

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG, Kommission V

Titel der Tagung:

Erd-Reich und Boden-Landschaften

Veranstalter: DBG/BGS**Termin und Ort der Tagung:**

24. - 29. August 2019, Bern

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation) <http://www.dbges.de>**Regionalisierung bodenkundlicher Modellierungsergebnisse**Karin Schmelmer¹, Einar Eberhardt¹

Schlüsselwörter: Ähnlichkeitsbestimmung, Bodendaten, Bodenfunktionen, Bodenprozessmodell, BÜK200, Fuzzy-Logik, Landschaftsmodell, Modellierung, Regionalisierung, Simulationsergebnisse

Hintergrund und Ziele

Ein Ziel des Verbundvorhabens BonaRes ist die Optimierung von Bodenmanagementstrategien in der Landwirtschaft. Bodenprozessmodelle werden dazu dienen, die Wirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf wichtige Bodenfunktionen zu prognostizieren. Dies sind insbesondere die Funktionen Wasserspeicherung und Wasserqualität (Filterfunktion), Speicherung von organischem Kohlenstoff, Nährstoffkreislauf, Produktivität und Habitat für die Bodenfauna (VOGEL et al., 2018).

Um Bodenfunktionskarten für den Praxis-einsatz zu generieren, müssen die Ergebnisse von Standortmodellen in die Fläche übertragen werden. Das der BÜK200 zugrundeliegende Boden-Landschaftsmodell soll dazu dienen, die Modellierungs- bzw. Simulationsergebnisse analysierter Bodenprofile basierend auf Ähnlichkeit zwischen diesen Profilen und den Leit- und Begleitprofilen der BÜK200 mit den entsprechenden räumlichen Einheiten der BÜK200 zu verknüpfen. Diese Verbindung einer sehr niedrigen mit einer hohen räumlichen Skala führt bezüglich der Übertragungsergebnisse zu systematischen Unsicherheiten,

deren Ausmaß es methodisch zu erfassen gilt. Grundsätzliche Überlegungen zum methodischen Konzept sind das Thema dieses Beitrags.

Wichtige Aspekte

Grundsätzlich gilt: Die Ähnlichkeit aller Modell-Eingangswerte ist die Voraussetzung dafür, ein Simulationsergebnis auf ein als ähnlich bezeichnetes BÜK200-Bodenprofil zu übertragen. Neben den Daten der vordefinierten Bewirtschaftungsszenarien müssen Bodendaten und Wetter- bzw. Klimadaten in das Standortmodell eingegeben werden. Die Bodendaten betreffend können nur die Werte derjenigen Parameter auf Ähnlichkeit getestet werden, die in der BÜK200-Datenbank enthalten sind. Im Folgenden werden drei wesentliche Aspekte diskutiert, die bei der Definition von Ähnlichkeit zwischen einem Modell-Parametersatz und einer BÜK200-Flächenbodenform einschließlich relevanter Standortfaktoren zu beachten sind.

1. Die Zeitskala des betrachteten Bodenprozesses bzw. der betrachteten Bodenfunktion bestimmt die Art und die Anzahl der Modell-Eingangsparameter. So macht die Simulation langsam ablaufender Prozesse die Berücksichtigung zusätzlicher Umweltparameter erforderlich, die für eine Kurzzeitsimulation nicht benötigt werden. Handelt es sich zum Beispiel um die Simulation der Wirkung schwerer Landmaschinen auf die Verdichtung des Oberbodens und damit die Verringerung seines Infiltrations- und Wasserretentionsvermögens, so genügen die Wetterdaten eines Starkregenereignisses zur Eingabe ins Modell. Demgegenüber erfordert die Prognose des Einflusses einer veränderten Bewirtschaftung auf die Speicherung von organischem Kohlenstoff im Boden eine Langzeitsimulation und damit auch die langjährigen Mittelwerte relevanter Klimaparameter. Ein Beispiel dafür zeigt Abbildung 1. Im Zusammenhang mit dem Nährstoffkreislauf, der Nährstoffverfügbarkeit oder der Bodenbiologie werden darüber hinaus z.B. Daten zur räumlichen Variabilität des atmosphärischen Stickstoffeintrags in den Boden gebraucht.

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover

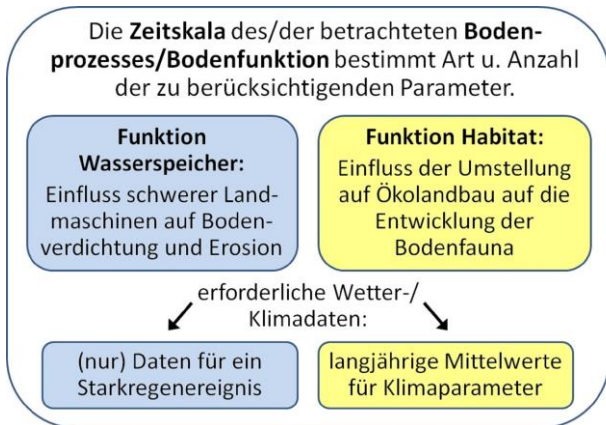


Abb. 1: Beispiel für die unterschiedlichen Datenbedarfe zur Simulation von Bodenprozessen

2. Die räumliche Skala der Bodendaten bzw. das Datenniveau bedingt unterschiedlich präzise Parameterwerte für das im Standortmodell genutzte reale Bodenprofil einerseits und die abgeleitete Flächenbodenform der BÜK200 andererseits. Während das Standortmodell metrische Werte z.B. für Ton-, Schluff- und Grobbodenanteil verlangt, liegen für die Leit- und Begleitprofile der BÜK200 nur klassierte Werte vor, die mit den entsprechenden Symbolen der KA4 bzw. der KA5 gekennzeichnet sind. Beispiele sind die Symbole „Uls“ für die Feinbodenart lehmig-sandiger Schluff oder „h3“ für die Humusgehaltsklasse „mittel humos“ (Abbildung 2).

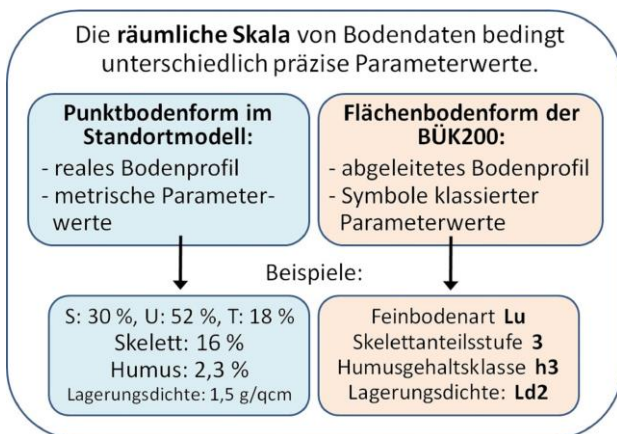


Abb. 2: Metrische Bodenparameterwerte für untersuchte Bodenprofile und klassierte Werte für Flächenbodenformen

3. Von großer Bedeutung ist auch die Parameter-Sensitivität eines Modells, da sie die „Ähnlichkeit“ zweier Bodenprofile hin-

sichtlich einer bestimmten Eigenschaft beeinflusst. Dies sei am folgenden Beispiel erläutert: Mit dem Modell CANDY (CARbon and Nitrogen DYnamics, FRANKO et al., 1997) kann die Entwicklung des C_{org} -Gehaltes von Ackerböden in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung und vom Klima simuliert werden. Einen hohen positiven Einfluss auf das Simulationsergebnis zeigte der Tongehalt des Bodens (SCHMELMER, 2014). Ein weniger sensitives Modell berechnet bei Anstieg des Tongehaltes geringer steigende C_{org} -Werte als ein stärker sensitives Modell (Abbildung 3).

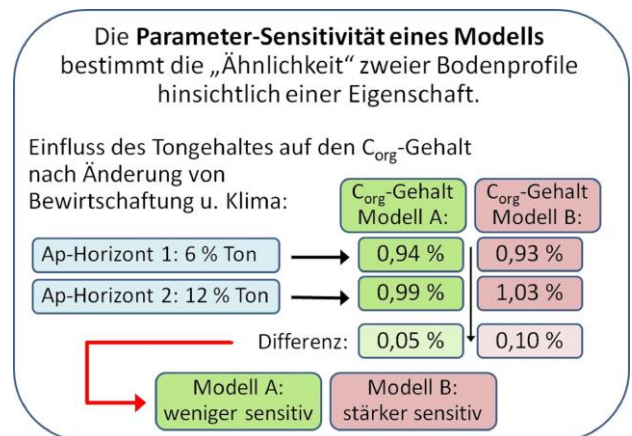


Abb. 3: Metrische Bodenparameterwerte für untersuchte Bodenprofile und klassierte Werte für Flächenbodenformen

Liegt beispielsweise der prognostizierte C_{org} -Wert eines Bodens mit 12% Ton bei entsprechender Sensitivität des eingesetzten Modells deutlich höher als jener für einen Tongehalt von 6%, dann besteht Unklarheit bei der Übertragung der Simulationsergebnisse auf den Ap-Horizont eines Leitprofils der BÜK200 mit der Bodenart St2 (5% - 17% Ton). Die beiden Simulationsergebnisse für die betreffende Bodenart können nämlich in unterschiedlichen Bewertungskategorien der Art „niedrig“, „mittel“, „hoch“ liegen.

Aus der Kenntnis der unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Bodenarten ergibt sich ihre Einteilung mit den verschiedenen Klassenbreiten hinsichtlich der Schluff- und Tongehalte. Ein Modell versucht nun, diese unterschiedlichen Eigenschaften realitätsgetreu abzubilden. Dies gelingt jedoch nur näherungsweise und bei jedem Modellan-

satz unterschiedlich gut. Daher werden die Ergebniskategorien des Modell-Outputs die Klassengrenzen für die Ton- und Schluffgehalte der Bodenarten schneiden. Dies ist bei allen klassierten Parametern zu beachten, die in der Datenbank der BÜK200 vorkommen und die für Modellsimulationen relevant sind. Für jede simulierte Bodenfunktion und darüber hinaus bei jedem Standortmodell werden solche „Schnittlinien“ unterschiedlich verlaufen. Abbildung 4 veranschaulicht dies exemplarisch für die Feinbodenarten.

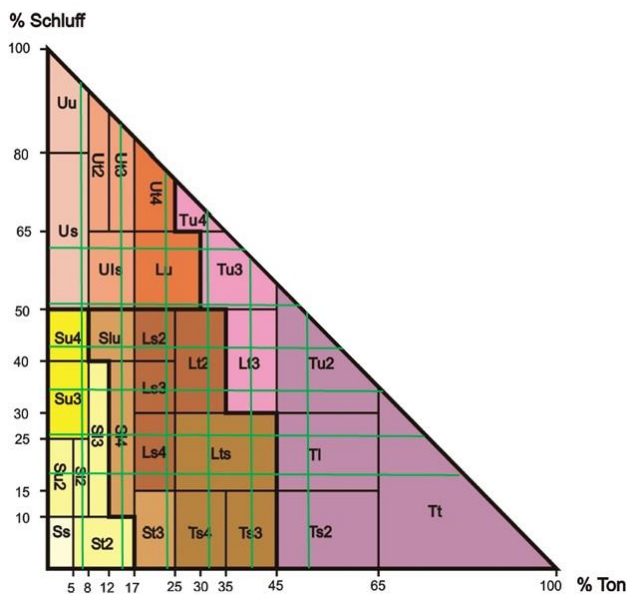


Abb. 4: Schematische Darstellung möglicher Überschneidungen der Bodenarten-Einteilung mit den Grenzen von Bewertungskategorien für Simulationsergebnisse (grün)

Methodische Ansätze

Um die Standortbedingungen in der Simulation von Bodenprozessen zu berücksichtigen, erfolgt die Zuordnung ähnlicher Bodenprofile zu den Legendeneinheiten der BÜK200 vor der Simulation mit den metrischen Parameterwerten der zugeordneten Profile. Für solche Langzeitsimulationen (Aspekt 1: Zeitskala, s. oben) können die erforderlichen Randbedingungen wie Klima und weitere Standortfaktoren anhand geeigneter GIS-Daten mit den Legendeneinheiten der BÜK200 verschnitten und untersucht werden. Die Auswertung einer entsprechend großen Profil- und Labordatenbank wird die Zuordnung der Parameterwerte mehrerer Bodenprofile zu einer Flä-

chenbodenform der BÜK200 ermöglichen. Allerdings sind die gefundenen Parameterwerte in der Regel nicht flächenrepräsentativ für die jeweilige Legendeneinheit der BÜK200. Um gleichzeitig der Unschärfe der Parameterwerte (Aspekt 2: räumliche Skala) zu begegnen, empfiehlt es sich daher, den klassierten Parameterwerten der BÜK200 nach Möglichkeit plausible mittlere Messwerte zuzuweisen. Dazu werden die Daten einer geeigneten Labordatenbank zuvor nach Bodenprofil- und Standorteigenschaften stratifiziert und die resultierenden Gruppen anschließend getrennt ausgewertet. Zentrale Stratifizierungsmerkmale für Bodenprofile sind die Bodengroßlandschaft, in der sie liegen, das Ausgangsgestein, der Bodensubtyp und die Landnutzung (BAURIEGEL, 2004; MÖLLER & KENNEPOHL, 2014). Die Horizont- bzw. Schichtdaten können nach Horizontsymbol, Bodenart, Grobbodenanteil, Mächtigkeit und ebenfalls nach dem Substrat getrennt werden. Diese Verfahren sind zwar sehr aufwendig, sie können aber die Ähnlichkeitsbewertung zwischen einem Bodenprofil, dessen Daten ins Simulationsmodell eingehen, und den Flächenbodenformen der BÜK200 hinsichtlich Parametern wie Humusgehalt, lithogener Kohlenstoff und Carbonatgehalt erheblich absichern.

Wichtig ist bei diesem Vorgehen, Toleranzbereiche für die den BÜK200-Horizonten zugewiesenen Parameterwerte anzugeben. Dabei könnte es sich um die Standardabweichung oder den Variationskoeffizienten handeln. Auf diese Weise trägt man einerseits der maßstabsbedingten Parameter-Unschärfe Rechnung. Zusätzlich muss ein solcher Toleranzbereich jedoch auch an die Parameter-Sensitivität des benutzten Simulationsmodells angepasst sein (Aspekt 3, s. oben). Dies bedingt wiederum im Vorfeld durchzuführende Sensitivitätsuntersuchungen. Ein stärker sensitives Modell erfordert nun einen engeren Toleranzbereich als ein weniger sensitives Modell. Bei dieser Methode sind die Profil- bzw. Horizontparameterwerte eines untersuchten Bodenprofils dann einem BÜK200-Profil zuzuordnen, wenn seine Parameterwerte im Toleranzbereich der für das BÜK-Profil geltenden Werte liegen. Dies kann nun dazu führen, dass ein Bodenprofil nicht

nur Flächenbodenformen mit den seinen Parameterwerten entsprechenden Parameterklassen zugeordnet wird, sondern auch solchen mit benachbarten Klassen. Abbildung 5 verdeutlicht das Prinzip anhand des Tongehaltes und zeigt ein Beispiel dafür, dass die Bodenart Us (5,2% Ton) „ähnlich“ der Bodenart Uls hinsichtlich eines Simulationsergebnisses sein kann oder nicht. Es geht um die Frage: Können die Parameterwerte eines Bodenprofils (-horizontes) der Bodenart Us (hier 5,2 % Ton) auch einem BÜK200-Profil der Bodenart Uls (hier ca. 10 % Ton) zugeordnet werden? Das Ergebnis der Ähnlichkeitsprüfung „unähnlich“ im Falle von Modell B (Abb. 5) führt in diesem Beispiel zu der in Abbildung 4 dargestellten senkrechten „Schnittlinie“, welche die Bodenart Us teilt (vgl. Abb. 4).

Mittels einer Punkt-in-Polygon-Analyse lassen sich die Bodenprofile einer Profil- und Laboratenbank über ihre Lagekoordinaten den Legendeneinheiten einer Karte zuord-

nen und mittlere Parameterwerte berechnen. DÜWEL et al. (2007) haben so mittlere Gehalte an Ton, Schluff und Sand des Oberbodens für 63 Legendeneinheiten der insgesamt 71 bodenkundlichen Legendeneinheiten der BÜK1000 ermittelt. Für die BÜK200 mit wesentlich mehr Leitprofilen wäre die Trefferquote ähnlicher Bodenprofile aus der Profil- und Laboratenbank deutlich geringer und damit die Unsicherheit zugeordneter mittlerer Werte sehr viel größer. Die Textur hat jedoch auf alle bodenphysikalischen und auch auf bodenchemische Eigenschaften einen besonders großen Einfluss und folglich auch auf die Ergebnisse von Simulationsmodellen. Daher sollten hier die gesamten Wertespannen für den Ton- und den Schluffgehalt der betreffenden Feinbodenart bei einer Simulation berücksichtigt werden. Das Gleiche gilt für den Grobbodenanteil.

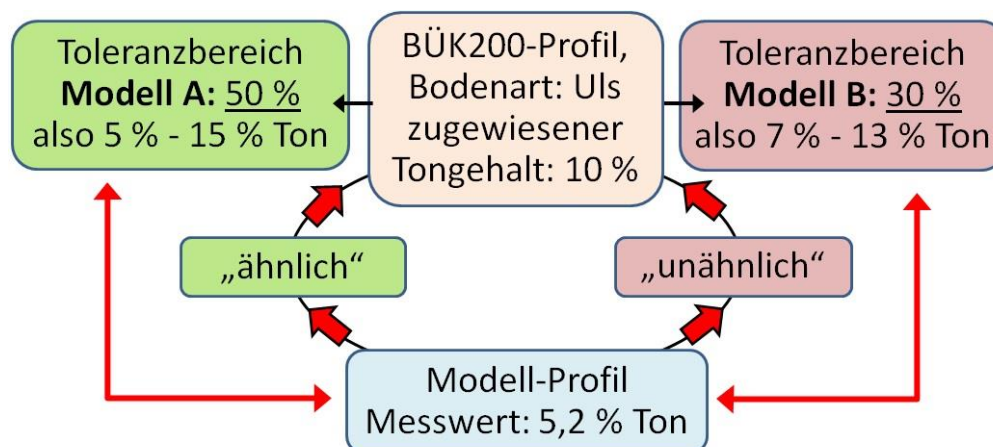


Abb. 5: Ähnlichkeitsprüfung mittels exemplarischem Toleranzbereich für einen Parameterwert, dessen Breite mit zunehmender Sensitivität eines Simulationsmodells abnimmt

Eine Variation der Modell-Eingangsparameter-Werte ermöglicht jedoch neben der Zuordnung von Bodenprofilen bzw. ihrer Parameterwerte zu „ähnlichen“ Leit- und Begleitprofile der BÜK200 die Berechnung von Simulationsergebnissen als so genannte Kontinuen oder Bandbreiten. Im Rahmen einer Sensitivitätsstudie können die Bodenparameter schrittweise so geändert werden, dass die Abweichungen zwischen modelliertem Bodenprofil und zugewiesenen metrischen Parameterwerten an die Horizonte eines BÜK200-Profiles in ihren

Auswirkungen auf das Simulationsergebnis als Kontinuum sichtbar werden. Für diese speziellen Simulationen kann z.B. eine Trainingsmenge von Bodendaten dienen, um eine generelle Bewertung der Unsicherheit bei der Übertragung von Simulationsergebnisses auf die Legendeneinheiten der BÜK200 vorzunehmen.

Eine Bandbreiten-Simulation bietet sich an für die oben genannten Toleranzbereiche der ggf. an die BÜK200-Horizonte zugewiesenen metrischen Parameterwerte. Des Weiteren können so Ergebniskorridore er-

mittelt werden, wenn die Parameter mehrerer Bodenprofile an eine Legendeneinheit der BÜK200 zugeordnet wurden oder auch für die Klassengrenzen z.B. der Ton- und Schluffgehalte einer Bodenart insgesamt, wenn weder plausible mittlere Messwerte noch die Parameterwerte eines konkreten Bodenprofils an die BÜK200-Profile zugeordnet werden konnten.

Fazit und Ausblick

Die Werte der Modell-Eingangsparameter bestimmen die Ähnlichkeit zwischen einem Leitprofil der BÜK200 und einem im Standortmodell beschriebenen Einzelprofil. Daher empfiehlt sich für einige Parameter die Zuweisung plausibler mittlerer Messwerte an die klassierten Parameterwerte der BÜK200-Datenbank. Die Zuweisung erfolgt auf der Basis bestimmter gleicher Profil- und Standorteigenschaften. Jede dieser Zuweisungen sollte einen von der Parameter-Sensitivität des Modells abhängigen Toleranzbereich beinhalten. Dieser ermöglicht die Berechnung von Ergebnis-Korridoren, womit der Unsicherheit Rechnung getragen wird, die bei der Übertragung von Werten einer sehr niedrigen räumlichen Skala auf eine hohe Skala besteht.

Künftig wird auch ein Ansatz zur Ähnlichkeitsprüfung getestet, der auf der Nutzung von Fuzzy-Methoden basiert. Damit ist es zudem möglich, die Unsicherheit, welche die Ähnlichkeitsbestimmung von Bodenprofilen auf der Basis unpräziser Daten begleitet, zu quantifizieren und gleichzeitig eine unbekannt Parameter-Sensitivität des verwendeten Simulationsmodells zu berücksichtigen. MCBRATNEY & ODETH (1997) beschreiben verschiedene Beispiele für die Anwendung der Fuzzy-Logik in der Bodenkunde. So lässt sich etwa der Zugehörigkeitsgrad – eine Zahl zwischen 0 und 1 – eines Wertes zu einer bestimmten Klasse oder einem Wertebereich in Abhängigkeit von seinem Abstand zum Klassenmittelwert bestimmen.

Diesem Beispiel folgend lassen sich nun die Bodenarten hinsichtlich ihrer Ton- und Schluffgehalte in unscharfe Klassen – sogenannte Fuzzy-Sets – überführen. Da es sich in diesem Fall um einen zweidimensi-

onalen Merkmalsraum handelt, resultiert einschließlich der Zugehörigkeitsfunktion mit Werten zwischen null und eins ein dreidimensionales Modell. Folglich werden die 31 Feinbodenarten in entsprechend viele Fuzzy-Cluster überführt und einer Clusteranalyse unterzogen werden. Für die Klassen anderer Parameter wie Humus-, Grob-boden-, Carbonatgehalt werden zweidimensionale Fuzzy-Sets gebildet werden.

Der Ausarbeitung einer detaillierten Methode ist die nähere Projektlaufzeit gewidmet.

Förderung

Das Verbundvorhaben BonaRes (Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie, <https://www.bonares.de>) wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert; FKZ 031B0511E.

Literatur

BAURIEGEL, A. (2004): Methoden zur Ableitung und Parametrisierung von flächenbezogenen Profil- und Horizontdaten - Am Beispiel der Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg im Maßstab 1:300 000. - Diss., Humboldt-Universität zu Berlin, 147 S., Berlin.

DÜWEL, O.; KRONE, F.; SIEBNER, C.S.; UTERMANN, J. (2007): Bodenarten der Böden Deutschlands. Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR, Bundesanst. f. Geowiss. u. Rohstoffe, 43 S., Hannover.

FRANKO, U.; CROCKER, G. J.; GRACE, P. R.; KLIR, J.; KÖRSCHENS, M.; POULTON, P. R.; RICHTER, D. D. (1997): Simulating trends in soil organic carbon in long term experiments using the CANDY model. *Geoderma* 81: 109-120.

MCBRATNEY, A.; ODEH, I. (1997): Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma* 77, S. 85–113.

MÖLLER, A. & KENNEPOHL, A. (2014): Abschätzung von CO₂-Emissionen und -Retentionen durch Landnutzungsänderungen anhand regionalisierter Kohlenstoffvorräte auf landwirtschaftlich genutzten Böden Niedersachsens. *Geobericht* 27. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.

SCHMELMER, K. (2014): Humus und Wasserhaushalt sandiger Ackerböden im Klimawandel Grundlagen für die landwirtschaftliche Beratung. In: Bloch, R., Bachinger, J., Fohrmann,

R., Pfriem, R. (Hrsg.): Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten, Band 8: Land und Ernährungswirtschaft im Klimawandel, S. 353-372. Oekom Verlag München.

VOGEL, H.-J.; BARTKE, S.; DAEDLOW, K.; HELMIG, K.; KÖGEL-KNABNER, I.; LANG, B.; RABOT, E.; RUSSELL, D.; STÖBEL, B.; WELLER, U.; WIESMEIER, M.; WOLLSCHLÄGER, U. (2018): A systemic approach for modeling soil functions. *Soil*, 4, S. 83 - 92, <https://doi.org/10.5194/soil-4-83-2018>.