

Tagungsbeitrag zu: Sitzung der Komm. V  
Titel der Tagung: Jahrestagung  
Veranstalter: DBG  
Termin und Ort der Tagung: Sept. 2011, Berlin  
Berichte der DBG (nicht begutachtete online  
Publikation), <http://www.dbges.de>

## „Fingerprinting“ – Indikatoren: Grundlage einer Bodenbewertung für nachhaltige Landnutzung?

Christian Siewert\*, Jiri Kucerik

Bodenverbrauch und globale Konkurrenz um Bodenressourcen erhöhen die Anforderungen an die Bodenbewertung. Ungeachtet einer intensiven Forschung behindert das Fehlen einer sicheren Unterscheidung zwischen Böden und anderen kohlenstoffhaltigen Substraten eine Bewertung nutzungsbedingter Veränderungen.

In eigenen Forschungsvorhaben wurde nach natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Böden gesucht, um eine Referenzbasis für nutzungsbedingte Bodenveränderungen aufzubauen. Dies war eine wesentliche Vorbedingung, um bodenspezifische Eigenschaften zu erkennen.

Bei der Analyse dieser Proben mit Thermogravimetrie fanden sich Beziehungen zwischen Bestandteilen in natürlichen Böden. Bei genutzten Böden wurden jeweils charakteristische Abweichungen festgestellt, die eine einfache Unterscheidung von Substraten ermöglichen.

Erste Ergebnisse dokumentieren die Vorgehensweise am Beispiel des bodenfremden Kohlenstoffs.

*Keywords: Bodenbewertung, naturnahe Referenzböden, Methoden, Bodennutzung, Landnutzung, Thermogravimetrie, Thermanalyse, black carbon*

---

\* Hochschule für Technik und Wirtschaft  
Dresden, Fakultät Landbau/Landespflege,  
Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden,  
[cs@csiewert.de](mailto:cs@csiewert.de)

## 1. Herausforderungen der Bodenbewertung

Böden gehören neben Wasser und Luft zu den essentiellen Lebensgrundlagen. Die Entstehung von Böden ist an langfristige Prozesse gebunden. Sie unterscheiden sich darin von anderen kohlenstoffhaltigen mineralischen Substraten und zählen deshalb zu den nicht erneuerbaren Ressourcen.

Im historischen Kontext gilt die Bodenbildung als Überlebensfaktor von Gesellschaften (Montgomery, 2007). Aktuell zeigt sich die Bedeutung von Böden im „Land-Grabbing“. Dieser Prozess markiert den Wandel der Bodennutzung durch Konkurrenz der Nahrungsmittel- und Energieproduktion und wird sich weiter beschleunigen (Bruinsma, 2010).

Für den Schutz der Böden müssen Auswirkungen der Bodennutzung für Produktion, Rohstoffgewinnung und urbane Entwicklung mit einheitlichen, überregional vergleichbaren Kriterien bewertbar sein. Die zeitliche und räumliche Dimension dieser Herausforderungen impliziert einen Bezug auf Gesetzmäßigkeiten der Bodenentwicklung, die für die Regulation ihrer Eigenschaften verantwortlich sind und Auswirkungen der menschlichen Nutzung auf andere Ökosysteme bestimmen. Darin eingeschlossen ist die Notwendigkeit einer praxisnahen Unterscheidung der Böden von anderen kohlenstoffhaltigen Substraten.

Leider fehlen bisher Erfahrungen zu natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Böden als Referenzgrundlage. Natürliche Böden sind wegen der langen Kulturgeschichte, historischen Waldrodungen und flächendeckenden Immissionen kaum nachweisbar. Schutzgebiete können dieses Fehlen wegen der Langfristigkeit der Bodenbildung nicht kompensieren.

## 2. Material und Methoden

In mehreren Forschungsvorhaben wurden natürliche, vom Menschen unbeeinflusste Böden aus unterschiedlichen Regionen und Klimazonen analysiert. Ziel war der Aufbau einer Referenzbasis für nutzungsbedingte Bodenveränderungen und regionale Variationen der Bodenbildung (DFG-Vorhaben Si

488/1-3, DFG Si 488/3-1; BMBF CHL 06/049; BMBF CHL 09/A04).

Probenaufbereitung und Untersuchungsmethode orientierten sich an wissenschaftstheoretischen Konzepten über die erdgeschichtliche Herausbildung von Bodenbildungsprozessen unter dem Einfluss der Wasserbindung an Ton und Humus (Siewert, 1994; Siewert und Schaumann, 2002). Die übliche Lufttrocknung zur Aufbereitung von Bodenproben wurde durch eine Lagerung bei 76 % relativer Luftfeuchte standardisiert. Die Analysen selbst beinhalten eine technisch einfache Gewichtsmessung von Bodenproben bei Erwärmung von 30 °C auf 950 °C (Thermogravimetrie) unter Verwendung handelsüblicher Thermowaagen.

### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse verweisen auf Möglichkeiten zur Bestimmung von Bodeneigenschaften (Gehalt an organischem und karbonatischem Kohlenstoff, Stickstoff und Ton) mit hoher Genauigkeit und geringen Kosten. Mehrfachbestimmungen unter Verwendung unter-

schiedlicher Temperaturbereichen erlauben eine Validierung der Ergebnisse (Siewert, 2004).

Bei der thermogravimetrischen Analyse von Substraten liefern die zur Bestimmung von Bodeneigenschaften verwendeten Masseverluste widersprüchliche Ergebnisse. Eine Validierung der Unterschiede ist durch Gegenüberstellung mit der klassischen Elementaranalyse möglich.

Die gleichzeitige Erfassung mehrerer Bodeneigenschaften mit Thermogravimetrie führte zum Nachweis von Beziehungen zwischen thermogravimetrischen Masseverlusten, die nur in natürlichen Böden existieren, bei Bodennutzung jeweils charakteristische Abweichungen zeigen und in anderen kohlenstoffhaltigen Substraten nicht nachweisbar sind.

Diese Besonderheit wird als methodischer Ausgangspunkt für eine Bodenbewertung gesehen, mit dem nutzungsbedingte Abweichungen vom Naturzustand erfasst werden können und die sich an der Existenz bodentypischer Regulationsprozesse für Eigenschaften orientiert. Folgende Ausführungen

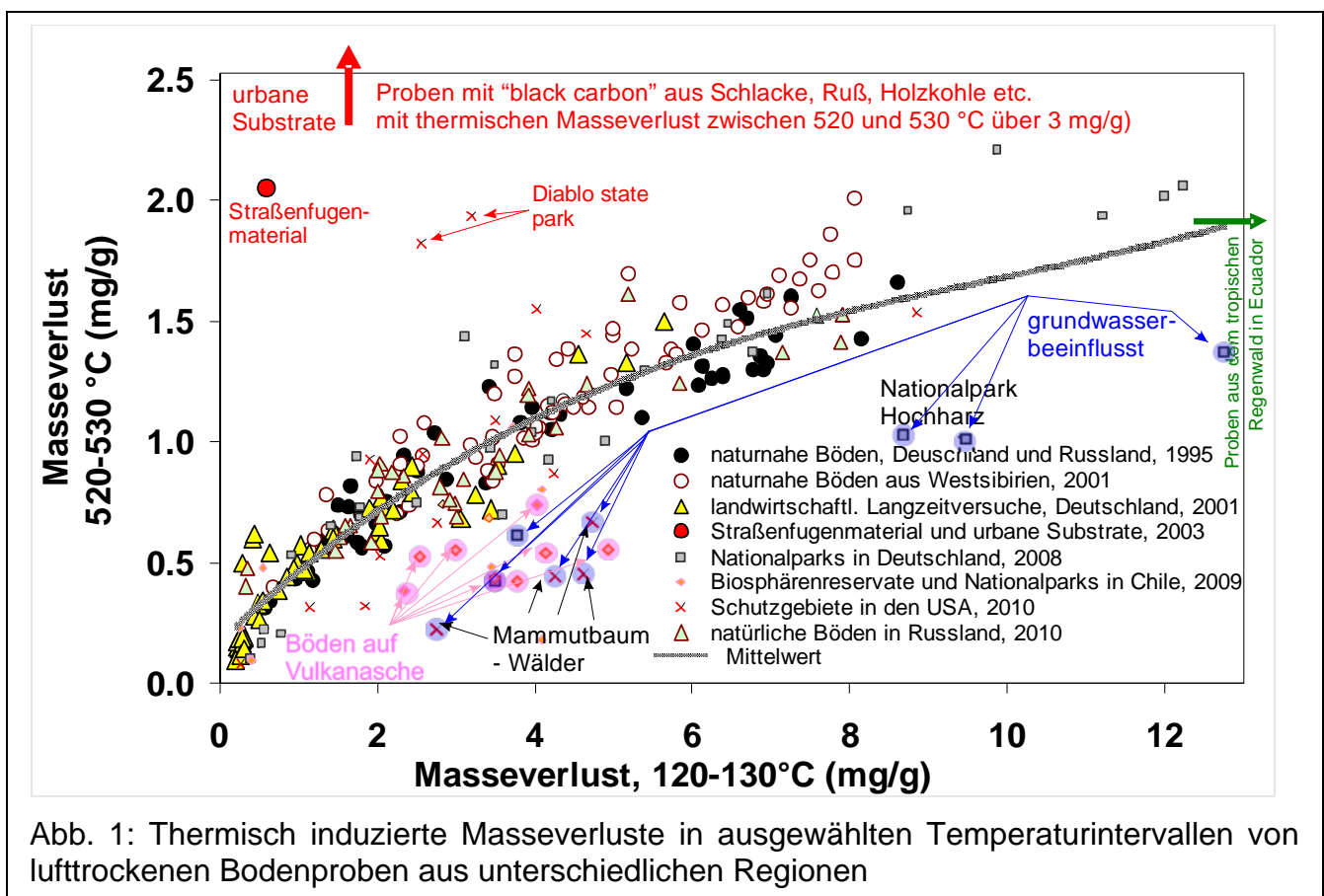


Abb. 1: Thermisch induzierte Masseverluste in ausgewählten Temperaturintervallen von luftgetrockneten Bodenproben aus unterschiedlichen Regionen

dokumentieren die Vorgehensweise am Beispiel des bodenfremden Kohlenstoff bzw. von so genanntem „black carbon“.

Abb. 1 zeigt thermisch induzierte Masseverluste in zwei Temperaturbereichen (120-130 °C und 520-530 °C). Dabei wird eine Beziehung erkennbar, die mit dem heutigen Wissenstandes zum Boden erklärbar ist.

Weil der Tongehalt die Fähigkeit von Böden zur Bindung von Wasser bestimmt, verhält sich die Menge an gebundenen Wassers in Böden proportional zum Tongehalt (Scheffer und Schachtschabel, 2002). Die Menge gebundenen Wassers wird bei Erwärmung als Masseverlust erfasst. Ist die Lufttrocknung der Proben standardisiert, ist der Zusammenhang zwischen Masseverlust und Tongehalt so eng, dass sich aus dem Masseverlust zwischen 120 °C und 130 °C der Tongehalt von Bodenproben berechnen lässt (Siewert, 2001).

Der Tongehalt ist außerdem verantwortlich für die Akkumulation humifizierter organischer Substanz während der Bodenbildung (Körschens et al. 1989, Rasmussen et al 1998). Humifizierte organische Bestandteile sind in der Regel thermisch stabil. Die Masseverluste bei Temperaturen zwischen 450 °C und 600 °C korrelieren in Böden daher mit dem Tongehalt. Zwischen 520 °C und 530 °C ist diese Korrelation besonders eng. Die Masseverluste in diesem Temperaturbereich eignen sich daher ebenfalls zur Bestimmung des Tongehaltes in Bodenproben (Siewert, 2004).

Weil die Masseverluste beider Temperaturbereiche vom Tongehalt beeinflusst werden, korrelieren sie miteinander und stellen somit eine plausible Bestätigung des heutigen Erkenntnisstandes zur Bedeutung des Tongehaltes dar.

Als Merkmal der Bodenbildung und der Abhängigkeit der Bodeneigenschaften von Umweltfaktoren (Bedeutung des geologischen Substrates für Wasserbindung und Humusakkumulation) stellt diese Beziehung eine bisher noch ungenutzte Referenzbasis zur Erfassung nutzungsbedingter Veränderungen dar. Sie eignet sich als Ansatzpunkt für ein „Fingerprinting“, das bodenspezifische

Merkmale mit einfachsten Methoden beschreibt.

Abweichungen von der Regressionskurve in Abb. 1 nach oben wurden z.B. in Böden mit bodenuntypischen kohlenstoffhaltigen Beimengungen aus Holzkohle, Asche, Schlacke, Dieselruß und andere Arten von so genanntem „black carbon“ gefunden. Diese Verbindungen sind entstehungsbedingt thermisch stabil. Die Masseverluste zwischen 520 °C und 530 °C erhöhen sich, weil neben tonabhängig akkumulierten Humusstoffen auch Masseverluste des bodenfremden Kohlenstoffs erfasst werden. Weil die die Masseverluste zwischen 120 °C und 130 °C nicht beeinflusst werden, wird „black carbon“ an Hand veränderter, für natürliche Böden untypischer Proportionen zwischen den Masseverlusten beider Temperaturbereiche sichtbar.

Darüber hinaus können die Gewichtsverluste zwischen 520 °C und 530 °C aus dem klassischen Tongehalt unter Verwendung der in natürlichen Böden nachgewiesenen Beziehung berechnet werden. Unterschiede der berechneten zu den gemessenen Masseverlusten zwischen 520 °C und 530 °C bestätigen dies.

Abweichungen in der Regressionskurve nach rechts sind mit erhöhter Wasserbindung erklärbar. In grundwasserbeeinflussten Böden führt die unvollständige Zersetzung pflanzlicher Rückstände zur Akkumulation organischer Substanz bis zur Ausbildung von Mooren. Diese Substanz bindet Wasser unabhängig vom Tongehalt (Scheffer und Schachtschabel, 2002). Dadurch werden die thermischen Masseverluste zwischen 120 °C und 130 °C erhöht und führen zu Abweichungen von der Regressionskurve nach rechts. Dies betrifft Böden aus dem Nationalpark Hochharz und Mammutbaum – Wälder im Nordwesten der USA.

Neben Pflanzensubstanzen zeichnen sich auch Vulkanaschen durch eine hohe Wasserbindung aus. Dies ist für mehrere Böden aus Chile zutreffend (z.B. Conguillo-Nationalpark) und führt zu gleichen Abweichungen nach rechts auf der X-Achse.

Neben der in Abb. 1 dargestellten Beziehung wurden in natürlichen Böden weitere vier bilaterale und zwei trilaterale Beziehungen gefunden. So korrelieren beispielweise in naturnahen Böden die Masseverluste zwischen 520 °C und 530 °C nicht nur mit den Masseverlusten zwischen 120 °C und 130 °C, sondern auch mit den Masseverlusten zwischen 270 °C und 280 °C. Diese und weitere Beziehungen lassen sich unabhängig voneinander für den Nachweis von bodenfremden Kohlenstoff nutzen. Die Kombination der Aussagen erhöht die Sicherheit der Aussagen und kann zur Diagnose anderer Aspekte der menschlichen Bodennutzung verwendet werden.

Die hier am Beispiel des bodenfremden Kohlenstoffs vorgestellte Verfahrensweise ist deshalb in weiterführenden Vorhaben für die Bewertung von Böden unter dem Einfluss unterschiedlicher Nutzungsrichtungen zu verifizieren.

#### 4. Fazit

Die Vielfalt von Beziehungen zwischen thermogravimetrisch quantifizierbaren Komponenten als Merkmal einer natürlichen Bodenbildung bietet interessante Ansatzpunkte für eine experimentelle Diagnostik von Bodenveränderungen mit überregional einheitlichen Kriterien.

Abweichungen von Beziehungen zwischen Masseverlusten in natürlichen Böden scheinen als Kriterium eines „Fingerprinting“ für die Diagnostik besser geeignet, als eine Interpretation von Peaks oder eine statistische Auswertung von Mustern der thermischen Zerfallsdynamik.

#### Literatur:

Bruinsma, Jelle (2011): World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. Earthscan Publications Ltd. London

Körschens M. Weigel A., Schulz E. (1998): Turnover of Soil Organic Matter (SOM) and Long-Term-Balances - Tools for Evaluating Sustainable Produktivity of Soils Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde. 161, 409-424.

Montgomery, David (2010): Dirt: The Erosion of Civilizations (Dreck: Warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert.). University of California Press. 2007

Rasmussen P. E., Keith W. T., Goulding J. R., Brown P. R., Grace H. Jansen. H., Körschens, M. (1998): Long-Term Agroecosystem Experiments: Assessing Agricultural Sustainability and Global Change. Science. 282, 893-896.

Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Aufl. - Stuttgart: Enke-Verlag

Siewert C. (1994): Ökosystemorientierte Grundlagen der Humusqualitätsbestimmung, Teil 1: Theoretisches Konzept zur Ableitung ökosystemarer Humusfunktionen. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 38, 127-147

Siewert, C. (1995): Ökosystemorientierte Grundlagen der Humusqualitätsbestimmung, Teil 3: Veränderungen thermogravimetrischer Charakteristika der organischen Bodensubstanz bei biologischer Umsetzung, Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Vol. 39, 53 – 68

Siewert, C. (2001): Investigation of the Thermal and Biological Stability of Soil Organic Matter. Shaker-Verlag, Aachen, ISBN 3-8265-9631-5

Siewert C. and Schaumann G. E. (2002): Evolution und erdgeschichtliche Genese von Bodenbildungsprozessen. Natur- und Kulturlandschaft. 5, 78-83.

Siewert, C., 2004. Rapid Screening of Soil Properties using Thermogravimetry. Soil Science Society of America Journal 68, 1656-1661.