

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG, Kommission I

**Titel der Tagung:**

Böden - eine endliche Ressource

**Veranstalter:** DBG, September 2009, Bonn  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation) <http://www.dbges.de>

## **Einflüsse der Pedotransferfunktionen auf Ergebnisse bodenhydrologischer Modellierung an Waldstandorten**

Sebastian Osenstetter, Wolfgang Falk, Elke Dietz, Christian Kölling und Lothar Zimmermann\*

### **Zusammenfassung**

Zur numerischen Berechnung von Größen des Bodenwasserhaushalts für die forstliche Beratung mit dem physikalisch basierten Modell LWF-BROOK90 werden sechs unterschiedliche Pedotransferfunktionen (PTF) auf ihre Güte und Vielseitigkeit hin an 22 bayrischen Waldklimastationen getestet. Ziel ist es dabei, diejenige zur Verwendung in einem Standortinformationssystem am besten geeignete PTF zu ermitteln, welche im Rahmen umfangreicher Modellierungen mit unterschiedlichsten Boden- und Klimadaten für die Waldfläche Bayerns eingesetzt werden kann. Zum einen werden hierzu die simulierten Bodenwassergehalte unterschiedlicher Standorte und Tiefenstufen mit TDR-Messungen über vier Jahre validiert. Es zeigt sich ein äußerst heterogenes Verhalten der Simulationsgüte je nach bodenphysikalischen Voraussetzungen. Zum anderen werden die PTF hinsichtlich der Streuungen abgeleiteter Wasserhaushaltsgrößen zur Charakterisierung der Trockenheits- und Staunässebedingungen eines Standortes deskriptiv verglichen. Als Parameter dienen hierbei die Transpirationsdifferenz TDIFF und ein Luftmangelindikator des Oberbodens, für die die Verteilungen und Sensitivitäten der

untersuchten PTF bestimmbar sind. Die Auswertungen ergeben, dass jede Funktion mit Schwächen behaftet ist und dass keine bayernweit allgemein gültige PTF existiert, wenn eine möglichst exakte Anpassung an reale Bodenwassergehalte angestrebt wird. Daher müssen zur Wahl einer Funktion auch weitere Eigenschaften der PTF wie Flexibilität und Robustheit berücksichtigt werden.

### **Schlüsselworte**

Pedotransferfunktion, Waldboden, hydrologische Modellierung, LWF-BROOK90

### **Einleitung**

Die große Mehrheit der PTF zur Bestimmung der Mualem-van Genuchten Parameter (MVG) wurde aus Versuchsreihen mit landwirtschaftlich genutzten Böden abgeleitet. Waldböden unterscheiden sich von diesen u.a. durch geringere Dichten, größeres Grobporenvolumen und höhere Gehalte an organischem Kohlenstoff. Diese Eigenschaften beeinflussen jedoch auch die bodenhydraulischen Verhältnisse, weshalb die Anwendbarkeit gängiger PTF für Waldstandorte angezweifelt werden muss (*Teepe et al. 2003*). Daneben finden PTF und Bodenwasserhaushaltsmodelle im Allgemeinen vorwiegend auf der Plot- oder Feldskala Anwendung, wobei es spezifischer Parametrisierungen der einzelnen Standorte bedarf, um die Simulationen der Realität anzupassen. In der vorliegenden Untersuchung geht es darum, die Einflüsse unterschiedlicher PTF auf die Güte bodenhydrologischer Modellierung zu analysieren. Hintergrund hierfür ist die Bestimmung relevanter Bodenwasserhaushaltsparameter zur forstlichen Beratung auf der Gesamtfläche der Wälder Bayerns mit Hilfe des physikalisch basierten forsthydrologischen Modells LWF-BROOK90 (*Beck et al. 2009, Hammel & Kennel 2001*). Das anwendungsbezogene Ziel dieser PTF-Vergleiche ist, eine realistische, vielseitige und robuste Funktion zu ermitteln, welche für die Simulationen des Wasserhaushalts unterschiedlichster Waldböden unter variierenden Klimabedingungen verwendet werden kann. Dabei soll weiterhin gezeigt werden, welche Sensitivität diese Funktionen bezüglich der Ableitung forstlicher Wasserhaushaltsgrößen aufweisen.

\* Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Hans Carl von Carlowitz Platz 1, 85354 Freising

## Material und Methoden

Um die Anwendbarkeit unterschiedlicher PTF umfassend zu analysieren, werden die Simulationsergebnisse auf zwei Auswertungsebenen betrachtet.

1. Eine direkte Validierung der berechneten Bodenwassergehalte verschiedener Tiefenstufen über TDR-Messungen an sechs Waldklimastationen (WKS) der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) für die Jahre 2001-2004. Zur Parametrisierung dieser Standorte werden gemessene Boden- und Vegetationsbasisgrößen (Korngrößenverteilung,  $C_{org}$ , Trockenrohdichte, Baumalter, Bonität etc.) verwendet.
2. Außerdem wird ein umfangreicher Simulationsdatensatz für insgesamt 22 WKS über den Zeitraum 1981-2000 erstellt, der dem deskriptiven Vergleich der PTF bezüglich abgeleiteter Wasserhaushaltsparameter dient. Hierzu wird für alle Standorte ein Fichtenbestand mit mittlerer Durchwurzelungstiefe von 80 cm angenommen, um standortsunabhängige Verdunstungsansprüche zu simulieren.

Das Wasserhaushaltsmodell LWF-BROOK90 erwartet neben detaillierten Angaben zur Bodenphysik Informationen über Bestand, Durchwurzelung und Oberflä-

cheneigenschaften. Daneben gehen meteorologische Zeitreihen in täglicher Auflösung in die Berechnung ein. Über eine numerische Lösung der Richardsgleichung werden Bodenwassergehalte in bis zu 55 Bodenschichten sowie zahlreiche weitere Fluss- und Zustandsvariablen berechnet. Folgende PTF wurden im Rahmen dieser Untersuchungen verglichen:

1. KA5: MVG Parameter werden über RETC Kurvenfitting (*van Genuchten 1980*) aus den tabellierten Werten für nFK, FK und PWP der KA5 bestimmt
2. Teepe\_Reg: äquivalent zu KA5, allerdings entstammen die Speicherkapazitäten hier der Tabelle 1 in Teepe et al. (2003) und wurden speziell für Waldböden ermittelt.
3. Teepe\_MVG: Herleitung der MVG-Parameter aus multiplen Regressionen (*Teepe et al. 2003*).
4. Rosetta-Ks (*Schaap et al. 2001*)
5. Rosetta-K0 (*Schaap et al. 2006*)
6. HYPRES (*Wösten et al. 1999*)

## Ergebnisse

Bei der Performanceanalyse der simulierten Bodenwassergehalte wurden tägliche TDR-Messungen zur Validierung der Berechnungen herangezogen. Insgesamt be-

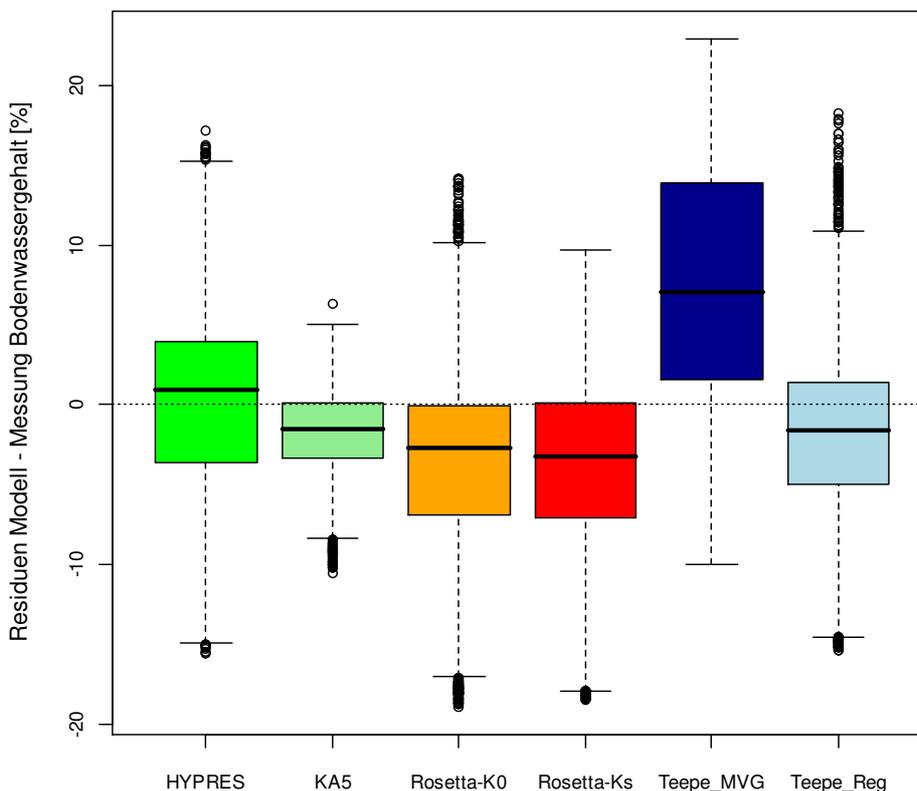


Abbildung 1: Verteilung der Residuen zwischen simulierten und gemessenen Bodenwassergehalten

trachtet ergibt sich ein äußerst heterogenes Bild bezüglich der Güte der PTF: je nach bodenphysikalischen Voraussetzungen wie Korngrößenverteilung, Trockenrohddichte oder Skelettgehalt zeichnen unterschiedliche Funktionen die Messungen besser oder schlechter nach. Allerdings konnte bisher noch kein genereller Zusammenhang zwischen einem dieser allgemeinen Bodenparameter und der Anpassungsgüte festgestellt werden. Daher wurden die Residuen aller verglichenen Wassergehalte ermittelt und ihre Verteilung in Abbildung 1 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der Median der HYPRES Funktion bei Null liegt und die Residuen nahezu ungerichtet sind, dass Teepe\_MVG die Bodenwassergehalte deutlich überschätzt sowie dass die Wertebereiche der PTF Teepe\_Reg und Rosetta vergleichbar sind. Bei der genaueren Analyse der Zeitserien wird deutlich, dass praktisch alle PTF im Trockensommer 2003 zur Vorhersage eines stärkeren Rückgangs des Bodenwassergehalts führen, als in den Messungen erkennbar ist. Dies deutet auf eine generelle Limitierung der Modellgüte der PTF in Bereichen hoher Saugspannungen hin. Funktionen, welche grundsätzlich zu niedrigen Wassergehalten tendieren, unterschätzen in diesen Monaten die tatsäch-

lichen Messwerte in den meisten Tiefenstufen deutlich. Letztlich bleibt festzustellen, dass die Auswertungen der Bodenwassergehaltssimulationen keine eindeutige Tendenz hin zu einer universell einsetzbaren PTF zulassen.

Daher werden auf der zweiten Analyseebene Simulationen für 22 WKS über ein Zeitintervall von 20 Jahren berechnet, um auf eine breitere Datenbasis zurückgreifen zu können. Da hierfür keine gemessenen Bodenwassergehalte vorliegen, werden forstlich relevante Wasserhaushaltsgrößen aus den Simulationen abgeleitet und deren Verteilung je PTF deskriptiv analysiert. Als Trockenheitsparameter fungiert die Transpirationdifferenz TDIFF [mm] als Summe der Abweichungen zwischen potentieller und aktueller Transpiration während der Vegetationsperiode von Mai bis September (*Schultze et al. 2005*). Demgegenüber kann als Kenngröße der Staunässe eines Standortes ein Luftmangelindikator berechnet werden (*AK Standortskartierung 2003*). Dieser gibt Auskunft über die Anzahl der Tage pro Vegetationsperiode, in denen der Oberboden durch Vernässung und damit Sauerstoffmangel in der Wurzelzone gekennzeichnet ist.

Zusammengefasst zeigen auch diese Auswertungen ein vielschichtiges Bild, was

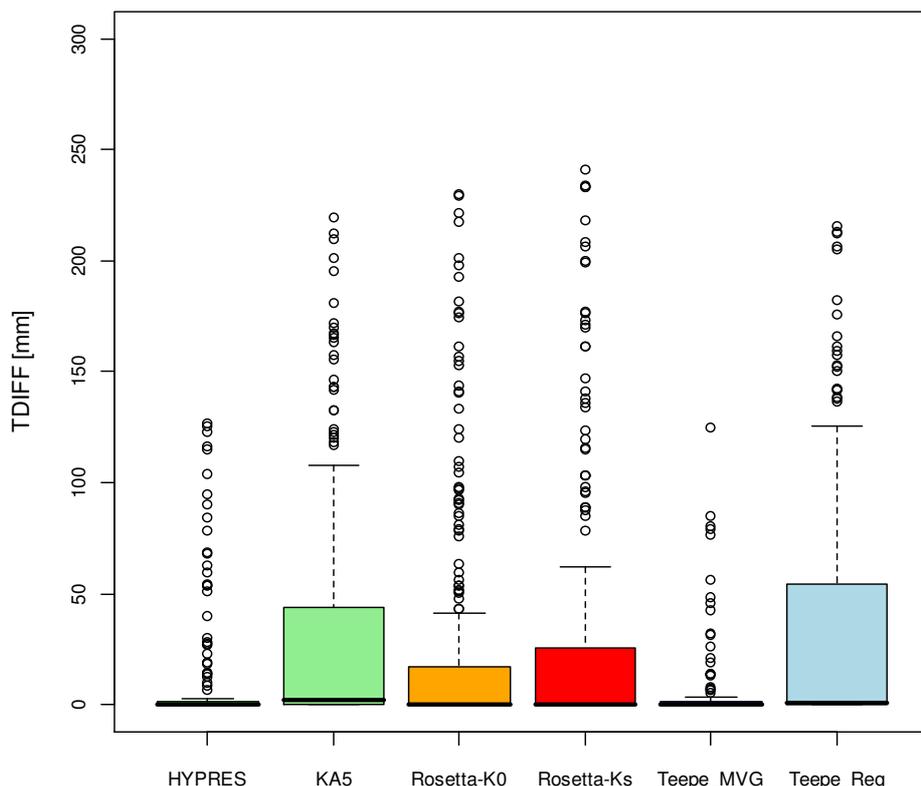


Abbildung 2: Verteilung der TDIFF der 22 WKS (1981-2000) der Vegetationsperiode pro PTF

die Güte der PTF für unterschiedliche Standorte angeht. Allerdings wurden einige allgemeine Erkenntnisse gewonnen:

1. Es kann zwischen „feuchten“, „mittleren“ und „trockenen“ PTF differenziert werden, was die Verteilung der TDIFF Werte oder der Staunässeindikatoren angeht. Exemplarisch hierfür zeigt Abbildung 2 die Streuung der TDIFF Werte über alle Jahre und Profile. HYPRES und Teepe\_MVG weisen äußerst niedrige Wertebereiche auf und schätzen die Standorte wesentlich feuchter ein als beispielsweise KA5 und Teepe\_Reg, was die Bewertung durch die Mediane in Abb. 1 bestätigt.
2. Die „feuchten“ PTF eignen sich nicht für eine Beschreibung von Trockenstress eines Standorts, da sie nur wenig sensitiv hinsichtlich TDIFF sind.
3. In niederschlagsreichen Jahren fallen die Unterschiede zwischen den PTF deutlich geringer aus als in trockenen Jahren, was der plausiblen These entspricht, dass der nutzbare Bodenspeicher in Trockenzeiten einen stärkeren Einfluss auf die Versorgung der Bäume ausübt als in feuchten Vegetationsperioden.

### Fazit

Generell lässt sich auch nach dieser Auswertung keine „optimale“ PTF eindeutig bestimmen. Allerdings müssen für umfangreiche anwendungsbezogene Modellierungen neben einer realistischen Simulation des Wasserhaushalts auch weitere Aspekte bezüglich der Güte von PTF berücksichtigt werden. Zum einen sollte die Funktion vielseitig einsetzbar sein, was die Verwendung von HYPRES und Teepe\_MVG aufgrund der geringen Sensitivitäten hinsichtlich TDIFF einschränkt. Daneben ist eine numerische Robustheit unverzichtbar, wobei bei den Funktionen KA5, Teepe und HYPRES Schwächen festgestellt wurden, sowohl was die Anzahl der Programmabbrüche als auch die realistische Bestimmung der MVG Parameter mittels des RETC Kurvenfittings angeht.

Letztlich scheint daher Rosetta-Ks am brauchbarsten, da sie eine mittlere Performance mit hoher Vielseitigkeit und

geringen numerischen Instabilitäten verbindet. Allerdings muss noch näher untersucht werden, welche Bodenparameter die Güte der Simulation beeinflussen, um beispielsweise über Qualitätsziffern die Verlässlichkeit der Modellierungen zu quantifizieren.

### Literatur:

- AK Standortskartierung (2003): Forstliche Standortsaufnahme. 6: Aufl. IHW-Verlag Eching.
- Beck, J., Dietz, E., Falk, W. und Kölling, C. (2009): Ein neuartiges, forstliches, digitales Standortinformationssystem - anpassungsfähig an Ansprüche des Nutzers und geänderter Umweltbedingungen. In: DBG Jahrestagung, 05.-13.09.09, Bonn.
- Hammel, K. und Kennel, M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. Forstliche Forschungsberichte München, 185.
- Schaap, M.G., Leij, F.J. und van Genuchten, M.Th. (2001): ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. J. Hydrol. 251, 163-176.
- Schaap, M.G. und van Genuchten, M.Th. (2006): A modified Mualem-van Genuchten formulation for improved description of the hydraulic conductivity near saturation. Vadose Zone J. 5: 27-34.
- Schultze, B., Kölling, C., Dittmar, C., Rötzer, T. and Elling, W. (2005): Konzept für ein quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern: Modellierung – Regression – Regionalisierung. Forstarchiv 76, 155-163.
- Teepe, R., Dilling, H. und Beese, F. (2003): Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. J. Plant Nutr. Soil Sci., 166, 111-119
- van Genuchten, M. Th. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44(5): 892-898.
- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A. und Le Bas, C. (1999): Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. Geoderma 90, 169-185.