

Auswirkung von Trockenheit auf den Waldzustand - Ansätze zur Bewertung der Trockenheitsgefährdung von Waldstandorten

J. MUELLER

Abstract

According to scenarios for the change of climate in forthcoming decades, extreme weather that would endanger the existence of current ecosystems is likely to increase. Persistent drought and high temperatures in 2003 resulted in extreme water shortage with significant impacts on the growth of forest trees. Investigations were carried out above all to find out which parameters are essential for evaluating critical drought phases and which types of forest ecosystem, site or tree species are more sensitive to the risk of drought and which ones are less affected.

The data of the Forest Monitoring Network obtained by harmonized data acquisition are a suitable starting point for evaluating the risk of drought by the following steps: (1) regional differentiation of meteorological drought, (2) regional differentiation of the soil water storage capacity and its dynamics, (3) evaluation of cause and effect relationships between meteorological drought, soil water availability and the effect of drought on the water balance of selected sites. For this, the water balance of selected forest plots was modelled. The transpiration index (aeT/peT) is understood as an indicator of the risk of water stress of forest sites.

Zusammenfassung

Prognosen zur Klimaentwicklung der nächsten Jahrzehnte lassen für Deutschland eine Zunahme von Witterungsextremen erwarten, die für die Waldökosysteme in ihren heutigen Standortsbereichen existenzbedrohende Auswirkungen haben könnten.

So führten die lang anhaltende Trockenheit und die hohen Temperaturen des Jahres 2003 bundesweit zu zum Teil extrem hohem Wassermangel. Dieser hat-

te Auswirkungen auf das Baumwachstum. Schwerpunkte der Untersuchungen aus hydroökologischer Sicht:

Welche Parameter sind für die Bewertung der Trockenheitsgefährdung maßgeblich und welche Waldökosysteme, Standorte bzw. Baumarten sind besonders empfindlich bzw. gefährdet und welche weniger? Aufbauend auf den dabei gewonnenen Befunden werden Indikatoren für die Bewertung der potentiellen Trockenheitsgefährdung von Waldstandorten abgeleitet. Die Daten des forstlichen Umweltmonitorings sind aufgrund abgestimmter Erhebungs- und Auswertungsmethoden für die Untersuchungen eine sehr gute Ausgangsbasis. Die Bewertung der Trockenheitsgefährdung von Waldstandorten erfolgt in folgenden Arbeitsschritten:

1. Regionale Differenzierung der meteorologische Trockenheit.
2. Regionale Differenzierung von Bodenwasserspeicherkapazität und -dynamik.
3. Auswertung der Ursachen - Wirkungsbeziehungen zwischen meteorologischer Trockenheit, Bodenwasserverfügbarkeit und Wachstumsreaktion an ausgewählten Standorten.

Der Quotient von aktueller zu potentieller Transpiration ist ein geeigneter Parameter zur Beurteilung der Wasserversorgung eines Bestandes.

Ausgangslage und Problemstellung

Die lang anhaltende Trockenheit und die hohen Temperaturen des Jahres 2003 führten bundesweit zu zum Teil extrem hohem Wassermangel. Dieser hatte Auswirkungen auf das Baumwachstum (MÜLLER, 2004).

Nach Auswertungen durch den Deutschen Wetterdienst hatte das Jahr 2003

insgesamt zehn zu trockene Monate, so dass auch das gesamte Jahr ein sehr großes Niederschlagsdefizit aufwies. 2003 war damit das siebt trockenste und das acht wärmste Jahr seit Beginn des 20. Jahrhunderts.

Vor diesem Hintergrund entstand Informationsbedarf zu den Auswirkungen von Hitze und Niederschlagsdefizit auf den Waldzustand.

Das nordostdeutsche Tiefland hat auf Grund des kontinental beeinflussten Klimas im bundesweiten Vergleich weit unterdurchschnittliche Niederschläge. Die Jahresniederschläge liegen zwischen 450 mm und 650 mm. Typisch sind trockene Phasen während der Vegetationsperiode. Die Böden sind sandig mit geringer Wasserspeicherkapazität und hoher Durchlässigkeit.

In Anbetracht der zu erwartenden Klimaänderung hat der Wald als langlebiges Ökosystem eine herausragende Bedeutung. Die heute begründeten Waldstrukturen müssen den Umweltbedingungen in 100 Jahren gerecht werden. Für die in Nordost-Brandenburg gelegene Wetterstation Angermünde wurde für die Sommertemperaturen in den letzten 100 Jahren ein Anstieg um $3,5^{\circ}\text{C}$ ermittelt (MÜLLER, 2002). Als für das Waldwachstum besonders gravierend erweisen sich die langanhaltenden mittsommerlichen Trockenperioden. Deshalb spielen die Untersuchungen zu den Wechselbeziehungen von Witterung, Wasserhaushalt und Wachstum der Wälder in diesem Naturraum eine besonders wichtige Rolle.

Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Die Menge des vorhandenen Wassers steuert dabei häufig die Intensität der ablaufenden Prozesse. Die Vitalität und das Wachstum von Wäldern wird vom

Autor: Dr. Jürgen MUELLER, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Waldökologie und Waldinventur, Alfred-Möller-Straße 1, D-16225 EBERSWALDE, jmueller@bfh-inst7.fh-eberswalde.de

Wasserkreislauf beeinflusst. Dementsprechend kommt der Erfassung des Wasserhaushalts bei der Untersuchung von Waldökosystemen eine besondere Bedeutung zu.

Schwerpunkte der Untersuchungen aus hydroökologischer Sicht:

- Welche Parameter sind für die Bewertung der Trockenheitsgefährdung maßgeblich?
- Welche Waldökosysteme, Standorte bzw. Baumarten sind besonders empfindlich bzw. gefährdet und welche weniger?
- Welche Reaktionen der Ökosysteme sind zu erwarten, wenn bestimmte hydroökologische Toleranzwerte überschritten werden?

Die Auswertungen zur Kennzeichnung der Trockenheitsgefährdung von Waldstandorten erfolgten in mehreren Arbeitsschritten.

1. Bewertung der meteorologischen Trockenheit.
2. Ermittlung der Bodenwasserspeicherkapazität und -dynamik als Indikator für die potentielle Trockenheitsgefährdung des Bodens. Bewertung der Auswirkung von Trockenheit auf den Wasserhaushalt von ausgewählten Waldstandorten sowie die Ermittlung von Kennwerten zur Kennzeichnung der Trockenheitsgefährdung.
3. Auswertung der Ursachen - Wirkungsbeziehungen zwischen meteorologischer Trockenheit, Bodenwasserverfügbarkeit und Wachstumsreaktion.

Für die Untersuchungen wurden eine Intensivversuchsfläche des Institutes für Waldökologie und Waldinventuren nordöstlich von Berlin (Bundesland Brandenburg) und eine Level II-Fläche des forstlichen Umweltmonitorings im Bundesland Sachsen (Oberlausitzer Bergland) genutzt (*Tabelle 1*). Die Auswahl der zu bewertenden Waldstandorte erfolgte unter dem Gesichtspunkt sich differenzierender Boden- und Witterungsbedingungen.

Die Berechnung der Wasserhaushaltskennwerte wurde mit dem Wasserhaushaltsmodell BROOK90 (FEDERER, 1995) durchgeführt.

Die Auswahl des Wasserhaushaltsmodells erfolgte unter dem Gesichtspunkt

Tabelle 1: Standortbedingungen der Waldflächen

	Brandenburg Plot BFH	Sachsen Plot 1404
Baumart	Kiefer	Fichte
Alter [Jahre] ¹	89	85
Höhe über NN [m]	42	425
Mittl. langjähr. Niederschlag [mm/a]	580	850
Mittl. langjähr. Jahrestemperatur [°C]	8,2	6,8
Bodentyp	Sand-Braunerde	Braunerde
Substrat	arme pleistozäne Sande	intermediäre u. saure Magmatite o. Metamorphite

¹ im Jahr 2000

Tabelle 2: Klimatische Wasserbilanz im Mittel des Zeitraumes 1999 bis 2003, des Jahres 2003, der Referenzperiode 1961 bis 1990 sowie die Differenz zwischen der klimatischen Wasserbilanz 2003 und der Referenzperiode 1961 bis 1990 (Wasserdefizit) für die Beispielplots

	Brandenburg Plot BFH	Sachsen Plot 1404
Mittel KWB 1999 bis 2003 [mm]	-45	+348
KWB 2003 [mm]	-313	-159
KWB Referenzperiode 1961 bis 1990 [mm]	-35	+149
Wasserdefizit [mm]	-348	-308

der prozessbezogenen Bewertung von Ursachen - Wirkungsbeziehungen.

Ergebnisse

Parameter zur Kennzeichnung der meteorologischen Trockenheit

Eine der am häufigsten benutzten Größen zur Kennzeichnung der Feuchtebedingungen eines Gebietes ist die klimatische Wasserbilanz (KWB). Sie ist die Differenz aus der Summe des Niederschlags und der potentiellen Verdunstung. Dieser Parameter ist geeignet, sowohl die potentielle Trockenheitsgefährdung eines Betrachtungsraumes im langjährigen Mittel als auch die aktuelle Gefährdung infolge Niederschlagsmangels in kurzen Zeiträumen zu kennzeichnen. Die Trockenheitssituation ist beispielhaft für zwei Waldplots mit unterschiedlicher Witterungscharakteristik in *Tabelle 2* bewertet. In der *Abbildung 1* ist die klimatische Wasserbilanz in täglicher Auflösung grafisch dargestellt.

Aufgrund der Zunahme des Niederschlags und des Rückgangs von Temperatur und Verdunstung mit der Höhe über NN ist für den Mittelgebirgsstandort (Plot 1404) die klimatische Wasserbilanz sowohl für die Referenzperiode 1961 bis 1990 als auch für die Jahre 1999 bis 2003

deutlich positiv (*Abbildung 2*). Für die Fläche im Nordostdeutschen Tiefland (Plot BFH) weist die klimatische Wasserbilanz auf Grund des kontinentalen Klimaeinflusses auch in "Normaljahren" innerhalb der Vegetationsperiode deutlich negative Werte auf (*Abbildung 2*).

Andere Verhältnisse zeigt die klimatische Wasserbilanz des Trockenjahres 2003. Für beide Plots ist die klimatische Wasserbilanz zum 30. September mit Werten von -238 und -418 mm deutlich negativ.

Differenzierung von Bodenwasserspeicherkapazität und -dynamik

Die hydrologischen Prozesse im Wald werden sehr wesentlich vom Boden beeinflusst. Außer dem Niederschlag und der Interzeption hängen alle anderen Komponenten der Wasserhaushaltsgleichung von der Bodenstruktur ab.

Wichtige, den Bodenwasserhaushalt kennzeichnende bodenphysikalische Kennwerte sind die Feldkapazität, der permanente Welkepunkt und die nutzbare Feldkapazität (nFK = FK-PWP).

Mit Hilfe der nutzbaren Feldkapazität (nFK) wurde die Differenzierung der Bodenwasserspeicherkapazität bis 100 cm Bodentiefe und für den effektiven Wurzelraum der Versuchsflächen ermit-

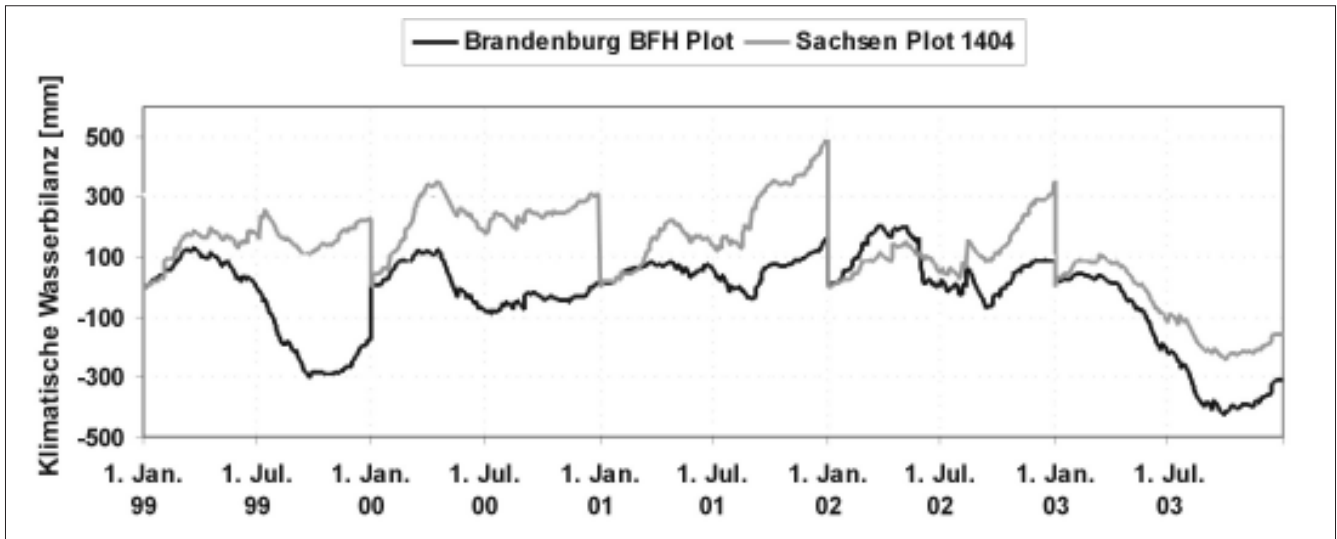


Abbildung 1: Kumulative klimatische Wasserbilanz von 1999 bis 2003

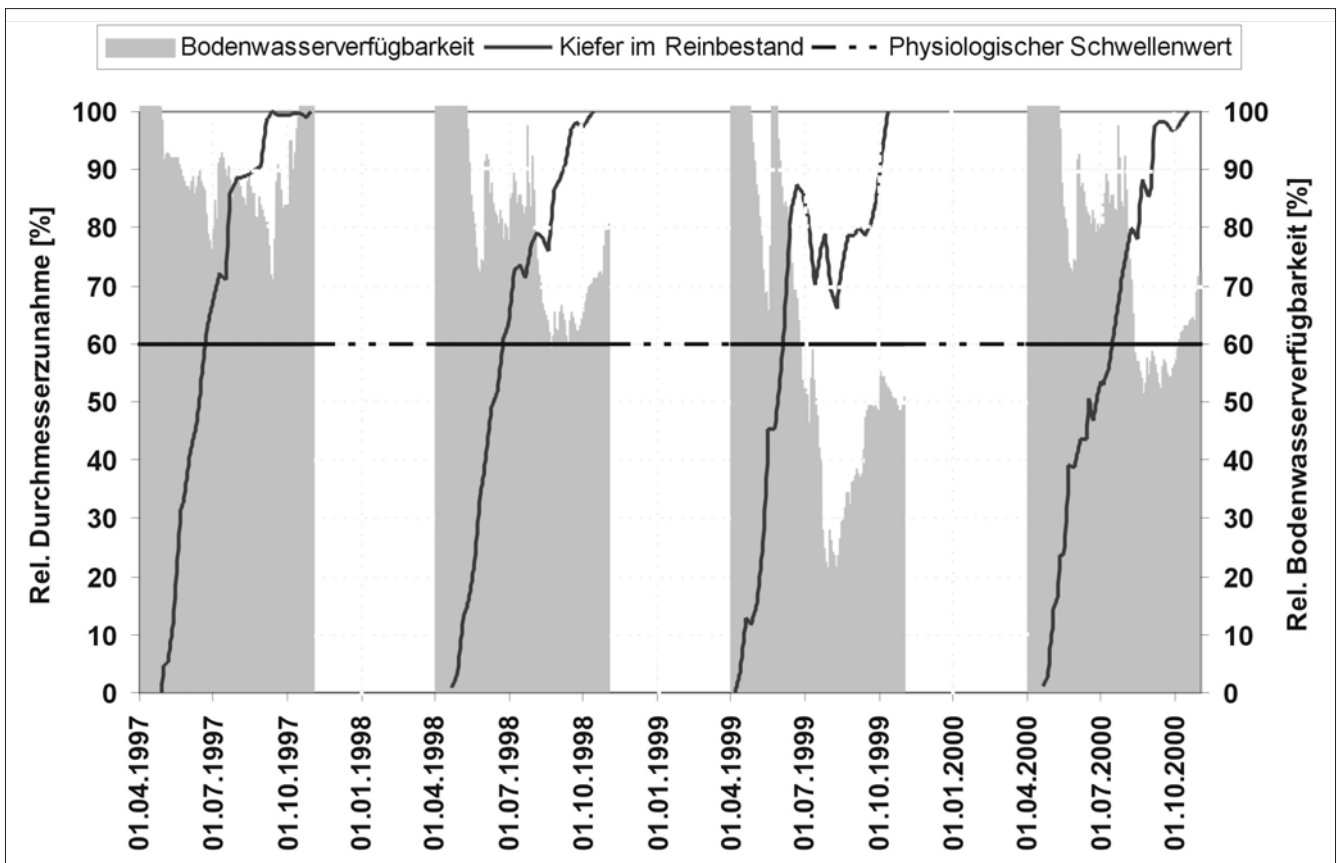


Abbildung 2: Innerjährliche Durchmesserentwicklung der Kiefer im Reinbestand in Abhängigkeit von der Bodenwasserverfügbarkeit bis 1 m Bodentiefe

telt. Deutlich werden baumarten- und bodentypspezifische Unterschiede in der effektiven Durchwurzelungstiefe und in der Höhe der verfügbaren Wassermengen im effektiven Wurzelraum. Während auf den tiefgründigen Flächen in Sachsen die nFk-Werte zwischen 240 und 330 mm liegen, betragen sie auf den armen Sandflächen in Brandenburg dagegen nur 60 bis 120 mm. In der *Tabelle 3* sind

die nutzbaren Feldkapazitäten bis 1 m Bodentiefe zusammengestellt. Die Unterschiede in der nFK haben direkte Auswirkung auf die Bodenwasseraus-schöpfung und die Menge an verfügbarem Bodenwasser in Trockenperioden innerhalb der Vegetationsperiode. Im Weiteren wurde aus den täglich gemessenen oder modellierten tiefenbezo-genen Bodenfeuchtegehalten und der

nutzbaren Feldkapazität die relative Bodenwasserverfügbarkeit berechnet. Die verwendete Bodenwasserverfügbarkeit ist der aktuelle Anteil an der nutzbaren Feldkapazität in den jeweiligen Bodentiefen in Prozent. Mit Hilfe der relativen Bodenwasserverfügbarkeit ist es vergleichsweise gut möglich, die Auswirkung der meteorologischen Trockenheit auf Höhe und Intensität der Boden-

ausstrocknung für die unterschiedlichen Bodenbedingungen regional differenziert abzuschätzen.

Kennwerte des Wasserhaushaltes und Transpirationsindex

Die Wasserversorgung eines Standortes beeinflusst maßgeblich das Wachstum und die Vitalität der Bäume. Ein möglicher "Stress" infolge Trockenheit hängt von der aktuellen Bodenwasserverfügbarkeit ab. Zwischen den Vegetationsstrukturen und den in ihnen ablaufenden Prozessen bestehen enge Wechselwirkungen. Der Wasserverbrauch des Bestandes wird neben vegetationsstrukturellen Bedingungen vom Verdunstungsanspruch der Atmosphäre bestimmt. Der Quotient von aktueller zu potentieller Transpiration ist ein geeigneter Parameter zur Beurteilung der Wasserversorgung eines Bestandes. Dieser Quotient (a_eT/p_eT) wird auch als Transpirationsindex bezeichnet und repräsentiert die Wechselwirkungen von Witterung, Vegetation und Boden. Ist der Quotient 1, ist der Standort optimal mit Wasser versorgt. Werte kleiner als 1 zeigen Wassermangel an.

In der *Tabelle 3* sind die Wechselwirkungen zwischen meteorologischer Trockenheit, Bodenwasserspeicherkapazität und Bodenwasserausschöpfung für die Beispielplots aufgezeigt. Im Zeitraum des größten Wasserdefizits von Juli bis September 2003 nimmt die relative Bodenwasserverfügbarkeit auf beiden Plots deutlich ab. Im Jahr 2003 mit dem größten Wasserdefizit sinkt der Transpirationsindex im Mittel des Zeitraumes April bis September auf beiden Flächen unter 0,5.

Untersuchungen in unterschiedlichen Vegetationsformen der Kiefer im nordostdeutschen Tiefland ergaben, dass unterhalb einer verfügbaren Bodenwassermenge von 60% im Oberboden sich die Durchmesserzunahme verlangsamt, unter 40% kommt es zum Erliegen des Wachstums und bei fortdauerndem Wassermangel zur Durchmesserabnahme (*Abbildung 2*). Eine Wasserverfügbarkeit von ca. 60% stellt bei Sandböden einen physiologischen Schwellenwert dar, unterhalb dessen eine deutliche Reduktion der Wachstumsaktivität eintritt (BECK, 2001; MÜLLER, 2002).

Tabelle 3: Wechselwirkungen zwischen meteorologischer Trockenheit (KWB), Bodenwasserspeicherkapazität (nFK), Bodenwasserausschöpfung und Transpirationsindex für den Zeitraum 1999 bis 2003

Parameter	Brandenburg Plot BFH	Sachsen Plot 1404
nFK bis 1m Bodentiefe [mm]	76	235
Kumulierte KWB Apr. bis Sept. [mm]		
1999	-403	-55
2000	-158	-114
2001	-4	+177
2002	-220	+10
2003	-428	-318
Mittlere relative Bodenwasserverfügbarkeit Apr. bis Sept. [%]		
1999	36	65
2000	43	62
2001	58	75
2002	47	70
2003	19	29
Mittlerer Transpirationsindex Apr. bis Sept. [-]		
1999	0,49	0,91
2000	0,67	0,83
2001	0,82	0,96
2002	0,71	0,94
2003	0,43	0,48

Schlussfolgerungen

Für die Charakterisierung der Ursachen-Wirkungsbeziehung zwischen Niederschlagsmangel, Bodenaustrocknung und Pflanzenreaktion ist die Kenntnis der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge im effektiven Wurzelraum als wichtiger bodenhydrologischer Kennwert notwendig. Für die Beurteilung der Auswirkungen von Trockenheit auf den Waldzustand ist außer der Höhe des Wasserdefizits der Zeitpunkt entscheidend, bis zu dem dieses Defizit entstanden ist. Bei gleicher Witterung ist neben der Baumart in erster Linie der Boden mit seiner Speicherkapazität ausschlaggebend für das Ausmaß der Trockenheitswirkung.

Der Quotient von aktueller zu potentieller Transpiration (Transpirationsindex) ist ein geeigneter Indikator zur Beurteilung der Wasserversorgung eines Bestandes.

Die Ermittlung der Trockenheitsgefährdung von Waldbeständen und die Berechnung von Wasserhaushaltskennwerten ist aufgrund abgestimmter Erhebungs- und Auswertungsmethoden mit den Datensätzen des Forstlichen Umweltmonitoringnetzes und der beschriebenen Vorgehensweise möglich. Maßgeblich ist dabei, dass die Auswertungen auf einer vergleichbaren Datenbasis und Auswertungsstrategie fußen, um weitere länderübergreifende verallgemeinern-

de klima-, boden- und baumartenspezifische Aussagen treffen zu können.

Weiterhin sind vertiefende Untersuchungen zu den Ursachen-Wirkungsbeziehungen zwischen Niederschlagsmangel, Bodenaustrocknung und Pflanzenreaktion durchzuführen, um daraus Grenzwerte für die Bewertung der potentiellen Trockenheitsgefährdung von Waldbeständen ableiten zu können.

Literatur

- BECK, W., 2001: Waldwachstum unter anhaltendem Fremdstoffeintrag - Ergebnisse aus waldwachstumskundlichen und dendroökologischen Untersuchungen. Beitr. für Forstwirtschaft u. Landschaftsökologie, Berlin 35, 181 - 190.
- FEDERER, C.A., 1995: Brook90: A Simulation Model for Evaporation, Soil Water and Stream Flow, Version 3.1. Computer Freeware and Documentation. USDA Forest Service, PO Box 640, Durham NH 03824, USA.
- MÜLLER, J., 2002: Wirkungszusammenhänge zwischen Vegetationsstrukturen und hydrologischen Prozessen in Wäldern und Forsten. In: ANDERS, S. (ed.): Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands. Oberwinter: Verlag Dr. Kessel, 93 und 99-122.
- MÜLLER, J., 2002: Landeskundlicher Überblick Naturraum und Landnutzung Thematik Klima. In: Um Eberswalde, Chorin und den Werbellinsee. Böhlau Verlag Köln Weimar Wien, 9-12.
- MÜLLER, J., 2004: Parameter zur Kennzeichnung von Trockenheit und Darstellung der regionalen Differenzierung der Trockenheit 2003. Hamburg: Bundesforschungsanstalt Forst - Holzwirtschaft, Institut für Forstökologie und Walderfassung, Arbeitsbericht Nr. 2/2004, 10-19.