

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG, Kommission I

Titel der Tagung:

Unsere Böden – Unser Leben

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

5.-10. September 2015, München

Berichte der DBG (nicht begutachtete Online-Publikation) <http://www.dbges.de>**Magnetische Suszeptibilität als Proxy für die Aggregatstabilität von vulkanischen Ascheböden in Südchile**Marc-O. Göbel¹, Jiem Krüger¹, Heiner Fleige², Rainer Horn², Jörg Bachmann¹**Zusammenfassung**

Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung im südlichen Chile hat zu einer erhöhten Erosionsanfälligkeit der dortigen Ascheböden geführt. Leicht zugängliche Informationen zur Einschätzung der Erodibilität sind daher wünschenswert. Eine entscheidende Determinante der Erosionsanfälligkeit eines Bodens ist die Aggregatstabilität (AS), die ihrerseits von einer Vielzahl von Faktoren (organische Bodensubstanz, Benetzbarkeit, Fe-/Al-Oxide) beeinflusst wird. Da die Verwitterung vulkanischer Aschen große Mengen aktiver Fe- und Al-Komponenten freisetzt, hat die Aggregatstabilisierung durch pedogene Fe- und Al-Phasen hier häufig einen herausragenden Stellenwert. Basierend auf dem in der Literatur beschriebenen Zusammenhang zwischen der Frequenzabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität (FA) von Böden und dem Gehalt an pedogenen Fe-Oxiden war es die Zielsetzung dieser Arbeit, zu überprüfen, inwiefern die FA zur Bewertung der AS vulkanischer Ascheböden verwendet werden kann. Hierfür wurden vier Standorte in Südchile entlang eines 120 km langen von der Zentralkordillere bis zur Küstenkordillere reichenden Transekts untersucht.

¹Institut für Bodenkunde, Leibniz Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, D-30419 Hannover, Germany

²Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, D-24118 Kiel, Germany

e-mail: goebel@ifbk.uni-hannover.de

Die Ergebnisse zeigen eine Zunahme der Gehalte an organischem Kohlenstoff und pedogenen Fe- und Al-Komponenten mit zunehmender Entfernung von der Zentralkordillere. In gleicher Weise konnte auch ein großräumiger Trend hinsichtlich der AS gefunden werden, die damit direkt mit den oben genannten Parametern korreliert ist. Bei großräumiger Betrachtung ergibt sich darüber hinaus auch ein enger Zusammenhang zwischen der FA und der AS. In situ Messungen der FA können somit prinzipiell dazu beitragen, kostengünstig und mit relativ geringem Zeitaufwand Informationen bezüglich der AS südchilenischer Ascheböden zu ermitteln.

Schlüsselworte: Aggregatstabilität, Ascheböden, Erodibilität, Magnetische Suszeptibilität

1. Einleitung

Die zunehmende Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung hat im südlichen Chile zu einer erhöhten Erodibilität der dortigen Ascheböden geführt (Ellies, 2000). Ein wichtiger Faktor zur Beurteilung der Erodibilität eines Bodens ist die Aggregatstabilität (AS) (Barthes und Roose, 2002), die ihrerseits wiederum von einer Vielzahl von Faktoren determiniert wird. Eine besonders wichtige Rolle in diesem Zusammenhang spielen die Benetzbarkeit (Goebel et al., 2012), die organische Bodensubstanz (Chenu et al., 2000) und die Gehalte an pedogenen Fe- und Al-Phasen (Ferrihydrit, Allophan) (Bartoli et al., 1988). Bei der Verwitterung vulkanischer Aschen werden große Mengen aktiver Fe- und Al-Komponenten freigesetzt (Shoji et al., 1993). Daher hat die Stabilisierung durch pedogene Fe- und Al-Phasen hier häufig einen herausragenden Stellenwert (Churchman und Tate, 1987; Huygens et al., 2005). Eine charakteristische Eigenschaft fehaltiger Minerale ist deren hohe magnetische Suszeptibilität (MS), d.h. deren Magnetisierbarkeit in einem externen magnetischen Feld (Igel et al., 2012). Die MS ist keine konstante Größe, sondern hängt stark von der Partikelgröße ab (Liu

et al., 2012). Unterhalb einer bestimmten Partikelgröße zeigen Fe-haltige Minerale superparamagnetisches Verhalten. Superparamagnetische Partikel zeigen eine deutlich höhere MS im Vergleich zu größeren Partikeln und können die MS selbst bei geringen Konzentrationen dominieren (Dearing et al., 1996). Der Partikelgrößengrenzwert ab dem superparamagnetisches Verhalten auftritt ist dabei nicht konstant, sondern abhängig von der Frequenz des magnetischen Feldes. Diese Frequenzabhängigkeit (FA) der MS kann durch Messung bei unterschiedlichen Frequenzen erfasst werden (Torrent et al., 2006). Auf Basis des in der Literatur beschriebenen Zusammenhangs zwischen der FA und dem Gehalt an pedogenen Fe-Oxiden war es Zielsetzung dieser Arbeit zu überprüfen, inwiefern die FA zur Bewertung der AS vulkanischer Ascheböden herangezogen werden kann. Dabei wurde von folgenden Hypothesen ausgegangen:

(I) Die Bildung pedogener Fe- und Al-Phasen ist eng aneinander gekoppelt. Daher kann die FA generell als Maß für die Menge pedogener Fe- und Al-Phasen verwendet werden.

(II) Pedogene Fe- und Al-Phasen sind ein wichtiger Einflussfaktor für die AS. Daher kann die FA als Proxy für die AS verwendet werden.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an Bodenmaterial aus vier Untersuchungsgebieten entlang eines etwa 120 km langen, vom Westabhang der Zentralkordillere (U1, U2; Haplic Arenosol (tephric)) über das zentrale Längstal (U3; Silandic Andosol) bis an den Ostrand der Küstenkordillere (U4; Silandic Andosol) reichenden Transekts durchgeführt (Abb. 1). Um die lokalen, nutzungsbedingten Einflüsse und Veränderungen der Bodeneigenschaften zu analysieren, wurden innerhalb der Untersuchungsgebiete Flächen unterschiedlicher Nutzung (Weide, Wald, Acker) ausgewählt. Innerhalb dieser Nutzungsflächen wurde Bodenmaterial an repräsentativen Standorten jeweils in Tie-

fen von 0–5, 20–25, 40–45 und 60–65 cm entnommen und luftgetrocknet.

Die MS wurde mittels eines Bartington MS2B-Systems (Bartington Instruments, Witney, UK) bestimmt. Die Messung erfolgte im Labor an luftgetrocknetem Material (<63 µm) bei zwei unterschiedlichen Anregungsfrequenzen (0,465 und 4,65 kHz). Hieraus wurde die FA berechnet, die als semi-quantitatives Maß für die Menge an pedogen gebildeten Eisenphasen verwendet werden kann (Torrent et al., 2006).

Die AS wurde mittels eines modifizierten Siebverfahrens bestimmt. Für die Messung wurden in dreifacher Wiederholung jeweils 12 Aggregate aus den Tiefen 0–5 und 20–25 cm (8–12 mm Durchmesser, ~0,25 g pro Aggregat) in eine Schale eingewogen und mit deionisiertem Wasser überstaut. Nach einer Überstauzeit von 24 h wurden die Aggregate vorsichtig in ein Becherglas mit Siebsatz überführt und mittels Ultraschallsonotrode (Labsonic M; Sartorius Stedim, Göttingen) mit einer Energie von 110 J/ml beschallt. Die einzelnen Fraktionen (>2, 2–1,6, 1,6–1, 1–0,25, <0,25 mm) wurden in Schälchen überführt, bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und ihre Massenanteile bestimmt. Der Massenanteil der Fraktion >2 mm wurde als Maß für die AS verwendet.



Abb. 1. Untersuchungsgebiete im südlichen Chile.

3. Ergebnisse und Diskussion

Es existieren für eine Reihe von bodenphysikalischen und -chemischen Basisparametern (Lagerungsdichte, Porenziffer, Gehalt an organischer Substanz,

dithionitlösliches Eisen und Aluminium) deutliche Unterschiede zwischen den jüngeren Arenosolen nahe der Zentral-kordillere (U1, U2) und den stärker entwickelten Andosolen (U3, U4). Dies gilt jedoch nicht für den pH-Wert, der im gesamten Untersuchungsraum nur in einem engen Bereich von pH 4,3 bis pH 5,6 schwankt. Darüber hinaus zeigt sich, dass der Einfluss der Nutzung in Bezug auf die untersuchten Parameter relativ gering ist.

In Abb. 2 ist zu sehen, dass die AS in der Regel mit zunehmender Entfernung von der Vulkankette ansteigt und direkt an der Oberfläche höher ist als in 20-25 cm Tiefe, was direkt mit den Gehalten an organischer Substanz korreliert. Dabei weisen die Aggregate der Waldstandorte generell die höchste Stabilität auf.

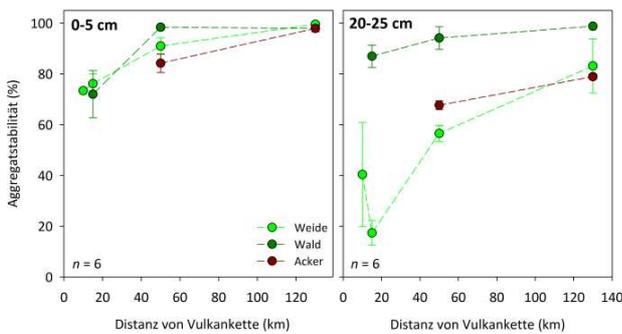


Abb. 2. Aggregatstabilität entlang des Transekts.

Abbildung 3 zeigt den großräumigen Zusammenhang zwischen der AS und dem Gehalt an dithionitlöslichem Eisen und Aluminium auf der Basis von Mittelwerten (gemittelt über alle Tiefen und Nutzungsvarianten) und verdeutlicht die wichtige Rolle pedogener Fe- und Al-Phasen für die Stabilität von Aggregaten.

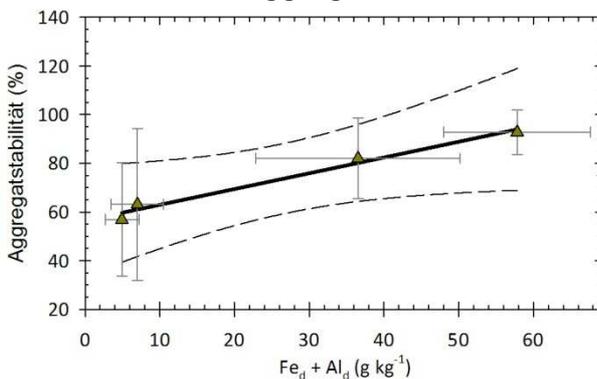


Abb. 3. Zusammenhang zwischen Aggregatstabilität und dithionitlöslichem Eisen und Aluminium.

Die Ergebnisse der Suszeptibilitätsmessungen zeigen, dass deutliche Unterschiede zwischen den Arenosolen (U1, U2) und den Andosolen (U3, U4) im Hinblick auf die MS und vor allem die FA bestehen. Während die FA mit zunehmender Entfernung von der Vulkankette kontinuierlich zunimmt, zeigt die MS zumindest tendenziell einen gegenläufigen Trend.

Dabei zeigt sich, dass kein Zusammenhang zwischen der MS und dem Gehalt an pedogenen Fe-Phasen (Fe_d) existiert. Offensichtlich wird die MS in erster Linie durch andere Fe-Komponenten, wie z.B. Magnetit hervorgerufen, die eine quantitativ bedeutsame Komponente vulkanischer Aschen darstellen (Botto et al., 2013). Dagegen zeigt die FA einen engen Zusammenhang mit Fe_d und aufgrund der Korrelation zwischen Fe_d und Al_d auch eine enge Beziehung zur Gesamtmenge an pedogenen Fe- und Al-Phasen ($Fe_d + Al_d$; z.B. Ferrihydrit und Allophan) (Abb. 4).

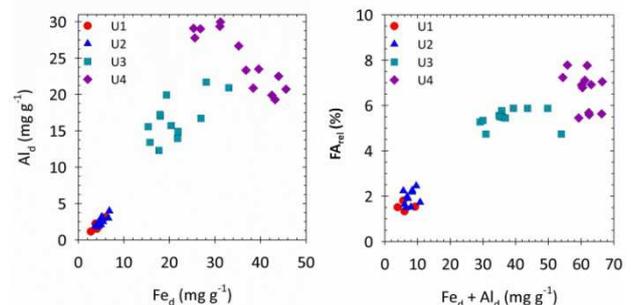


Abb. 4. Zusammenhang zwischen dithionitlöslichem Aluminium (Al_d) und Eisen (Fe_d) (links) und Frequenzabhängigkeit (FA) als Funktion von $Fe_d + Al_d$ (rechts).

Abbildung 5 zeigt, dass bei großräumiger Betrachtung, d.h. bei Mittelung der Werte über alle Tiefen und Nutzungsvarianten, eine enge lineare Beziehung zwischen AS und FA besteht. Dieser sehr enge Zusammenhang ist bei einer differenzierteren Betrachtung nicht mehr gegeben, wobei jedoch auch hier eine hohe FA grundsätzlich mit einer großen AS einher geht.

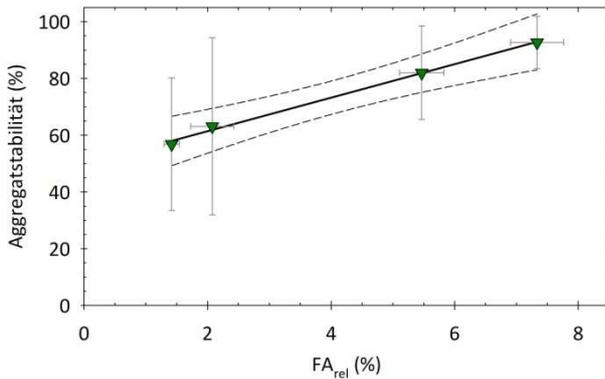


Abb. 5. Aggregatstabilität als Funktion der Frequenzabhängigkeit (FA).

4. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen bestätigen den vermuteten Zusammenhang zwischen Fe_d und FA und deuten damit an, dass die FA in erster Linie durch pedogene, superparamagnetische Fe-Phasen hervorgerufen wird. Die enge Korrelation zwischen Fe_d und Al_d lässt auf eine parallele (synchrone) Bildung pedogener Fe- und Al-Phasen schließen. Aus diesem Grund zeigt die FA auch einen sehr engen Zusammenhang mit dem Gesamtgehalt an dithionitlöslichem Fe und Al (Fe_d+Al_d) und lässt sich somit als Parameter zur Einschätzung der Gesamtmenge pedogener Fe- und Al-Phasen verwenden.

Die Ergebnisse bestätigen darüber hinaus die wichtige Funktion von pedogenen Fe- und Al-Phasen für die Stabilisierung von Aggregaten. Trotz dieser engen Korrelationen zeigt sich jedoch, dass die FA bei einer differenzierten Betrachtung aller Nutzungsvarianten und Tiefen nur eingeschränkt als Proxy für die AS verwendet werden kann, da hier auch die tiefenabhängige Variation der organischen Substanz einen sehr starken Einfluss hat. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass für die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Böden die FA der MS als schnell und kostengünstig zu ermittelnder Parameter zur initialen Einschätzung der AS verwendet werden kann.

Literatur

Barthes B, Roose E (2002) Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff

and erosion; validation at several levels. *Catena* 47, 133-149.

Bartoli F, Philipp R, Burtin G (1988) Aggregation in Soils with Small Amounts of Swelling Clays.1. Aggregate Stability. *J. Soil Sci.* 39, 593-616.

Botto IL, Canafoglia ME, Gazzoli D, Gonzalez MJ (2013) Spectroscopic and microscopic characterization of volcanic ash from Puyehue-(Chile) eruption: preliminary approach for the application in the arsenic removal. *J. Spectrosc.*, doi: 10.1155/2013/254517.

Chenu C, Le Bissonnais Y, Arrouays D (2000) Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1479-1486.

Churchman GJ, Tate KR (1987) Stability of aggregates of different size grades in allophanic soils from volcanic ash in New Zealand. *Catena* 38, 19-27.

Dearing JA, Dann RJL, Hay K, Lees JA, Loveland PJ, Maher BA, Ogrady K (1996) Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J. Int.* 124, 228-240.

Ellies A (2000) Soil erosion and its control in Chile – An overview. *Acta Geol. Hisp.* 35, 279-284.

Goebel MO, Woche SK, Bachmann J (2012) Quantitative analysis of liquid penetration kinetics and slaking of aggregates as related to solid-liquid interfacial properties. *J. Hydrol.* 442, 63-74.

Huygens D, Boeckx P, Van Cleemput O, Oyarzun C, Godoy R (2005) Aggregate and soil organic carbon dynamics in South Chilean Andisols. *Biogeosciences* 2, 159-174.

Igel J, Preetz H, Altfelder S (2012) Magnetic viscosity of tropical soils: classification and prediction as an aid for landmine detection. *Geophys. J. Int.* 190, 843-855.

Liu Q, Roberts AP, Larrasoana JC, Banerjee SK, Guyodo Y, Tauxe L, Oldfield F (2012) Environmental magnetism: Principles and applications. *Rev. Geophys.* 50, doi: 10.1029/2012RG000393.

Shoji S, Dahlgren R, Nanzyo M (1993) Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization. In: Shoji S, Nanzyo M, Dahlgren R (Eds.), *Volcanic Ash Soils: Genesis, Properties and Utilization, Developments in Soil Science*, vol. 21. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands, pp. 37-71.

Torrent J, Barron V, Liu QS (2006) Magnetic enhancement is linked to and precedes hematite formation in aerobic soil. *Geophys. Res. Letters* 33, doi: 10.1029/2005GL024818.