

**Tagungsbeitrag zu:** Jahrestagung der DBG, Kommision I

**Titel der Tagung:** Böden verstehen, Böden nutzen, Böden fit machen

**Veranstalter:** DBG, September 2011, Berlin

**Berichte der DBG** (nicht begutachtete online Publikation)

<http://www.dbges.de>

Auswirkungen künftiger klimatischer Änderungen zu minimieren, sollten Anpassungsmaßnahmen vorzugsweise im Osten des Landes durchgeführt werden.

## Einleitung

Experimentelle Untersuchungen des Bodenwasserhaushaltes beinhalten häufig nur eine relativ kurze Zeitspanne von wenigen Jahren und decken nur wenige Standorte ab. Die Betrachtung einer größeren Anzahl von Standorten über lange Zeiträume erfordert die Nutzung von sogenannten SVAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer)-Modellen.

Mit etwa 40 % Flächenanteil ist die Kiefer (*Pinus sylvestris L.*) derzeit die dominierende Baumart in Mecklenburg-Vorpommern (BMELV, 2002). Es wurde der Bodenwasserhaushalt für 24 über das gesamte Land verteilte Kiefernstandorte von 1951 bis 2009 mit dem physikalisch basierten Modell LWF-BROOK90 (Hammel und Kennel, 2001) zur Beantwortung folgender Fragen modelliert: (1) Nimmt der Trockenstress von Westen nach Osten aufgrund klimatischer Unterschiede zu? (2) Hat das Trockenheitsrisiko für Kiefernstandorte von 1951 bis 2009 zugenommen? (3) Werden klimatische Unterschiede innerhalb des Landes durch die spezifischen Standortbedingungen und/oder Vegetationscharakteristika überprägt?

## Material und Methoden

### Untersuchungsgebiet

Das Netz der Dauerbeobachtungsflächen der Landesforstanstalt enthält 24 Kiefernstandorte in Mecklenburg-Vorpommern, welche für die Modellierung herangezogen wurden (Abb. 1).

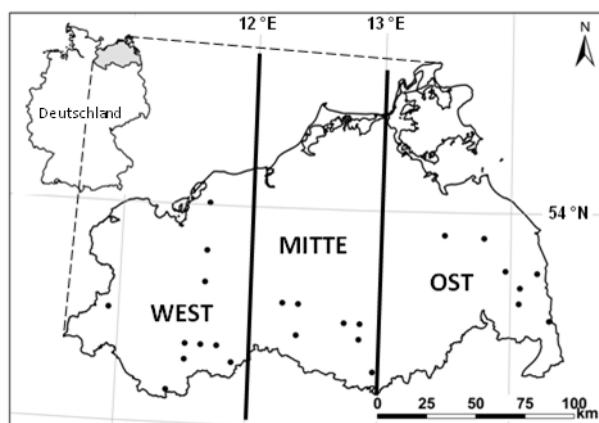


Abb. 1: Verteilung der 24 Kiefernstandorte

Die Ergebnisse zeigen eine zunehmende Anzahl von Trockenstresstagen ostwärts mit abnehmenden Niederschlagssummen. Die klimatischen Unterschiede innerhalb des Landes werden teilweise von den spezifischen Standortbedingungen und Bodeneigenschaften überprägt. Bodentrockenheit hat in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen, wobei die östlichen Standorte stärker als die westlichen betroffen sind. Die zunehmende Bodentrockenheit konnte auf einen erhöhten Verdunstungsanspruch der Atmosphäre zurückgeführt werden aufgrund höherer Temperaturen in Kombination mit leicht abnehmenden Niederschlägen während der Sommermonate. Um die negativen

<sup>1</sup> Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, 18051 Rostock  
andreas.bauwe@uni-rostock.de

## Klima

Es wurden Wetterdaten in täglicher Auflösung des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. Im Einzelnen wurden die Parameter Niederschlag, Minimal- und Maximaltemperatur, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer und Dampfdruck aufbereitet.

Der Temperaturverlauf der vergangenen 60 Jahre zeigt einen leichten Anstieg in den letzten Dekaden (Abb. 2a). Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe beträgt für den westlichsten Standort 753 mm gegenüber 621 mm im äußersten Osten (Abb. 2b).

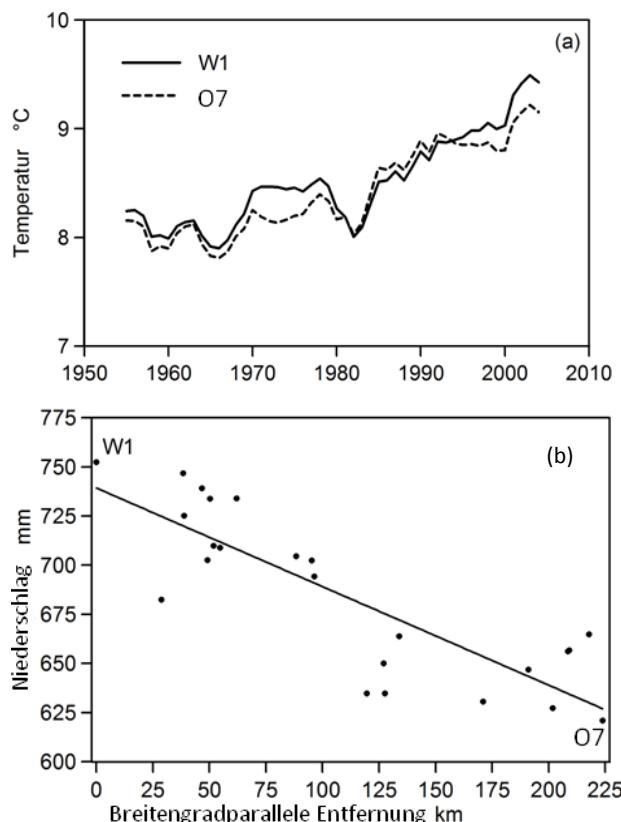


Abb. 2: Klimabedingungen an den Untersuchungsstandorten.

## Vegetation

Bestandsparameter wurden durch die Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, Anstalt des öffentlichen Rechts, zur Verfügung gestellt und ausgewertet (Tab. 1). Für weitere Vegetationsparameter wurde auf das Standardparameterset von BROOK90 für Nadelbäume (Federer, 2002) zurückgegriffen. Um eine Vergleichbarkeit des Trockenstressrisikos über die Jahre hinweg zu gewährleisten, wurde von statischen Beständen ausgegangen, d.h. es wurde kein Waldwachstum modelliert.

Tab. 1: Vegetationsparameter

	Min.	A.M.	Max.
Alter (a)	35	67	147
Anzahl der Bäume ( $\text{ha}^{-1}$ )	177	963	3000
Brusthöhendurchmesser	14	26	53
Höhe (m)	15,2	22,8	34,0
Blattflächenindex ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ )	2,0	2,8	4,3

## Boden

Die wichtigsten Bodeneigenschaften wie Korngrößenverteilung, Trockenrohdichte und organische Bodensubstanz wurden für verschiedene Tiefen bis 90 cm für jeden Untersuchungsstandort bezogen und ausgewertet (Tab. 2).

Tab. 2: Bodenparameter

	Min.	A.M.	Max.
Sand (%)	80,5	91,8	98,1
Schluff (%)	1,1	5,5	15,3
Ton (%)	0,8	2,8	4,2
Rohdichte ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,25	1,43	1,56
Ks ( $\text{m d}^{-1}$ )	0,12	0,53	1,92
Feldkapazität (%)	14,6	20,7	27,9
PWP (%)	0,4	2,5	5,0
nFK (%)	14,2	18,2	23,7

## Trockenstressindex

Als Trockenstressindex wurde das relative extrahierbare Wasser (REW) der durchwurzelten Zone verwendet:

$$REW = \frac{\theta_{act} - \theta_{pwp}}{\theta_{fc} - \theta_{pwp}}$$

Wobei  $\theta_{act}$  der momentane volumetrische Bodenwassergehalt ist,  $\theta_{pwp}$  ist der volumetrische Bodenwassergehalt beim permanenten Welkepunkt und  $\theta_{fc}$  ist der volumetrische Bodenwassergehalt bei Feldkapazität. Der Index wird ausführlich in Breda et al. (2006) beschrieben. REW kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei ein REW-Wert von 1 einem wassergesättigten Boden bis Feldkapazität entspricht, während ein REW-Wert von 0 anzeigt, dass der Boden bis zum permanenten Welkepunkt ausgetrocknet ist. Bodenwassermangel tritt auf, wenn REW unter 0,4 absinkt und sich die Stomata zu schließen beginnen.

## Ergebnisse

### Räumliche Verteilung und langzeitliche Entwicklung von Trockenstress

Bei visueller Interpretation lässt sich keine bestimmte räumliche Verteilung im Auftreten von Trockenstresstagen erkennen (Abb. 3).

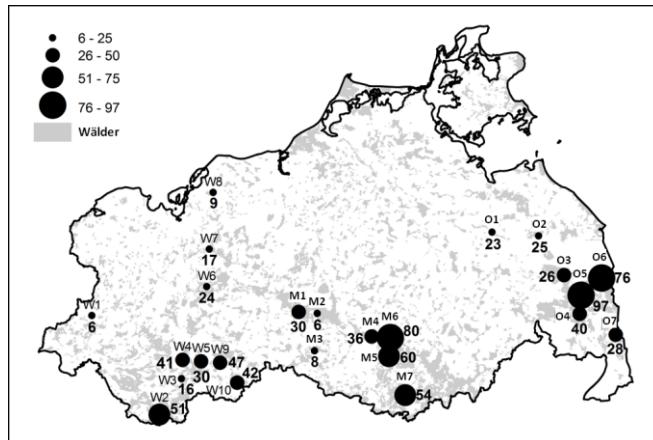


Abb. 3: Mittlere Anzahl von Trockenstagen ( $REW<0,4$ ) an den 24 Untersuchungsstandorten zwischen 1951-2009

Mit einer Spanne von 6 (W1) und 97 Tagen (O5) sind die Unterschiede auftretender Trockenperioden erheblich. Die Anzahl an Trockenstagen variierte deutlich zwischen einigen benachbarten Standorten (z. B. M4, M6). Da die klimatischen Bedingungen an diesen Standorten ähnlich oder gleich sind, müssen die Ursachen für das unterschiedliche Auftreten von Bodentrockenheit in unterschiedlichen Bodeneigenschaften und/oder Bestandscharakteristika zu suchen sein.

Während die Jahresmitteltemperatur über die ersten 30 Jahre der Simulationsperiode kaum Veränderungen unterlag, ist seit den 1980er Jahren ein kontinuierlicher Anstieg zu verzeichnen (Abb. 2a). Diese Temperaturerhöhung scheint sich im vermehrten Auftreten von Bodentrockenheit in der jüngeren Vergangenheit wider zu spiegeln (Tab. 3).

Tab. 3: Mittlere Anzahl der Trockenstage in den Regionen West, Mitte und Ost für alle untersuchten Dekaden

DEKADE	WEST	MITTE	OST
1951 – 1959	20,2	29,9	31,5
1960 – 1969	14,9	19,1	19,8
1970 – 1979	33,5	50,2	54,2
1980 – 1989	26,7	43,9	62,3
1990 – 1999	36,5	48,4	38,1
2000 – 2009	36,9	42,3	63,0

Ein räumliches Muster entlang des klimatischen Gradienten mit einer zunehmenden Anzahl von Trockenstagen nach Osten hin wird offensichtlich. In jeder Dekade war die westliche Region am geringsten und die östliche am stärksten von Bodentrockenheit betroffen. Die östliche Region hatte die höchste Anzahl von Trockenstagen in fünf von sechs betrachteten Dekaden. Die zwei Dekaden mit der höchsten Anzahl von Trockenstagen waren im Westen 2000-2009 und 1990-1999; im Osten 2000-2009 und 1980-1989. Die mittlere Region war am stärksten von Trockenstress zwischen 1970 und 1979 betroffen, gefolgt von der Dekade 1990-1999.

### Haupteinflussfaktoren

Um den Einfluss des Klimas, der Bodeneigenschaften und der Bestandscharakteristika auf das Auftreten von Trockenstress abschätzen zu können, wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Statistisch signifikante Korrelationen (Mai bis Oktober) wurden für alle drei Variablen Temperatur, Niederschlag und klimatische Wasserbilanz nachgewiesen ( $n=1416$ ,  $p<0.01$ ). Die höchsten Zusammenhänge wurden für die klimatische Wasserbilanz gefunden. Der Korrelationskoeffizient für den Längengrad zeigt, dass zunehmende Kontinentalität mit der Anzahl der Trockenstage positiv korreliert ( $n=24$ ,  $p<0.05$ ). Der Blattflächenindex zeigte den höchsten statistischen Zusammenhang von allen untersuchten Parametern ( $n=24$ ,  $p<0.01$ ), wohingegen der schwache negative Zusammenhang zwischen nutzbarer Feldkapazität und der Anzahl der Trockenstage statistisch nicht signifikant war.

Tab. 4: Korrelationskoeffizienten zwischen Trockenstagen und Haupteinflussgrößen.

Variable	r
Temperatur	0,41
Niederschlag	-0,59
KWB	-0,66
Blattflächenindex	0,73
Längengrad	0,41
nFK	-0,20

### Diskussion

Die Modellierungsergebnisse zeigen die hohe räumliche Variabilität von Bodentrockenheit

unter Kiefernbeständen in Mecklenburg-Vorpommern. Die Daten zeigen, dass die Anfälligkeit gegenüber Trockenstress von einem ganzen Bündel von Einflussgrößen abhängt. Die klimatischen Unterschiede innerhalb des Landes werden teilweise durch spezifische biotische und abiotische Faktoren überprägt. Die geringe Beziehung zwischen nutzbarer Feldkapazität und dem Auftreten von Trockenägen ist auf die geringe Variabilität der Bodeneigenschaften an den 24 Standorten zurückzuführen.

Wenn man die einzelnen Untersuchungsstandorte zu den Regionen West, Mitte und Ost zusammenfasst, wird ein räumliches Muster hinsichtlich des Auftretens von Trockenstress sichtbar. Das Trockenstressrisiko nimmt allmählich ostwärts mit abnehmenden Niederschlägen und höheren Temperaturen im Sommer zu, was zusätzlich durch die positive Korrelation zwischen Längengrad und der Anzahl der Trockenägen bestätigt wird. Von großer Bedeutung scheint die Interaktion der meteorologischen Größen Niederschlag und Temperatur zu sein, was mit der klimatischen Wasserbilanz ausgedrückt werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass Bodentrockenheit in den vergangenen drei Jahrzehnten zugenommen hat.

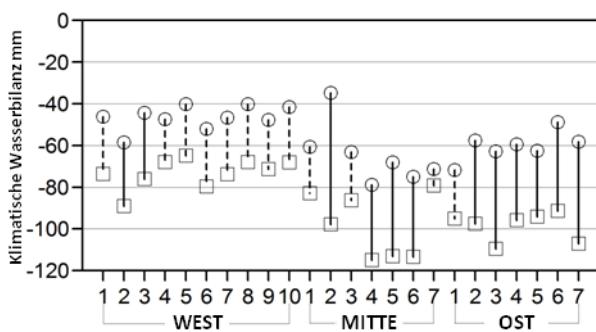


Abb. 4: Mittlere KWB für Juli bis September von 1951-1980 (Punkte) und 1981-2009 (Quadrate). Änderungen sind durchgezogene (>30 mm) und gestrichelte (<30 mm) Linien.

Die langzeitliche Entwicklung von Trockenstress muss eine direkte Konsequenz der vorherrschenden klimatischen Bedingungen sein, da die Standorteigenschaften und Bestandsgrößen über die gesamte Simulationsperiode konstant gehalten worden sind. Wenn man die klimatische Wasserbilanz für die beiden Perioden 1951-1980 und 1981-2009 für alle Standorte darstellt, werden räumliche und zeitliche Muster erkennbar

(Abb. 4). Die klimatische Wasserbilanz ist an allen untersuchten Standorten in den letzten 30 Jahren negativer geworden, wobei die Abnahme an den östlichen Standorten am höchsten war.

### Schlussfolgerungen

Es konnte gezeigt werden, dass der vorherrschende klimatische Gradient im Allgemeinen mit einem erhöhten Trockenstressrisiko ostwärts einhergeht. Daneben spielen für den Bodenwasserhaushalt Boden- und Vegetationseigenschaften eine bedeutende Rolle. Insbesondere wurde der Blattflächenindex als eine kritische Größe und Auslöser von Trockenstress bei Wassermangel identifiziert. Es gibt einige Anzeichen, dass der Klimawandel bereits den Bodenwasserhaushalt negativ beeinflusst. Der Bodenwasserhaushalt in den östlichen Landesteilen scheint von den klimatischen Änderungen stärker betroffen zu sein als der Westen. Regionale Klimamodelle prognostizieren einen weiteren Anstieg der Jahresmitteltemperatur verbunden mit deutlichen Rückgängen bei den sommerlichen Niederschlägen. Daher kann geschlussfolgert werden, dass der klimatische Druck auf Kiefernwälder aufgrund zunehmender Bodentrockenheit in Mecklenburg-Vorpommern in Zukunft noch zunehmen wird.

Die Ergebnisse dieser Studie legen den Schluss nahe, dass Anpassungsmaßnahmen (z.B. Baumartenwahl, Provinzen) vorrangig im Osten des Landes auf armen Standorten durchgeführt werden sollten, da diese Regionen am meisten von Bodentrockenheit betroffen sind.

### Literatur

- BMELF, 2002. Bundeswaldinventur 2. <http://www.bundeswaldinventur.de> Access: 07.06.2010.
- Bréda, N., Huc, R., Granier, A., Dreyer, E., 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: A review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. Annals of Forest Science 63 (6), 625-644
- Federer C A 2002 BROOK90 - A simulation model for evaporation, soil water, and streamflow. <http://www.ecoshift.net>
- 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.