

Feinwurzel-Bestandesmassen der Rotbuche an verschiedenen Standorten innerhalb ihrer ökologischen Amplitude in Nordwest- und Mitteldeutschland

Christoph Leuschner, Dietrich Hertel, Annette Muhs und Iris Schmid

Synopsis

Fine root standing crop in beech forests under variable edaphic and moisture conditions in Northwest and Central Germany

In a comparative field study, abundance (dry mass per ground area) and density (dry mass per soil volume) of fine roots ($d < 2$ mm) of European beech (*Fagus sylvatica* L.) were investigated in five old-growth stands on a broad range of edaphic (acid brown soils, limestone or gypsum soils) and rainfall conditions (1060–500 mm rain per year) in Central and Northwest Germany. Live and dead roots < 2 mm (i.e. fine roots) or < 1 mm in diameter (i.e. finest roots) were sampled quantitatively in profiles down to at least 40 cm (or 160 cm) depth. All profiles showed highest root densities in the uppermost horizons (in the mineral topsoil or, at acid sites, in the ectorganic profile). Necromass (i.e. dead fine roots) exceeded fine root biomass by factors of 4 to 8 at all acid sites and in the beech forest on gypsum soil. On the limestone site, however, biomass was roughly 3 times greater than necromass which is viewed as a consequence of a much lower fine root mortality at this site. Fine root biomass totals were similar with 330 to 450 g dry mass per m^2 at four sites differing in precipitation while at the driest site (only 500 mm of rain), a much smaller total (ca. 100 g m^{-2}) was found. We conclude that beech stands on unfavourable soils (such as acid sandstone, glacial sand or gypsum) are characterised by a comparatively high standing crop of fine root biomass, a high fine root mortality and, hence, a very high necromass in the profile. No clear relationship between stand fine root biomass and rainfall was found.

Fagus sylvatica, fine roots, root density, root abundance, precipitation, soil chemistry

Buche, Feinwurzeln, Niederschlagsmenge, Bodenzustand, Feinwurzeldichte

1 Einleitung

Waldbäume investieren große Teile ihres jährlichen Kohlenstoffgewinns in das Wachstum und den Unterhalt ihres Wurzelsystems. Funktional wichtigste Komponente sind dabei die Fein- und die Feinstwurzeln mit ihren mykorrhizierten Wurzelspitzen. So ermittelten GRIER & al. (1981) mit der sequential coring-Methode einen Anteil der Wurzelproduktion an der Gesamtproduktion zweier *Abies amabilis*-Wälder zwischen 65 und 73 Prozent. Jedoch nicht nur für den Kohlenstoffhaushalt eines Baumes sind die Feinwurzeln von großer Bedeutung, sondern sie bestimmen durch ihre räumliche Verteilung und Häufigkeit im Bodenprofil auch die Aufnahmeleistung des Baumes für Wasser und Nährstoffe.

Vergleichende Wurzelstudien an Waldbäumen im Freiland haben sich bisher überwiegend mit dem Grob- und Schwachwurzelsystem beschäftigt (KÖSTLER & al. 1968), während systematische Untersuchungen zur Profilsomme und zur Tiefenverteilung der Feinwurzeln in Waldbeständen an verschiedenen Standorten bisher kaum vorliegen (z.B. MEYER 1967, SCHERFOSE 1990, WIEDEMANN 1991, SAINJU & GOOD 1993, PAAR 1994).

Bis heute ist für die Wälder Mitteleuropas nicht eindeutig geklärt, wie groß die Bedeutung der unterschiedlichen Standortsfaktoren für das Feinwurzelwachstum von Bäumen ist: (a) Bodenphysikalische Faktoren wie Temperatur, Lagerungsdichte oder O_2 -Gehalt, (b) das Nährstoffangebot, oder (c) bodenchemische Zustandsparameter, die das Wurzelwachstum hemmen oder zu erhöhter Wurzel mortalität führen (z.B. Gehalt an freiem Aluminium oder pH-Wert). In physiologischen Experimenten (sowohl Hydro- als auch Sandkulturen) wurde festgestellt, daß die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und andere mitteleuropäische Baumarten bei hohen Aluminium-Aktivitäten oder geringen Calcium-Aluminium-Verhältnissen in der Bodenlösung in ihrem Feinwurzelwachstum behindert werden (ROST-SIEBERT 1983). Kann hieraus folgert werden, daß Bodenversauerung zu einer Reduktion der Feinwurzel-Profilsumme in Buchenwäldern führt? Haben darüberhinaus Bestände in Trockengebieten eine geringere oder eine höhere

Feinwurzelmasse als solche an feuchteren Standorten? Diese nur im Freiland zu klärenden Fragen haben eine große Bedeutung für Aussagen zur Vitalität heimischer Baumarten unter einem veränderten Klima; sie können jedoch heute noch nicht beantwortet werden.

Unsere vergleichende Untersuchung in fünf Buchenbeständen Mittel- und Nordwestdeutschlands hat sich zum Ziel gesetzt, einen ersten Beitrag zur Frage der standörtlichen Variabilität des Feinwurzel-systems der Buche zu leisten. Weitere Erhebungen im Freiland und ökophysiologische Experimente unter kontrollierten Bedingungen sollen in Zukunft die Ergebnisse auf eine breitere Grundlage stellen.

2 Methoden

Untersuchungsflächen

Die Untersuchungen wurden 1996 vergleichend in fünf verschiedenen, strukturell ähnlichen Buchen-Altbeständen in Niedersachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt durchgeführt. Diese repräsentieren einerseits einen Gradienten von niederschlagsreichen Standorten vor allem im Solling bis zu regenarmen Standorten im mitteldeutschen Trockengebiet; andererseits spiegeln die Bestände ein weites Spektrum verschiedener Bodensubstrate mit unterschiedlicher Basenversorgung wider, so daß das standörtliche Spektrum der Rotbuche in Mitteleuropa weitgehend abgedeckt wurde (Tab. 1).

Bestimmung der Feinwurzelmasse und -verteilung

Die Untersuchungsflächen wurden von Mai bis September 1996 zwei- bis viermal beprobt. Die Ermittlung der vertikalen Feinwurzelverteilung erfolgte an jeweils zwei bis vier Tiefenprofilen pro Fläche und Termin bis in den C_v -Horizont (maximal 160 cm tief) im Abstand von jeweils zwei Metern von einem Buchenstamm. Die Proben wurden in jeweils drei Parallelen pro Profil und Horizont mit 100cm^3 -Stechzylindern volumengerecht aus den Stirn- und Seitenwänden der Gruben entnommen; auf Grund ihrer höheren Feinwurzel-dichte wurden die organische Auflage und die obersten Mineralbodenhorizonte mit einem Bohrstock ($d=33\text{ mm}$) in drei benachbarten Versuchsfeldern (12 m^2) beprobt (je Termin 21 zufallsverteilte Parallelproben). Die in den Proben enthaltenen Wurzeln wurden am Stereomikroskop in lebende und tote Fein- und Feinstwurzel-Fractionen ($d=1-2\text{ mm}$, $d<1\text{ mm}$) getrennt, wobei selbst feinste Bestandteile der Nekromasse berücksichtigt wurden, um zu quantitativen Zahlen zu gelangen (HERTEL, in Vorber.). Die Vitalitätsansprache erfolgte nach den Kriterien von BÜTTNER & LEUSCHNER (1994). Unter Berücksichtigung der Horizontmächtigkeiten wurden aus den Mittelwerten der volumenbezogenen Feinwurzelgehalte je Bodenhorizont (in g pro 100 ml Bodenvolumen) die Feinwurzel-Bestandesmassen (g pro m^2 Bodenfläche) errechnet. Dies wurde für alle fünf Bestände einheitlich bis 40 cm Bodentiefe und zusätzlich bis zur jeweils größtmöglichen Profiltiefe (max. 160 cm) durchgeführt.

Tab. 1

Standörtliche Kenndaten der fünf untersuchten Buchen-Altbestände.

Table 1

Environmental setting at the five beech stands investigated in the study.

	Solling	Lüneburger Heide	Göttinger Wald	Kyffhäuser	Allstedt
Region	südl. Niedersachsen	östl. Niedersachsen	südl. Niedersachsen	nördl. Thüringen	südwestl. Sachsen-Anhalt
Forstamt	Dassel	Lüß	Reinhausen	Bad Frankenhausen	Ziegelroda
Höhe ü. M. [m]	500	115	420	300	250
Jahresniederschlag [mm]	1060	775	635	540	ca. 500
Jahresmittel-Temperatur [°C]	6.9	8.5	8.0	8.8	8.4
Geologisches Substrat	Buntsandstein	Schmelzwassersand	Muschelkalk	Gips	Buntsandstein
Bodentyp	saure Braunerde	podsolige Braunerde	Rendzina/ Terra Fusca	Gips-Rendzina	Braunerde
Humusform	typischer Moder	rohhumusartiger Moder	L-Mull	rohhumusartiger Moder	F-Mull
pH(KCl) der Auflage (O_h)	3.5	2.8	5.0-6.7 (A_h)	6.2	3.8 (A_h)
Basensättigung [%] (A_h)	6.1	5.0	97.4	98.0	28.4

3 Ergebnisse

Vertikale Verteilung der Feinwurzeln

In vier der fünf untersuchten Buchenbeständen sind sehr viel mehr tote als lebende Feinwurzeln vorhanden. Im Göttinger Wald auf Muschelkalk sind dagegen ähnlich große Mengen lebender und toter Feinwurzeln zu finden (Abb. 1). Die höchste Wurzel-dichte wurde stets in den obersten Bodenhorizonten gefunden. Die Dichte lebender Feinwurzeln (in g pro 100 ml Bodenvolumen) schwankt stark zwischen den fünf Flächen: Am Kyffhäuser (auf Gips) und in der Lüneburger Heide (auf Sand) werden im Oberboden doppelt so hohe Dichten wie im Solling (auf Buntsandstein) oder im Göttinger Wald (auf Kalk) erreicht; der trockene (niederschlagsarme) Bestand in Allstedt weist besonders geringe Dichten an lebenden Feinwurzeln im gesamten Profil auf. In allen Beständen haben Feinstwurzeln ($d < 1\text{ mm}$) einen hohen Anteil an der Dichte der Feinwurzeln i.w.S. ($d < 2\text{ mm}$). Besonders auffällig sind die großen Unterschiede in der Dichte der Nekromasse zwischen den Flächen: Während in der Lüneburger Heide und am Kyffhäuser extrem hohe Dichten mit 0.8 bis 1.1 g 100 ml⁻¹ zu finden sind, liegen die Dichten im Solling und in Allstedt weit darunter; im Göttinger Kalk-Buchenwald werden nur geringe Totwurzel-Dichten um 0.1 g 100 ml⁻¹ erreicht.

Vergleich der Bestandesmassen lebender und toter Feinwurzeln

Die Bestandesmasse lebender Feinwurzeln erreicht an vier Standorten ungeachtet der bodenchemischen Verhältnisse ähnliche Werte im Bereich von ca. 330 bis 450 g m⁻²; nur am trockensten Standort in Allstedt ist diese mit etwa 100 g m⁻² deutlich niedriger (Abb. 2). Die Moder-Buchenwälder im Solling, der Lüneburger Heide und am Kyffhäuser zeichnen sich durch sehr große Bestandesmassen toter Feinwurzeln aus (ca. 2200 bis 2600 g m⁻²), während im Göttinger Kalk-Buchenwald die Bestandes-Nekromasse mit ca. 300 g m⁻² sogar etwas geringer als die lebende Biomasse ist. In allen fünf untersuchten Beständen tragen Bodenhorizonte unter 40 cm Tiefe nur geringfügig zur Feinwurzel-Bestandesmasse bei.

Verteilung der lebenden Feinwurzelmasse auf die organische Auflage und den Mineralboden

Je nach Bodentyp, Humusform und geologischem Substrat variiert der Anteil stark, den lebende Feinwurzeln in der organischen Auflage und im Mineralboden (bis 40 cm) an der Bestandesmasse erreichen (Abb. 3). Mit zunehmender Mächtigkeit der Auflage an sauren Standorten wird diese verstärkt als Wurzelraum von der Buche genutzt. Am Kyffhäuser findet

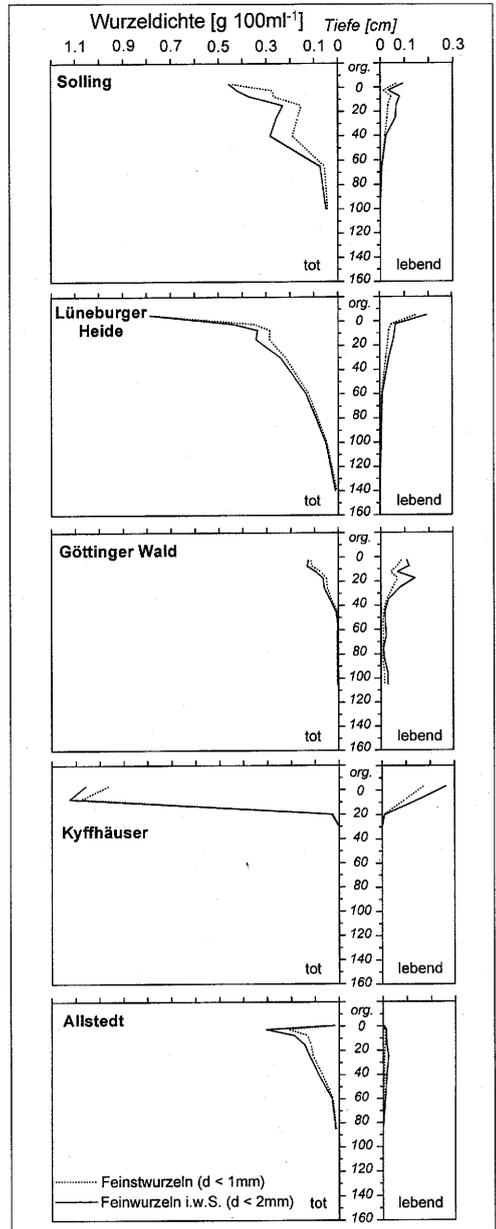


Abb. 1 Volumendichte lebender (rechts) und toter (links) Fein- und Feinstwurzelmasse der Buche in Bodenprofilen unter fünf Buchen-Altbeständen (org. = organische Auflage); Mittel aus zwei bis vier Erhebungen im Sommer 1996.

Fig. 1 Density (dry mass per volume) of live (right panel) and dead (left panel) fine and finest root drymass of beech in soil profiles under five mature beech stands (org. = ectorganic profile); means of 2-4 sampling dates in summer 1996.

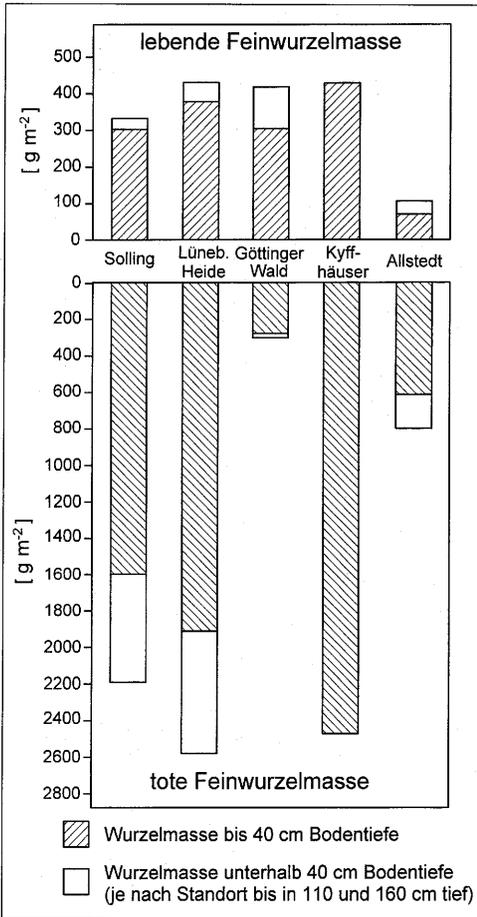


Abb. 2
Feinwurzel-Bestandesmassen (oben: lebend, unten: tot) bis in 40 cm (bzw. 110/160 cm) Bodentiefe unter fünf Buchen-Altbeständen. Mittel aus 2-4 Erhebungen im Sommer 1996.

Fig. 2
Profile totals of fine root drymass per ground area (0-40 cm depth, 0-110/160 cm, respectively) under five mature beech stands (upper panel: live fine roots, lower panel: dead fine roots); means of 2-4 sampling dates in summer 1996.

sich trotz mächtiger Auflage ein erheblicher Prozentsatz lebender Feinwurzeln im verwitterten Gipsmehlorizont, der zwar calciumreich, aber arm an Magnesium und Kalium ist (HEINZE & FIEDLER 1984).

4 Diskussion

Wieviele Feinwurzeln benötigt ein Buchenwald, um seine Nährstoff- und Wasserversorgung sicherzustellen? Auf der Ebene von Waldbeständen liegen bisher

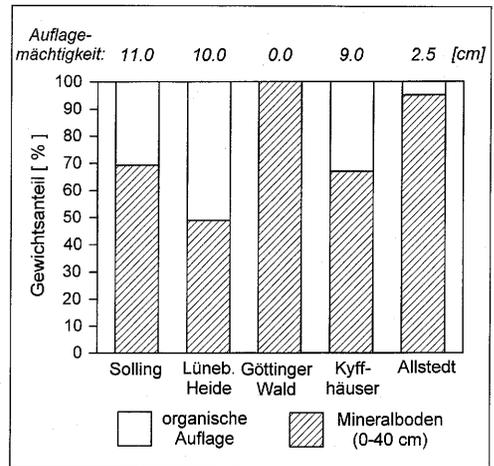


Abb. 3
Relativer Anteil von organischer Auflage und Mineralboden (0-40 cm) an der Feinwurzel-Bestandesbiomasse in fünf Buchen-Altbeständen.

Fig. 3
Proportion of fine root biomass in ectorganic profile (organ. Auflage) and mineral soil profile (Mineralboden) as related to profile totals under five mature beech stands.

zu dieser Frage so gut wie keine Ergebnisse vor. Vier der fünf von uns untersuchten Buchen-Altbestände besitzen Feinwurzel-Bestandesbiomassen (FWBM) in einem recht engen Schwankungsbereich zwischen ca. 330 und 450 g m⁻². Diese Werte liegen etwas niedriger als die in fünf weiteren Sauerhumus-Buchenwäldern Südniedersachsens von WIEDEMANN (1991) und RAPP (1991) gefundenen FWBM-Werte (476-644 g m⁻², alle Zahlen inkl. Aschegehalt), jedoch höher als die von PAAR (1994) in einem Buchen-Altbestand Nordhessens ermittelten 284 g m⁻². Nimmt man eine spezifische Oberfläche der Buchen-Feinwurzeln von ca. 250 cm² g⁻¹ an (BÜTTNER & LEUSCHNER 1994), errechnet sich überschlagsweise ein Wurzeloberflächenindex (root area index, RAI) von 8.25 bis 11.25 m² m⁻² für die von uns untersuchten vier Bestände in Solling, Lüneburger Heide, Göttinger Wald und Kyffhäuser. Die Feinwurzeloberfläche eines alten Buchenwaldes ist danach um 50 bis 100 Prozent größer als die Blattfläche dieser Bestände (LAI ca. 5.5 bis 8.5).

Weit geringer ist dagegen die Feinwurzel-Bestandesbiomasse der Fläche Allstedt im mitteldeutschen Trockengebiet mit nur rund 100 g m⁻². Dies würde einem RAI von ca. 2.5 m² m⁻² entsprechen und in einem außergewöhnlich kleinen RAI/LAI-Quotienten (bei einem Blattflächenindex von ca. 8.5 in diesem Bestand) resultieren. Diese Ergebnisse lassen den

Schluß zu, daß kein enger Zusammenhang zwischen dem standörtlichen Niederschlagsregime und der Feinwurzel-Bestandesmasse besteht: Die beiden trockensten Flächen am Kyffhäuser und in Allstedt zeigen sehr große Unterschiede in den Feinwurzelmassen (Abb. 4 A). Offenbar genügen auch recht geringe FWBM-Werte für die Wasseraufnahme eines Buchenwaldes. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß die Oberfläche der aufnahmeaktiven Mykorrhizahyphen nicht bekannt ist. In diesem Zusammenhang sind darüberhinaus Hinweise interessant, daß auch größere Wurzeldurchmesser (Schwachwurzeln, $2 < d < 5 \text{ mm}$) möglicherweise für die Wasseraufnahme von Bäumen bedeutsam sein könnten (LEUSCHNER & CONERS, unveröff.).

Von der Nährstoffversorgung her ungünstige Buchenbestände (auf sauren Gesteinen oder auf Gips) besaßen in jedem Fall hohe FWBM-Werte und darüberhinaus auch hohe Nekromassen im Profil. Experimentelle Untersuchungen (MUHS, unveröff.) zeigen, daß unterschiedliche Abbauraten von Feinwurzelstreu die von uns gefundenen Nekromassen-Unterschiede um einen Faktor 10 zwischen nährstoffreichen und -armen Standorten nicht erklären können. Wir schließen daraus, daß die Mortalität der Feinwurzeln an den nekromassereichen Standorten um ein Vielfaches höher sein muß als an nährstoffreicheren Standorten wie dem Göttinger Wald. Eine hohe Absterberate bei gleichzeitig hohem standing crop an lebenden Feinwurzeln wiederum läßt die Schlußfolgerung zu, daß von der Nährstoffversorgung her ungünstige Buchenwälder eine weit größere Feinwurzel-Produktion aufweisen müssen als reichere Standorte.

Ungünstig nährstoffversorgte Buchenwälder weisen schließlich nicht nur hohe Nekromassen, sondern auch eine starke Konzentrierung der Wurzeln auf die nährstoffreichsten obersten Bodenhorizonte auf (Abb. 3). Dies drückt sich deutlich in der sehr unterschiedlichen Verteilung der Feinwurzeln auf die (nur an armen Standorten vorhandene) organische Auflage und den Mineralboden aus. Dabei ergibt sich (falls der Bestand im Kyffhäuser unberücksichtigt bleibt) eine recht enge negative Korrelation zwischen der Basensättigung des Mineralbodens und dem Feinwurzelanteil in der organischen Auflage (Abb. 4 B). In stark versauerten Beständen können die tieferen Bodenhorizonte ihre Bedeutung für die Ausbildung des Feinwurzel-systems fast vollständig verlieren: So fanden VOGT et al. (1981) in *Abies amabilis*-Wäldern Nordamerikas auf sauren Böden mehr als 80% der Bestandesfeinwurzelmasse in den obersten 15 cm des Profils (inkl. organischer Auflage).

Das abweichende Verteilungsmuster der Wurzeln im Gipsbuchenwald des Kyffhäusers läßt den Schluß zu, daß für die oberflächliche Wurzelverteilung nicht nur die Basensättigung, sondern entscheidend auch die Tiefenverteilung der Stickstoffnachlieferung verantwortlich sein muß (LEUSCHNER 1998). Dies entspricht den Ergebnissen von SAINJU & GOOD (1993) in Kiefern-Eichenwäldern im Osten Nordamerikas, die eine positive Korrelation zwischen Feinwurzel-dichte und dem Gehalt an Stickstoff, Kationen und Kohlenstoff des Bodens fanden. Gleichzeitig belegt der Bestand im Kyffhäuser eindrucksvoll, daß oberflächliches Wurzeln bei der Buche nicht durch Aluminium-Toxizität oder ungünstige Calcium-Aluminium-Verhältnisse in der Bodenlösung bedingt sein

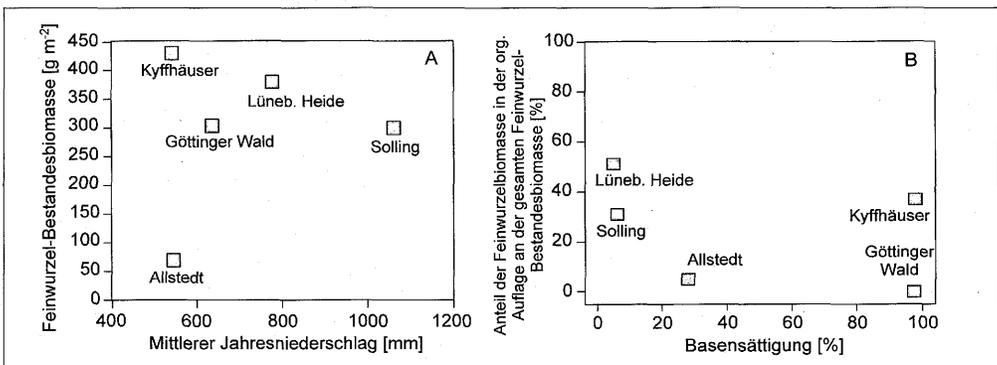


Abb. 4

(A) Beziehung zwischen Feinwurzel-Bestandesbiomasse (0–40 cm Tiefe) und mittlerem Jahresniederschlag von fünf Buchen-Altbeständen. (B) Beziehung zwischen dem relativen Anteil der Feinwurzel-Bestandesbiomasse in der organischen Auflage und der Basensättigung des mineralischen Oberbodens in fünf Buchen-Altbeständen.

Fig. 4

(A) Relationship between profile totals (0–40 cm depth) of fine root biomass and annual precipitation in five mature beech stands. (B) Relationship between the relative contribution of fine roots in the ectorganic profile and the base saturation in the mineral topsoil of five mature beech stands.

muß, wie dies als Ursache für flachgründiges Wurzeln z.B. von Fichten vermutet wird (MURACH 1984), sondern auch andere Ursachen haben kann.

Vergleichende Untersuchungen zur Struktur und Funktionalität des Feinwurzelsystems von Baumarten sind von großer Bedeutung für die waldökologische Forschung, weil über standörtliche Einflüsse auf das Wurzelwachstum weit weniger bekannt ist als über die Regulation des oberirdischen Zuwachses. Vor dem Hintergrund möglicher tiefgreifender Veränderungen im Wärme- und Feuchteregime und im Bodenchemismus (ULRICH 1987) mitteleuropäischer Wälder sind Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit und Wurzelwachstum unter natürlichen Bedingungen am Standort dringend erforderlich.

Danksagung

Herzlich danken wir Inge Aufenanger, Mechthild Stange und Carola Weißkopf für ihre wertvolle Mitarbeit bei der Erhebung der Daten, sowie den in Tab. 1 genannten Forstämtern für die freundliche Erlaubnis zur Durchführung der Untersuchungen. Dem Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) danken wir für die Unterstützung im Rahmen des Vorhabens A7-k, Forschungszentrum Waldökosysteme der Universität Göttingen (Vorhaben: »Veränderungsdynamik von Waldökosystemen«).

Literatur

- BÜTTNER, V. & LEUSCHNER, CH., 1994: Spatial and temporal patterns of fine root abundance in a mixed oak-beech forest. – *Forest Ecology and Management* 70: 11–21.
- GRIER, C. C., VOGT, K. A., KEYES, M. R., & EDMONDS, R. L., 1981: Biomass distribution and above- and below-ground production in young and mature *Abies amabilis* zone ecosystems of the Washington Cascades. – *Can. J. For. Res.* 11: 155–167.
- HEINZE, M. & FIEDLER, H. J., 1984: Chemische Eigenschaften von Gips-Rendzinen und Begleitbodenformen des Kyffhäusergebirges. – *Chemie der Erde* 43: 65–75.
- KÖSTLER, J. N., BRÜCKNER, E. & BIBELRIETHER, H., 1968: Die Wurzeln der Waldbäume. – Verlag P. Parey, Hamburg und Berlin.
- LEUSCHNER, CH., 1998: Changes in forest ecosystem function with succession in the Lüneburger Heide. – In: Lenz, R., Hantschel, R. Tenhunen, J.D. (Eds.): *Ecosystem Properties and Landscape Function in Central Europe*. – Springer, Berlin, im Druck.
- MEYER, F. H., 1967: Feinwurzelverteilung bei Waldbäumen in Abhängigkeit vom Substrat. – *Forstarchiv* 38: 286–290.
- MURACH, D., 1984: Die Reaktion der Feinwurzeln von Fichten (*Picea abies* Karst.) auf zunehmende Bodenversauerung. – *Göttinger Bodenkdl.* Ber. 77: 1–126.
- PAAR, U., 1994: Untersuchungen zum Einfluß von Ammonium und Nitrat auf wurzelphysiologische Reaktionsmuster der Buche. – *Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme Göttingen*, A 115. – 124 S.
- RAPP, CH., 1991: Untersuchungen zum Einfluß von Kalkungen und Ammoniumsulfat-Düngung auf Feinwurzeln und Ektomykorrhizen eines Buchenaltbestandes im Solling. – *Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme Göttingen*, A 72, 293 S.
- ROST-SIEBERT, K., 1983: Aluminium-Toxizität und -Toleranz an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies* Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.). – *Allg. Forstz.* 39: 686–689.
- SAINJU, U. M. & GOOD, R. E., 1993: Vertical root distribution in relation to soil properties in New Jersey Pinelands forests. – *Plant and Soil* 150: 87–97.
- SCHERFOSE, V., 1990: Feinwurzelverteilung und Mykorrhizotypen von *Pinus sylvestris* in verschiedenen Bodentypen. – *Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme Göttingen*, A62.
- ULRICH, B., 1987: Stabilität, Elastizität und Resilienz von Waldökosystemen unter dem Einfluß saurer Deposition. – *Forstarchiv* 58: 232–239.
- WIEDEMANN, H., 1991: Feinwurzeluntersuchungen in Buchenwaldökosystemen in Abhängigkeit vom Bodenchemismus. – *Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme Göttingen*, A76, 289 S.

Adresse

Prof. Dr. Christoph Leuschner
Dietrich Hertel
Annette Muhs
Iris Schmid
Pflanzenökologie und Ökosystemforschung
Fachbereich 19
Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40
D-34132 Kassel