

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>

Auswirkung der K-Düngungsintensität sowie des Matrixpotenzials auf die Mikrostabilität strukturierter Oberböden

Heibach, P.¹, Holthusen, D.¹, Horn, R.¹

Zusammenfassung

Mit Hilfe rheologischer Messungen soll die Wirkung der Kalium-Düngungsintensität auf die Bodenmikrostabilität erfasst werden. In Amplitudentests (ASTs) kann gezeigt werden, dass der Gehalt des Bodens an pflanzenverfügbarem Kalium in Wechselwirkung mit sowohl Textur als auch Bodenstruktur einen unterschiedlichen Einfluss auf die Scherstabilität des Materials hat. Weiterhin wird deutlich, dass bei abnehmendem Matrixpotenzial Meniskenkräfte eine stabilisierende Wirkung auf die Bodenmatrix ausüben, wobei diese Stabilisierung durch wechselnde Kaliumgehalte je nach Textur entweder verstärkt oder abgeschwächt wird. Insgesamt ist bei tonigerem Material eine Destabilisierung des Bodens mit zunehmendem Kaliumgehalt zu beobachten, während mittlere Kaliumgehalte auf schluffig-sandiges Material stabilitäts-erhöhend wirken.

Stichworte: Rheologie, Mikromechanik, Bodenstabilität, Kalium

Einleitung

Vor dem Hintergrund eines sich ändernden Klimas gewinnt die Ernährung einer wachsenden Erdbevölkerung unter zunehmend trockeneren Bedingungen an Bedeutung. Gerade in Gegenden, die schon heute mit Ernteausfällen durch Dürreereignisse zu kämpfen haben, ist daher eine Erhöhung der Trockenstressresistenz von Kulturpflanzen anzustreben. Diese kann durch

eine angepasste Kalium-Düngung erreicht werden (Reeb 2011).

Neben einer Steigerung der Wassernutzungseffizienz des Bewuchses kann auch die Verbesserung der Wasserspeicherung in und der Nachlieferung aus dem Boden Ertragseinbußen bei Trockenheit entgegenwirken. Eine Erhöhung der Bodenstabilität, welche die Bodenstruktur und damit potenzielle Fließwege für Bodenwasser unempfindlicher gegenüber (Scher-) Deformation macht, kann nachweislich durch Kalzium-Ionen erzielt werden. Monovalenten Kationen hingegen wird eine dispergierende und damit stabilitätserniedrigende Wirkung im Boden zugeschrieben. Dennoch konnte in der Vergangenheit in Mikroscherversuchen an homogenisierten Böden eine Stabilisierung des Bodens durch K⁺ festgestellt werden (Holthusen et al. 2010).

Diese Mikroscherversuche wurden auch im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführt. Sie ermöglichen durch ein kleines Probenvolumen (< 2 cm³) sowie geringe Scherdeformation die Erfassung der Scherstabilität auf der Partikelebene.

Material und Methoden

Die Bodenproben stammen aus den Ap-Horizonten zweier langjähriger Kalium-Steigerungsversuche in der Magdeburger Börde (Ut2-3) sowie der Lüneburger Heide (Su2-3) und unterscheiden sich deutlich in ihren physikochemischen Eigenschaften (Tab. 1).

Tab. 1: Physikochemische Parameter der untersuchten Oberböden. DL-lösl. K = doppellaktatlösliches (pflanzenverfügbares) Kalium.

	S	U	T	Humus (Gew.-%)	pH (CaCl ₂)	DL-lösl. K (mg/kg)
Su2-3	66	27	7	6,6	4,8	30
	71	25	4	5,1	4,2	40
	70	26	4	6,4	4,3	110
	70	24	6	6,0	4,1	140
Ut2-3	3	86	11	2,6	7,3	100
	2	86	12	2,6	7,4	160
	2	86	12	2,6	7,3	270
	3	85	12	2,7	7,3	300

¹ Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel.
 E-Mail: p.heibach@soils.uni-kiel.de

Zur Untersuchung der mikrostrukturellen Scherfestigkeit wurden im Rheometer MCR300 (Fa. Anton Paar) deformationsgesteuerte Amplitudentests im Oszillationsmodus durchgeführt (für die Messkonfiguration im Detail siehe Markgraf et al. 2006). Um die Auswirkung des K-Gehalts im Boden auf eine eventuelle Strukturierung erfassen zu können, wurden die Messungen sowohl an homogenisiertem als auch an strukturiertem Material durchgeführt. Für die homogenisierte Variante wurde luftgetrocknetes, auf < 2 mm gesiebtes Oberbodenmaterial angefeuchtet und mit einer Lagerungsdichte von $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ in Zylinder verfüllt, während die Proben der strukturierten Variante aus ungestörten Zylinderproben ausgestochen wurden. Die auf diese Weise hergestellten Proben wurden durch kapillaren Aufstieg mit destilliertem Wasser gesättigt und eine Hälfte davon in fünffacher Wiederholung auf ein Matrixpotenzial von -15 kPa vorentwässert.

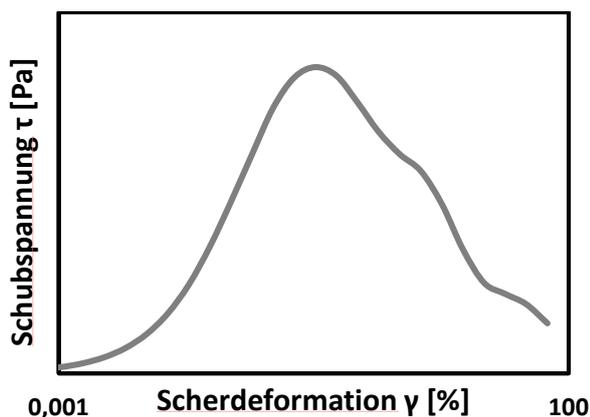


Abb. 1: Schematische Darstellung des Verlaufs der Schubspannung τ in Abhängigkeit der Scherdeformation γ während eines Amplitudentests.

Abb. 1 zeigt schematisch den Verlauf der Scherfestigkeit als Schubspannung τ in Abhängigkeit der Scherdeformation während eines Amplitudentests. Mit zunehmender Deformation von 10^{-3} bis 100 % nimmt zunächst der Widerstand der Probe gegen die Verformung zu, bis nach einem Maximum die Scherfestigkeit durch Zerstörung von Aggregaten und/oder Einregelung von Partikeln wieder abnimmt.

Ergebnisse

Die Messungen machen eine Abhängigkeit der Scherstabilität des Bodens von der Textur, der Bodenstruktur, dem Matrixpo-

tenzial sowie dem Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium deutlich. Abb. 2 zeigt die Veränderung der Schubspannung im Verlauf der Messung mit zunehmender Deformation der Bodenprobe für Su2-3. Der gleiche Sachverhalt kann Abb. 3 für Ut2-3 entnommen werden. Beide Abbildungen zeigen weiterhin das Scherverhalten des Bodens in der homogenisierten (hom) und der strukturierten (str) Variante sowie bei quasi-Sättigung und Vorentwässerung auf -15 kPa.

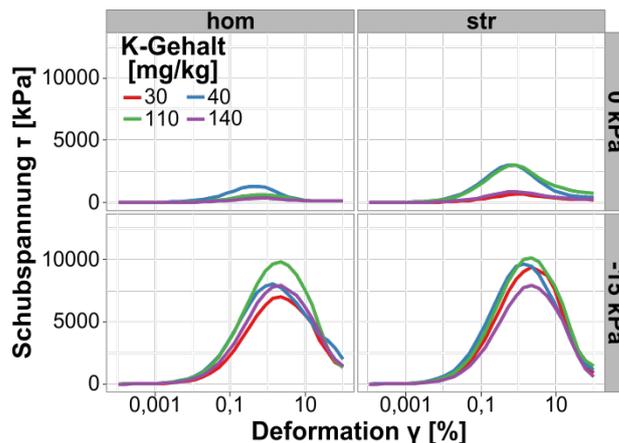


Abb. 2: Veränderung der Schubspannung τ im Verlauf der Messung bei steigender Deformation γ in Abhängigkeit des Kaliumgehalts im Boden für Su2-3. ASTs wurden sowohl an homogenisiertem (hom) als auch an strukturiertem (str) Material sowie bei quasi-Sättigung und Vorentwässerung auf -15 kPa durchgeführt. Die Kurvenverläufe repräsentieren das arithmetische Mittel aus fünf Messungen.

Aus Abb. 2 wird deutlich, dass – besonders bei quasi-Wassersättigung in der strukturierten Variante – mittlere K-Gehalte den schluffig-sandigen Boden im Vergleich zu sowohl niedrigen als auch hohen K-Gehalten stabilisieren können. Die Messung der Schubspannung an ungestörtem Material führt meist zu höheren Werten, als sie an homogenisierten Proben erzielt werden. Eine Verringerung des Matrixpotenzials von 0 auf -15 kPa führt sowohl bei intakter Bodenstruktur als auch im homogenisierten Zustand zu einer deutlichen Vergrößerung des Schubspannungsmaximums sowie einer Verschiebung in Richtung höherer Deformationswerte.

Tonschluff zeigt ein teilweise vom schluffig-sandigen Material abweichendes Verhalten (Abb. 3): Während die homogenisierte Variante bei Vorentwässerung auf -15 kPa ebenfalls durch mittlere Kaliumgehalte eine Stabilisierung erfährt, nimmt die Empfindlichkeit des strukturierten Bodens gegen-

über Scherdeformation mit zunehmendem Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium zu. Dies wird besonders deutlich bei Vorentwässerung auf -15 kPa, während sich bei quasi-Wassersättigung nicht ganz so große Unterschiede zwischen den K-Gehaltsstufen ergeben.

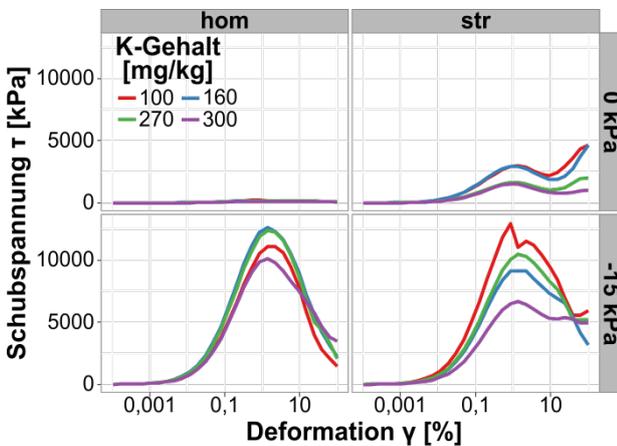


Abb. 3: Veränderung der Schubspannung τ im Verlauf der Messung bei steigender Deformation γ in Abhängigkeit des Kaliumgehalts im Boden für Ut2-3. ASTs wurden sowohl an homogenisiertem (hom) als auch an strukturiertem (str) Material sowie bei quasi-Sättigung und Vorentwässerung auf -15 kPa durchgeführt. Die Kurvenverläufe repräsentieren das arithmetische Mittel aus fünf Messungen.

Die bei Entwässerung des Bodens wirksamen Meniskenkräfte führen zu einer Stabilisierung sowohl des homogenisierten als auch des strukturierten Materials.

Diskussion

Die zu beobachtenden Unterschiede in der Reaktion der untersuchten Böden auf eine Zunahme des pflanzenverfügbaren Kaliums lassen sich nicht zuletzt auf deren unterschiedliche Textur zurückführen. Je kleiner Partikel werden, desto mehr gewinnen ihre Oberflächeneigenschaften an Bedeutung, die wiederum unter anderem von der Mineralogie, der Wertigkeit und Konzentration von Ionen in der Bodenlösung sowie dem pH-Wert abhängen (u.a. Franks 2002, Tombácz & Szekeres 2004, 2006).

Der strukturierte Tonschluff zeigt deutlich eine dispergierende und damit destabilisierende Wirkung der monovalenten Kationen, sowohl bei quasi-Wassersättigung, als auch bei einem Matrixpotenzial von -15 kPa. Im Vergleich zu mehrwertigen verursachen einwertige Kationen eine Zunahme der Dicke der diffusen Doppelschicht und somit der abstoßenden Kräfte

zwischen den Partikeln (Ise & Sogami 2005). Im homogenisierten Tonschluff führen bei einem Matrixpotenzial von 0 kPa Scherkräfte zur Einregelung der plättchenförmigen Partikel, folglich einer Anordnung ihrer Flächen zueinander (Markgraf et al. 2006). In diesem Zustand zeigt die Bodenprobe gleitendes Scherverhalten ohne einen messbaren Scherwiderstand, unabhängig des Gehaltes an pflanzenverfügbarem Kalium. Das in der Probe enthaltene Wasser wirkt hier als Schmiermittel (Ghezzehei & Or 2001). Die Zunahme der Stabilität der homogenisierten, entwässerten Variante des Ut2-3 ist eine Folge der Vorbehandlung des homogenisierten Materials. Bei der Siebung auf < 2 mm gelangen nicht nur Primärpartikel, sondern auch Aggregate dieser Größe durch das Sieb, die durch die vorhergehende Lufttrocknung eine starke Vorschumpfung erfahren haben. Dadurch können Kalium-Salzausfällungen im Aggregatinneren eingeschlossen und für Wasser unzugänglich gemacht werden, was durch Zementierung eine Stabilisierung der Aggregate verursacht (Soulié et al. 2007, Dexter et al. 2010).

Im schluffig-sandigen Material entsteht durch den hohen Anteil vergleichsweise großer (bis zu 2 mm bei einem Messspalt von 4 mm), runder Partikel bei der Scherung Reibung, die in Verbindung mit einer Viskositätssteigerung der Bodenlösung durch steigende Salzkonzentration (Holthusen et al. 2012) zu einer Stabilitätszunahme führt. Durch eine schnelle Zunahme der scheinbaren Kohäsion durch Menisken sowie eine Aufkonzentrierung der in der Bodenlösung gelösten Salze bei Entwässerung nimmt diese Stabilität bei einem Matrixpotenzial von -15 kPa noch zu. Weiterhin wirken bei Sand schon geringe Gehalte organischer Substanz stabilisierend (Holthusen 2010); der hier untersuchte Su2-3 wird nach KA 5 als *sehr humos* klassifiziert (Ad-hoc-AG Boden 2005).

Schlussfolgerung

Die hier durchgeführten Mikroscherversuche an einem tonig-schluffigen und einem schluffig-sandigen Oberboden konnten zeigen, dass mittlere Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium teilweise zu einer Zu-

nahme der Scherstabilität führen können. Die Ausnahme stellt in der vorliegenden Untersuchung der Tonschluff mit intakter Bodenstruktur dar. Hier werden die allgemein bekannten dispergierenden Eigenschaften monovalenter Kationen deutlich. Weiterhin konnte eine Stabilisierung der Bodenmatrix durch Meniskenzug bei Entwässerung des Materials festgestellt werden. Im Hinblick auf eine Verbesserung der Wassernachlieferung zur Pflanzenwurzel durch die Stärkung der Bodenstruktur kann eine angepasste Kaliumdüngung auf schluffig-sandigen Standorten so einen Beitrag zur besseren Nutzung des Bodenwassers durch Kulturpflanzen liefern.

TOMBÁ CZ, E.; SZEKERES, M. (2006). *Appl. Clay Sci.* **34**, 105-124

Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005). *Bodenkundliche Kartieranleitung*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

DEXTER, A.R., RICHARD, G., DAVY, J., HARDY, M., DUVAL, O. (2010). *SSSAJ* **75 (2)**: 444-455

FRANKS, G.V. (2002). *J. Coll. Int. Sci.* **249**, 44-51

GHEZZEHEI, T.A. & OR, D. (2001). *Soil Sci. Soc. Am. J.* **65 (3)**: 624 - 637.

HOLTHUSEN, D., PETH, S., HORN, R. (2010). *Soil Till. Res.* **111**: 75 - 85.

HOLTHUSEN, D.; HAAS, C.; PETH, S.; HORN, R. (2012). *Soil Till. Res.* **125**, 61-71

ISE, N., SOGAMI, I. S. (2005). *Structure Formation and Solution – Ionic Polymers and Colloidal Particles*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

MARKGRAF, W., HORN, R., PETH, S. (2006). *Soil Till. Res.* **91**: 1 – 14

REEB, D. (2011). *Einfluss der Kaliumdüngung auf das Wachstum und die Wassernutzungseffizienz von Ackerbohne (Vicia faba), Sommerweizen (Triticum aestivum) und Tomate (Solanum lycopersicum) unter Kontroll-, Trockenstress- bzw. Salinitätsbedingungen*. Diss. Uni Gießen.

SOULIÉ, F.; EL YOUSOUFI, M. S.; DELENNE, J.-Y.; VOIVRET, C.; SAIX, C. (2007). *Powder Technol.* **175**, 43-47

TOMBÁ CZ, E.; SZEKERES, M. (2004). *Appl. Clay Sci.* **27**, 75-94