

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG

K II AG Waldböden

Titel der Tagung:

„Unsere Böden – Unser Leben“

Veranstalter: DBG

Termin und Ort der Tagung:

05.-10. September 2015, München

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation) - <http://www.dbges.de>

Harmonisierung des BZE2-Datensatzes zur Feinwurzelverteilung in Waldböden

Peter Hartmann, Klaus von Wilpert

Einleitung:

Kenntnisse über die Feinwurzelverteilungen sind essentiell für die Bewertung und Parametrisierung von Waldböden, da diese das Bindeglied zwischen Bestand und Bodenmatrix repräsentieren. Das Ideal baumspezifischer Durchwurzelungsmuster ist in der Praxis jedoch nicht anwendbar, da die tatsächlichen Feinwurzelverteilungsmuster stark von Boden- und Standortseigenschaften gesteuert werden (HARTMANN & V. WILPERT 2014). Daher ist es notwendig, die tatsächliche Feinwurzeltiefenverteilung zu erfassen und gegebenenfalls zu harmonisieren sowie für Standorte ohne Wurzelinformationen verlässliche Transferfunktionen zu definieren.

Stichwörter:

Feinwurzelverteilung, Waldboden, Multivariate Analysen, BZE2

Material und Methoden:

Im Rahmen der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE2) wurden bei der Profilansprache die Feinwurzelverdichten (FWD, gemessen in Klassen aus der Profilbeschreibung nach KA5, umgerechnet in Klassenmittelwerte) horizontweise geschätzt. Mittels multivariater statistischer Auswertungen können Zusammenhangsanalysen zwischen der FWD als Zielgröße und Boden-, bzw. Standortseigenschaften durchgeführt werden. Zur Anwendung kam das Verfahren „Boosted Regression Trees“ (BRT), mit Hilfe dessen die entscheidenden Parameter und deren Einfluss auf die FWD identifiziert wurden. Das finale BRT-Modell ist eine lineare Kombination aller berechneten Entscheidungsbäume. Die Modellgüte wird anhand der Korrelation mit den Trainings- als auch Validierungsdaten sowie des Restfehlers bewertet. Der Einfluss der einzelnen Parameter wird anhand des prozentualen Einflusses als auch anhand des absoluten Effekts auf das Modellergebnis interpretiert. Die Analysen wurden mit dem Paket „dismo“ der Statistiksoftware „R“ durchgeführt (ELITH et al. 2008). Zur Parametrisierung der Wurzelverteilung (z.B. für Wasserhaushaltsmodellierung) ist eine möglichst kontinuierliche Information der Feinwurzelverteilung notwendig. Dazu kann die Exponentialfunktion nach GALE & GRIGAL (1987) genutzt werden, mit welcher Anhand eines Parameters die tiefenabhängige, relative Wurzelverteilung kontinuierlich dargestellt wird. Dies ist insbesondere für inhomogene Datensätze wie den BZE2-Datensatz sinnvoll, da unterschiedliche Aufnahmeverfahren zu unterschiedlichen Durchwurzelungsintensitäten führten (z.B. Bayern: Ansprache am Rammkern, Baden-Württemberg: Feinwurzelzählung, Rest: Schätzung an Profilgrube).

Trotz dieser regionalen Differenzen wurden die Schätzwerte für die weitere An-

passung genutzt und gegebenenfalls durch die Werte aus der Anpassung mit BRT ergänzt, da bei der Anpassung auf die relative Tiefenverteilung reduziert wird und somit quantitativ unterschiedliche Klassifizierungsvorgänge bei der Profilaufnahme „normalisiert“ werden. Zunächst wurden die Feinwurzeldichten pro Horizont berechnet ($FWD \cdot Mächtigkeit$) und am unteren Ende des Horizontes kumulativ aufsummiert und schließlich mit einem nichtlinearen Anpassungsalgorithmus an die Formel

$$Y = 1 - \beta^z$$

nach GALE & GRIGAL (1987) angepasst (Beispiele in Abb. 2) mit Y: kumulative relative FWD in der Tiefe z und β : anzupassender Parameter. Anhand dieser Funktion kann für jede beliebige Tiefenstufe die relative kumulative Menge an Feinwurzeln berechnet werden.

Zur Bewertung der Standorte wird die effektive Durchwurzelungstiefe W_{Reff} genutzt. W_{Reff} lässt sich nach AK STANDORTSKARTIERUNG (2003) über die Untergrenze einer $FWD > 2FW/dm^2$ ableiten. Somit fällt für die BZE2-Daten diese Untergrenze immer mit einer Horizontuntergrenze zusammen, da die FWD nur horizontweise bestimmt wurden. Da auch innerhalb eines Horizontes mit einer tiefenabhängigen Abnahme der FWD auszugehen ist, muss diese Grenze verzerrt sein. Des Weiteren bedingen unterschiedliche Aufnahmeverfahren nicht vergleichbare Feinwurzeldichten. Um einen einheitlichen Wert in Anlehnung an die Grenze W_{f2}/W_{f1} für das β -Modell zu generieren, wurde über eine nichtlineare Anpassung derjenige kumulative Feinwurzelanteil ermittelt, bei welchem die Tiefe des klassischen W_{Reff} -Ansatzes am besten erreicht wird.

Ergebnisse:

Das finale BRT-Modell wurde auf die fünf relevantesten Parameter reduziert und weist eine hohe Modellgüte auf (Kor-

relation Trainingsdaten: 0.701; Korrelation Validierung: 0.695). Der Effekt der einzelnen Parameter auf die Zielgröße Feinwurzeldichte FWD ist in Abb. 2 dargestellt. Die Bodentiefe erklärt mit 62.2% den größten Anteil an der FWD, dabei ist das Maximum im Oberboden zu finden mit kontinuierlicher Abnahme mit der Bodentiefe. Als weitere wichtige Größe erwies sich der Humusgehalt, der zum einen insbesondere im Unterboden auch Folge der Durchwurzelung ist und im Oberboden durch Strukturlockerung die Durchwurzelung erleichtert. Daneben stehen bodenphysikalische Eigenschaften wie TRD und nFK ebenso wie der Reliefparameter Hangneigung in direktem Zusammenhang mit der FWD. In Anlehnung an das BRT-Modell wurde ein lineares Regressionsmodell erstellt, um die FWD mittels einer Peto-transferfunktion abschätzen zu können. Die resultierende PTF lautet:

$$FWD \text{ (n/dm}^2\text{)} = 11.63 - 0.084 \cdot ut + 3.22 \cdot \text{humus} - 3.42 \cdot \text{TRD_Horizont} + 0.108 \cdot \text{Hangneigung} + 0.095 \cdot \text{nFK_Horizont}$$

(Adj. R^2 : 0.397; $P < 0.001$, Abk. s. Abb.1)

Im Vergleich zur Modellierung mit BRT schneidet die PTF erwartungsgemäß schlechter ab, dennoch ist eine hohe Modellgüte auch mittels PTF erzielt worden. Die mittels BRT ergänzten Datensätze wurden an das β -Modell angepasst. Dabei liegen die resultierenden Werte in einem relativen engen Bereich. Dennoch ergeben sich regionale Unterschiede, die norddeutschen Lockersubstratböden weisen deutlich höhere Werte und somit tiefgründigere Wurzelverteilungen auf als die Mittelgebirgsböden.

Die Ableitung derjenigen Tiefe, welche der klassischen Grenzziehung für den W_{Reff} am nächsten kommt, ist nach der nichtlinearen Anpassung diejenige, bis zu welcher 86% der Feinwurzeln kumulieren. Diese $W_{\text{Reff}_{86\%}}$ bildet die Grundlage für eine stratifizierte Bewertung (Abb.3).

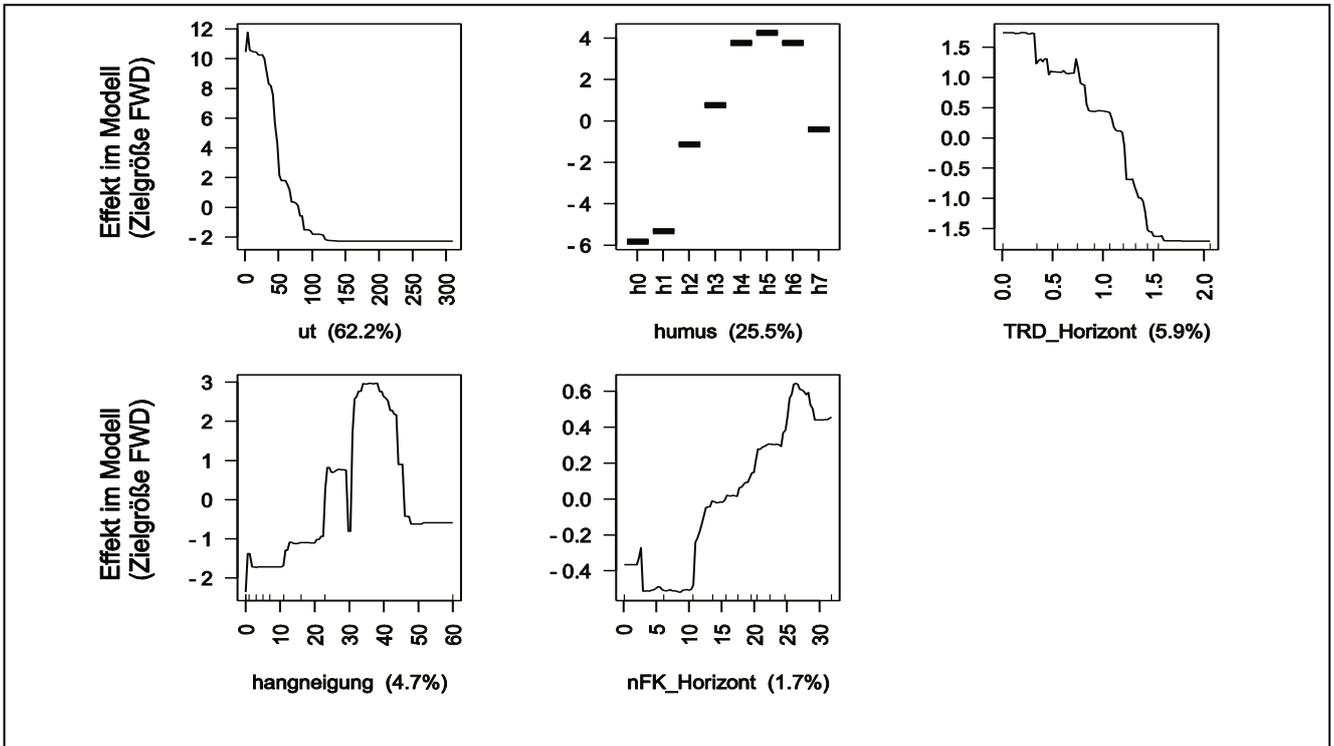


Abbildung 1: Ergebnisse der BRT-Analyse: Die Feinwurzelverdichte im Horizont ist Zielgröße des Modells. Die Einzelgrafiken zeigen den Einfluss der Parameter (x-Achse) auf die modellierte Feinwurzelverdichte (y-Achse). Der prozentuale Anteil bestimmt die Gewichtung des Parameters im Modell. (ut = Untertiefe Horizont (cm); humus = Humusklasse (h1 bis h7); TRD_Horizont: Trockenraumdichte aus Messtiefen auf den Horizont umgerechnet (g/cm³); hangneigung: Hangneigung am Standort (°); nFK_Horizont: nutzbare Feldkapazität aus Messtiefen (analysiert und mittels PTF abgeleitet) auf den Horizont umgerechnet (%)).

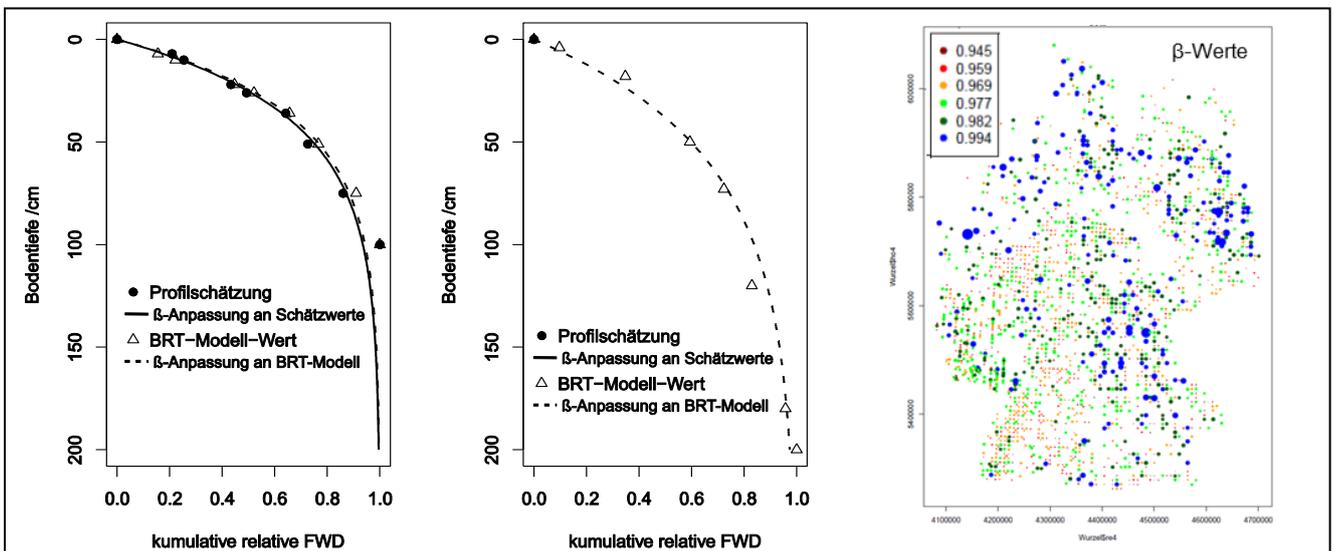


Abbildung 2: Beispiel einer guten Anpassung und Übereinstimmung der Schätzwerte, BRT-Modellwerte und der jeweiligen Anpassung an das β -Modell (links) und Beispiel eines Standortes, bei der das β -Modell an die BRT-Modellwerte aufgrund fehlender Schätzwerte angepasst wurde (Mitte); rechts die resultierenden β -Werte regional dargestellt. Große blaue Punkte stehen für tiefgründigere Feinwurzelverteilungsmuster.

Für die einzelnen Bestandestypen ergaben sich dabei keine deutlichen Unterschiede. Unter allen Bestandestypen herrscht eine breite Streuung vor bei me-

dianen Werten um 60cm. Die Stratifizierung nach Bodenformen weist ebenfalls nur eine geringe Differenzierung zwischen den Gruppen auf, lediglich die basenar-

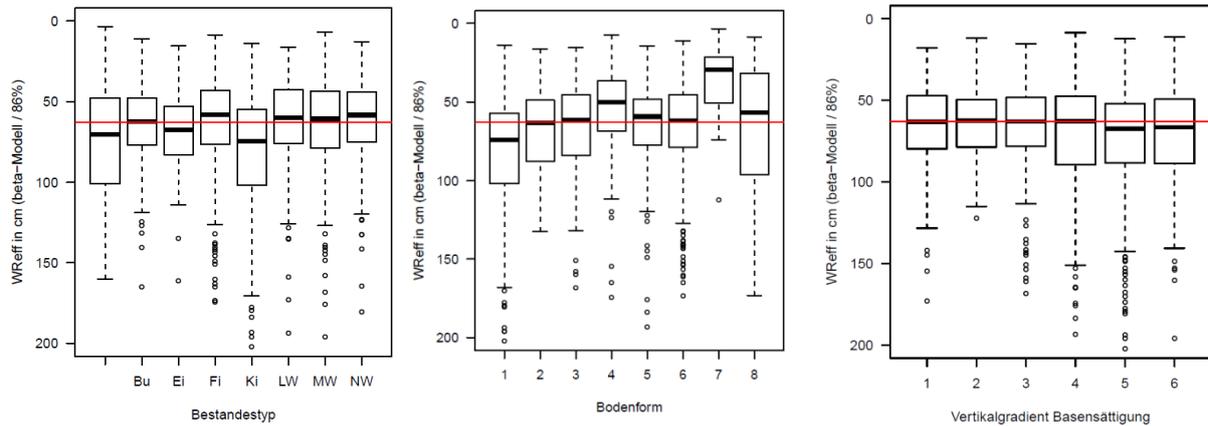


Abbildung 3: Boxplots der $W_{\text{Reff}}_{86\%}$ (abgeleitet nach der Tiefe, bis zu welcher sich 86% aufsummieren) stratifiziert nach: Bestandestypen (links), Bodenformen (Mitte) und Vertikalgradienten der Basensättigung (rechts). (Bu=Buche, Ei = Eiche, Fi = Fichte, Ki = Kiefer, LW = Laubwald, MW = Mischwald, NW = Nadelwald; Bodenformen: 1 = basenarme Sande, 2 = Auenböden und Gleye breiter Flusstäler, 3 = Tieflandsböden und Lösslehme, 4 = Kalkverwitterungsböden, 5 = basisch-intermediäre Böden aus Kristallingestein und Pelosole, 6 = basenarme Böden aus Kristallingestein, 7 = Alpine Böden, 8 = Moore; Vertikalgradienten: 1= vollständige Basensättigung 100%, 2-4: mit der Tiefe und quantitativ abnehmende Basensättigung mit voller Basensättigung im Unterboden, 5 = deutliche Basenverarmung im gesamten Profil, 6 = basenverarmt im gesamten Mineralboden und erhöhte Basensättigung im Humus/mineralischen Oberboden durch Kalkung, nach Hartmann & v. Wilpert (eingereicht).

men Sande weisen erhöhte $W_{\text{Reff}}_{86\%}$ -Werte auf, wohingegen in Kalkverwitterungsböden und insbesondere alpinen Böden z.T. deutlich reduzierte Werte auftraten. Überraschenderweise ist für den Fortschritt der Versauerung bzw. den Einfluss einer Waldkalkung kein Unterschied für den effektiven Wurzelraum zu erkennen.

Schlussfolgerung

Trotz z.T. lückiger und unterschiedlicher Aufnahmeverfahren der Feinwurzelichten bei der BZE2 kann mit Hilfe multivariater statistischer Verfahren ein harmonisierter Datensatz erstellt werden. Die Modellerstellung für den Lückenersatz mittels BRT liefert zudem Einsichten in die funktionalen Zusammenhänge zwischen Bodeneigenschaften und Feinwurzelichten. Die Harmonisierung der Daten konnte über die Ableitung einer relativen Verteilungsfunktion hergestellt werden, anhand derer kontinuierliche Tiefenprofile als Bewertungsgrundlage der Waldböden abgeleitet werden konnten.

Literatur

AK-Standortskartierung (2003): Forstliche Standortaufnahme: Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. IHW-Verlag, Eching bei München, 352 S.

Elith, J.; Leathwick, J. R. & Hastie, T. (2008): A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77/4, 802-813.

Gale, M. R. & Grigal, D. F. (1987): Vertical root distributions of Northern tree species in relation to successional status. *Canadian Journal of Forest Research*, 17/8, 829-834.

Hartmann, P. & v. Wilpert, K. (2014): Fine-root distributions of Central European forest soils and their interaction with site and soil properties. *Canadian Journal of Forest Research*, 44/71-81.

Hartmann, P. & v. Wilpert, K. (eingereicht): Statistisch definierte Vertikalgradienten der Basensättigung sind geeignete Indikatoren für den Status und die Veränderungen der Bodenversauerung in Waldböden. Thünen Reports.