

# Bodenvegetation und Wasserhaushalt von Kiefernforst- ökosystemen (*Pinus sylvestris* L.)

Jürgen Müller, Andreas Bolte, Wolfgang Beck und Siegfried Anders

## Synopsis

### Ground vegetation and water budget of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest ecosystems

In Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest ecosystems of the German north-eastern lowlands, evapotranspiration of four ground vegetation types with a) *Vaccinium myrtillus* L.-*Avenella flexuosa* (L.) Drej., b) *Avenella flexuosa*, c) *Rubus idaeus* L.-*Avenella flexuosa* and d) *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth were investigated using newly developed weightable lysimeters (surface 1 m<sup>2</sup>, depth 1.6 m). In addition, soil water tension, soil moisture, ground vegetation structure, and tree diameter increase were recorded in order to explain the effect of different ground vegetation types on the water budget of the whole ecosystem as well as on tree growth.

Evapotranspiration of ground vegetation increases with higher grass coverage (*Avenella flexuosa*, *Calamagrostis epigejos*). In periods of water shortage, the high water consumption of the ground vegetation of the *Calamagrostis epigejos* type lead to decreases of plant available soil water storage below a threshold of 40% water availability. This causes a strong drop of tree growth activity. In periods of summer dryness, ground vegetation dominated by grass species enters phases of strong competition for water with Scots pine, and, thus, regulates tree growth by its high evapotranspiration.

*Waldökosystem, Waldbodenvegetation, Evapotranspiration, Lysimeter, Blattflächenindex, Bodenwasserverfügbarkeit, Baumwachstum, Pinus sylvestris, Calamagrostis epigejos, Avenella flexuosa, Rubus idaeus, Vaccinium myrtillus*

*Forest ecosystem, ground vegetation, evapotranspiration, lysimeter, leaf area index, soil water availability, tree growth, Pinus sylvestris, Calamagrostis epigejos, Avenella flexuosa, Rubus idaeus, Vaccinium myrtillus*

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Erhöhte Fremdstoffeinträge der letzten Jahrzehnte führten zur Veränderung der Vegetationsstruktur von Kiefernforsten im nordostdeutschen Tiefland. Besonders bei eintragsbedingtem Stickstoffüberangebot kommt es bei zunehmender Auflockerung des Kronendaches zur Ausbreitung der Grasarten Sandrohr (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth) und Drahtschmiele (*Avenella flexuosa* (L.) Drej.), die die Kleinstraucharten Blaubeere (*Vaccinium myrtillus* L.) und Himbeere (*Rubus idaeus* L.) aus der Krautschicht verdrängen (HOFMANN & al. 1990, BORNKAMM & al. 1993; SEIDLING 1993; Pflanzennomenklatur nach ROTHMALER 1990 a, b).

Parallel zu den Veränderungen der Vegetationsstrukturen ist auch eine Veränderung des Zuwachsverhaltens der Kiefernforsten zu beobachten. Bestände mit mäßigem Stickstoffeintrag zeigen ein deutlich beschleunigtes Höhen- und Durchmesserwachstum. Anhaltend starker Stickstoffeintrag mit in der Regel nachfolgender Ausbildung von dichten Sandrohrdecken lassen den neuen Ökosystemtyp Sandrohr-Kiefernforst (*Calamagrostis-Cultopinnetum sylvestris*, HOFMANN 1997) entstehen, in dem ein drastisches Absinken des jährlichen Zuwachses und eine verstärkte Baum mortalität feststellbar sind (BECK 1996, BOLTE & BECK 1997).

Untersuchungen zur Bedeutung der Bodenvegetation als Wasserverbraucher im Wasserhaushalt von Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes sind unter den niederschlagsarmen und sandigen Bedingungen dieser Region schon seit langem Gegenstand hydrologischer Forschungen (HARTMANN 1928, WITTICH 1938, MÜLLER 1967).

Mit der vorgestellten Untersuchung sollte geklärt werden, wie sich unterschiedliche Bodenvegetationsdecken auf den Bodenwasserhaushalt von Kiefernökosystemen auswirken, ob, wo und wann es zur Entstehung von Wassermangelphasen kommt und in welcher Weise das Baumwachstum dadurch beeinträchtigt wird.

## 2 Methoden und Untersuchungsflächen

Um die Evapotranspiration der Bodenvegetation und damit ihren spezifischen Wasserverbrauch getrennt

von der Transpiration des Baumbestandes zu ermitteln, wurden wägbare Lysimeter entwickelt, die folgende spezielle Anforderung erfüllen (s. Abb. 1):

- Kreisförmige Lysimeteroberfläche von 1,13 m Durchmesser, das entspricht etwa dem 1,5-fachen der Höhe der Bodenvegetation,
- Lysimetertiefe von 1,60 m, so daß ein sich eventuell ausbildender Stauwasserhorizont am Lysimeterboden, dem aber durch eine entsprechende Lysimeterkonstruktion entgegengewirkt wird, durch die Wurzeln der Bodenvegetation nicht erreicht wird,
- ungestörter Bodenmonolith mit aufwachsender Bodenvegetation,
- Erhaltung des gewachsenen Bodens und der Vegetationsdecke im Lysimeterumfeld,
- kontinuierliche Messung von Bodenfeuchteänderungen und Sickerwassermenge mit hoher Präzision.

Es wurden je zwei Lysimeter in vier Kiefernbeständen mit unterschiedlicher, den Ökosystemtyp kennzeichnender Bodenvegetation eingebaut (Tab. 1). Die Bestimmung der Evapotranspiration der Bodenpflanzendecken erfolgte als Restglied über nach-

folgend abgewandelte Wasserhaushaltsgleichung:  
 $ET = NB - S \cdot (\pm \Delta W)$  (mm)  
 ET = Evapotranspiration (evaporation)  
 NB = Bestandesniederschlag (throughfall)  
 S = Sickerwassermenge in 1,6 m Tiefe (seepage)  
 W = Wasservorratsänderung (change water content)

Parallel zu den Wasserverbrauchsmessungen fanden Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung der Bodenvegetation auf den Lysimetern statt. Die lebende Blattfläche der Gefäßpflanzen und deren saisonale Entwicklung wurde nicht-destruktiv aus der Blatt- und Sproßgeometrie (Blatt- und Sproßlänge, Blattbreite) über Umrechnungsformeln für jede Art bestimmt (vgl. STEUBING & FANGMEIER 1992). Zur Ermittlung der Parameter wurde Blattmaterial von 50 bis 100 Sprossen des umgebenden Pflanzenbestandes beerntet, gepreßt und nach Blatt- bzw. Sproßlänge und Blattbreite vermessen. Die Blattflächenbestimmung erfolgte mit Hilfe der digitalen Bildanalyse. Auf den Lysimetern wurde lediglich die Blatt- und Sproßanzahl ermittelt und zur Blattflächensumme umgerechnet. Der Blattflächenindex (LAI) ergab sich als Quotient aus Blattflächensumme und Lysimeteroberfläche.

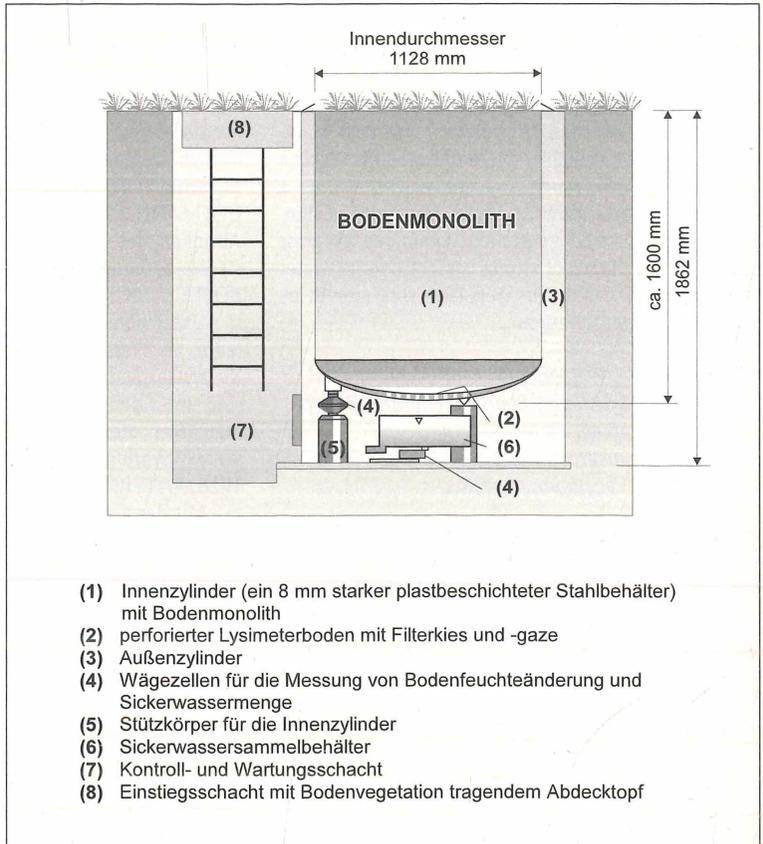


Abb. 1  
 Prinzipskizze eines wägbaren Lysimeters.

Fig. 1  
 Principal design of a weightable lysimeter.

Tab. 1  
Ökologische Kenndaten der Untersuchungsflächen und  
Lysimeter (Autoren: MÜLLER et al.).

Table 1  
Ecological parameter of sample plots and lysimeter.

Ökosystemtyp (HOFMANN 1997)	Blaubeer- Kiefernforst	Himbeer-Drahts- Kiefernforst	Drahtschmielen- Kiefernforst	Sandrohr- Kiefernforst
Mittl. jährl. Freiland- niederschläge 1994–96 [mm]	629	644	669	641
Humusform Bodentyp	Rohhumus  Sand- Eisenpodsol	rohhumusartiger Moder bis Moder pod. Sand- Braunerde	rohhumusartiger Moder pod. Sand- Braunerde	rohhumusartiger Moder pod. Sand- Braunerde
Baumbestand (1992)				
Bestandesalter [Jahre]	70	76	125	80
Mittlere Höhe [m]	21,1	23,7	n. b.*	18,0
Stammzahl/ha	916	740	n. b.*	770
Vegetationsstruktur	<i>Vaccinium myrtillus</i> (35), <i>Avenella flexuosa</i> (60), <i>Pleurozium schreberi</i> (25), <i>Scleropodium purum</i> (20)	<i>Rubus idaeus</i> (70), <i>Avenella flexuosa</i> (15), <i>Scleropodium purum</i> (60)	<i>Avenella flexuosa</i> (85), <i>Pleurozium schreberi</i> (5)	<i>Calamagrostis epigejos</i> (70), <i>Brachythecium salebrosum</i> (70)
Lysimeter Sommer 1996 Artenzusammensetzung (Deckungsgrad in%)				
Oberird. Sproßanzahl/m <sup>2</sup> Gefäßpflanzen	Blaubeere 52 Drahtschm. 1460	Himbeere 47 Drahtschm. 540	Drahtschm. 3380	Sandrohr 142
Mittlere Sproßlänge Gefäßpflanzen [cm]	Blaubeere 30 Drahtschm. 33	Himbeere 76 Drahtschm. 29	Drahtschm. 28	Sandrohr 97
* nicht bestimmt				

Zusätzlich zu den Lysimeteruntersuchungen wurden die für den Waldbestand als Ganzes (Baumschicht und Bodenvegetation) verfügbaren Bodenwassermengen im Ober- und Unterboden mit Hilfe von Tensions- und Feuchtemessungen auf hydrologischen Meßfeldern in unmittelbarer Nähe der wägbaren Lysimeter ermittelt. Zeitgleich dazu wurden Zuwachsfeinmessungen mit Hilfe von Dauerumfangmeßbändern durchgeführt, um die Auswirkung wechselnder Bodenwasserverfügbarkeit auf die Wachstumsaktivität zu untersuchen.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Evapotranspiration der Bodenvegetation

Die Evapotranspiration der Bodenvegetation wird stark von ihrer Artenzusammensetzung bestimmt (Tab. 1). So verbraucht die geschlossene Sandrohrdecke in der Jahressumme über ein Drittel, die Drahtschmielendecke knapp 30% der jährlichen Niederschlagsmenge von 620 mm. Bei Decken mit Kleinstrauchanteilen verdunsten Himbeer-Drahtschmielen-

decken mit wenig mehr als 25% und Blaubeer-Drahtschmielendecken mit etwa 15 bis 20% der Jahresniederschläge z.T. deutlich geringere Mengen als reine Grasdecken. Nach Kleinlysimeteruntersuchungen von LÜTZKE & MÜLLER (1990, pers. Mittl.) werden von der Waldbodenoberfläche eines noch weitgehend bodenvegetationsfreien Drahtschmielen-Kiefernforstes im Stangenholzstadium nur 8 bis 10% der jährlichen Niederschlagsmenge verdunstet. Im Baumholzstadium liegt bei voller Entfaltung der Grasdecke der Anteil der Evapotranspiration bei 30% des Jahresniederschlags und damit in der Größenordnung der Interzeptionsverdunstung des Baumbestandes von 150–200 mm (LÜTZKE & SIMON 1975, MÜLLER 1996). Die jährliche oberirdische Phytomasseproduktion von *Avenella flexuosa* ist dabei mit knapp 2t/(ha·a) nicht wesentlich geringer als die Baumholzproduktion (BECK 1990). Die Phytomasseproduktion der Bodenvegetationsdecken in den einzelnen Wuchsstadien von Kiefernbeständen und ihr Anteil am Gesamtwasserverbrauch der Bestände wird neben Trophie und Feuchte in starkem Maße von der Bodenbelichtung beeinflusst (MÜLLER 1996, BOLTE 1996, MÜLLER & ANDERS 1996).

Neben den in der Jahressumme unterschiedlichen Evapotranspirationswerten der untersuchten Bodenvegetationsdecken ist die saisonale Entwicklung der Verdunstungshöhe innerhalb der Vegetationsperiode ökologisch bedeutungsvoll (Abb. 2). Der Blattflächenindex (LAI) ist geeignet, die Abhängigkeit des Wasserverbrauches von der Vegetationsentwicklung darzustellen. Die Blaubeer-Drahtschmielendecke erreicht zum Zeitpunkt der vollen Blattentfaltung der Blaubeere im Mai/Juni bei noch ausreichender verfügbarer Wassermenge nach Frühjahrssättigung des Waldbodens ihren höchsten Wasserverbrauch mit etwa 25 mm pro Monat. Während des Sommers (Juli bis September) sinkt die monatliche Evapotranspiration deutlich auf bis zu 12 mm ab. Dagegen steigt der Wasserverbrauch der Sandrohrdecke im Frühjahr zunächst langsamer an, erreicht im Mai trotz vergleichsweise geringer lebender Blattfläche einen Monatswert von knapp 40 mm, um dann bis zum August im Gegensatz zur Blaubeer-Drahtschmielendecke auf diesem hohen monatlichen Verdunstungsniveau zu bleiben. Entsprechend fand MÜLLER (1967) in Kiefernkulturen bei *Calamagrostis epigejos* maximale Transpirationsraten von mehr als 8 mm an hochsommerlichen Strahlungstagen. Die hohen Wasserverbrauchswerte des Sandrohrs während des Frühjahrs sind trotz geringer lebender Blattfläche einer-

seits auf den hohen Anteil abgestorbener stehender Pflanzensubstanz sowie die locker geschichtete Streuschicht aus letztjährigem Pflanzenmaterial zurückzuführen, die große Interzeptionsflächen bilden (vgl. MILLBACHER 1992, REBELE 1996). Andererseits transpiriert die neu gebildete Blattsubstanz vergleichsweise viel Wasser.

BOLTE & ANDERS (1995) sehen in der Konkurrenz zwischen Baumschicht und Bodenvegetation in sommerlichen Wassermangelphasen einen möglichen Faktor für die Produktivitätseinbußen und Destabilisierungstendenzen von Kiefernforsten.

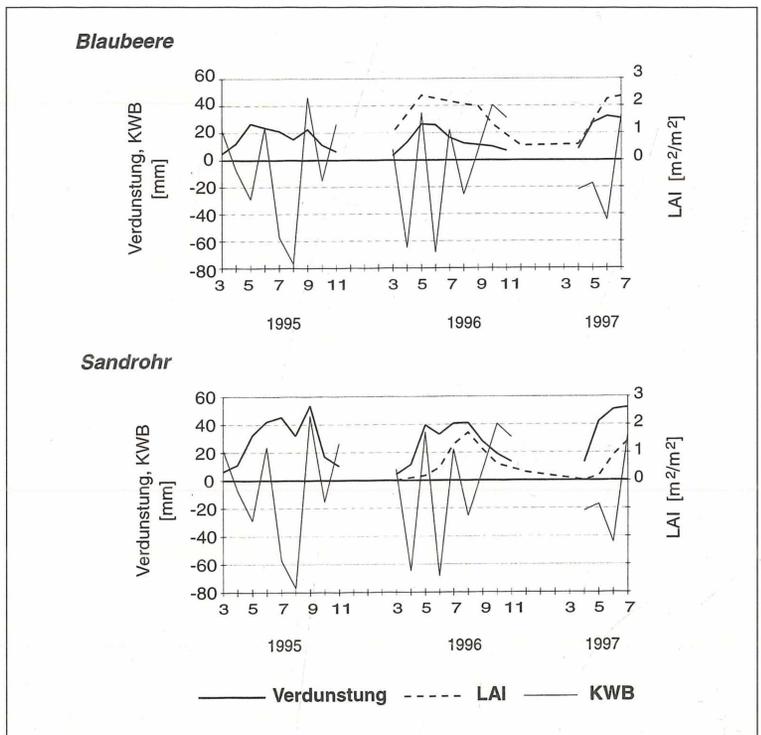
Die für die Verdunstung zur Verfügung stehende Wassermenge hat ebenfalls einen direkten Einfluß auf die Evapotranspiration der Bodenvegetation (Abb. 2). Eine negative klimatische Wasserbilanz reduziert in der Vegetationsperiode den Wasserverbrauch der Bodenvegetation, eine positive erhöht ihn.

### 3.2 Auswirkung von Wassermangelphasen auf die Bodenwasserverfügbarkeit und das Baumwachstum

Bei vergleichbaren bodenphysikalischen Parametern und nutzbarer Feldkapazität wirkte sich Niederschlagsmangel (nur 4,7 mm Niederschlag zwischen

Abb. 2  
Monatliche Verdunstung unterschiedlicher Bodenvegetationsdecken in Abhängigkeit von Blattflächenindex (LAI) und klimatischer Wasserbilanz (KWb)  
(Autoren: MÜLLER et al.).

Fig. 2  
Monthly evapotranspiration of different ground vegetation types in dependence on leaf area index (LAI) and climatic water balance.



dem 09.07. und 19.08.1994) mit nachfolgend geringer Bodenwasserverfügbarkeit unterschiedlich auf die Durchmesserentwicklung von Einzelbäumen in einem Kiefernforst mit üppiger Sandrohrdecke im Vergleich mit einem Kiefernstangenholz mit sich in Anfängen entwickelnder Drahtschmielendecke, also ohne nennenswerte Bodenvegetation, aus (Abb. 3). Im Sandrohr-Kiefernforst kam es zu einem Absinken der Wasserverfügbarkeit im Oberboden mit der Hauptwurzelzone (0–40 cm Bodentiefe) auf 20%. Während dieser Zeit ist eine starke Verlangsamung bis hin zum Stillstand der Durchmesserzunahme und z. T. sogar eine Schrumpfung des Stammkörpers zu beobachten. Dieser Prozeß setzte etwa beim Unterschreiten einer Wasserverfügbarkeit von 40% Prozent ein, so daß hier bei Sandböden ein Schwellenwert für die beginnende Reduktion der Wachstumsaktivität liegt. Bei gleichen Niederschlagsverhältnissen sinkt die Verfügbarkeit im nahezu vegetationsfreien Drahtschmielen-

Kiefernforst trotz hoher Bestandesdichte und hohem flächenbezogenem Zuwachs der Baumvegetation in der Hauptwurzelzone nicht unter 40% Verfügbarkeit. Die negativen Auswirkungen auf die Durchmesserzunahme sind deutlich geringer.

In Abb. 4 ist die Ausschöpfung des Wasservorrates im Ober- und Unterboden im Vergleich von Sandrohr- und Blaubeer-Kiefernforst in der Vegetationsperiode dargestellt. Es wird deutlich, daß der Oberboden bei Niederschlagsmangel und anschließender Austrocknung von beiden Vegetationsformen bis weit unter den »physiologischen Schwellenwert« von 40% Verfügbarkeit ausgeschöpft wird. Im Unterboden treten aber deutliche Unterschiede auf. Während im Blaubeer-Kiefernforst die Bodenwasserverfügbarkeit trotz ausbleibender Niederschläge über 40% bleibt, sinkt sie im Sandrohr-Kiefernforst unter diesen Schwellenwert. Nach Untersuchungen von KRAKAU (1998) ergibt sich für beide Vegetationsfor-

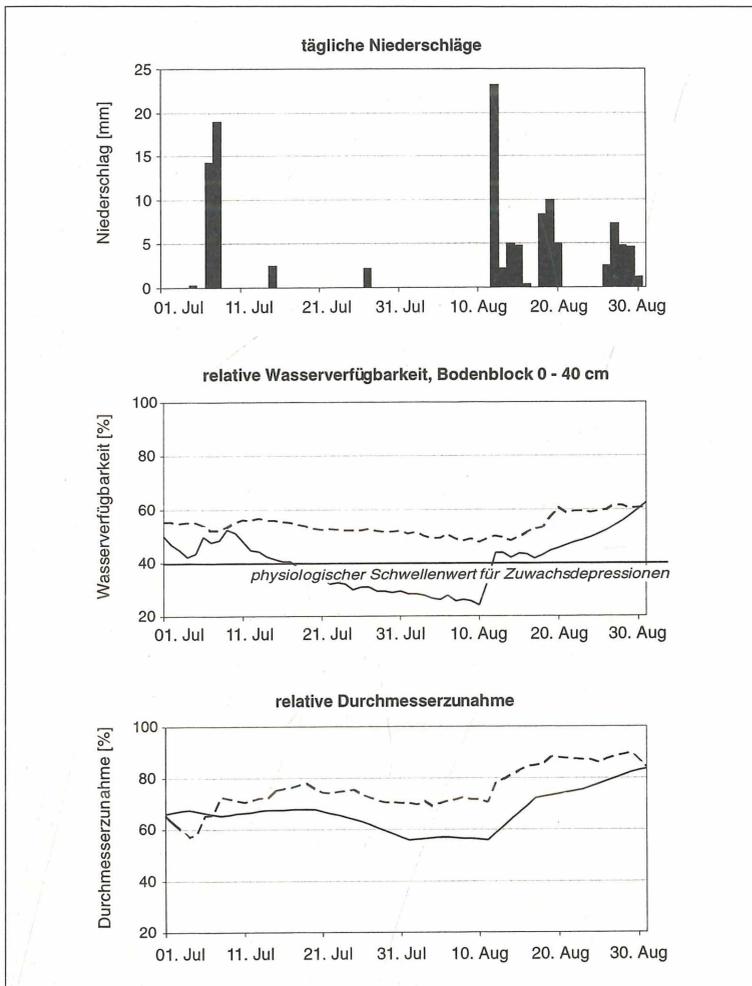


Abb. 3  
Auswirkungen von Niederschlagsmangel auf Wasserverfügbarkeit und Durchmesserentwicklung im Jahr 1994 (Autoren: MÜLLER et al.).

Fig. 3  
Effects of summer drought on soil water availability and intra-annual increase of diameter in 1994.

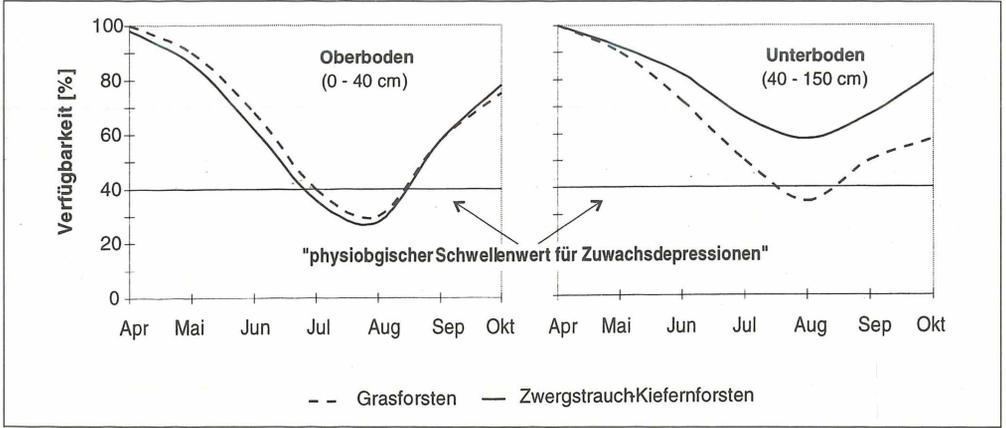


Abb. 4

Einfluß von Witterung und Wasserverbrauch auf die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge in Kiefernökosystemen, Mittsommertrockenheit (Autoren: MÜLLER et al.)

Fig. 4

Influence of summer drought and evapotranspiration of ground vegetation on soil water availability in Scots pine forest ecosystems

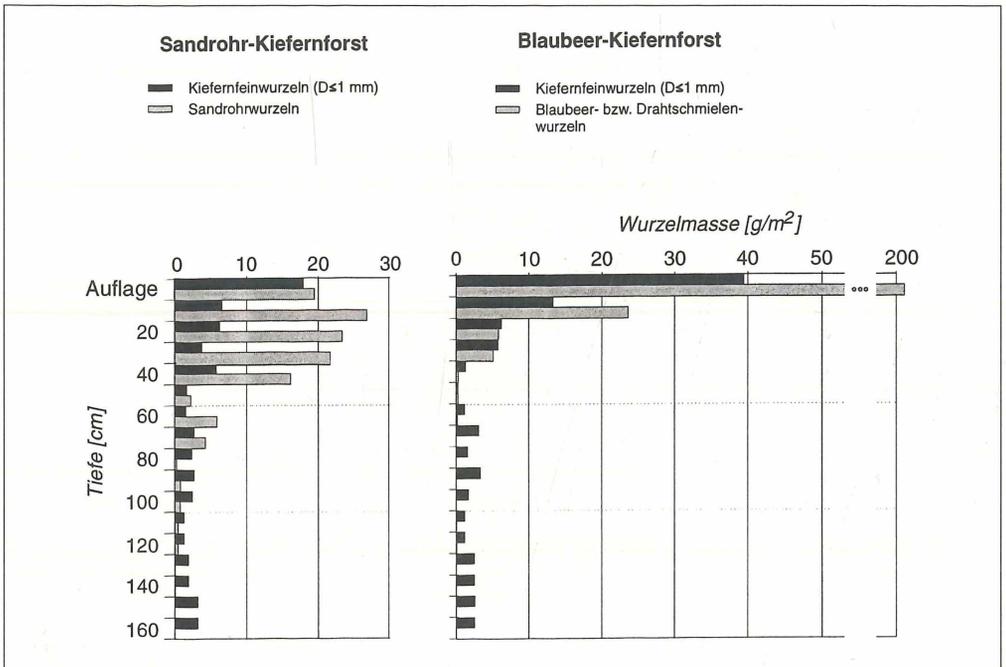


Abb. 5

Vertikale Wurzelverteilung (Autoren: MÜLLER et al.)

Fig. 5

Vertical distribution of roots

men die in Abb. 5 dargestellte vertikale Wurzelverteilung. Die artenspezifische vertikale Durchwurzelung des Bodenkörpers bestimmt im Zusammenwirken mit der saisonalen Entwicklung der Bodenvegetation in starkem Maße die Bodenwasserausschöpfung nach Intensität und Tiefe. Auf die zunehmende Bodenwas-

serausschöpfung während der sommerlichen Trockenphasen reagieren die vergrasteten Baumbestände mit Transpirationsminimierung und Reduktion des Dickenwachstum. So fanden WULF & al. (1996) in einem Sandrohr-Kiefernforst im nordostdeutschen Tiefland während einer Trockenperiode im Frühsommer 1995

einen deutlich geringeren Anteil der Baumtranspiration an der Gesamtbestandstranspiration von 44% bis 52% als in einem Blaubeer-Kiefernforst mit 56% bis 76% Anteil.

#### 4 Schlußfolgerung

In der Vegetationsperiode führt das Zusammenwirken von geringer Wasserspeicherkapazität der verbreitet vorkommenden Sandböden und Naturferne der Vegetation bei gegebener Niederschlagsarmut zum Auftreten von Wassermangelphasen in den Kiefernforsten. Die Differenzierung der Vegetationsstrukturen in der Baum- und Feldschicht ist Ursache und zugleich Folge dieser ökologischen Verhältnisse. Sie beeinflusst den Wasserverbrauch von Baum- und Bodenvegetation in starkem Maße.

Die aufgrund langjähriger Stickstoffeinträge zunehmende Vergrasung der Kiefernbestände läßt die Bodenvegetation durch ihre intensive Ausschöpfung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers zu einem ernsthaften Wasserkonkurrenten für die Baumvegetation werden. Besonders in Sandrohr-Kiefernforsten schränken sommerliche Wassermangelphasen das Baumwachstum stark ein und vermindern neben dem durch Stickstoffeintrag induzierten Nährelementmangel (WOLFF & RIEK 1997) die Stabilität der Baumbestände gegenüber abiotischen und biotischen Schädigungen. Zunehmende Auflichtung des Kronenschirmes und Entstehung von Schadlücken nehmen dem Baumbestand unter diesen Bedingungen die Möglichkeit, die Bodenvegetation über die Begrenzung der Bodenbelichtung zu steuern (BOLTE 1996).

#### Danksagung

Die vorgestellten Untersuchungen wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Forschung und Technologie (BMBF) im Rahmen des Verbundprojektes »Waldökosystemforschung Eberswalde« (FKZ 0339500C) gefördert.

#### Literatur

BECK, W., 1990: Zur Quantifizierung und Modellierung der oberirdischen Nettoprimärproduktion ausgewählter Kiefernökosysteme im Tiefland der DDR. – Diss. A Akademie d. Landwirtschaftswiss. zu Berlin, Berlin-Eberswalde: 89 S., Anh. 72 S.

BECK, W., 1996: Veränderungen im Wachstumsverhalten von Kiefer und Buche im nordostdeutschen Tiefland in Abhängigkeit von Fremdstoff-

eintrag und Witterung. – Mitt. Bundesforschungsanst. Forst-Holzwirtschaft Nr. 185: S. 73–96.

BOLTE, A., 1996: Die Bodenvegetation – eine Steuergröße für den Wasser- und Stoffhaushalt. – Mitt. Bundesforschungsanst. Forst-Holzwirtschaft Nr. 185: S. 97–111.

BOLTE, A. & S. ANDERS, 1995: Zur Rolle der Bodenvegetation bei der Destabilisierung stickstoffbelasteter Kiefernforstökosysteme. – Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch.ökol. 29, 4: S. 151–155.

BOLTE, A. & W. BECK, 1997: Stickstoffsättigung und Destabilisierung von Kiefernökosystemen. – AFZ/Der Wald 52: S. 593–595.

BORNKAMM, R.; MEYER, G. & K. MARKAN, 1993: Über die Wirkung von Kronenschluß und Düngung auf die Entwicklung von Waldbodenarten eines Kiefernforstes in Berlin-Spandau. – Phytocoenologia 23: S. 601–610.

HARTMANN, F. A., 1928: Über den Wasserverbrauch einiger Bodendecken des märkischen Kiefernwaldes auf Sandboden. – Zeitschr. f. Forst- und Jagdwiss. 60, 8: S. 449–470.

HOFMANN, G.; HEINSDORF, D. & H.-H. KRAUSS, 1990: Wirkung atmosphärischer Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern-Forstökosystemen. – Beitr. f. d. Forstwirtschaft. 24, 2: S. 59–73.

HOFMANN, G., 1997: Mitteleuropäische Wald- und Forst-Ökosystemtypen in Wort und Bild. – AFZ/Der Wald Sonderheft: 91 S.

KRAKAU, U., 1998: Zur Wurzelstruktur von typischen Kiefernökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes. – In: MEHRBACH, W. (ed.): Pflanzenernährung, Wurzeleistung und Exsudation. 8. Borkheider Seminar zur Ökophysiologie des Wurzelraumes. Teubner Verlagsges. Stuttgart-Leipzig: S. 57–64.

LÜTZKE, R. & K.-H. SIMON, 1975: Zur Bilanzierung des Wasserhaushalts von Waldbeständen auf Sandstandorten der DDR. – Beitr. f. d. Forstwirtschaft. 9, 1: S. 5–12.

MILLBACHER, E. 1992: Der Einfluß einer Vergrasung auf den Wasserhaushalt von Fichtenkulturen. – Forstliche Schriftenr. Univ. f. Bodenkultur Wien 6: 142 S.

MÜLLER, H., 1967: Standortökologische Wasserhaushaltsuntersuchungen an *Vaccinium myrtillus* L. – Archiv f. Forstwesen 16: S. 587–590.

MÜLLER, J., 1996: Beziehungen zwischen Vegetationsstrukturen und Wasserhaushalt in Kiefern- und Buchenökosystemen. – Mitt. Bundesforschungsanst. Forst-Holzwirtschaft Nr. 185: S. 112–128.

MÜLLER, J. & S. ANDERS, 1996: Wasserhaushalt und nachhaltige Waldbewirtschaftung im nordostdeutschen Tiefland. – Eberswalder forstwiss. Schriften 1, S. 95–102.

- REBELE, F., 1996: *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth auf anthropogenen Standorten – ein Überblick. – Verh. d. Ges. f. Ökologie 26: S. 753–763.
- ROTHMALER, W. (Begr.), 1990: Exkursionsflora von Deutschland Bd. 1, Niedere Pflanzen – Grundband. – 3. Aufl. Volk u. Wissen, Berlin: 811 S.
- ROTHMALER, W. (Begr.), 1990: Exkursionsflora von Deutschland Bd. 2, Gefäßpflanzen. – 15. Aufl. Volk u. Wissen, Berlin: 639 S.
- SEIDLING, W., 1993: Zum Vorkommen von *Calamagrostis epigejos* und *Prunus serotina* in den Berliner Forsten. – Verh. Bot. Ver. Berlin Brandenburg 126: S. 113–148.
- STEUBING, L. & A. FANGMEIER, 1992: Pflanzenökologisches Praktikum. – E. Ulmer, Stuttgart, 205 S.
- WITTICH, W., 1938: Wasserfaktor und Kiefernwirtschaft auf diluvialen Sandböden. Die Bedeutung der Bodendecke. – Zeitschr. f. Forst- und Jagdwes. 70, 7: S. 337–389.
- WOLFF, B. & W. RIEK, 1997: Deutscher Waldbodenbericht 1996 – Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987 bis 1993 (BZE), Bd. 1. – Bundesministerium Ernähr., Landwirtschaft. u. Forsten, Bonn: 144 S.
- WULF, M., D. LÜTTSCHWAGER, J. FOKERT & R. F. HÜTTL, 1996: Untersuchungen zum Deckungs- und Transpirationsgrad ausgewählter Pflanzenarten der Krautschicht in Kiefernbeständen. – Angew. Bot. 70: S. 65–171.

### Adresse

Dr. Jürgen Müller  
 Dipl.-Forstw. Andreas Bolte  
 Dr. Wolfgang Beck  
 Dr. habil. Siegfried Anders  
 Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft  
 Institut für Forstökologie und Walderfassung  
 Alfred-Möller-Str. 1  
 16225 Eberswalde  
 E-Mail: bfh\_inst7@ewpc.bar.shuttle.de

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28\\_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Müller Jürgen, Bolte Andreas, Beck Wolfgang,  
Anders Siegfried

Artikel/Article: [Bodenvegetation und Wasserhaushalt von  
Kiefernforstökosystemen \( Pinus sylvestris L.\) 407-414](#)