Eine wesentliche Anpassungsmaßnahme liegt aufgrund der langen Wachstumszyklen in der Baumartenwahl. Gleichzeitig verändert sich auch der Wasserhaushalt und bestimmt wesentlich mit, welche Baumart noch auf welchem Standort unter welchem Klima bestehen kann (*Fiebiger et al. 2009*).

Regionale Klimaszenarien erlauben das Downscaling möglicher, zukünftiger Klimate aus den Globalen Klimamodelle und ihre Anwendung in lokalen Modellen, wie sie in der Klimafolgenforschung verwendet werden. Der Standortwasserhaushalt von Wäldern wird heute zumeist mit Hilfe von physikalisch basierten, forsthydrologischen Modellen, die eine numerische Lösung der RICHARDS-Gleichung beinhalten, beschrieben und zur Übersetzung des Witterungsverlaufs in das Wasserhaushaltregime von Wäldern eingesetzt.

Ziel dieser Untersuchung war es exemplarisch an zwei Waldstandorten in Bayern Änderungen im Wasserhaushalt für verschiedene Baumarten zu betrachten und wie sich Perioden mit potentiell angespannter Wasserversorgung für die Bäume unter einem regionalen Klimaszenario verändern.

* Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Am Hochanger 11, 85354 Freising

Material und Methoden

Für die Untersuchung wurden aus dem Messnetz der Waldklimastationen (WKS) des forstlichen Umweltmonitoring exemplarisch zwei Standorte mit deutlich unterschiedlichen klimatischen Bedingungen ausgewählt. In Nordbayern wurde die WKS Würzburg als Standort in der trockensten und wärmsten Region in Bayern ausgewählt (Mittl. Jahresniederschlag 1961-90: 614 mm/a, mittlere Jahreslufttemperatur: 9,1°C) (LWF 2002). Als Kontrast wurde im Süden ein gut wasserversorgter Standort im Tertiärhügelland, die WKS Freising, verwendet (Mittl. Jahresniederschlag: 788 mm/a, mittlere Jahreslufttemperatur: 7,5°C) (LWF 1997). Beide Standorte sind schluffig-lehmig (WKS Würzburg: Braunerde-Pseudogley/Dystric Cambisol auf unterem Keuper, WKS Freising: Braunerde-Parabraunerde/Eutric Cambisol auf quartärem Lößlehm über Tertiärsedimenten), unterscheiden sich aber deutlich in ihrer nutzbaren Feldkapazität. In Würzburg handelt es sich um einen Standort mit geringer bis mittlerer nFKWe (148 mm), während es sich in Freising um einen Standort mit einer hohen Speicherleistung mit geringem Skelettgehalt und tiefer Durchwurzelung bis 1,5 m Tiefe handelt (nFKWe: 233 mm). Der Wasserhaushalt wurde für beide Standorte mit dem physikalisch basierten, forsthydrologischen Modell LWF-BROOK90 (Hammel & Kennel 2001) modelliert. Dabei wurden meteorologische Zeitreihen des regionalen Klimamodells WETTREG (Spekat et al. 2007) in täglicher Auflösung der nahegelegenen Klimastationen Freising/Weihenstephan bzw. Würzburg für Ist-Klima 1961-90 sowie Zukunftsszenario 2071-2100 verwendet. Der statistische Ansatz dieses Klimamodells ermöglicht es die Unsicherheit der künftigen, möglichen Änderung im Niederschlag durch die Verwendung einer trockenen sowie einer feuchten Realisation für das mittlere Emissionsszenario (SRES A1B) zu berücksichtigen. Das Wasserhaushaltsmodell LWF-BROOK90 ist neben detaillierten Angaben zur Bodenphysik durch Informationen zum Bestand (Durchwurzelung, Bestandeshöhe und -rauigkeit sowie Blattflächenindex) parametrisiert. Neben den aus den derzeit vorkommenden

Bestandesvegetationen an den beiden Standorten (WKS Würzburg: 104jähriger Eichen-Buchenmischbestand mit maximaler Durchwurzelungstiefe bis 115 cm, WKS Freising: 157jähriger Buchen-Eichenmischbestand mit maximaler Durchwurzelung bis 150 cm) abgeleiteten gleichaltrigen Eichen- bzw. Buchenreinbeständen wurden als weitere Vegetationsvarianten jeweils ein 92jähriger Fichten- sowie ein 80jähriger Buchenreinbestand mit einer maximalen Durchwurzelungstiefe von 80 cm gerechnet.

Wesentliche Ausgabegrößen der Wasserhaushaltsmodellierung mit LWF-BROOK90 sind die Verdunstungskomponenten sowie Bodenwassergehalte und zahlreiche weitere Fluss- und Zustandsgrößen. Zur Charakterisierung von potentiell wirksamen Trockenstressperioden wurde die Verdunstungsdifferenz ETdiff (Differenz zwischen aktueller zu potentieller Transpiration und Bodenevaporation) sowie die Transpirationisdifferenz herangezogen.

Ergebnisse

Bei der Vorbereitung der Zeitreihen der Klimaszenarien für die Wasserhaushaltsmodellierung wurde eine gute Übereinstimmung zwischen den Niederschlags- und Temperaturwerten für das modellierte Ist-Klima mit den gemessenen Werten festgestellt. Im Vergleich von Zukunftsszenario mit dem Ist-Klima zeigte sich an beiden Standorten eine Temperaturzunahme im Bereich von 2,0 bis 2,3 K. Die Niederschlagsänderung unterschied sich zwischen den Standorten: in Würzburg nahm in der feuchten Zukunftsrealisation der Niederschlag um 13% zu, während es in Freising nur 2% waren. Bei der trockenen Realisation nahm der Niederschlag in Würzburg um -6% bzw. in Freising um -11% ab. In der Niederschlagsverteilung zwischen Sommer- und Winterhalbjahr zeigte sich eine Verschiebung zum Winter hin, besonders stark in Würzburg, wo künftig 2/3 des Niederschlags im Winter fallen (Tab. 1).

In Freising nahm die Gesamtverdunstung bei allen Baumarten (Buche mit 150 cm bzw. 80 cm Durchwurzelung, Fichte mit 80 cm) bis zu 10% in den Szenarien zu.

Tab. 1: Anteil Winterhalbjahr am Jahresniederschlag (*:WETTREG-Szenarien)

Ort	Zeitreihe	Quelle	Niederschlag Winter/Jahr
Freising	1961-90	DWD	43%
Freising	1961-90	Ist-Klima*	49%
Freising	2071-00	A1B_trocken*	58%
Freising	2071-00	A1B_feucht*	58%
Würzburg	1961-90	DWD	54%
Würzburg	1961-90	Ist-Klima*	56%
Würzburg	2071-00	A1B_trocken*	67%
Würzburg	2071-00	A1B_feucht*	67%

Die höchsten Werte wurden bei der auch im Winter zur Transpiration fähigen Fichte gefunden, wobei das trockene Szenario niedriger (643 mm/a) als das feuchte (679 mm/a) war. In Würzburg nahm dagegen die Verdunstung bei den Varianten Buche mit 80 cm Durchwurzelung sowie Eiche mit 115 cm Durchwurzelung, sowohl im feuchten wie auch im trockenen Zukunftsszenario, ab, im letzteren besonders deutlich (bis 12 %). Bei der Variante Fichte mit 80 cm Durchwurzelung liegt sie im feuchten Szenario etwas höher als im Ist-Klima, im tro-

Fichtenvariante. Überraschend dagegen die Grundwasserneubildung am Standort Würzburg, hier zeigen beide Szenarien höhere Grundwasserneubildungen als im Referenzklima 1961-90. Die Eichen- und die Buchenvariante zeigen auch hier eine mehr als doppelt so hohe Grundwasserneubildung als bei der Fichtenvarianten. Die hohen Grundwasserneubildungsraten lassen sich durch die prognostizierte Umverteilung des Niederschlags vom Sommer- in das Winterhalbjahr erklären (Tab. 1), da die Grundwasserneubildung nur im Winter stattfindet. In den Szenarien steigt zwar aufgrund der Temperaturzunahme der Verdunstungsanspruches der Atmosphäre. Damit steigt die potentielle Verdunstung an, die aber zum überwiegenden Teil nicht mehr durch den Wassermangel im Sommer in eine tatsächliche (aktuelle) Verdunstung umgesetzt werden kann. Dementsprechend steigt die Verdunstungsdifferenz ETDiff in den Vegetationsperiodenmonaten Mai-August in Würzburg teilweise auf das Doppelte der Werte in

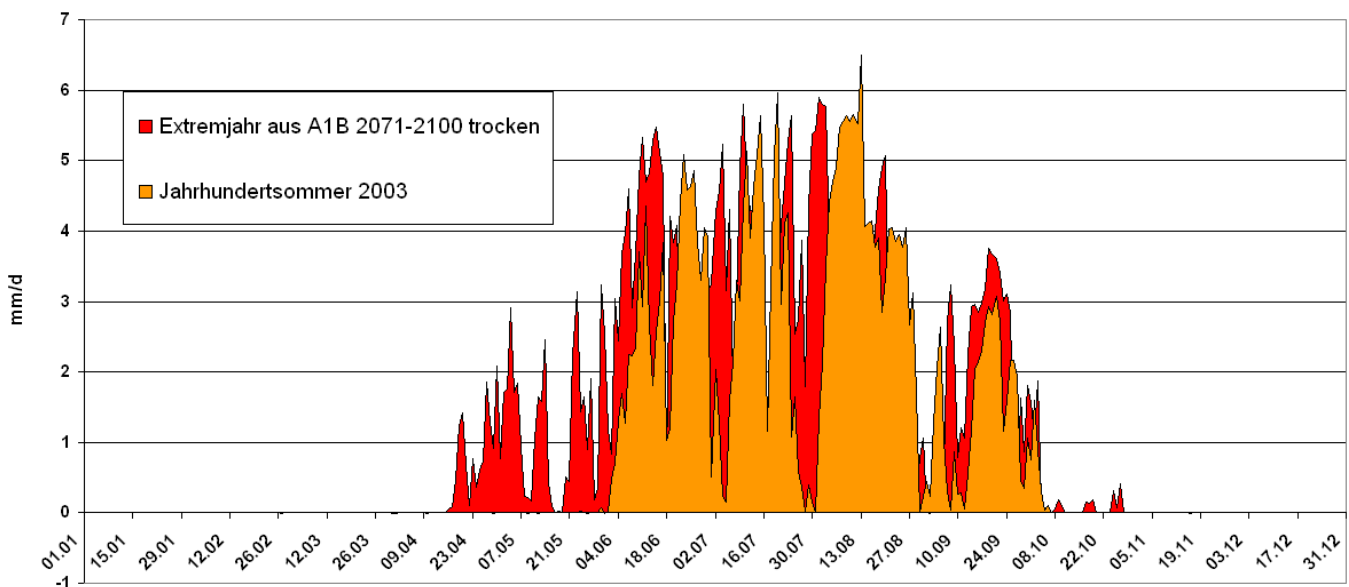


Abbildung 1: Transpirationsdifferenzen im Jahresverlauf 2003 sowie Extremjahr aus trockenem Szenario A1B (2071-2100) WKS Würzburg Fichte mit maximaler Durchwurzelung bis 80 cm Bodentiefe.

ckenen dagegen rund 7% niedriger. Die Grundwasserneubildung zeigte am Standort Freising im trockenen Szenario einen deutlichen Rückgang um mehr als die Hälfte bei allen Baumarten, während im feuchten Szenario eine vergleichbare Höhe wie 1961-90 erreicht wurde. Bei den beiden Buchenvarianten ergaben sich mehr als doppelt so hohe Sickerraten als bei der

Freising an. In Würzburg erreichte die ETDiff bei allen drei Vegetationsvarianten im trockenen Szenario die höchsten Werte (bis 350 mm), während sie im feuchten Szenario nur um rund 50% höher als bei der Kontrolle von 1961-90 liegt (150-200 mm). Die Eichenvariante wies dort die niedrigsten Verdunstungsdifferenzen bei Ist-Klima und trockenem Szenario auf,

während es beim feuchten Szenario keinen Unterschied zur Buchenvariante gab. Beim Ist-Klima (1961-90) gab es keinen Unterschied zwischen der Buchen- und der Fichtenvariante (mit 80 cm Wurzeltiefe), während bei trockenem Szenario bei der Fichtenvariante die absolute höchsten Verdunstungsdifferenzen erreicht wurden. In Freising erreichten die Verdunstungsdifferenzen bei allen drei Vegetationsvarianten im trockenen Szenario die höchsten Werte, während sie im feuchten Szenario niedriger, aber noch höher als bei Kontrolle von 1961-90 lagen.

Für die WKS Würzburg wurden die Verdunstungsdifferenzen für den Jahrhundertssommer 2003 mit einem Extremjahr aus dem trockenen Zukunftsszenario (2071-2100) für die Vegetationsvariante Fichte mit 80 cm Wurzeltiefe verglichen (Abb. 1). In beiden Jahren werden ähnliche hohe, tägliche Transpirationsdifferenzen erreicht. Deutlich wird aber, dass die Zeit mit den Transpirationsdifferenzen schon Mitte April beginnt und, nicht wie 2003, erst Anfang Juni. Ferner dauert die Phase mit den Transpirationsdifferenzen länger an.

Die Häufigkeitsverteilungen der jährlichen Transpirationsdifferenzen für die Vegetationsvariante Fichte mit 80 cm Wurzeltiefe zeigt, dass im trockenen Szenario 2071-2100 der Jahrhundertssommer 2003 im mittleren Bereich der Verteilung liegt, so dass künftig das heutige Extrem zur Regel werden könnte.

Fazit

Um die Werte der Verdunstungs- oder der Transpirationsdifferenz in Bezug zu Trockenstressperioden zu setzen, fehlt noch die Ableitung entsprechender Schwellwerte aus baumphysiologischen und waldwachstumkundlichen Untersuchungen (Czajkowski *et al.* 2009). Nichtsdestotrotz kann durch den Vergleich mit historischen Extremjahren wie 2003 ein relatives Maß für die Änderung der Intensität und Häufigkeit von Trockenstressperioden gewonnen werden. Deutlich wird bei den beiden untersuchten Standorten das bessere Abschneiden bei den Verdunstungsdifferenzen der Laubbaumarten Buche und Eiche gegenüber Fichte, wobei das Ansteigen

der Verdunstungsdifferenz am trockenwarmen Standort Würzburg im Ist-Klima wie in den beiden Szenarien sowie in Freising im trockenen Szenario besonders deutlich wird.

Literatur:

Czajkowski, T., Ahrends, B. und A. Bolte (2009): Critical limits of soil water availability (CL-SWA) for forest trees –an approach based on plant water status. *vTI Agriculture and Forestry Research* 59, S. 87-94.

Fiebiger, C., Suttmöller, J., Meesenburg, H. und J. Eichhorn (2009): INKLIM 2012 Baustein II Plus. Wald in der Rhein-Main-Ebene- Risiken und Anpassungsmaßnahmen für die Forstwirtschaft als Folge der prognostizierten Klimaveränderung in Hessen.

http://www.hlug.de/klimawandel/inklim_plus/dokumente/berichte/forstwirtschaft.pdf

Hammel, K. und Kennel, M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. *Forstliche Forschungsberichte München*, 185.

LWF (Hrsg.) (1997): Bayerische Waldklimastationen – Jahrbuch 1996.

LWF (Hrsg.) (2002): Bayerische Waldklimastationen – Jahrbuch 2001.

Schär, Ch., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, Ch., Liniger, A., Appenzeller, Ch. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427, 332-336.

Spekat, A., Enke, W., Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI – OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES – Szenarien B1, A1B und A2. Projektbericht im Rahmen des F+E-Vorhabens 204 41 138 „Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland“, *Mitteilungen des Umweltbundesamtes*, 149 S.