

## Einleitung & Zielsetzung

- Die Modellierung und Untersuchung des Bodenwasserhaushalts sowie Analyse von Trockenstress für Waldstandorte bildet ein wichtiges Kriterium für die Planung von Adaptionsmaßnahmen im Forstsektor und gewährleistet damit aus ökologischer und ökonomischer Sicht eine nachhaltige und an die Veränderungen des Klimas angepasste Waldwirtschaft.
- Abschätzung von Trockenstressereignissen auf Plotebene für einen Fichten- und einen Buchenstandort mittels Wasserhaushaltsmodellierungen.
- Für diese Fragestellung wird eine Modellkalibrierung benötigt, welche die natürlichen Gegebenheiten der Wasserretentions- und -leitfähigkeitseigenschaften am Messstandort wiedergeben kann. Sehr oft werden diese hydraulischen Kennfunktionen über Labormessungen erhoben, welche nur bedingt in der Lage sind, die natürlichen Bedingungen am Standort wiederzugeben.



Abb.1: Standort Level- II Fläche

## Material & Methoden

- Untersuchungsgebiet:** Forstliche EU- Intensivmonitoringsfläche (Level-II) und umfasst einen Fichtenstandort auf einer Podsol-Braunerde und einen Buchenstandort auf einer Pseudogley-Braunerde.
- Kontinuierliche Messungen:** Saugspannung und Wassergehalt in verschiedenen Bodentiefen und Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung. Vorgehensweise dieser Untersuchung siehe Abb.2.

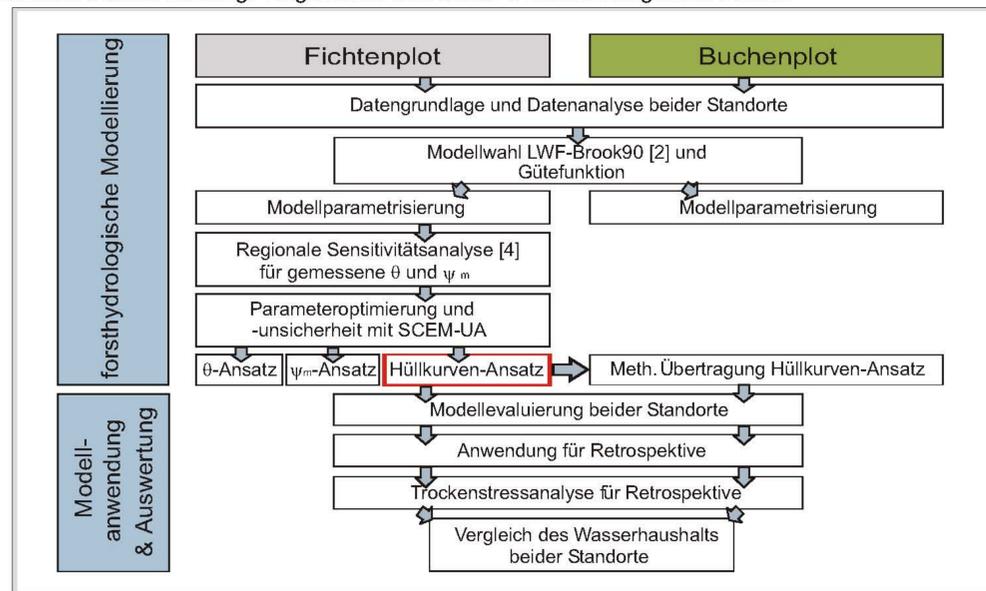


Abb.2: Schematische Vorgehensweise der Untersuchung

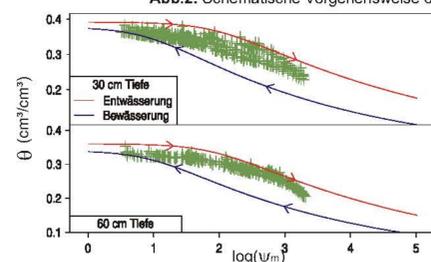


Abb.3: Feld-pF-Werte und definierter Hüllbereich für die Ent- und Bewässerungskurve des Hüllkurven-Ansatzes über die Mualem-van-Genuchten Parameter und Pedotransferfunktionen in den Bodentiefen 30 cm und 60 cm für den Buchenplot.

### Parameteroptimierungsalgorithmus

“Shuffled Complex Evolution Metropolis Algorithm” [6], Bestimmung des optimalen Parametersets und der Parameterunsicherheit für drei verschiedene Zielfunktionen

**θ-Ansatz:** Optimierung der θ sensitiven Parameter

**ψ<sub>m</sub>-Ansatz:** Optimierung der ψ<sub>m</sub> sensitiven Parameter

**Hüllkurven-Ansatz:** Optimierung der θ sensitiven Parameter und mit Einbezug der Saugspannungen in die Optimierung. Dies wird über eine standorts- und tiefenspezifische Ent- und Bewässerungskurve erreicht, welche die Feld-pF Kurve wie eine Hülle umgibt (Abb.3).

## Ergebnisse: Modellierung

- Regionale Sensitivitätsanalyse:** Unterschiedlichste hydrologische, vegetations- und vor allem bodenhydraulische Parameter sind je Outputvariable sensitiv (Tab.1).
- Parameteroptimierung:**
  - θ- und ψ<sub>m</sub>-Ansatz liefern nur unzureichende Modellergebnisse.
  - Hüllkurven-Ansatz liefert für alle Bodentiefen im Vergleich eine deutliche Verbesserung der ψ des Fichten- und Buchenplots (Tab.2 und Abb.4).
- Parameterunsicherheit:**
  - Die Auswertung der Unsicherheiten der Modellergebnisse verdeutlicht, dass eine bessere Anpassung beider Outputvariablen nicht allein auf die Parameterunsicherheit zurückzuführen ist, sondern ebenso modellstrukturelle Unsicherheiten und die Unsicherheit der Messdaten mit in die Unsicherheitsanalyse einbezogen werden müsste.
- Modellevaluierung:**
  - Für beide Standorte konnten die guten Ergebnisse der Modellkalibrierung nicht erreicht werden (Fichte R<sup>2</sup> < 0.07, Abb.5).

Tab.1: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für den Fichtenplot

	θ			ψ <sub>m</sub>		
	15cm	30cm	75cm	15cm	30cm	75cm
θ <sub>1</sub>	GLMAX	GLMAX	GLMAX	GLMAX	GLMAX	GLMAX
sk <sub>1</sub>	GLMAX	GLMAX	GLMAX	GLMAX	GLMAX	GLMAX
OFFC	α <sub>1</sub>	β <sub>1</sub>	β <sub>1</sub>	LAImax	LAImax	Wurzelc
α <sub>2</sub>	β <sub>2</sub>	K <sub>SD</sub>	α <sub>1</sub>	OFFC	GLMAX	
β <sub>2</sub>	GLMAX	K <sub>SD</sub>	α <sub>1</sub>	GLMAX	GLMAX	
GLMAX	K <sub>SD</sub>	Wurzelc	OFFC	α <sub>1</sub>	LAImax	
LAImax	K <sub>SD</sub>	OFFC	α <sub>1</sub>	β <sub>2</sub>	INFEPL	
T <sub>2</sub>	sk <sub>1</sub>	α <sub>1</sub>	K <sub>SD</sub>	α <sub>1</sub>	MXKPL	
	OFFC	α <sub>1</sub>	K <sub>SD</sub>	α <sub>1</sub>	OFFC	
	LAImax	β <sub>1</sub>	β <sub>1</sub>	K <sub>SD</sub>	OFFC	
			K <sub>SD</sub>	ALB	α <sub>1</sub>	
			T <sub>2</sub>	INFEPL	sk <sub>1</sub>	
			sk <sub>1</sub>	PSICR	sk <sub>1</sub>	
Sensitiv			MXRTLN	T <sub>2</sub>		
gering sensitiv				PSICR		
unsensitiv			Wurzelc			

Tab.2: Modellgüte für das beste Parameterset der jeweiligen Ansätze mit dem Optimierungsalgorithmus für die Modellkalibrierung des Fichtenstandorts.

Standort / Ansatz	Output-variable	R <sup>2</sup>				
		15 cm	30 cm	60 cm	75 cm	
Fichte	θ	θ	0.63	0.73	-	0.55
		ψ	0.22	0.02	-	0.43
	ψ <sub>m</sub>	θ	-1.94	-12.49	-	-7.18
		ψ	0.74	0.66	-	0.81
Hüllkurve	θ	0.60	0.73	-	0.55	
	ψ	0.56	0.34	-	0.44	
Buche	Hüllkurve	θ	-	0.81	0.79	-
		ψ	-	0.53	0.45	-

Durch den Hüllkurven-Ansatz konnte eine simultane Anpassung beider Outputvariablen erreicht werden. Jedoch erweist sich für die Modellevaluierung, dass noch modellstrukturelle Probleme bestehen und eine Evaluierung an längeren Zeitreihen notwendig ist.

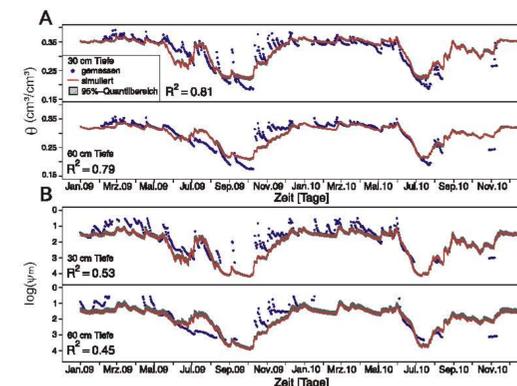


Abb.4: Ergebnis der Parameteroptimierung und -unsicherheit des Hüllkurven-Ansatzes der Modellkalibrierung des Buchenstandortes für θ (A) und ψ<sub>m</sub> (B) den Zeitraum von 2009 bis 2010.

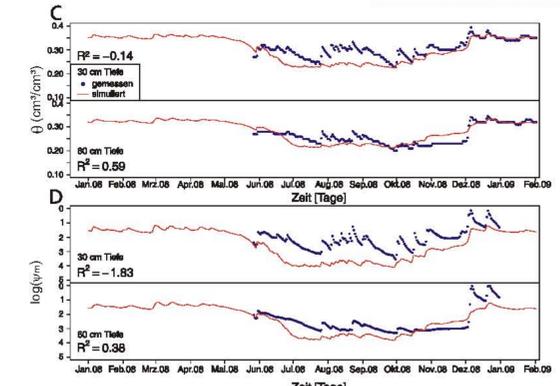


Abb.5: Ergebnis der Modellevaluierung des Buchenstandortes für θ (C) und ψ<sub>m</sub> (D) für den Zeitraum von Juni 2008 bis Januar 2009.

## Ergebnisse: Trockenstressanalyse

- Trockenstressanalyse Zeitraum 1972-1991:** Statistische Auswertung von Trockenstressereignissen beider Standorte nach Dauer, Anzahl und Fehlmenge pro Jahr [5].
- Fichte vs. Buche:** Eine geringere Anzahl bei gleichzeitig längerer Dauer der Stressereignisse und größerer Fehlmenge pro Jahr, weist auf ein höheres Trockenstressrisiko und -intensität des Buchenstandorts hin.
- Kritischer Schwellenwert:** Der für die Trockenstressanalyse verwendete kritische Schwellenwert der Saugspannung von 1300 hPa [3] deckt sich gut mit dem in der Literatur vorgeschlagenen Wert der kritischen relativen nutzbaren Feldkapazität von 0.4 [1] (Abb.6).

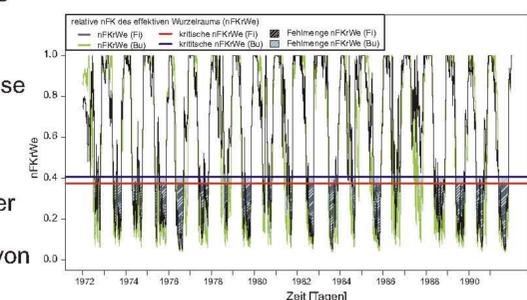


Abb.6: Verlauf der relativen nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (nFK<sub>we</sub>) für den Fichten- und Buchenplot über den Zeitraum von 1972 bis 1991 und die kritische nFK<sub>we</sub>, welche aus der kritischen Saugspannung von -1300 hPa

Das erhöhte Trockenstressrisiko für den Buchenstandort kann einerseits auf die standörtlichen Bodeneigenschaften und andererseits auf das physiologische Transpirationsverhalten zurückgeführt werden. Das modellierte Transpirationsverhalten konnte aufgrund von fehlenden Messdaten (z.B. Sap-Flow) nicht überprüft werden.

Literatur:  
 [1] Granier, A., Bréda, N., Biron, P. & Villette, S. (1999): A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Eco. Modelling*, 116, 26-283.  
 [2] Hammel, K. & Kennel, M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. Forstl. Forsch. München (185).  
 [3] Puhmann, H., Morgenstern, Y., Hölscher, A. & von Wilpert, K. (2010): Water stress induced reduction and effects on radial growth of beech. *Zürich*.  
 [4] Spear, R. & Hornberger, G. (1980): Eutrophication in peat inlet-II. Identification of critical uncertainties via generalized sensitivity analysis. *Water Research* 14 (1), 43-49.  
 [5] Ridolfi, L., D'Odorico, P., Porporato, A. & Rodriguez-Iturbe, I. (2000) Duration and frequency of water stress in vegetation: An analytical model. *Water Resour. Res.* 36 (8), 2297-2307.  
 [6] Vrugt, J.A., Gupta, H.V., Bouten, W. & Sorooshian, S. (2003): A Shuffled Complex Evolution Metropolis algorithm for optimization and uncertainty assessment of hydrologic model parameters. *Water Resour. Res.* 39 (8), 1-16.