

Einleitung

- Für die Modellierung des Bodenwasserhaushalts werden bodenphysikalische Messgrößen benötigt. Dies meist nicht nur an Bodenprofilen, sondern im flächigen Landschaftsbezug, wenn auf dieser Ebene Wasserhaushaltsmodelle eingesetzt werden sollen. Mittels multipler linearer Regressionen zwischen quasi kontinuierlich in der Landschaft verfügbaren Schlüsselinformationen und den bodenphysikalischen Zielgrößen werden diese von den Bodenprofilen in die Fläche übertragen. Mittlerweile liegen für alle für Wasserhaushaltsmodelle relevanten bodenphysikalischen Größen valide Regionalisierungsmodelle vor.

Material und Methoden

- Bodendaten wurden an 304 Bodenprofilen der Bodenzustandserfassung im Wald (BZE2) und an 324 im Wald liegenden Musterprofilen des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) erhoben.
- Zusätzlich zu bodenphysikalischen Parametern wurden mittels Multi-Step-Outflow Experimenten (MSO) bodenhydraulische Parameter nach Mualem und van Genuchten (MvG) an nicht extrem skelettreichen Profilen bestimmt (Puhlmann et al. 2009).
- Im Mineralboden bis 60 cm wurden je Tiefe zehn 200 ml Stechzylinder entnommen. Die **Trockenraumdichte** des Feinbodens wurde gravimetrisch bestimmt und der volumetrische **Skelettgehalt** nach Siebung auf 2 mm und anschließender Tauchwägung. In steinigigen Böden (Skelettgehalt >20 %) wurden Volumenersatzproben genommen.
- Die **Textur** wurde in 2 Mineralbodentiefen (10-30, 30-60 cm) an gestörten Bodenproben gemessen, die Sandfraktionen mittels Nasssiebung und die Schluff- und Tonfraktion mittels Laserbeugung (Fritsch Analysette 22). Für letztere wurden regressionsanalytisch Köhn-Pipette-Äquivalente hergeleitet, die mit den üblichen Schätzrahmen vergleichbar sind.
- Die **Bodenentwicklungstiefe** wurde aus Profilbeschreibungen abgeleitet. Das ist die Tiefe bis zum mineralischen, vom Ausgangssubstrat geprägten Untergrundhorizont (C- oder P-Horizont) oder bis zu Stauwasserhorizonten (G- / D-Horizont).
- Die **Tiefenverteilung der Feinwurzeln** <2 mm wurde an der Profilwand in einem 20 cm breiten Streifen durch Zählung mittels eines in 5 x 5 cm Zellen eingeteilten Zählrahmens als Indikator der Wasser- und Nährstoffaufnahme ermittelt.
- Im Gelände geschätzte Daten wurden dann verwendet, wenn keine Messdaten vorlagen. In den Bodentiefen mit Messdaten wurden parallel Schätzdaten erhoben.
- Die **Messgrößen** wurden mittels multipler linearer Regressionsmodelle von den Messprofilen in die Fläche übertragen. Die Variablen wurden schrittweise vorwärts selektiert. Die Modellbildung wurde in 5 - 6 nach Wuchsgebieten (Abb.1) stratifizierten Varianten durchgeführt um regionale Besonderheiten zu berücksichtigen, die zu einem landesweiten Modell, einer regionalisierten Karte der bodenphysikalischen Messgrößen, kombiniert wurden (Zirlwagen und v.Wilpert, 2011).
- An 207 Bodenprofilen aus jeweils 100 - 200 km² großen Geländeausschnitten in den Wuchsgebieten 3, 2, 4 und 7 (Abb.1) wurden parallel Schätz- und Messdaten sowie Schätzungen aus den regionalisierten Karten für die bodenphysikalischen Eingangsgrößen der bodenhydraulischen Pedotransferfunktionen (PTF) nach Puhlmann und v.Wilpert (2011) erhoben. In den Tiefen 10 und 30 cm wurden an je 3 - 5 100 ml Stechzylindern mittels MSO-Experimenten und der Parametrisierung eines Richards Modells (Puhlmann et al., 2009) Wasserretentionsfunktionen abgeleitet. An diesem unabhängigen Datensatz (n=540 Proben) wurde die **Sensitivität der Pedotransferfunktion** auf die Qualität der Eingangsgrößen getestet. Dabei wurden die mittels MSO-Messungen parametrisierten pF-Funktionen mit den mittels Labormessungen, aus regionalisierten Karten geschätzten und Profilschätzungen abgeleiteten pF-Funktionen für die pF-Stufen 0.3; 1.8; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5 und 4.2 verglichen.

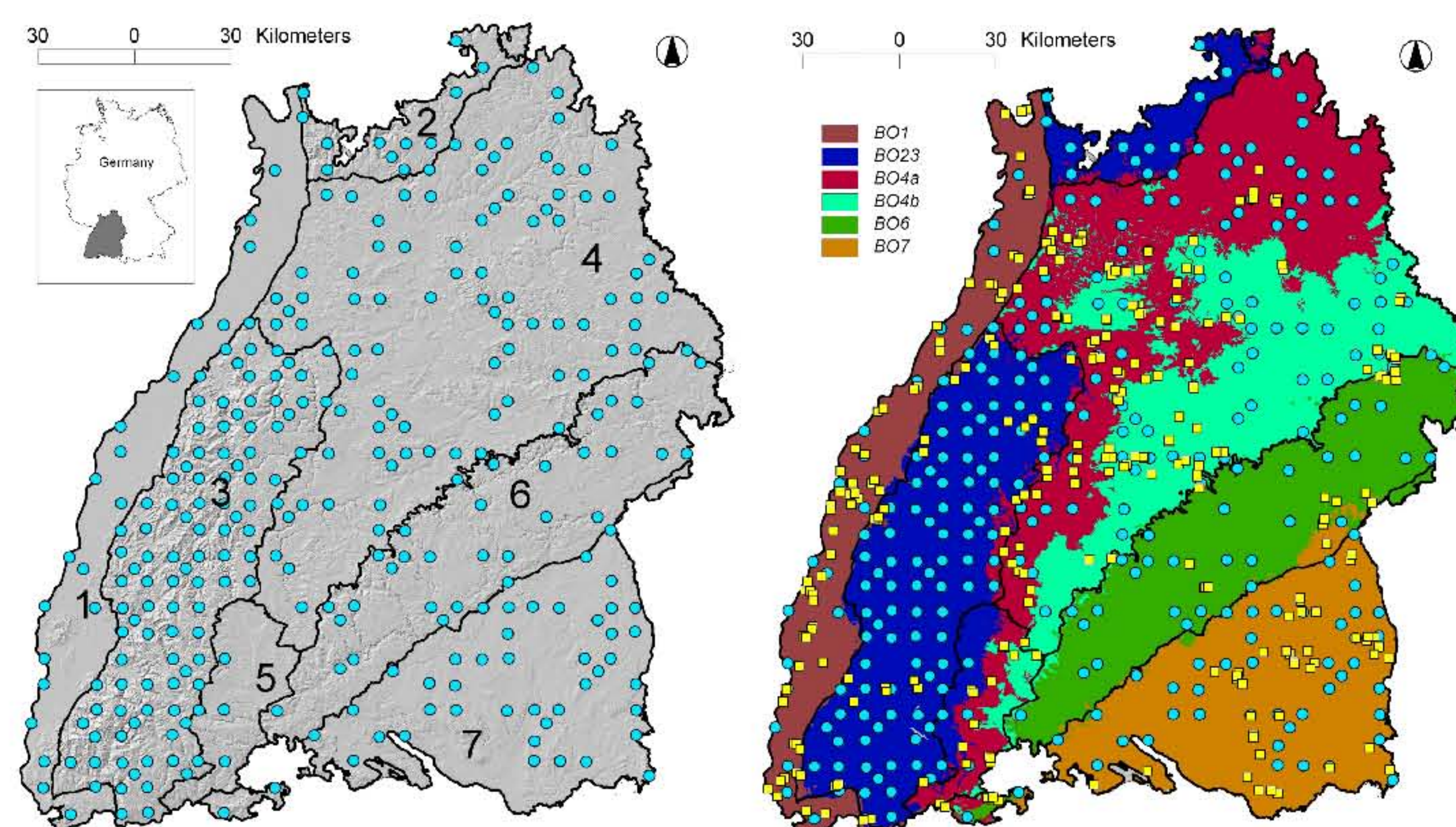


Abb. 1: Links: Inventurraster der BZE in Baden-Württemberg mit Wuchsgebieten (1=Oberrhein, 2=Odenwald, 3=Schwarzwald, 4=Neckarland, 5=Baar-Wutach, 6=Schwäbische Alb, 7=Alpenvorland); rechte Seite: wie links, aber zusätzlich mit der räumlichen Verteilung der LGRB-Stichprobenpunkte und Stratifizierung nach Bodenregionen im Wasser- und Bodenatlas von Baden-Württemberg.

Ergebnisse: Güte der Regionalisierung

Die Regionalisierungsmodelle erklärten mit Ausnahme der Feinwurzelndichte zwischen 45 und 75 % der Varianz in den Messdaten (Tab. 1). Bei der Feinwurzelndichte war die nicht erklärbare Variation deutlich höher, da diese Messgröße neben

Zielgrößen		0-5cm		5-10cm		10-30cm		30-60cm		60-90cm		ganzer Profil	
		adj. r ²	RSME	adj. r ²	RSME	adj. r ²	RSME	adj. r ²	RSME	adj. r ²	RSME	adj. r ²	RSME
Entwicklungstiefe [cm]												0,65	19,83
TRD	[ln g cm ⁻³]	0,56	0,12	0,60	0,14	0,53	0,18	0,42	0,24	0,41	0,09		
Grobboden	[ln Vol%]	0,65	0,78	0,62	0,84	0,63	0,86	0,61	0,91	0,52	1,04		
S, geschätzt	[Gew%]	0,66	11,28	0,67	11,68	0,74	10,53	0,65	12,04	0,65	12,46		
S, gemessen	[Gew%]			0,73	13,40	0,68	14,94						
U, geschätzt	[Gew%]	0,54	6,04	0,58	6,34	0,56	6,53	0,46	5,52	0,51	5,22		
U, gemessen	[Gew%]			0,64	10,23	0,55	11,66						
T, geschätzt	[Gew%]	0,66	4,86	0,60	5,60	0,66	5,26	0,48	5,23	0,56	5,03		
T, gemessen	[Gew%]			0,71	7,20	0,60	9,46						
Feinwurzelndichte [ln n dm ⁻²]		0,20	0,57	0,20	0,60	0,23	0,57	0,33	0,64	0,30	0,73		

Tab. 1: Bestimmtheitsmaß und Standardfehler der Regionalisierungsmodelle für Trockenraumdichte, Skelettgehalt, Textur, Entwicklungstiefe und Feinwurzelndichte in den BZE-Mineralboden-Tiefenstufen bis 90 cm.

Gelände- und Bodendaten stark von Baumartenzusammensetzung und Bestandesdichte abhängt, die weder im Kalibrierdatensatz noch in der Fläche als „Übertragungsschlüssel“ verfügbar sind. Trotzdem konnten auch für diese Größe Modelle kalibriert werden, deren Standardfehler bei 1,77 - 2,08 Feinwurzeln pro dm² lag, also innerhalb einer Schätzklasse der bodenkundlichen Kartieranleitung.

Ergebnisse: Regionalisierungskarten

Parameter Name	Typ	Parameter Schätzung	Standard Fehler	Pr > t
Intercept	metrisch	1,19328	0,04574	<0,0001
Vertikalkrümmung	metrisch	0,08628	0,04003	0,03210
Höhe u.N.N.	metrisch	-0,00026	0,00006	<0,0001
Region Neckarland	binär	0,11377	0,03193	0,00040
Kristallin	binär	-0,21641	0,03742	<0,0001
LGRB Rendzina	binär	-0,00059	0,00036	0,09870
Ob. Buntsandstein (WaBoA)	binär	0,14775	0,05057	0,00380
Region Odenwald	binär	-0,13543	0,06827	0,04210
Abweichung von W	metrisch	0,00055	0,00027	0,04120
Schluchten	binär	-0,18752	0,05302	0,00050

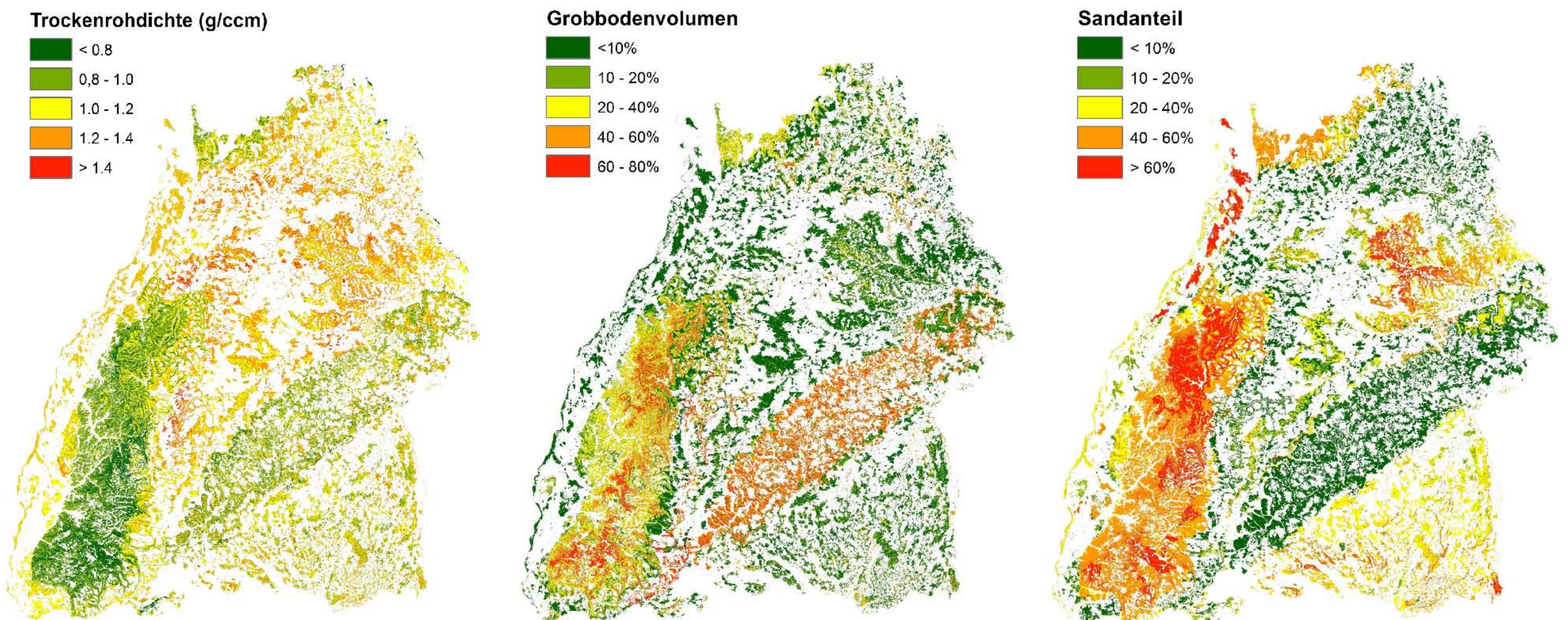


Abb. 2: Räumliche Verteilung der bodenphysikalischen Eingangsparameter für die Pedotransferfunktion zur Schätzung bodenhydraulischer Eigenschaften in Regionalisierungskarten (zusammengesetzt aus 6 Regionalmodellen, Auflösung 25x25 m) für die Bodentiefe 10-30 cm. Parameter der Regressionsfunktionen, Standardfehler und Signifikanzniveau (oben).

- Im Hauptwurzelraum (10 -30cm) der Waldböden wurde die räumliche Verteilung der wichtigsten bodenphysikalischen Größen exemplarisch gezeigt. Diese folgt im Landschaftszusammenhang sachlogisch sinnvollen Mustern:
- Die Trockenraumdichte ist in Bereichen mit überproportional hohen Steingehalten minimal und in Richtung der Unterhänge und auf den Lehmfleichen der Gäufleichen wird sie maximal. Die Steingehalte sind in exponierten Lagen von Schwarzwald, Odenwald und Schwäbische Alb maximal. Der Sandgehalt zeigt eine starke Abhängigkeit vom geologischen Substrat.
- Die Prädiktoren der Regressionsfunktionen sind Boden-, Geländeigenschaften und Geologische Substrate, die aus dem digitalen Höhenmodell, sowie aus Kartenwerken des LGRB und dem Wasser- und Bodenatlas abgeleitet wurden.

Ergebnisse: Sensitivitätsanalyse

Es wurden jeweils die in den MSO-Experimenten bestimmten pF-Funktionen mit den auf der Basis der Labordaten, Regionalisierungsdaten und der Schätzwerte abgeleiteten Funktionen verglichen. Die mittlere Abweichung (ME) der pF-Werte lag für alle Varianten sehr nahe bei Null, mit zufällig verteilten Residuen (Abb. 3, links). Der mittlere Standardfehler (RMSE) für die geschätzten Eingangsdaten ist mit 0,066 cm³/cm³ ähnlich hoch wie für die regionalisierten Datensätze (0,064 cm³/cm³). Die Labordatensätze schneiden besser ab (0,04 cm³/cm³), da die Eingangsdaten genauer sind als die in Klassen geschätzten Eingangsparameter (Abb. 3, rechts). Der Schätzfehler der Pedotransferfunktion liegt zwischen 0,04 und 0,05 cm³/cm³. Sowohl für die Profilschätzungen als auch für die Regionalisierungsdaten wird der Schätzfehler der PTF leicht überschritten, jedoch liegt er noch im Fehlerbereich herkömmlicher Pedotransferfunktionen (0,02-0,11 cm³/cm³).

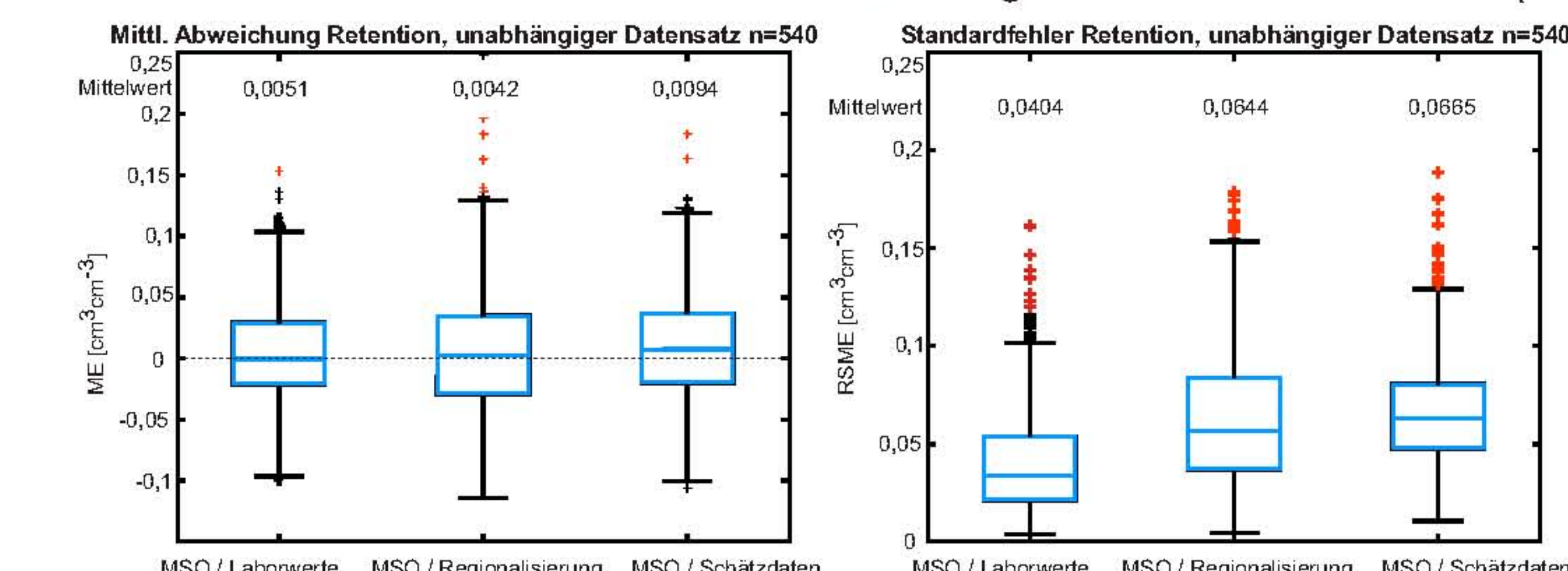


Abb. 3: Mittlere Abweichung (links) und Standardfehler (rechts) der pF-Wertbestimmung auf der Basis gemessener, regionalisierter und geschätzter Eingangsdaten im Vergleich zu MSO-Messungen.

Fazit

- Die Ergebnisse zeigen, dass die auf der Basis von regionalisierten Kartenwerten berechneten Wasserhaushaltsgrößen eine vergleichbare Genauigkeit aufweisen wie wenn die Berechnung auf der Basis von an Bodenprofilen geschätzten bodenphysikalischen Größen erfolgt. Sowohl die Regionalisierung als auch die Schätzung von bodenphysikalischen Daten führt zu keiner systematischen Verzerrung der pF-Werte.
- Der praktische Unterschied zwischen geschätzten und regionalisierten Eingangsdaten ist, dass letztere im 25m Raster quasi kontinuierlich in der Landschaft zur Verfügung stehen und die Schätzdaten nur an eigens angelegten Bodenprofilen.