

## Tagungsbeitrag

Sitzung der Kommission V der DBG

Tagung:

Böden verstehen, Böden nutzen, Böden fit machen am 3.-9. September 2011 in Berlin und Potsdam

Veranstalter:

Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, TU Berlin und das GFZ Potsdam

Mitteilungen der DBG (nicht begutachtete Publikation)

<http://www.dbges.de>

## Multivariate nicht-lineare Bestimmung von Einflußgrößen und Trends in den bundesweiten Daten der Bodendauerbeobachtung

*Schilli, C.<sup>1</sup>; Lischeid, G.<sup>2</sup>; Marahrens, S.<sup>3</sup>; Hiliges, F.<sup>3</sup>; Rinklebe, J.<sup>1</sup>*

### Einleitung

Die Bundesländer erheben im Programm der Boden-Dauerbeobachtung auf 794 Monitoringflächen (BDF) seit Anfang der neunziger Jahre zahlreiche Parameter der Bodenfestphase verteilt über Deutschland. Zu Beginn des Projektes wurden die in den verschiedenen Bundesländern vorliegenden Datenbestände vereinigt und in eine einheitliche Struktur gebracht.

Der vorliegende bundesweite Datenbestand der BDF sollte erstmalig multivariat ausgewertet werden, da Wechselwirkungen zwischen den untersuchten Parametern erwar-

tet werden können. Das Ziel der Studie war eine explorative, multivariate Auswertung des Datenbestandes, zur Identifikation von räumlichen Mustern und zeitlichen Trends sowie deren Interpretation.

Eine weitere wichtige Frage war dabei, ob bei der Auswertung des gesamten heterogenen Datenbestandes (unterschiedliche Flächen, Tiefenstufen, Untersuchungszeiträume) überhaupt fachlich erklärbare Regelmäßigkeiten erkannt werden können.

### Datengrundlage

Es lagen Analysen von Proben der Bodenfestphase von 529 BDF verschiedenster Nutzungen vor. Insgesamt wurden 3742 Bodenproben aus 2342 Horizonten (Auflage-, Mineralboden- und Untergrundhorizonte) untersucht. Für mehrere Horizonte liegen Ergebnisse von Wiederholungsuntersuchungen nach 5 oder 10 Jahren vor.

Untersucht wurden der pH-Wert, die Gehalte an totalem organischem Kohlenstoff (TOC) und gesamten Stickstoff ( $N_{ges}$ ) sowie die königswasserextrahierbaren Anteile der Schwermetalle Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Blei (Pb) und Zink (Zn).

### Statistische Verfahren

#### Selbst- Organisierende Karte mit Sammons Mapping (SOK-SM)

Die Selbst- Organisierende Karte (SOK) ist ein Typ der Künstlichen Neuronalen Netzwerke (Kohonen 2001). Die SOK ist ein leistungsfähiges Werkzeug zur Dimensionsreduktion mit dem Ziel der grafischen Darstellung der Ergebnisse. Die Proben werden als Punkte in einem definierten (in diesem Fall zweidimensionalen) Raum angeordnet. Die Position wird durch die Verwendung der Messergebnisse aller berücksich-

<sup>1</sup> Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D, Lehr- und Forschungsgebiet Boden- und Grundwassermanagement [schilli@uni-wuppertal.de](mailto:schilli@uni-wuppertal.de)

<sup>2</sup> ZALF Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V., Müncheberg und Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften - Geoökologie

<sup>3</sup> Umweltbundesamt - Dessau-Roßlau

tigten Parameter bestimmt. Die Kombination von SOK und Sammons Mapping (SOK-SM) (Sammon 1969) stellt die Ergebnisse so dar, dass die Distanzen in der Abbildung möglichst proportional zu den Unähnlichkeiten im ursprünglichen Datenbestand sind.

## Ergebnisse

In Abb. 1 wird das Ergebnis der SOK-SM dargestellt. Die zweidimensionale Darstellung erfasst mehr als 95% der im Datensatz enthaltenen Varianz.

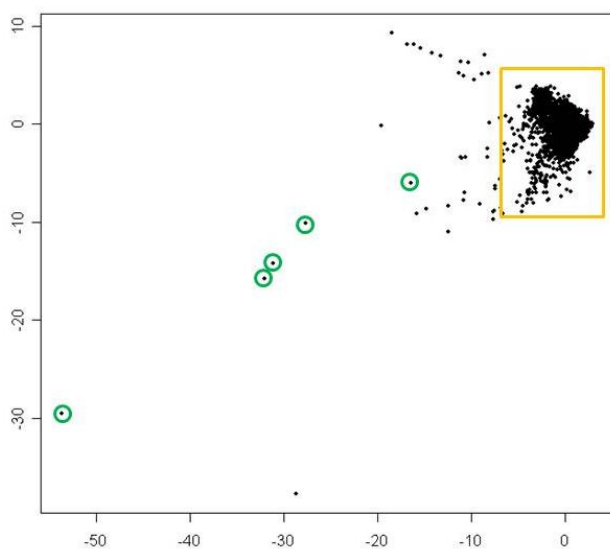


Abb. 1: Ergebnis der SOK-SM

### Interpretationshilfe

Die Beschriftung der Achsen dient ausschließlich zur Orientierung bei der Beschreibung der Daten.

Ein X- oder Y-Wert allein trifft generell keinerlei Aussage über den Gehalt eines einzelnen Stoffes. Ein Punkt mit hohen X- oder Y-Werten zeigt also nicht zwingend hohe Gehalte eines Stoffes oder aller Stoffe der zugehörigen Probe an.

Der Zusammenhang von der Höhe der gemessenen Werte und der Lage im Plot kann für jeden untersuchten Stoff sein.

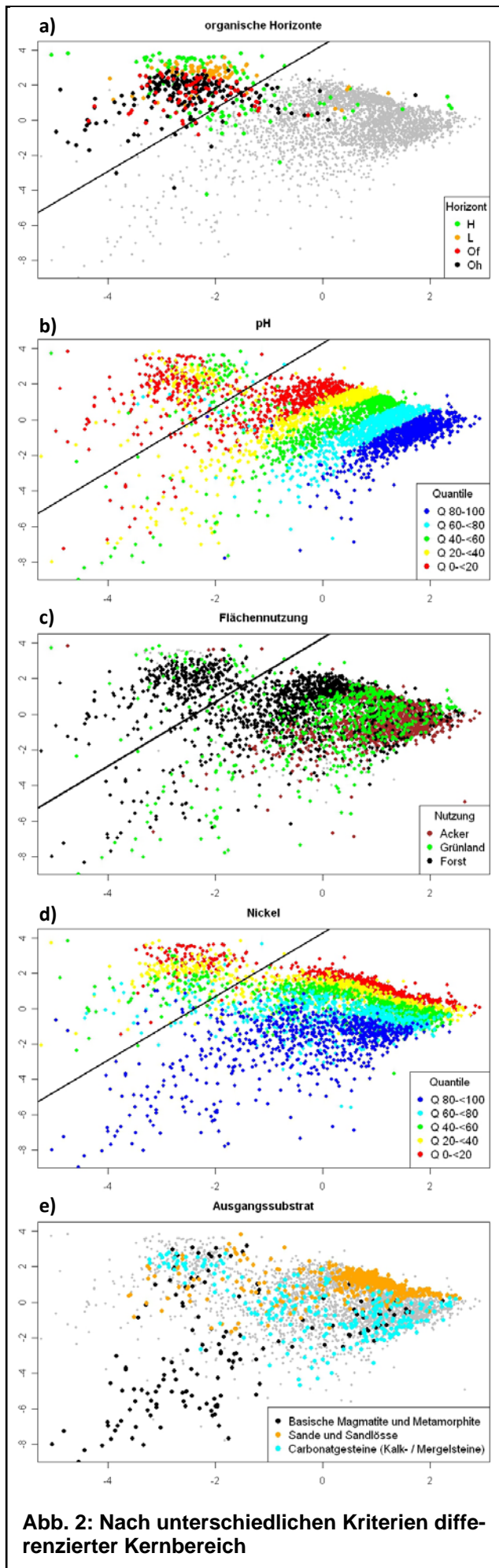
Zur Bewertung eines einzelnen Punktes ist die Lage in der Abbildung im Vergleich zu den anderen dargestellten Punkten wichtig.

Die Lage der Punkte in der Abbildung und deren Aussage wird erst im Vergleich mit der Darstellung der anderen Punkte verständlich. Die Lage von Punkten zueinander ist immer stoffspezifisch zu bewerten.

Abb.1 zeigt, dass sich die meisten Proben einem Kernbereich (orangenes Viereck) zuordnen lassen. Einige Proben befinden sich außerhalb des Kernbereiches. Die grün markierten Proben können einem stark mit Schwermetallen belasteten Auenstandort zugewiesen werden. Andere wiederum sind auf unsystematische Fehler in den Daten zurückzuführen. Bei den folgenden Interpretationen liegt der Fokus auf dem Kernbereich. Dieser lässt sich in zwei Cluster unterteilen. Zu dem kleineren Cluster links der Hilfslinie (Abb. 2a) gehören fast ausschließlich Proben organischer Horizonte. H-, L- und O-Horizonte unterscheiden sich anhand der Lage im kleinen Cluster. Rechts der Linie finden sich die Mineralboden Proben. Das wesentliche stoffliche Unterscheidungsmerkmal der Cluster sind die  $N_{ges}$ - und TOC-Gehalte (nicht gezeigt).

Für die Unterteilung der Mineralböden ist der pH-Wert ein entscheidendes Kriterium (Abb. 2b). Niedrige pH-Werte (blau) sind am rechten Rand des Clusters zu finden und steigen nach links oben (rot) an. Die organischen Horizonte links der Linie zeigen ein anderes Muster (Anstieg von rechts oben nach links unten).

Der pH-Gradient der Mineralböden spiegelt sich teilweise in der Flächennutzung (Abb. 2c) wider. Am rechten Rand des großen Clusters sind verstärkt Proben von Ackerflächen zu finden, während die Grünlandproben zentral dargestellt werden. Im Bereich niedriger pH-Werte sind fast ausschließlich Bodenproben aus dem Forst erkennbar.



Der pH-Wert und die Nutzung wirken sich nicht maßgeblich auf die Schwermetallgehalte der Mineralböden aus. Abb. 2d zeigt die Nickelgehalte. Nickel steht stellvertretend für die untersuchten Schwermetallgehalte (Ausnahme Cd). Chrom, Cu, Ni, Pb und Zn zeigen ein ähnliches Muster ansteigender Gehalte von rechts oben in beiden Clustern nach links unten.

Aus Abb. 2e kann geschlossen werden, dass die Bodenart bzw. das Ausgangssubstrat der Bodenbildung der erklärende Faktor für die Schwermetallgesamtgehalte ist. Im Bereich, in dem in Abb. 2d niedrige Ni-Konzentrationen vorliegen, sind in Abb. 2e sandige Substrate abgebildet. Mittlere und hohe Schwermetallgehalte sind hauptsächlich den tonigen Verwitterungsprodukten der Carbonatgesteine zugewiesen. Die geogen stark belasteten Verwitterungsprodukte der basischen Magmatite und Metamorphite sind im Bereich hoher Ni-Gehalte unterhalb des Clusters zu finden.

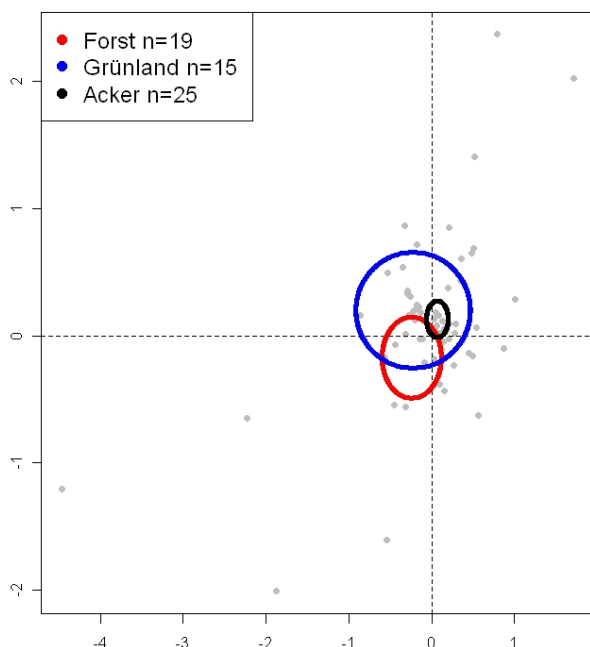
In den Abbildungen 2a bis 2e fallen einzelne Punkte auf, die sich nicht in die identifizierten Muster einreihen. Dies wird besonders bei den organischen Horizonten deutlich, die im Bereich der Mineralbodenproben zu finden sind. Eine Prüfung einzelner dieser Proben zeigten nicht plausible Messwerte oder fehlerhafte Benennungen der Horizonte. Bei einigen Oh-Horizonten, die im Cluster der Mineralböden liegen, ist auch eine mögliche Durchmischung mit dem darunterliegenden A-Horizont bei der Probenahme denkbar.

### Multivariate Trendanalyse

Bei der Trendanalyse (Abb. 3) wurde die Lage der Punkte der Erstbeprobung mit der der aktuellsten Wiederholungsuntersuchung verglichen. Es wurden nur die obe-

ren mineralischen Horizonte in die statistische Analyse einbezogen. In Abb. 3 ist die Verschiebung anhand der nutzungsspezifischen 95%-Signifikanzniveaus dargestellt. Der Punkt 0/0 stellt die jeweiligen Erstbeprobungen dar. Für Acker- und Forstflächen deutet sich eine systematische zeitliche Verschiebung an.

Die Ackerstandorte deuten eine Abnahme (Verschiebung nach rechts oben), die Forststandorte eine Zunahme (Verschiebung nach links unten) der Schwermetallgehalte an.



**Abb. 3: Ergebnis der multivariaten Trendanalyse: Veränderung des Zustandes von der Erst- zur Wiederholungsbeprobung**

## Fazit

Im großen heterogenen Datensatz der BDF können zahlreiche Regelhaftigkeiten erkannt und fachlich interpretiert werden. Räumliche Besonderheiten und zeitliche Trends konnten identifiziert werden. Eine Unterscheidung von bundesweit (z.B. Ausgangssubstrat) und regional/lokal relevanter Einflüsse (Deposition, Einzelstandorte) ist möglich. Zusätzlich kann die SOM-SK Hin-

weise auf Fehler im Datenbestand liefern und dient somit einer zusätzlichen Qualitätssicherung.

Aus den erkannten Regelhaftigkeiten können wichtige Hinweise für das zukünftige Monitoring abgeleitet werden. Außerdem ermöglichen sie eine gezielte Datenauswahl für fragestellungsbezogene Auswertungen zum Bodenschutz.

## Danksagung

Wir bedanken uns bei den Betreibern der BDF für die Datenbereitstellung. Vorliegende Forschungen wurden im Rahmen des F+E Vorhabens „Auswertung der Veränderungen des Bodenzustandes für Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze“ (FKZ 3707 71 203) finanziell gefördert.

## Schlüsselworte

Boden-Dauerbeobachtung, Schwermetalle, neuronale Netzwerke, multivariante Trendanalyse, Umweltmonitoring

## Literatur

Kohonen, T. (2001): Self-Organizing Maps. Springer Series in Information Sciences, 3rd edition, Vol. 30, Berlin.

Sammon, J.W. (1969): A Nonlinear Mapping for Data Structure Analysis. In: IEEE Transaction on computers, Vol.18, p. 401-409.

Schilli, C., Lischeid, G., Kaufmann-Boll, C., Lazar, S., Rinklebe, J. (im Druck): Auswertung der Veränderungen des Bodenzustandes für Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze, UBA-Texte, Dessau-Roßlau