

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG, Kommission V

Titel der Tagung:

Böden – eine endliche Ressource

Veranstalter: DBG, September 2009, BonnBerichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation) <http://www.dbges.de>**WRB- Klassifizierung von Tonverlagerungsböden im Gelände mittels Gammastrahlungssignaturen in Nordthailand**Ulrich Schuler¹, Petra Erbe², Karl Stahr³,
Ludger Herrmann³**Zusammenfassung**

Die Tonverlagerung ist der wichtigste bodenbildende Prozess in Nordthailand (Schuler 2008). In Abhängigkeit von Petrographie, Topographie und Klima kommt es im Wesentlichen zur Bildung von Acrisolen und Alisolen, untergeordnet treten daneben auch Luvisole und Lixisole auf. Entsprechend der WRB 2006 Klassifikation (World Reference Base for Soil Resources IUSS Working Group WRB 2006) lassen sich diese Referenzbodengruppen nur anhand der Kationenaustauschkapazität des Tons und der Basensättigung voneinander unterscheiden. Der erste Parameter lässt sich jedoch nur durch zeitraubende und kostenintensive Analysen bestimmen, was für Bodenkartierer unbefriedigend ist, da diese Information schon im Feld sehr hilfreich sein kann. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, herauszufinden, ob sich Tonverlagerungsböden anhand ihrer Gammastrahlungssignaturen bereits im Feld voneinander unterscheiden lassen. Zugrunde liegt hier die Annahme, dass unterschiedliche Tonverlagerungsböden eine spezifische Tonmineralzusammen-

setzung aufweisen, welche sich in der Geochemie und folglich in der Gammastrahlungssignatur widerspiegelt. Sowohl die bodenbasierte als auch die luftgestützte Messung der Gammastrahlung von Tonverlagerungsböden über Kalkstein ergab höchst signifikant unterschiedliche Strahlungssignaturen für K, eU, und eTh. Insbesondere die K- und eTh-Signaturen erlaubten eine deutliche Trennung von Acrisolen und Alisolen. Sollten sich die Messungen auch an anderen Lokalitäten und bei anderem Ausgangsgestein wiederholen lassen, dann ließen sich zukünftig mehr Tonverlagerungsböden mit einem tragbaren Strahlungsmessgerät und pH-Meter bereits im Feld voneinander unterscheiden. Zur Kartierung größerer Areale kann theoretisch eine Klassifizierung durch luftgestützte Messungen vorgenommen werden. Damit könnten enorme Analysenkosten eingespart werden.

Einleitung und Motivation

Weltweit sind Tonverlagerungsböden in feucht-gemäßigten bis feucht-tropischen Klimaten weit verbreitet. Nach der WRB 2006 Klassifikation (IUSS Working Group WRB 2006) werden diese über die Basensättigung und die Kationenaustauschkapazität des Tons voneinander unterschieden. Während die Basensättigung durch eine Korrelation mit dem pH-Wert in Abhängigkeit des Ausgangsgesteins relativ gut im Gelände abgeschätzt werden kann, benötigt die Bestimmung der Kationenaustauschkapazität des Tons teure und zeitaufwendige Laboranalysen. Für den Bodenkartierer ist diese Situation unbefriedigend, insbesondere dann, wenn wie in Thailand, die meisten Tonverlagerungsböden Acrisole oder Alisole sind, welche sich nur über diesen Parameter voneinander abgrenzen lassen. Die Kationenaustauschkapazität des Tons hängt von der Tonmineralzusammensetzung ab. Als Proxy für diese kann die Kaliumkonzentration herangezogen werden (z.B. Illit vs. Kaolinit). Die Kaliumkonzentration radioaktiver K-Isotope kann durch die Messung der Gammastrahlung bestimmt werden. Daraus ergibt sich die theoretische Möglichkeit, durch Gammastrahlungsmessung verbunden mit der Textur-

¹BGR, Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany²The Uplands Program, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand³Institut für Bodenkunde und Standortslehre (310), Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart, Germany

information die KAK des Tons zu schätzen und damit die Böden schon im Gelände zu klassifizieren. Dies setzt allerdings voraus, dass unterschiedliche Bodenbildung zu charakteristischen Strahlungssignaturen führt, die sich mit einem tragbaren Strahlungsmessgerät im Gelände bestimmen lassen. Das Ziel dieser Arbeit besteht also in der Untersuchung, ob sich Tonverlagerungsböden auf diesem Wege entsprechend der WRB-Klassifikation voneinander unterscheiden lassen.

Methodik

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Nordthailand, Mae Hong Son Provinz, im Dorfgebiet von Bor Krai. Bodenausgangsgesteine sind zu 62% Kalkstein, und zu 37% Ton- und Sandsteine. Nach WRB 2006 Nomenklatur (IUSS Working Group WRB 2006) bestehen die Referenzbodengruppen überwiegend aus Alisolen (64%), gefolgt von Acrisolen (27%), Nudilithic Leptosolen oder nacktem Kalkstein (5%). Die Besonderheit des Untersuchungsgebietes besteht in dem Vorkommen unterschiedlicher Tonverlagerungsböden aus gleichem Ausgangsgestein. Dabei gehen auf Kalkstein ab ungefähr 800 m ü. NN Alisole in Acrisole über. Verantwortlich dafür ist ein topographisch bedingter Klimagradient, der sich durch eine Zunahme der Niederschläge mit der Meereshöhe bei gleichzeitigem Temperaturrückgang auszeichnet, was zu erhöhten Sickerungsraten der Böden führt (Herrmann et al. 2007). Auf Tonsteinen überwiegen Alisole mit punktuellen Vorkommen von Luvisolen, die sich auf karbonathaltige Sickerwässer zurückführen lassen (Schuler 2008).

Die Gammastrahlung von K, eTh und eU wurde mit einem tragbaren Gammastrahlungsmessgerät der Typenbezeichnung „Geophysical Gamma-Ray Spectrometer GRM-260“ (Gf Instruments, s.r.o. Geophysical Equipment and Services, Czech Republic) bestimmt. Während die beim Zerfall von ^{40}K zu ^{40}Ar emittierte Gammastrahlung direkt gemessen werden kann, besteht bei der Messung der U- und Th-Konzentrationen das Problem, dass ^{232}Th und ^{238}U in eine Serie von Tochternukliden zerfallen, bis schließlich die

stabilen Pb-Isotope erreicht sind. Daher werden die Strahlungsspitzen von ^{208}Tl und ^{214}Bi verwendet, um die Konzentration von U und Th annähernd zu bestimmen. Aus diesem Grund werden die Konzentrationen von U und Th in eU und eTh (e=„equivalent“) ausgedrückt (Minty 1997). Im Untersuchungsgebiet wurden die Gammastrahlungssignaturen von 18 Bodenprofilen und 3 verschiedenen Gesteinstypen bestimmt. Für jedes Bodenprofil wurde die Strahlung von K, eTh und eU in einem 10 cm Intervall mit 3 Wiederholungen und einer Messzeit von 3 Minuten gemessen. Das gemessene Energiespektrum reicht von 0,401 bis 3,001 MeV oder von $0,003 \times 10^{-4}$ bis $4,13 \times 10^{-4}$ Nanometer Wellenlänge. Die entsprechenden Sensitivitätskoeffizienten der Gammastrahlung von K, eTh und eU lagen bei 0,01929; 16, 5 und 10,2 mg kg $^{-1}$ je Zählimpuls. Zur Vermeidung einer Beeinflussung der Messung durch Bodenfeuchte, wurden die Messungen in den Trockenzeiten (Oktober bis Mai) der Jahre 2007 bis 2009 durchgeführt.

Um die typische Mineralogie der Böden zu bestimmen, wurden Ober- und Unterbodenproben jeweils eines Acrisols, Alisols und Ferralsols aus Kalkstein genommen und einer Röntgendiffraktionsanalyse unterzogen. Diese erfolgte mittels Cu K α -Strahlung. Pulverpräparate wurden für die Bestimmung der Gesamtmineralogie verwendet, während orientierte Proben zur Tonminerlanalyse herangezogen wurden. Diese umfasst die Belegung mit K und Mg. Zur weiteren Unterscheidung wurden die Mg-Proben mit Glycerin behandelt, während die K-Proben jeweils auf 400 und 600°C erhitzt wurden. Die halbquantitative Bestimmung der Tonmineralzusammensetzung erfolgte mit dem Software-Paket Diffrac AT 3.3 (Siemens). Für die quantitative Auswertung der Gesamtmineralogie wurde die Rietveld Software AutoQuan (Seifert) verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Messungen ergaben unterschiedliche Gammastrahlungssignaturen für verschiedene Bodenausgangsgesteine und Referenzbodengruppen. Kalksteine offenbarten sehr niedrige Radioelement-

durchschnittskonzentrationen mit 0,2 % K, 2,0 mg kg⁻¹ eU und 4,0 mg kg⁻¹ eTh. Tonsteine zeigten dagegen deutlich höhere Durchschnittskonzentrationen mit 2,5 % K, 3,8 mg kg⁻¹ eU, und 12,9 mg kg⁻¹ eTh. Bei der Unterscheidung der Böden spielten die K- und eTh-Signaturen eine große Rolle, wohingegen eU weniger charakteristische Signaturen lieferte. Dies kann auf das Auftreten von flüchtigem Radon in der Zerfallskette von U zurückgeführt werden, so dass die gemessenen eU Konzentrationen stark von der realen U-Ausgangskonzentration abweichen (Wilford et al. 1997). Acrisole und Alisole aus Kalkstein wiesen höchst signifikant unterschiedliche K- und eTh-Konzentrationsbereiche auf (Abb. 1).

Schlussfolgerung

Die Untersuchungen zeigten, dass sich die Kationenaustauschkapazität des Tons von Tonverlagerungsböden zumindest auf Kalkstein anhand der K- und eTh-Strahlensignaturen ableiten lässt. Dabei

waren nahezu sämtliche Alisole durch hohe K- und niedrige eTh-Konzentrationen charakterisiert, wohingegen die Acrisole hohe K- und niedrige eTh-Konzentrationen aufwiesen. Die wenigen Ausreißer wiesen grenzwertige Kationenaustauschkapazitäten des Tones von 24 cmol_c+kg⁻¹ Ton auf. Die vergleichsweise hohen K-Konzentrationen der Alisole lassen sich durch deren relativ hohen Anteil an Smectit und Illit erklären. Die Bodenentwicklung hin zu den Acrisolen führt zu einem Verlust an Basen und Silikat, wodurch es zur Bildung von Kaolinit und Gibbsit kommt, was zu einer K-Abreicherung führt. Gleichzeitig findet verstärkt die Bildung von Sesquioxiden statt, die für eine relative U- und Th-Anreicherung verantwortlich sein kann. Alisole und Luvisole aus Tonstein sind durch vergleichbare K- und eTh-Konzentrationen gekennzeichnet, weshalb eine vergleichbare Tonmineralogie zu vermuten ist. Im Profil der Tonverlagerungsböden ist häufig eine Zunahme der Gammastrahlung von K und eTh mit dem Tongehalt und der Tiefe messbar (Abb. 2).

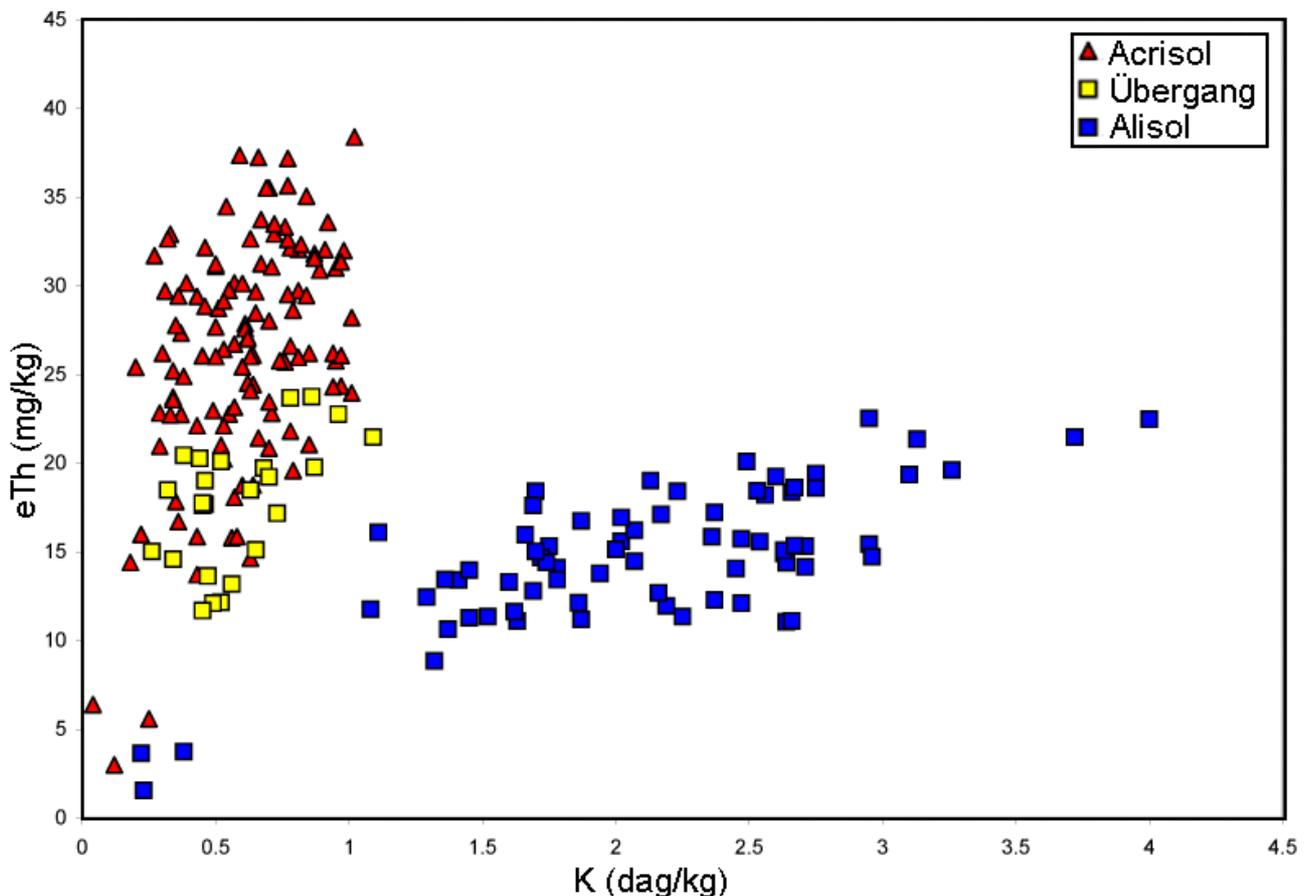


Abbildung 1: Binärer Plot der K- und eTh-Strahlung von Bodenprofilen aus Kalkstein im Bor Krai Gebiet.

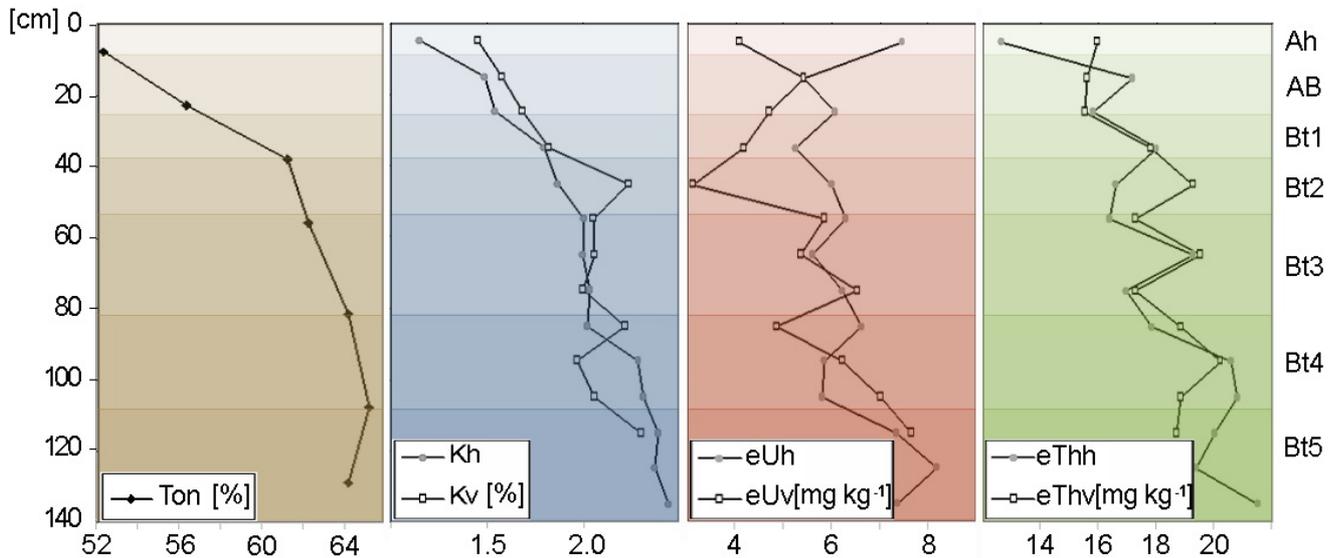


Abbildung 2: Tiefenfunktion von Tongehalt und Gammastrahlung eines Alisols aus Tonstein (K = Kalium, U = Uran, Th = Thorium, h = horizontal gemessen, v = vertikal gemessen).

Dabei ist die Tiefenfunktion des K/eTh-Verhältnisses relativ konstant. Durch pH-Wertbestimmung lassen sich die entsprechenden Basensättigungen relativ leicht abschätzen, so dass sich mit Hilfe eines Strahlungsmessgerätes und eines pH-Messgerätes alle Tonverlagerungsböden bereits im Feld voneinander unterscheiden lassen. Sollte sich dieses Ergebnis in anderen Gebieten und auf anderen Ausgangsgesteinen reproduzieren lassen, dann würde dies die Effizienz der Bodenkartierung erheblich steigern. Zusätzlich kann die Korrelation der Tiefenfunktion des Tongehaltes mit der K- und eTh-Strahlung wahrscheinlich dazu verwendet werden, die Bodendegradation von Tonverlagerungsböden sowohl durch bodengestützte Messungen als auch luftgestützt zu quantifizieren.

Dank

Diese Forschungsarbeit wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 564 (SFB 564) durchgeführt, und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert. Für die Bestimmung der Tonmineralfraktion ergeht Dank an Dr. M. Zarei, D. Frobel und A. Zipp. W. Rangubpit sei für die Durchführung der Strahlungsmessung im Gelände gedankt.

Literatur

IUSS Working Group WRB (2006): World reference base for soil resources 2006.

World Soil Resources Reports No. 103, FAO, Rome.

Dickson and Scott (1997): Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2), 187-200.

Herrmann, L. Anongrak, N., Zarei, M., Schuler, U., Spohrer, K. (2007): Factors and processes of gibbsite formation in Northern Thailand. *Catena* Vol. 71 (2), pp. 279-291.

Minty, B.R.S. (1997): Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics* 17(2), 39-50.

Schuler, U. (2008): Towards regionalisation of soils in northern Thailand and consequences for mapping approaches and upscaling procedures. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 89, 308p.

Taylor, M.J., Smettem, K.R.J., Pracilio, G., Verboom, W.H., (2002). Relationships between soil properties and high-resolution radiometrics, central eastern Wheatbelt, Western Australia. *Exploration Geophys.* 33, 95-102.

Wilford, J.R., Bierwirth, P.N., Craig, M.A. (1997). Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2), 201-216.