

Räumlich differenzierte Darstellung maximaler Durchwurzelungstiefen unterschiedlicher Pflanzengesellschaften auf einer Feldgehölzfläche des Nordostdeutschen Tieflandes

M. Dannowski und A. Wurbs

Spatial differentiated representation of maximum rooting depths of different plant communities on a field wood-area of the Northeast German Lowland

1. Einleitung

Der unterirdische Bereich der Vegetation ist ein untrennbarer Bestandteil der Landschaft. Eine zentrale Rolle im landschaftlichen Prozessgeschehen spielen Pflanzenwurzeln. Neben der Versorgung der Vegetation mit Wasser und Nährstoffen dienen sie als empfindliche Indikatoren für den Bodengefügezustand und sind nach ihrem Absterben eine Hauptquelle organischer Materials (HANSSON und STEEN, 1984). Ein großer Teil des Kohlenstoffs, der für den C-Haushalt eines Ökosystems von Bedeutung ist, wird in Biomasse und organischer Bodensubstanz gespeichert (MÜLLER und NIELSEN, 1996). Zusammen mit dem Bestandsabfall liefert die Wurzelproduktion den primären Input an organischem Kohlenstoff im Boden (RAICH und NADELHOFFER, 1989). Wurzeln nehmen einen großen Teil des Bodenökosystems ein, nach weltweiten Schätzungen

zwischen 0,2 und 5 kg/m² für alle terrestrischen Biome (JACKSON et al., 1996). Diese unübersehbaren Mengen an Wurzelmasse lassen einen Einfluss auf Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie auf die C-Verteilung und -speicherung in Landschaftsausschnitten bzw. Teilgebieten der Landschaft erwarten. So besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Wasserentzug aus dem Boden und der Durchwurzelungsintensität. Insbesondere die Durchwurzelungstiefe entscheidet darüber, inwieweit Wasservorräte aus tieferen Schichten des Bodens für Pflanzengesellschaften nutzbar gemacht werden können (GEISLER, 1980). Modelle zur Simulation von Wurzelwachstum in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussfaktoren sind im Wesentlichen auf Wurzelsysteme einzelner Pflanzen oder gar auf Einzelwurzeln beschränkt (JONES und KINIRY, 1986; DIGGLE, 1988; PAGES et al., 1989; FITTER et al., 1991; BERNTSON, 1994; CLAUSNITZER und HOPMANS, 1994; LYNCH und

Summary

There is an urgent need of accurate representations of the vertical distribution of roots and maximum rooting depth of plant communities in larger area units of the landscape. This information is needed for assessing the influence of the rooted soil zone on water, carbon and nutrient fluxes by model calculations with higher accuracy. This complex approach requires a different methodical procedure than the widespread in the root research, dealing with single roots or root systems of single plants only. In the recent study the root system associations of plant communities were examined as the smallest functional units and as whole systems as well. The experimental area was a field wood of 3,200 m² size, grown with plant communities of different biotope types. Measuring data on the maximum rooting depths of the root system associations are ascertained by aid of soil trench profile walls. A possibility is shown for illustration of the spatial distribution of different rooting depth classes of the examined plant communities with a numeric classification, and a GIS based representation of the data and their visualization in a 3D-graphic as well. In this way an overview of the spatial specifics of the potential dehydration depths can be obtained for the plant communities of the area. All examined plant communities showed an unexpectedly high difference between main root zone and maximum rooting depth.

Key words: maximum rooting depth, root distribution, root system association, plant community, field wood-area.

Zusammenfassung

Um den Einfluss der durchwurzelten Bodenzone auf Wasser-, Kohlenstoff- und Nährstoffflüsse bei Modellrechnungen mit mehr Treffsicherheit abschätzen zu können, besteht zunehmend Bedarf an exakten Darstellungen von vertikaler Wurzelverteilung und maximaler Durchwurzelungstiefe von Pflanzengesellschaften auch für größere Raumeinheiten (> 1000 m²) der Landschaft. Dies erfordert ein anderes methodisches Vorgehen als die in der Wurzelforschung weit verbreitete Konzentration auf Einzelwurzeln oder auf Wurzelsysteme von Einzelpflanzen. In der vorliegenden Arbeit wurden die Wurzelsystemverbände von Pflanzengesellschaften als kleinste funktionelle Einheiten und als ganzheitliche Systeme analysiert. Die Untersuchungen erfolgten auf einer Feldgehölzfläche von 3200 m² Größe. Auf der Fläche befanden sich Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen. Bodenprofilgruben dienten der Erfassung von Messdaten zu den maximalen Durchwurzelungstiefen der Wurzelsystemverbände. Es wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, auf der Basis einer numerischen Klassifikation und einer GIS-basierten Darstellung der Daten sowie ihrer Visualisierung in einer 3-D-Graphik die räumliche Verteilung unterschiedlicher Durchwurzelungstiefenklassen der untersuchten Pflanzengesellschaften abzubilden. Auf diese Weise kann ein Überblick über die räumliche Spezifik der potenziellen Wasserentzugstiefen durch die Pflanzengesellschaften der Fläche vermittelt werden. Alle untersuchten Pflanzenarten- und -gruppen zeigten eine unerwartet hohe Differenz zwischen Hauptwurzelzone und maximalen Durchwurzelungstiefen.

Schlagerworte: Maximale Durchwurzelungstiefe, Wurzelverteilung, Wurzelsystemverband, Pflanzengesellschaft, Feldgehölzfläche.

NIELSEN, 1996; NIELSEN et al., 1997). Modellierungsansätzen auf höher skaligem Niveau fehlt überwiegend eine experimentell ermittelte Datengrundlage. Die teils in Global- oder Regionalmodelle integrierten Tiefenverteilungen berücksichtigen nur in sehr grober Weise zwei oder drei Bodenschichten, wie z. B. die Modelle CASA (POTTER et al., 1993), MAPSS (NEILSON, 1995), oder beruhen auf Annahmen und indirekten Schlüssen (CENTURY, PARTON et al., 1988 und 1992) und weniger auf Messungen. Auf Patch-, Landschafts- und regionalem Niveau fehlt eine Datenbasis mit räumlich aufgelösten Inputdaten (PAUSTIAN et al., 1997). Deshalb besteht international ein wachsender Bedarf an exakten Darstellungen von Wurzelverteilung und Tiefendurchwurzelung für Pflanzengesellschaften von größeren Raumeinheiten der Landschaft. Diese Informationen werden benötigt, um den Einfluss der durchwurzelten Bodenzone auf die Wasser- und Nährstoffdynamik mit Hilfe von Modellen, die die Rückkopplungen zwischen Boden und Vegetation simulieren sollen, mit mehr Treffsicherheit abschätzen zu können (JACKSON et al., 1996). Bisherige Modellinhalte sollen so präzisiert und konkretisiert werden. Die Entwicklung eines interaktiven Wurzelmoduls zur Integration in Vegetationsmodelle ist eine häufig geforderte und wichtige Grundlage dafür (KADUK und HEIMANN, 1996).

Die Realisierung dieses Ziels erfordert eine andere methodische Vorgehensweise als das Experimentieren mit Einzelwurzeln bzw. mit Wurzelsystemen einzelner Pflanzen, das

bisher in der Wurzelforschung weit verbreitet und ausreichend war. Um zu flächenspezifischen und biotopbezogenen Aussagen zu gelangen, ist es notwendig, Pflanzengesellschaften¹ mit ihren Wurzelsystemverbänden als kleinste funktionelle Grundeinheiten zu betrachten und als ganzheitliche Systeme zu analysieren (DANNOWSKI und WERNER, 1999). Auf Grund des hohen Bedarfes, der bestehenden Defizite und der methodisch bedingten Schwierigkeit, zu räumlichen Informationen und Daten über Durchwurzelungseigenschaften von Pflanzengesellschaften zu gelangen, soll die vorliegende Arbeit aufzeigen, wie die streng punktorientierte Vorgehensweise in der Wurzelforschung durch einen anderen methodischen Weg ergänzt werden kann. Dieser soll am Beispiel der Verteilung maximaler Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften einer Feldgehölzfläche von 3200 m² erläutert werden.

2. Material und Methoden

Anhand von Untersuchungen über Wurzelsystemverbände von Pflanzengesellschaften als funktioneller Grundeinheit soll eine Möglichkeit aufgezeigt werden, wie auch auf dem methodisch schwierigen Gebiet der Wurzelforschung Informationen über räumlich differenzierte Durchwurzelungseigenschaften von Pflanzengesellschaften eines kleinen Landschaftsausschnittes erzielt werden können. Ausgangspunkt ist das Analysieren der Wurzelsystemverbände

von Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen auf der Ebene von Messplätzen einer Größe, die den gesamten Wurzelsystemverband einer Pflanzengesellschaft erfasst. Nur so ist eine Zuordnung der Daten zum jeweiligen Biotoptyp möglich. Zu diesem Zweck wurde die ausgewählte Untersuchungsfläche mit einem GPS-System (Geographic Positioning System) eingemessen und mit einem Raster von 10 m x 10 m versehen. Folgende Biotoptypen waren auf der Experimentalfläche vertreten: extensiv genutztes Grünland eines mäßig frischen Standortes (ermittelt anhand der Feuchtezahl der Arten nach ELLENBERG et al., 1992), Staudenfluren, Laubgebüsche mit Saumgesellschaft, Feldgehölze mit Saumgesellschaft und aufgelassenes Grasland in Form einer Landreitgrasbrache. Die dominierenden Pflanzenarten auf der Fläche waren in der Baum- und Strauchschicht: Birke (*Betula pendula*), Weißdorn (*Crataegus monogyna*), Pflaume (*Prunus domestica*), Wilde Birne (*Pyrus pyra-ster*), Heckenrose (*Rosa canina*), Brombeere (*Rubus fruticosus* agg.), Eiche (*Quercus robur*) und in der Krautschicht: Rotes Straußgras (*Agrostis capillaris*), Gewöhnlicher Glatt-hafer (*Arrhenatherum elatius*), Gewöhnlicher Beifuß (*Artemisia vulgaris* agg.), Land-Reitgras (*Calamagrostis epigejos*), Kriech-Quecke (*Elymus repens*), Rotschwengel (*Festuca rubra* agg.), Wolliges Honiggras (*Holcus mollis*), Rohrglanz-gras (*Phalaris arundinacea*), Spitzwegerich (*Plantago lanceolata*), Sauerampfer (*Rumex acetosa*), Kanadische Goldrute

(*Solidago canadensis*), Spitzwegerich (*Plantago lanceolata*), Löwenzahn (*Taraxacum officinale* agg.), Große Brennnessel (*Urtica dioica*). Die Nomenklatur der Pflanzennamen richtet sich nach WISSKIRCHEN and HAEUPLER (1998).

2.1 Standortbeschreibung

Als Experimentalfläche diente eine Feldgehölz/Laubgebüsch-Fläche (Abb. 1). Die Fläche besitzt eine Größe von 40 m x 80 m (3200 m²). Es handelt sich somit um einen Landschaftsausschnitt von Patchgröße (100–10000 m², siehe Global Change Report).

Die Experimentalfläche liegt im Land Brandenburg (Standort Müncheberg/Mark) auf einer endmoränennahen Sanderfläche mit Flugsanddecken über glazifluvialen Schotter im Nordostdeutschen Tiefland. Diese Region ist durch eine bodengenetisch verursachte kleinflächig ausgeprägte Heterogenität des Bodens gekennzeichnet. Sandbraun- und Sandrosterden (Substrate Sand, anlehmiger Sand und teilweise lehmiger Sand) wechseln auf engem Raum mit Parabraunerden und Tieflehmfahlerden aus glazifluvialen Sedimenten. Im C-Horizont, ab Tiefen größer als 1,5 m, ist durchweg Sand mittlerer bis feiner Körnung anzutreffen (SCHINDLER et al., 1996). Auf der Experimentalfläche dominieren Parabraunerde/Braunerde und Bän-



Abbildung 1:
Lage der Untersuchungsfläche (Feldgehölz/Laubgebüsch-Fläche mit Saumgesellschaft) in der Landschaft, Standort Müncheberg

Figure 1:
Position of the experimental area (field wood/deciduous shrubs-area with fringing community) in the landscape, site Müncheberg

derparabraunerde-Bodengesellschaften mit der Horizontabfolge Ap/Al/Bt/C bzw. Ap/Bv/Ael+Bbt/C. Die Texturdaten variieren deutlich. Der Ap-Horizont enthält im Mittel 830 g kg^{-1} Sand, 140 g kg^{-1} Schluff, 30 g kg^{-1} Ton und $5,91 \text{ g kg}^{-1}$ organische Substanz. Alle weiteren am Standort gewonnenen Daten für die Nährstoffe N, P und K, die organische Bodensubstanz, das C/N-Verhältnis, die Bodenlagerungsdichte und die Bodenfeuchte zur Zeit der Probenahmen, im Spätsommer 1999, sind als Flächenmittelwerte der Tabelle 1 zu entnehmen.

Der Standort gehört mit einer mittleren jährlichen Niederschlagssumme von 540 mm zu den niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands. Das Jahresmittel der Lufttemperatur beträgt $8,5 \text{ °C}$. Die Experimentalfläche wurde bis 1960 landwirtschaftlich genutzt und befindet sich seitdem in Offenhaltung.

2.2 Einmessen der Untersuchungsfläche mit einem Geographic Positioning System (GPS)

Raumbezogene Informationen über Durchwurzelungstiefen in Biotoptypen der Landschaft setzen eine GIS-basierte Darstellung der gewonnenen Daten voraus, die ein Identifizieren räumlich differenzierter horizontaler Verteilungsmuster unterschiedlicher Durchwurzelungstiefenklassen ermöglichen soll.

Als Voraussetzung für Aussagen zur räumlichen Verteilung der gewonnenen Daten wurden deshalb die genauen Koordinaten der Fläche und der Messplätze ermittelt. Darüber hinaus erfolgte die Aufteilung der Fläche in Form eines Rasters mit 32 Raumeinheiten von $10 \times 10 \text{ m}$ Länge. Die

Lage der einzelnen Rasterzellen wurde eingefluchtet und durch Fixpunkte markiert. Nur auf dieser Basis konnten die einzelnen Durchwurzelungstiefen und Bodenkennwerte der richtigen Raumeinheit zugeordnet werden (Abb. 2 und 3).

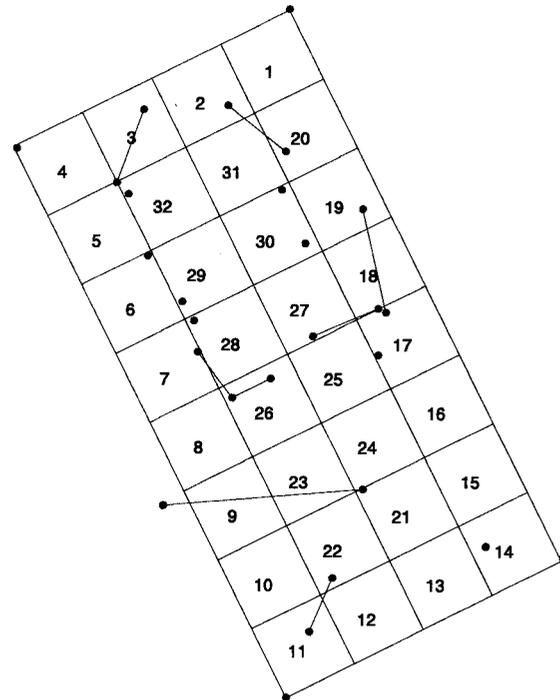


Abbildung 2: Lage der Fläche (eingemessen), der Rasterzellen, der Profilgruben und der Einzelgehölzmessplätze im Gelände nach Einmessen mittels GPS

Figure 2: Position of the study area (oriented to the north), the grid cells, the trench profiles and the measuring places of single trees or bushes in the study area after measuring the coordinates with a Geographic Positioning System

Tabelle 1: Mittlere Werte für Textur, Nährstoffgehalt, organische Bodensubstanz, Bodenlagerungsdichte und Bodenfeuchte auf der Untersuchungsfläche (zum Zeitpunkt der Probenahmen, Spätsommer 1999)

Table 1: Mean values for texture, nutrient content, organic soil substance, soil bulk density and soil moisture on the experimental area (at the time of the sampling, late summer 1999)

Textur	Bodentiefe (cm)	Sand (g kg^{-1})	Schluff (g kg^{-1})	Ton (g kg^{-1})	Organische Bodensubstanz (g kg^{-1})
	5–10	830 ± 9	140 ± 11	30 ± 2	$5,91 \pm 0,96$
	40–60	897 ± 14	83 ± 13	20 ± 5	$0,54 \pm 0,12$
	> 65	882 ± 44	77 ± 33	41 ± 13	$1,22 \pm 0,12$
Nährstoffe	Bodentiefe (cm)	Stickstoff (mg kg^{-1})	Phosphor (mg kg^{-1})	Kalium (mg kg^{-1})	C/N-Verhältnis
	5–10	730 ± 140	$61,7 \pm 12,0$	$97,8 \pm 26,6$	$11,8 \pm 0,05$
	40–60	510 ± 270	$52,3 \pm 14,6$	$76,5 \pm 24,5$	$11,7 \pm 0,07$
	> 65	90 ± 50	$27,9 \pm 8,3$	$40,0 \pm 13,1$	$10,9 \pm 1,58$
Bodengefüge	Bodentiefe (cm)	Bodenlagerungsdichte (Mg m^{-3})		Bodenfeuchte, gravimetrisch (kg kg^{-1})	
	5–10	$1,24 \pm 0,02$		$0,114 \pm 0,070$	
	40–60	$1,61 \pm 0,02$		$0,038 \pm 0,014$	
	> 65	$1,65 \pm 0,02$		$0,058 \pm 0,008$	

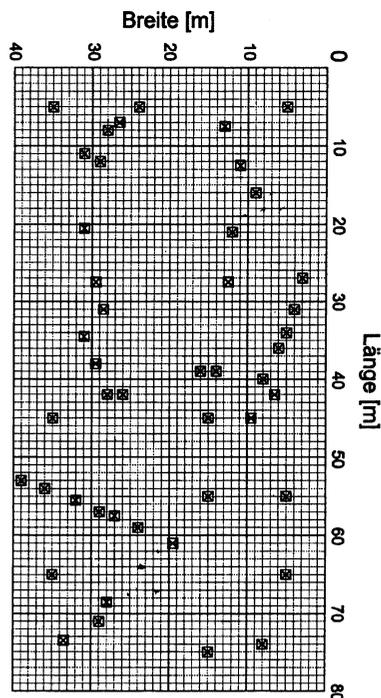


Abbildung 3: Lage aller Messpunkte
Figure 3: Position of all measuring points

2.3 Ermittlung der Hauptwurzelzone und der maximalen Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften der Untersuchungsfläche

Zur Ermittlung der Hauptwurzelzone und maximalen Durchwurzelungstiefe von Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen wurden auf der Untersuchungsfläche je nach seitlicher Ausdehnungsmöglichkeit mit einem Bagger Profilgruben zwischen 6 und 12 m Länge ausgehoben. Die Gruben wurden jeweils so tief ausgebagert, bis die untere Grenze des sichtbaren Wurzelwachstums erkennbar war (bis maximal 2,50 m). Die Profilwände der ausgebagerten Gruben mussten zunächst mit einem Spaten glatt abgestochen werden. Vorsichtiges Ausklopfen des lockeren Bodens mit einem Zinkenwerkzeug und das maschinelle Absprühen der äußeren Bodenschicht der Profilwände mit einer hydraulisch betriebenen Wasserspritze dienten dazu, fortlaufend jeweils 2 m Wurzelsystemverband der Pflanzengesellschaft am jeweiligen Messplatz freizulegen und von organischen Resten und Bodenpartikeln zu säubern. Die auf diese Weise an der Profilwand sichtbar gemachten Wurzeln konnten nun auf Polyäthylenfolie von jeweils 2 m mal 2,50 m abgezeichnet und hinsichtlich ihrer Anteile pro Bodenschicht und ihres Tiefganges ausgemessen werden (siehe auch DANNOWSKI et al., 2001; Abb. 4).

Zur vollständigen Charakterisierung der Fläche war es auch notwendig, die maximale Durchwurzelungstiefe von Einzelgehölzen und Bäumen zu ermitteln. Auch an diesen Messplätzen wurde der Boden mit dem Bagger bis zur unteren Grenze des sichtbaren Wurzelwachstums ausgehoben (Abb. 5).



Abbildung 4: Profilwand zur Ermittlung der maximalen Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen

Figure 4: Trench profile wall for ascertainment the maximum rooting depths of plant communities of different types of biotope



Abbildung 5: Profilwand von Einzelgehölzen zur Ermittlung ihrer maximalen Durchwurzelungstiefen

Figure 5: Trench profile wall of single trees or bushes for ascertainment of their maximum rooting depths

Die Ermittlung der Hauptwurzelzone der untersuchten Pflanzengesellschaften erfolgte anhand der aufgezeichneten Wurzelverteilungsbilder, die an jedem Messplatz mit erfasst wurden. Die Bodenzone, die bis zu 75 % aller Wurzeln enthielt, wurde als Hauptwurzelzone bezeichnet.

Nach Verkleinerung der Wurzelzeichnungen in einheitlichem Maßstab wurden diese auf Papier kopiert und zum Anlegen einer Datei eingescannt. Mit Hilfe des Programms SigmaScan Pro der Firma SPSS Science erfolgte die Bildauswertung der Wurzelsystemverbände in Form einer Pixelzählung der vorhandenen Bildstrukturen pro 10 cm Bodenschicht. Auf diese Weise konnte der prozentuale Wurzelanteil pro Bodenschicht errechnet werden (Abb. 13 bis 17).

2.4 Ermittlung von Bodenkennwerten

Neben der Vegetationszusammensetzung können Substratverhältnisse, Wassergehalt und Bodengefügezustand das Wurzelwachstum von Pflanzengesellschaften entscheidend beeinflussen. Um für einen späteren Standortvergleich möglichst viele dieser Einflussfaktoren zu kennen, wurden an jedem Messplatz Bodenproben in drei bzw. vier Tiefen entnommen und in fünffacher Wiederholung zu einer Mischprobe vereint. Diese Proben dienten der Ermittlung der Bodentextur, teilweise des Nährstoffgehaltes und der organischen Bodensubstanz.

Darüber hinaus wurden die Bodenlagerungsdichte und der Bodenfeuchtegehalt in ebenfalls drei Bodentiefen ermittelt (siehe Standortbeschreibung).

2.5 Labormethoden

Vor der Ermittlung der Textur, einiger Nährstoffe und des C/N-Verhältnisses wurden die Bodenproben luftgetrocknet und auf 2 mm gesiebt.

Die **Textur** wurde mittels Pipettmethode nach Köhn in 0,1 molarer Natriumpyrophosphatlösung bestimmt.

Die Bestimmung des **organischen** und des **Gesamtkohlenstoffgehaltes** erfolgte nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse) als CO_2 mittels Infrarotanalyse im CNS Elementaranalysator der Firma LECO. **Carbonat** wurde im Carmomat 12 D der Firma Wösthoff durch Messung der Gasvolumenänderung ermittelt. Der C_{org} -Gehalt wurde durch Differenzbildung aus C_t und C_{CO_3} bestimmt.

Die Bestimmung des **Gesamtstickstoffs** erfolgte im Elementaranalysator CNS 2000 der Firma LECO. Dabei wer-

den die in der Probe enthaltenen Stickstoffverbindungen bei hoher Temperatur im Sauerstoffstrom zu NO_x umgesetzt. Die Menge an entstandenem NO_x wird im Gasstrom durch eine Temperatur-Leitfähigkeitszelle geführt und dort mittels Wärmeleitfähigkeitsmessung erfasst.

Die Menge an **pflanzenverfügbarem Phosphor** und **Kalium** wurde durch Extraktion mit einer Calciumlaktatlösung erfasst. Der in der Lösung enthaltene Gehalt an Phosphor wurde photometrisch mit dem Photometer EPOS 5060 der Firma Eppendorf bestimmt. Die Erfassung des Kaliumgehaltes in der Lösung erfolgte flammenphotometrisch mit dem Atomabsorptionsphotometer (AAS) Solar der Firma Unicam.

Die Ermittlung der **Bodenlagerungsdichte** erfolgte an 100 cm^3 -Volumenproben nach DIN 19683 Blatt 12. Der **Bodenwassergehalt** wurde gravimetrisch aus der Differenz zwischen der Masse des Bodens bei Entnahme und nach Trocknung bei 105 °C ermittelt.

2.6 Ermittlung der Deckungsgrade der in den einzelnen Rasterzellen vorhandenen Vegetation

Zur vegetationskundlichen Beschreibung des Pflanzenbestandes wurden die wichtigsten vorkommenden Pflanzenartengruppen bestimmt. Die Ermittlung der Deckungsgrade (Dominanz) erfolgte anhand der Skala nach BRAUN-BLANQUET (1964) getrennt nach Gräsern, Kräutern, Sträuchern und Bäumen durch Schätzung ihres prozentualen Anteils an der jeweiligen Gesamtfläche eines Grids. Das Ergebnis der Schätzungen ist der Abb. 18 zu entnehmen.

2.7 Verfahrensweise für die Zuordnung von Werten der maximalen Durchwurzelungstiefe zu den einzelnen Rasterzellen

Anhand der Bodenprofile von Pflanzengesellschaften und der Profile der Einzelgehölze war deutlich zu erkennen, bis zu welcher maximalen Tiefe die jeweiligen Wurzelsystemverbände bzw. Wurzelsysteme den Boden erschlossen hatten. Diese Messdaten wurden den jeweiligen Rasterzellen zugeordnet, in denen sie erhoben worden waren. In den Rasterzellen, die nicht durch Messdaten belegt werden konnten, wurden anhand der Kenntnis über die Vegetationszusammensetzung die maximalen Durchwurzelungstiefen geschätzt. Dabei dienten die Messwerte der benachbarten Rasterzellen bekannter Zusammensetzung

oder auch Literaturwerte (HUNDT, 1958; KUTSCHERA, 1960; KÖSTLER et al., 1968; KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 1992; SCHUBERT et al., 1995) als Orientierung für die Schätzungen. Von insgesamt 32 Rasterzellen konnten 23 Zellen reale Messdaten zugeordnet werden.

2.8 Visualisierung der Daten

Die Vegetationsanteile von Gräsern, Kräutern, Sträuchern und Bäumen wurden für jede Rasterzelle der Fläche durch Darstellung ihres Deckungsgrades in einem Kreisdiagramm visualisiert. Die Visualisierung der maximalen Durchwurzelungstiefen erfolgte auf der Basis einer numerischen Klassifikation über eine GIS-basierte Darstellung (Arc View). Als Richtlinie für die Einteilung der maximalen Durchwurzelungstiefen in drei unterschiedliche Klassen (0 bis 110 cm, 0 bis 170 cm und 0 bis 220 cm) dienten die vertikalen Wurzelverteilungsbilder, die ebenfalls an jedem Messplatz mit aufgezeichnet worden waren (Abb. 9 bis 12). In Abb. 6 ist dargestellt, wie sich die auf der Untersuchungsfläche ermittelten maximalen Durchwurzelungstiefen auf die drei Durchwurzelungstiefenklassen verteilen und mit

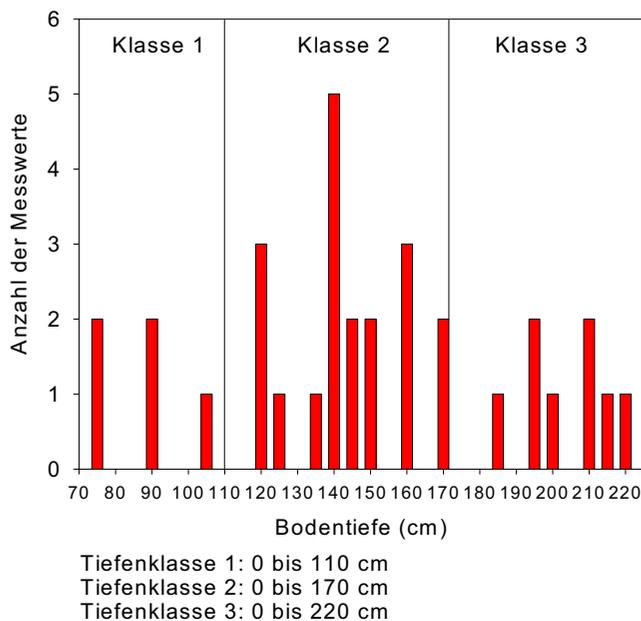


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung von Messwerten (n = 32) der maximalen Durchwurzelungstiefen auf einer Feldgehölz/Laubgebüsch-Fläche mit Saumgesellschaft am Standort Müncheberg

Figure 6: Frequency distribution of measured data (n = 32) of the maximum rooting depths on a field wood/deciduous shrubs-area with fringing community on the site of Müncheberg

welcher Häufigkeit sie auftreten. Dabei zeigt sich eindeutig eine Konzentration der Messdaten auf die Durchwurzelungstiefenklasse von 0 bis 170 cm.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Unterschied zwischen Hauptwurzelzone und maximaler Durchwurzelungstiefe

Auf Grund des hohen Defizites an aktuellen und gemessenen Daten über vegetationspezifische (maximale) Durchwurzelungstiefen werden Modellrechnungen zum Wasserentzug von Pflanzen meist mit relativ grob geschätzten Pauschalwerten vorgenommen. Auch die vielfach benutzte effektive Durchwurzelungstiefe ist nur eine Hilfsgröße. Sie beschreibt die anhand von Bodendaten rechnerisch ermittelte Tiefe, bis zu der die nutzbare Feldkapazität vollständig ausgeschöpft werden kann. Sie ist somit ein Bodenkennwert, der einen nur in seiner Bodenart variierenden Boden voraussetzt, andere wesentlich wichtigere Einflussfaktoren jedoch nicht berücksichtigt (SCHREY, 1999). Sie entspricht nicht dem realen maximalen Tiefgang der Wurzeln (BACH,

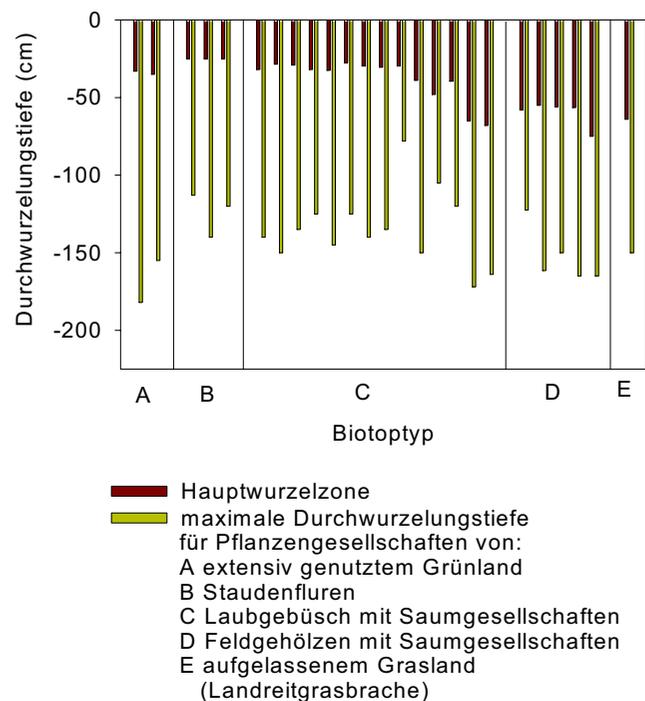


Abbildung 7: Hauptwurzelzone und maximale Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen am Standort Müncheberg

Figure 7: Main root zone and maximum rooting depth of plant communities of different types of biotope on the site of Müncheberg

1987; TENHOLTERN und SEIFFERT, 1999; SCHREY, 1999).

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen die Hauptwurzelzonen und die maximalen Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften und Einzelgehölzen, die in unterschiedlichen Biototypen der Untersuchungsfläche ermittelt wurden. Es ist erkennbar, wie unterschiedlich groß der maximale Bodenraum ist, der den Pflanzen zur Ausschöpfung von Wasser und Nährstoffen zur Verfügung steht. Ebenso variabel sind die Bereiche der Hauptwurzelzonen. Besonders bemerkenswert sind die meist erheblichen Differenzen zwischen Hauptwurzelzone und maximalen Durchwurzelungstiefen.

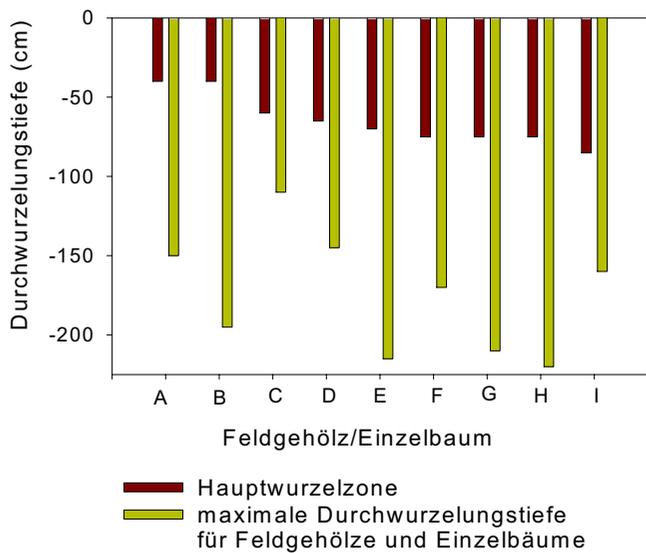


Abbildung 8: Hauptwurzelzone und maximale Durchwurzelungstiefen von Feldgehölzen und Einzelbäumen am Standort Müncheberg

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| A gelbe Pflaume (4 m) | F Apfel (6 m) |
| B gelbe Pflaume (6 m) | G Birke (8 m) |
| C Weißdorn (3 m) | H Eiche (6,5 m) |
| D Apfel (6 m) | I Eiche (9 m) |
| E blaue Pflaume (7 m) | |

Figure 8: Main root zone and maximum rooting depth of field wood and single trees on the site of Müncheberg

Diese Differenzen zeigen sich auch in den gezeichneten Wurzelverteilungsbildern (Abb. 9 bis 12).

Damit wird das in der Literatur häufig zitierte Ergebnis bestätigt, dass Wurzeln weit tiefer in den Boden eindringen als allgemein angenommen (CANADELL et al., 1996). Vielfach wird auf die große Bedeutung tief wachsender Wurzeln und ihren Beitrag zu den Gesamtökosystemprozessen hingewiesen (NEPSTAD et al., 1994; FISHER et al., 1994; DAWSON, 1996; SCHULZE et al., 1996). Sie erlangen besondere

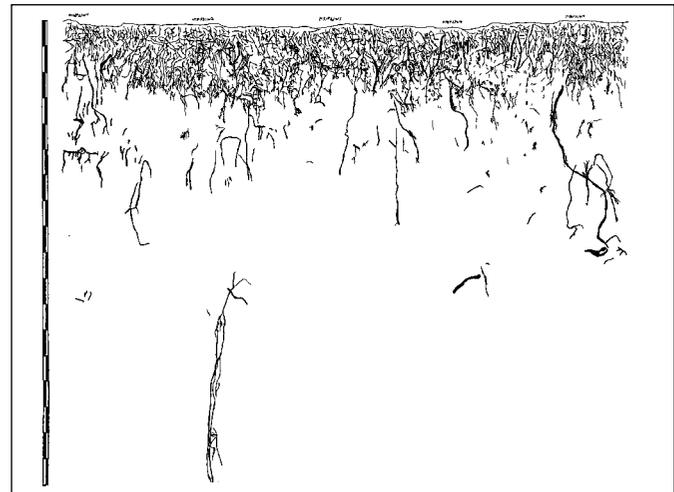


Abbildung 9: Wurzeltiefenverteilungsbild einer Pflanzengesellschaft aus dem Biototyp „extensiv genutztes Grünland“ eines mäßig frischen Standortes

Figure 9: Drawing of rooting depth distribution of a plant community of the type of biotope “extensively used grassland” of a moderately fresh site



Abbildung 10: Wurzeltiefenverteilungsbild einer Pflanzengesellschaft aus dem Biototyp „Feldgehölze“ (mit Saumgesellschaft). An der Messskala der gezeichneten Wurzelbilder entspricht ein Segment einer Bodentiefe von 10 cm.

Figure 10: Drawing of rooting depth distribution of a plant community of the type of biotope “field wood” (with fringing community). At the measuring scale of the root drawings one segment corresponds to a soil depth of 10 cm.

Bedeutung, wenn der Boden austrocknet und ein Erschließen von Wasser aus tiefer gelegenen Bodenschichten nötig wird (GARDNER, 1983). Es liegt demnach nahe, dass Pflanzengesellschaften mit tief wurzelnden Pflanzenarten den Wasserfluss sowie die Kohlenstoff- und Nährstoffdynamik im Ökosystem Boden stärker beeinflussen als bisher angenommen. Dies sollte bei der Entwicklung bzw. Präzisierung

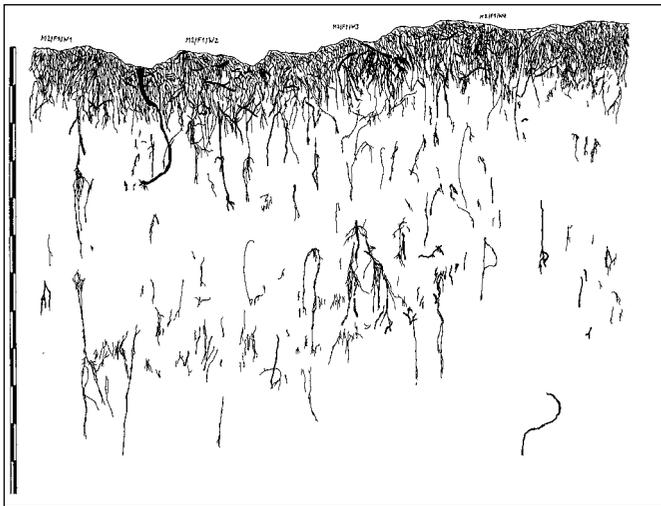


Abbildung 11: Wurzelverteilungsbild einer Pflanzengesellschaft aus dem Biotoptyp „Staudenfluren“

Figure 11: Drawing of rooting depth distribution of a plant community of the type of biotope "vegetation of perennial herbs"

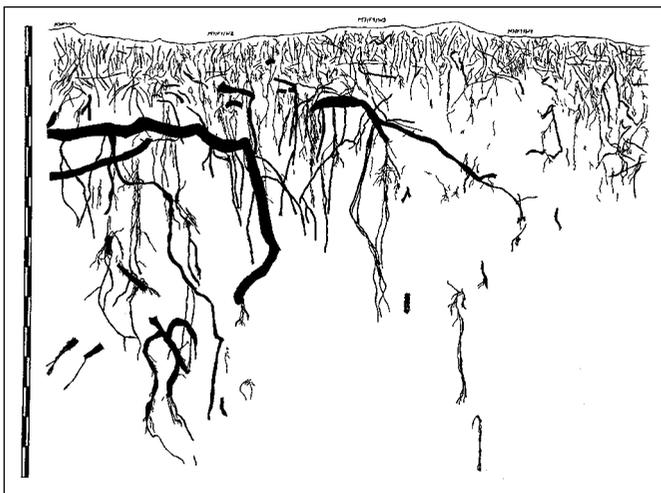


Abbildung 12: Wurzelverteilungsbild einer Pflanzengesellschaft aus dem Biotoptyp „Laubgebüsch“ (mit Saumgesellschaft)

Figure 12: Drawing of rooting depth distribution of a plant community of the type of biotope "deciduous shrub" (with fringing community)

von Ökosystemmodellen berücksichtigt werden (CANADDELL et al., 1996). Da Substratverhältnisse, Bodenlagerungsdichte und Bodenfeuchte im Unterboden an den untersuchten Messplätzen der jeweiligen Pflanzengesellschaften nur wenig voneinander abweichen, kann ein direkter Einfluss dieser Standortfaktoren auf die unterschiedlichen Durchwurzelungstiefen nicht nachgewiesen werden.

3.2 Wurzelanteile pro Bodenschicht für ausgewählte Pflanzengesellschaften

Die relative Wurzelverteilung im Bodenprofil hat weitreichende Bedeutung für das Wasser- und Nährstoffaneignungsvermögen. Sie bestimmt u.a. die Höhe des Wasserentzuges aus dem Boden (EHLERS, 1996). Es war deshalb von Interesse herauszufinden, ob es außer den bekannten pflanzenartspezifischen Unterschieden in der Tiefendurchwurzelung von relativ homogenen Ackerkulturen wesentliche Unterschiede auch in der Tiefenverteilung der Wurzelsystemverbände heterogener Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen gibt. Die Abbildungen 13 bis 17 zeigen die bildanalytisch ermittelten Wurzelanteile pro Bodenschicht für die untersuchten Pflanzengesellschaften der Biotoptypen „extensiv genutztes Grünland“, „Staudenfluren“, „Laubgebüsch“ (mit Saumgesellschaft), „Feldgehölze“ (mit Saumgesellschaft) und „aufgelassenes Grasland“ mit einer Landreitgrasbrache.

Während in den Pflanzengesellschaften der Biotoptypen „extensiv genutztes Grünland“ und „Staudenfluren“ 75 % der Wurzeln innerhalb einer Bodenschicht bis 30 cm anzutreffen waren, wurde der gleiche Anteil an Wurzeln bei Pflanzengesellschaften von „Laubgebüsch“ und „Feldgehölzen“ jeweils mit Saumgesellschaft erst innerhalb einer Bodenschicht von ca. 50 bis 60 cm erreicht. Bei der Pflanzengesellschaft des Biotoptyps „aufgelassenes Grasland“ befanden sich bei einer sehr einheitlichen Durchwurzelung bereits 97 % aller Wurzeln innerhalb einer Bodenschicht bis zu 60 cm. Da hier nur eine Pflanzengesellschaft zur Verfügung stand, konnten keine Konfidenzgrenzen angegeben werden. Die im Biotoptyp „extensiv genutztes Grünland“ in großer Tiefe zu erkennenden Wurzelanteile der Pflanzengesellschaft sind auf die Anwesenheit einzelner tief wurzelnder Kräuter wie Spitzwegerich, Löwenzahn und Sauerampfer zurückzuführen. Die untersuchten Pflanzengesellschaften der Biotoptypen „Laubgebüsch“ und „Feldgehölze“ mit Saumgesellschaft durchwurzelten den Boden bis zu einer Tiefe von 1,30 m mit gut erkennbaren Anteilen. In der Grafik nicht mehr zu erkennen sind wegen ihrer Geringfügigkeit die Wurzelanteile unter 1,60 m.

Die hier dargestellten Tiefenverteilungen der Wurzelsystemverbände von Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen zeigen deutliche Differenzen in ihren Anteilen pro Bodenschicht. Es liegt nahe, dass diese Unterschiede auf Grund der nur wenig differierenden Bodenkenneiwerte zwischen den Messplätzen vorwiegend auf die spezifische Zusammensetzung der heterogenen Pflanzengesellschaften

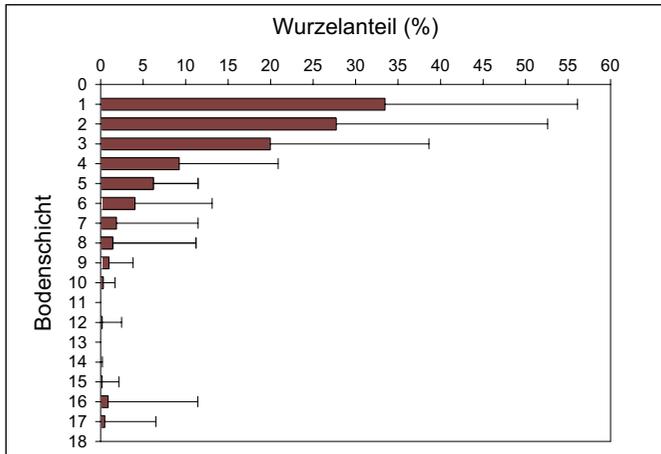


Abbildung 13: Wurzelanteil pro Bodenschicht für zwei Pflanzengesellschaften des Biotoptyps „extensiv genutztes Grünland“ eines mäßig frischen Standortes
 Figure 13: Root proportion per soil layer for two plant communities of the type of biotope “extensively used grassland” of a moderately fresh site

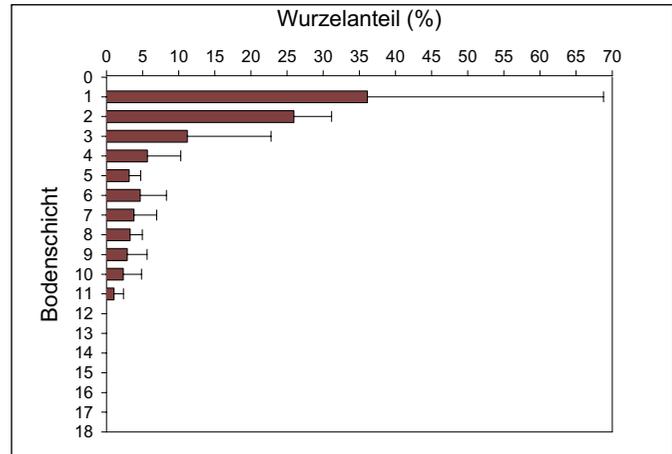


Abbildung 14: Wurzelanteil pro Bodenschicht für drei Pflanzengesellschaften des Biotoptyps „Staudenfluren“
 Figure 14: Root proportion per soil layer for three plant communities of the type of biotope “vegetation of perennial herbs”

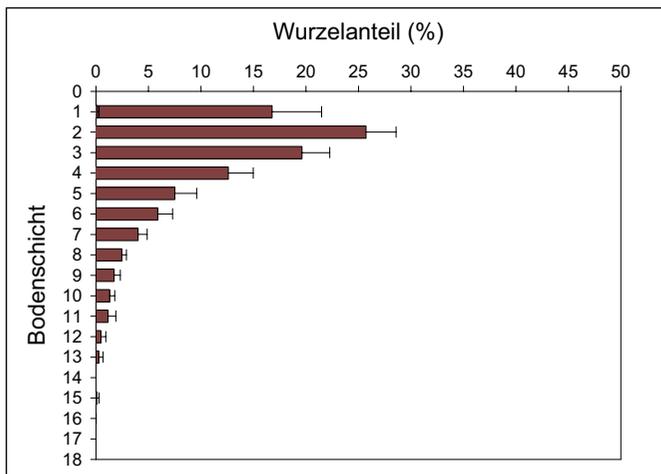


Abbildung 15: Wurzelanteil pro Bodenschicht für vierzehn Pflanzengesellschaften des Biotoptyps „Laubgebüsch“ (mit Saumgesellschaft)
 Figure 15: Root proportion per soil layer for fourteen plant communities of the type of biotope “deciduous shrub” (with fringing community)

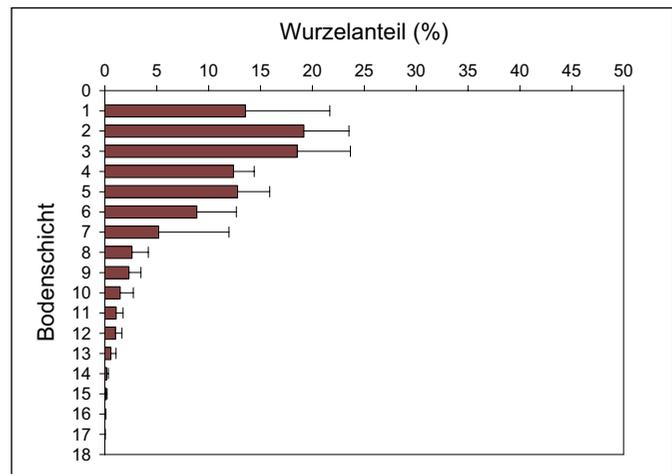


Abbildung 16: Wurzelanteil pro Bodenschicht für fünf Pflanzengesellschaften des Biotoptyps „Feldgehölze“ (mit Saumgesellschaft)
 Figure 16: Root proportion for five plant communities of the type of biotope “field wood” (with fringing community)

zurückzuführen sind. Unterschiede in der Wurzeltiefenverteilung von Gräsern, Sträuchern und Bäumen wurden sogar auf weit höherskaliger Betrachtungsebene, auf der Basis terrestrischer Biome, von JACKSON et al. (1996) nachgewiesen. SAINJU and GOOD (1993) erwähnen die Möglichkeit, dass die vertikale Verteilung von Wurzeln vor allem durch die Verfügbarkeit der Bodennährstoffe beeinflusst wird, was die vielfach ermittelten maximalen Wurzeldichten in den Humus- und oberen Mineralbodenschichten erklären würde (JACKSON et al., 1996). HERTEL (1999) sowie

SCHMID and KAZDA (2002) haben beim Vergleich von Einzelbäumen mit gemischten Beständen von Waldbäumen nachgewiesen, dass die vertikale Wurzelverteilung auch durch unterirdischen Wettbewerb um Bodenressourcen verändert werden kann. All diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass es unbedingt notwendig ist, auch die Bedeutung landwirtschaftlich nicht genutzter Flächen für den Wasser- und Stoffhaushalt in Teilgebieten der Landschaft zu hinterfragen, wenn Landnutzung und Landschaftsstrukturierung verändert werden sollen.

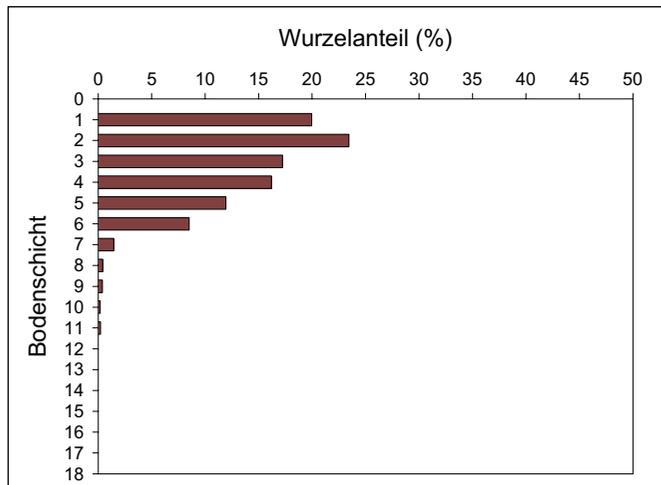


Abbildung 17: Wurzelanteil pro Bodenschicht für eine Pflanzengesellschaft des Biotoptyps „aufgelassenes Grasland“ (Landreitgrasbrache)

Figure 17: Root proportion per soil layer for one plant community of the type of biotope "left open grassland" (wood small reed-fallow)

3.3 Identifizierung eines räumlich differenzierten Verteilungsmusters unterschiedlicher Klassen maximaler Durchwurzelungstiefen

Die Wichtigkeit gemessener Daten zur Durchwurzelungstiefe von Pflanzengesellschaften in Biotoptypen der Landschaft besteht in ihrer Stützstellenfunktion bei der Entwicklung von Modellen. Ebenso wichtig sind aber auch Kenntnisse über räumlich differenzierte horizontale Verteilungsmuster unterschiedlicher Durchwurzelungstiefenklassen und deren Ursachen. Sie ermöglichen raumbezogene Informationen über vegetationspezifische Durchwurzelungstiefen bei gegenwärtiger Landnutzung bzw. Landschaftsstrukturierung.

Darüber hinaus ermöglichen sie Hydrologen und Ökosystem- bzw. Landschafts-Modellierern präzisere Berechnungen der Wasserbewegung im Boden und der aktuellen Kohlenstoffverteilung unter Berücksichtigung der Gebiets- bzw. Raumspezifität.

Abb. 18 zeigt eine erste Möglichkeit, die Verteilung maximaler Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften einer Feldgehölzfläche von 3200 m² Größe räumlich differenziert darzustellen. Die drei Durchwurzelungstiefenklassen sind durch unterschiedliche Grautöne gekennzeichnet und wurden mit den in jeder Rasterzelle ermittelten Vegetationsanteilen in einer Karte veranschaulicht. Karten dieser Art können als Ausgangsbasis für ein differenziertes

Herangehen an Berechnungen des potenziellen Wasserentzuges durch Pflanzengesellschaften dienen.

Da für die Untersuchungen keine homogenen Pflanzenbestände von Ackerkulturen ausgewählt wurden, sondern heterogene Pflanzengesellschaften von Biotopen, die keiner landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen, ergibt sich eine besondere Spezifik im Durchwurzelungsverhalten. Heterogene Pflanzengesellschaften können mehrere unterschiedlich tief wurzelnde Pflanzenartengruppen enthalten. Deshalb gibt es nur wenige allgemein gültige Aussagen:

In der Durchwurzelungstiefenklasse 1 (bis 1,10 m) ist generell ein hoher Anteil an Gräsern und Kräutern und teils ein geringer Anteil flach wurzelnder Laubgebüsche anzutreffen.

In der Durchwurzelungstiefenklasse 3 (bis 2,20 m) sind generell unterschiedliche Anteile sehr tief wurzelnder Laubgebüsche oder Bäume enthalten.

Die Tiefenklasse 2 (bis 1,70 m) enthält alle Vegetationsgruppen zu unterschiedlichen Anteilen, die eine maximale Durchwurzelungstiefe von 1,70 m erreichen.

Darüber hinaus gibt es aber auch Unregelmäßigkeiten:

Beispielsweise wäre bei einem hohen Anteil an Gräsern und Kräutern generell eine maximale Durchwurzelungstiefenklasse bis zu 1,10 m zu erwarten. Sobald trotz des hohen Anteils an Gräsern und Kräutern aber gleichzeitig tiefwurzelnde Laubgebüsche und Bäume in der Rasterzelle auftreten, gehört diese einer Durchwurzelungstiefenklasse mit einer größeren Durchwurzelungstiefe an, unabhängig vom Anteil der Vegetationsgruppen.

Umgekehrt muss ein hoher Anteil an Laubgebüschen und Bäumen nicht unbedingt der Durchwurzelungstiefenklasse mit der größten Tiefe angehören. Es kann sich dabei um flacher wurzelnde Laubgebüsche oder Bäume handeln (z. B. Obstbäume).

Trotz all dieser spezifischen Gegebenheiten, die heterogenen Pflanzengesellschaften eigen sind, kann eine solche Karte wie in Abb. 18 dargestellt, als Orientierungshilfe dienen, Modellrechnungen zur Bodenwasserbewegung unter Einbeziehung von Pflanzenwurzeln zu präzisieren und eine räumlich differenzierte Betrachtung zu ermöglichen. Das besondere Interesse zukünftiger Arbeiten gilt der Klärung von Ursachen der Heterogenität im Raum auf der Basis quantifizierbarer Einflussgrößen zu deren Charakterisierung.

Um einen räumlichen Eindruck von der Verteilung der maximalen Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen auf der Untersuchungsfläche zu vermitteln, wurde dieser anhand der vor-

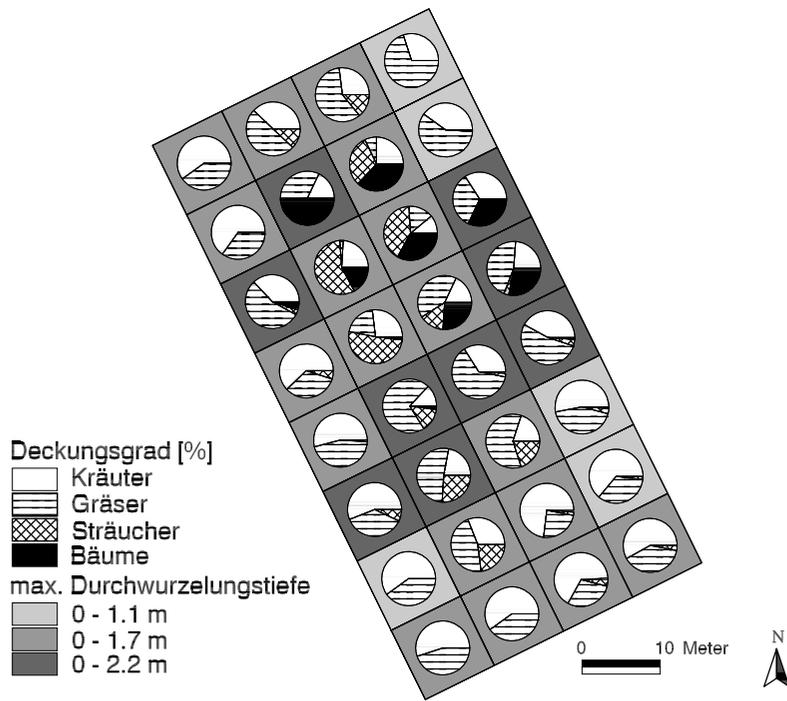


Abbildung 18: Deckungsgrad von Gräsern, Kräutern, Sträuchern und Bäumen sowie unterschiedliche Klassen maximaler Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften einer Feldgehölz/Laubgebüsch-Fläche mit Saumgesellschaft

Figure 18: Coverage percentage of grasses, herbaceous plants, shrubs and trees as well as different classes of maximum rooting depths of plant communities of a field wood/deciduous shrubs-area with fringing community

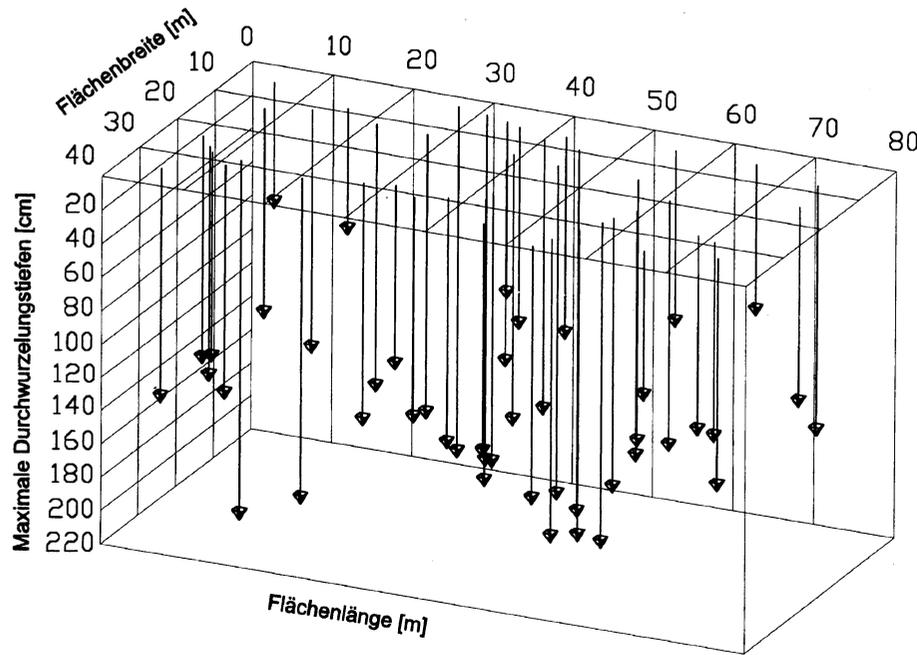


Abbildung 19: Räumliche Darstellung der maximalen Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotop-typen auf einer Feldgehölz/Laubgebüsch-Fläche mit Saumgesellschaft

Figure 19: Spatial representation of maximum rooting depths of plant communities of different types of biotope on a field wood/deciduous shrubs-area with fringing community

handenen Datenbasis mit Hilfe des Programms AUTOCAD erstellt (Abb. 19). Die Abbildung enthält die maximalen Durchwurzelungstiefen der Wurzelsystemverbände von Pflanzengesellschaften aller Einzelmessplätze (siehe auch Abb. 3).

4. Schlussfolgerungen

Die Verteilung von Wurzelsystemverbänden ist nicht nur hinsichtlich ihres für die Pflanzengesellschaften charakteristischen vertikalen Tiefenverteilungsbildes von Interesse. Auch die horizontale (flächenhafte) Verteilung von Pflan-

zengesellschaften unterschiedlicher Durchwurzelungstiefen in Teilgebieten der Landschaft bildet unterschiedliche Muster ab, die u.a. von der Landnutzung, der Landschaftsstrukturierung und von geomorphologischen Gegebenheiten entscheidend geprägt werden.

Eine besondere ökologische Bedeutung besitzt die maximale Durchwurzelungstiefe. Die Funktion tiefer Wurzeln erlangt dann besondere Relevanz, wenn durch mangelnde Sommerniederschläge der Oberboden ausgetrocknet ist. Oftmals sichern einzelne tiefreichende Wurzeln dann das Überleben der Pflanzengesellschaften. Kenntnisse über vegetationspezifische Durchwurzelungstiefen, über den Standorteinfluss auf die Durchwurzelungstiefen und über die Tiefenverteilung von Wurzelanteilen pro Bodenschicht sind wichtig, um bei Modellrechnungen zur Wasserbewegung im Boden, unter Einschluss des Wasserentzuges der Wurzeln als Funktion der Tiefe, eine möglichst hohe Treffsicherheit zu erzielen (STREBEL et al., 1975; HÖRMAN, 1998). Die Integration der Durchwurzelungstiefe in Vegetationsmodelle würde auch die Treffsicherheit von Szenarien über die Reaktionen der Vegetation auf Veränderungen im Boden verbessern.

Auf dem methodisch schwierigen Gebiet der Wurzelforschung besteht ein starkes Defizit an räumlich differenzierten Messdaten zu Wurzelverteilung und maximaler Durchwurzelungstiefe von Pflanzengesellschaften in größeren Raumeinheiten der Landschaft. Sie sind als Stützstellen zur Präzisierung von Vegetationsmodellen dringend erforderlich. Die besondere Schwierigkeit von Forschungsaufgaben auf höherskaligem Niveau (Patch, Landschaft, Region) besteht in einem methodischen Defizit für Regionalisierungsmethoden (fehlende oder unzureichende Bilanzierungs- und Parameterschätzverfahren, nicht existierende oder nicht valide Landschaftshaushalts- und Landschaftsentwicklungsmodelle) (BORK et al., 1995). Die bestehenden mathematischen Ansätze werden der komplexen Raumrealität meist nicht gerecht. Messungen landschaftsökologischer Daten sind vor allem Messungen am Punkt oder an Punkten in der Fläche. Die Übertragbarkeit der Daten auf die Fläche und damit deren räumliche Gültigkeit erweist sich als ein zentrales methodisches Problem landschaftsökologischer Feldforschung (LESER, 1991). Bei der Erhebung von Daten im Wurzelbereich kommt der große methodische Aufwand noch erschwerend hinzu. Dennoch kann ein zeitlich begrenzter Aufwand für den Gewinn von Übersichtswissen mit der Möglichkeit landschaftsrelevanter Aussagen auch im Wurzelbereich sehr sinnvoll sein. Übersichtswissen zur horizontalen Verteilung unterschiedlicher Durchwurze-

lungstiefenklassen wird benötigt, um den Einfluss der durchwurzelten Bodenzone in den unterschiedlich genutzten Flächen der Landschaft auf die Dynamik von Kohlenstoff-, Wasser- und Nährstoffflüssen flächenspezifisch besser abschätzen zu können. Es vermittelt Kenntnisse über die flächen- bzw. vegetationspezifische Verteilung maximaler Durchwurzelungstiefen bei gegenwärtiger Landnutzung bzw. Landschaftsstrukturierung.

Im Sinne einer nachhaltigen Landschaftsentwicklung und des Ressourcenschutzes ist es wichtig, szenarienhaft abschätzen zu können, wie sich bei Veränderung der Landnutzung bzw. Landschaftsstrukturierung (z.B. Flächenumwidmung mit Änderung der Vegetation) Wurzelverteilung und maximale Durchwurzelungstiefe von Pflanzengesellschaften ändern und welche Konsequenzen sich daraus ergeben.

Die hier behandelte Problematik verdeutlicht das Bemühen um neue Wege für möglichst realistische Aussagen zu den Durchwurzelungseigenschaften von Pflanzengesellschaften auch in größeren Raumeinheiten (> 1000 m²) der Landschaft. Sie zeigt aber auch die noch bestehenden Defizite auf. So ist es dringend erforderlich, den Aufwand für die Gewinnung von Wurzeldaten deutlich zu reduzieren und experimentelle Erhebungen auf Stichproben zu beschränken. Weitere Forschungsarbeiten sind notwendig, um entsprechende Tools zu entwickeln, die auf der Basis vorhandener Wurzeldaten und differenzierter Standortkenntnisse auf mathematischem Weg ein Abschätzen von vegetations- und flächenspezifischer Tiefendurchwurzelung auch für beliebige andere Biotope der Landschaft ermöglichen. Kenntnisse über die Zusammensetzung von Biotoptypen sowie über die jeweiligen konkreten Bodenverhältnisse sind dafür Voraussetzung. Das vorhandene, im Gelände erhobene Datenmaterial zum Durchwurzelungsverhalten von Pflanzengesellschaften unterschiedlicher Biotoptypen kann hierbei Stützstellenfunktion besitzen und als Ausgangsbasis für die Präzisierung derzeitiger Modellversionen dienen.

Danksagung

Die laufenden Arbeiten zur Wurzelforschung in größeren Raumeinheiten der Landschaft werden durch die finanzielle, institutionelle Unterstützung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MLUR) gefördert.

Herrn Großmann von der Forschungsstation Landwirtschaft des ZALF Müncheberg in Eberswalde danken wir für die Messung der Koordinaten der Untersuchungsfläche und aller Messplätze mittels eines GPS-Systems. Unser Dank gilt unserer Technikerin Frau Monika Röhl für die fleißige und verlässliche Hilfe bei der Entnahme von Bodenproben, der Aufbereitung im Labor und bei der Auswertung von Primärdaten. Herrn Erik Dannowski danken wir für die Darstellung der Messpunktkoordinaten und die räumliche Darstellung der maximalen Durchwurzelungstiefen von Pflanzengesellschaften der Untersuchungsfläche mit Hilfe des Programms AUTOCAD. Für die Überlassung des Luftbildes von der Untersuchungsfläche des Standortes Müncheberg danken wir Herrn Dr. Socher. Ein herzliches Dankeschön gilt Herrn Föllmer mit seinem Team für die Baggerarbeiten im Gelände, der Forschungsstation Landwirtschaft des ZALF in Müncheberg für die Schaffung der technischen Voraussetzungen zur Erlangung von Messwerten an den Profilwänden und dem Zentrallabor für die Analysen zur Bodentextur und zum Nährstoffgehalt. Frau Cornelia Fischer danken wir für die Ermittlung der Deckungsgrade der Vegetationsgruppen auf der Versuchsfläche. Frau Dr. Monika Wulf und Herrn Holger Pfeffer gilt unser Dank für die Ermittlung der dominierenden Pflanzenarten auf der Untersuchungsfläche.

Unserem Institutsleiter, Herrn Dr. Werner, Herrn Dr. Helmut Rogasik und Frau Dr. Ruth Ellerbrock danken wir für die Hinweise zur qualitativen Bereicherung dieser Publikation.

Anmerkung

1 Pflanzengesellschaften werden hier nicht als syntaxonomische Einheiten betrachtet, sondern als Vergemeinschaftung unterschiedlicher Pflanzenarten auf einer definierten Fläche.

Literatur

- BACH, M. (1987): Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Göttinger Bodenkundliche Berichte 93, 1–186.
- BERNTSON, G. M. (1994): Modelling root architecture: Are there tradeoffs between efficiency and potential of resource acquisition? *New Phytol.* 127, 483–493.
- BORK, H.-R., C. DALCHOW, H. KÄCHELE, H.-P. PIORR und K.-O. WENKEL (1995): Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen. Ernst & Sohn.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl. Springer, Wien.
- CANADELL, J., R. B. JACKSON, J. R. EHLERINGER, H. A. MOONEY, O. E. SALA and E.-D. SCHULZE (1996): Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108, 583–595.
- CLAUSNITZER, V. and J. W. HOPMANS (1994): Simultaneous modeling of transient threedimensional root growth and water flow. *Plant and Soil* 164, 299–314.
- DANNOWSKI, M. und A. WERNER (1999): Wurzelchorologie: Ein theoretisches Konzept zur Ermittlung der regionalen Wurzelverteilung und -leistung. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 37, 233–258.
- DANNOWSKI, M., J. LEHFELDT, E. REINING und B. ZBELL (2001): Analyse und Abschätzung der Biomasse und ihrer Verteilung in Nichtkulturbiotopen von Agrarlandschaften. ZALF-Bericht Nr. 46, Müncheberg.
- DAWSON, T. E. (1996): Determining water use by trees and forests from isotopic, energy balance and transpiration analyses: the roles of tree size and hydraulic lift. *Tree Physiol.* 16, 263–272.
- DIGGLE, A. J. (1988): ROOTMAP – a model in three-dimensional coordinates of the growth and structure of fibrous root systems. *Plant and Soil* 105, 169–178.
- EHLERS, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze: Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER und D. PAULISSEN (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Verlag Erich Goltze KG, Göttingen.
- FISHER, M. J., I. M. RAO, M. A. AYARZA, C. E. LASCANO, J. I. SANZ, R. J. THOMAS and R. R. VERA (1994): Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South America savannas. *Nature* 371, 236–238.
- FITTER, A. H., T. R. STICKLAND, M. L. HARVEY and G. W. WILSON (1991): Architectural analysis of plant root systems. I. Architectural correlates of exploitation efficiency. *New Phytologist* 119, 375–382.
- GARDNER, W. R. (1983): Soil properties and efficient water use: an overview. In: TAYLOR, H. M., W. R. JORDAN and T. R. SINCLAIR (eds.): Limitations to efficient water use in crop production. American Society of Agronomy, Madison, 45–64.

- GEISLER, G. (1980): Pflanzenbau. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Global Change and Terrestrial Ecosystems. The Operational Plan (1992): Global Change Report No. 21, 19.
- HANSSON, A. C. and E. STEEN (1984): Methods of Calculating Root Production and Nitrogen Uptake in an Annual Crop. Swedish J. agric. Res. 14, 191–200.
- HERTEL, D. (1999): Das Feinwurzelsystem von Rein- und Mischbeständen der Rotbuche: Struktur, Dynamik und interspezifische Konkurrenz. Dissertationes Botanicae, Band 317.
- HUNDT, R. (1958): Beiträge zur Wiesenvegetation Mitteleuropas. I. Die Auenwiesen an Elbe, Saale und Mulde. Nova Acta Leopold. N. F. 135, 20.
- HÖRMAN, G. (1998): Wasserhaushalt von Ökosystemen. In: FRÄNZLE, O., F. MÜLLER und W. SCHRÖDER (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Ecomed Verlagsgesellschaft.
- JACKSON, R. B., J. CANADELL, J. R. EHLERINGER, H. A. MOONEY, O. E. SALA and E. D. SCHULZE (1996): A global analysis of root distribution for terrestrial biomes. *Oecologia* 108, 384–411.
- JONES, C. A. and J. R. KINIRY (1986): CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A & M University Press, College Station, TX.
- KADUK, J. and M. HEIMANN (1996): A prognostic phenology scheme for global models of the terrestrial biosphere. *Climatic research*.
- KÖSTLER, J. N., E. BRÜCKNER und H. BIBELRIETHER (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- KUTSCHERA, L. (1960): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- KUTSCHERA, L. und E. LICHTENEGGER (1992): Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünpflanzen. Band 2: Pteridophyta und dicotyledonae. Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York.
- LESER, H. (1991): Landschaftsökologie. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- LYNCH, J. and K. L. NIELSEN (1996): Simulation of Root System Architecture. In: WAISEL, Y., A. ESHEL and U. KAFKAFI, (eds.): *Plant Roots. The Hidden Half*. Sec. Edition, M. Dekker, Inc. New York, Basel, Hong Kong.
- MÜLLER, F. und S. N. NIELSEN (1996): Thermodynamische Systemauffassung in der Ökologie. In: MATHES, K., B. BRECKLING und K. EKSCHMITT (Hrsg.): *Systemtheorie in der Ökologie*. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg am Lech.
- NEILSON, R. P. (1995): A model for predicting continent-scale vegetation distribution and water balance. *Ecological Applications* 5, 362–385.
- NEPSTAD, C. D., C. R. DE CARVALHO, E. A. DAVIDSON, P. H. JIPP, P. A. LEFEBVRE, G. H. NEGREIROS, E. D. DA SILVA, T. A. STONE, S. E. TRUMBORE and S. VIEIRA (1994): The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372, 666–669.
- NIELSEN, K. L., J. P. LYNCH and H. N. WEISS (1997): Fractal geometry of bean root systems: correlations between spatial and fractal dimension. *American Journal of Botany* 84 (1), 26–33.
- PAGES, L., M. O. JORDAN and D. PICARD (1989): A simulation model of three-dimensional architecture of the maize root system. *Plant and Soil* 119, 147–154.
- PARTON, W. J., J. W. B. STEWART and C. V. COLER (1988): Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry* 5, 109–1331.
- PARTON, W. J., B. MCKEOWN, V. KIRCHNER and D. OJIMA (1992): CENTURY Users Manual. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State Univ., Fort Collins.
- PAUSTIAN, K., E. LEVINE, W. M. POST and I. M. RYZHOVA (1997): The use of models to integrate information and understanding of soil C at the regional scale. *Geoderma* 79, 227–260.
- POTTER, C. S., J. F. RANDERSON, C. B. FIELD, P. A. MATSON, P. M. VITOUSEK, H. A. MOONEY and S. A. KLOOSTER (1993): Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochem. Cycles* 7, 811–841.
- RAICH, J. W. und K. J. NADELHOFFER (1989): Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. *Ecology* 70, 1346–1354.
- SAINJU, U. M. and R. E. GOOD (1993): Vertical root distribution in relation to soil properties in New Jersey pine-lands forests. *Plant Soil* 150, 87–97.
- SCHINDLER, U., L. MÜLLER und F. EULENSTEIN (1996): Prozessstudie zur Grundwasserneubildung unter sandigen Ackerstandorten des Nordostdeutschen Tieflandes. Bericht „Lysimeter im Dienste des Grundwasserschutzes“, 6. Gumpensteiner Lysimetertagung 16./17.4.1996, 5–9.
- SCHMID, I. and M. KAZDA (2002): Root distribution of Norway spruce in monospecific and mixed stands on different soils. *Forest Ecology Management* 159, 37–47.

- SCHREY, H. P. (1999): Kommentar zum Diskussionsbeitrag zur Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe für geschichtete Profile von R. Renholten und S. Seiffert. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162, 458–461.
- SCHUBERT, R., W. HILBIG und S. KLOTZ (1995): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Mittel- und Nordostdeutschlands. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart.
- SCHULZE, E.-D., G. BAUER, N. BUCHMANN, J. CANADELL, J. R. EHLERINGER, R. B. JACKSON, E. JOBBAGY, J. LORETI, H. A. MOONEY, M. OESTERHELD and O. SALA (1996): Water availability, rooting depth, and vegetation zones along an aridity gradient in Patagonia. *Oecologia* 108, 503–511.
- STREBEL, O., M. RENGER und W. GIESEL (1975): Bestimmung des Wasserentzuges aus dem Boden durch die Pflanzenwurzeln im Gelände als Funktion der Tiefe und der Zeit. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 1, 61–72.
- TENHOLTERN, R. und S. SEIFFERT (1999): Diskussionsbeitrag zur Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe bei geschichteten Profilen. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162, 457–458.
- WISSKIRCHEN, R. und H. HAEUPLER (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Herausg. v. Bundesamt f. Naturschutz. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Anschrift der Verfasser

Dr. Margitta Dannowski und Dr. Angelika Wurbs, Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, Eberswalder Str. 84, D-15374 Münchenberg.

Eingelangt am 11. März 2002

Angenommen am 18. Februar 2003