

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG, Kom. VIII  
Titel der Tagung: Böden – eine endliche  
Ressource  
Veranstalter: DBG, September 2009, Bonn  
Berichte der DBG (nicht begutachtete onli-  
ne Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **Stabilisierungseffekte von Pflanzenwurzeln als Möglichkeit zur Reduzierung der mechanischen Bodendeformationen in Grünland**

Trükmann, K.<sup>1</sup>, Horn, R.<sup>1</sup>

### **Einleitung**

Pflanzenwurzeln können den Boden stabilisieren. Die Mechanismen sind generell hydrologischer oder mechanischer Natur. Die Wurzeln sind in der Lage Makroporen zu bilden, diese sind stabiler als Interagregatporen (Jakobsen & Dexter 1988). Außerdem entziehen Wurzeln aus dem Boden Feuchtigkeit, die über Transpiration an die Atmosphäre abgegeben wird. Dadurch entsteht in der Wurzelumgebung ein Porenwasserunterdruck (Greenway 1987), wodurch der Partikelzusammenhalt erhöht wird. Weiterhin werden Bodenaggregate durch Wurzeln stabilisiert, indem sie feinere Partikel miteinander vernetzen. Auf diese Art entstandene Makroaggregate sind sogar nach dem Absterben der Wurzeln noch stabil (Amezketta 1999). Wurzeln erhöhen die Scherfestigkeit, indem sie Bodenschichten miteinander verankern und dadurch ein verbindendes Netzwerk durch das Profil bilden (Ziemer 1981).

Es gibt viele verschiedene Untersuchungen über die Nutzung der Vegetation als Erosionsschutz von Böschungen sowie den Uferschutz an Gewässerrändern (Polen 2007; Norris 2005; Operstein & Frydman 2000). Über Wurzeln im Zusammenhang mit Bodenverdichtung gibt es zwar viele Untersuchungen (z.B: Bengough et al. 1997; Atwell 1993), aber diese beziehen sich ausschließlich auf die negativen Auswirkungen auf die Durchwurzelbarkeit und

nicht auf den Einfluss von Wurzeln auf den Boden. Die Zielsetzung dieser Arbeit ist daher, die Beeinflussung der mechanischen Stabilität des Bodens durch Wurzeln darzustellen.

### **Material und Methoden**

Die Versuchsfläche befindet sich im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins (Versuchsgut Hohenschulen der CAU Kiel). Es wurde der humose Oberboden (Ap bis 25cm Tiefe) einer Pseudogley-Parabraunerde untersucht. Die vorliegende Bodenart ist ein starklehmiger Sand (SI4). Die durchschnittlichen Jahresniederschläge liegen zwischen 700 und 750 mm. Die Tagesmitteltemperatur im Jahresdurchschnitt ist 7,8 °C (Kage & Ströh 2004).

Es handelt sich um einen Dauergrünland-Verdichtungsversuch (angesät mit Ansaatmischung im Jahre 2004). Die Verdichtung erfolgte durch Überfahrten mit einem Schlepper-Güllefass-Gespann (Kontaktflächendruck 228kPa), wobei drei Überfahrungsvarianten stattfanden: 0x – Kontrolle (unbefahren); 1x – eine Überführung (zum Vegetationsbeginn im Frühjahr) und 2x – zwei Überfahrten (im Frühjahr und im Sommer). Es wurden ungestörte Bodenproben aus 5 und 20cm Tiefe entnommen, die Beprobung hat ca. 3 Monate nach der jeweiligen Überführung stattgefunden.

Zur Quantifizierung des Armierungseffektes der Wurzeln im Boden wurden die Bodenstabilitätsparameter: Vorbelastung ( $P_v$ ) und Scherwiderstand ( $\tau$ ) bestimmt. Das Drucksetzungsverhalten der auf -60 hPa vorentwässerten Bodenproben wurde mit einer Multistepanlage bei stufenweise steigender Auflast (von 10 bis 400kPa) bestimmt. Die Ermittlung des Wertes erfolgt mit dem grafischen Verfahren nach Casagrande (1936). Für die Bestimmung der Scherparameter wurden zuvor auf -60 hPa vorentwässerte und komprimierte (40, 70, 100, 200 und 400kPa) Bodenproben im direkten Scherversuch (dränierter Kastenscherversuch) mit konstantem Vortrieb ( $0,03\text{mm min}^{-1}$ ) unter definierter Auflast ( $\sigma_n$ ) abgesichert und dabei der Scherwiderstand ( $\tau$ ) gemessen. Über die Mohr Coulomb'schen Formel:

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \varphi + c \quad (1)$$

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel.  
[k.truekmann@soils.uni-kiel.de](mailto:k.truekmann@soils.uni-kiel.de)

wurden der Winkel der inneren Reibung  $\varphi$  und die Kohäsion  $c$  ermittelt. Im Anschluss daran wurden die Bodenproben zerteilt und die Wurzeln mit Hilfe eines Siebes mit einer Maschenweite von 0,25mm ausgewaschen, anschließend gescannt und die Scannbilder (Graustufenbilder) mit WinRhizo 2003b ausgewertet. Aus den gewonnenen Daten wurde die Oberfläche der Wurzeln ( $O$ ) nach folgende Formel berechnet:

$$O = 2\pi r \cdot (h + r) \quad (2)$$

wobei  $r$  der mittlere Radius und  $h$  die Gesamtlänge der Wurzeln im Boden sind. Das Trockengewicht der Wurzeln wurde ermittelt bei 65 °C nach 24h (Böhm 1979). Zu Bestimmung des Zugfestigkeit von Wurzeln wurden Pflanzen vorsichtig aus dem Boden entnommen, Wurzeln ausgewaschen und in Plastiktüten mit 15%iger Ethanollösung bei einer Temperatur von 10° C gelagert (Böhm 1979). Vor der Messung wurde die Durchmesser der Wurzeln mit Hilfe eines Dickenmessgeräts (bei definierter Kraft von 0,2N) sowie deren Länge bestimmt. Anschließend wurden die Wurzeln an beiden Enden mit speziellen Klemmen befestigt und über einen vertikalen Zug schließlich zerrissen. Aus der Kraft ( $F$ ), bei der die Wurzel zerreißt und die Wurzelfläche ( $A$ ) wird die Zugfestigkeit nach folgender Formel berechnet:

$$T_R = \frac{F}{A} \quad (3)$$

## Ergebnisse

Die Vorbelastung als Maß für die Tragfähigkeit des Bodens weist eine Abhängigkeit von der Tiefe auf (Abb. 1). Die Werte sind in 5cm Tiefe geringer (0x, 1x) als in 20cm. Des Weiteren zeigt sich ein Einfluss der Überfahrung, da die Werte in der 1x (20cm) und 2x (5cm Tiefe) überfahrenen Fläche im Vergleich zur 0x überfahrenen leicht gestiegen sind. Wurzeln haben auch einen Einfluss auf den Vorbelastungswert (Abb. 2). Mit steigendem Trockengewicht der Wurzeln im Boden steigt auch der Vorbelastungswert als Maß der Stabilität. Der Scherwiderstand nimmt mit steigender Wurzeloberfläche im Boden unter beiden Auflaststufen zu (Abb. 3). Der Scherparameter Kohäsion ist in 5cm Tiefe im Vergleich zu 20cm Tiefe höher (Abb. 4). Der

Winkel der inneren Reibung lässt keinen Tiefeneffekt erkennen (Abb. 5). Des Weiteren kann man feststellen, dass die Überfahrungsintensität keinen signifikanten Einfluss auf die Parameter: Kohäsion und Winkel der inneren Reibung haben.

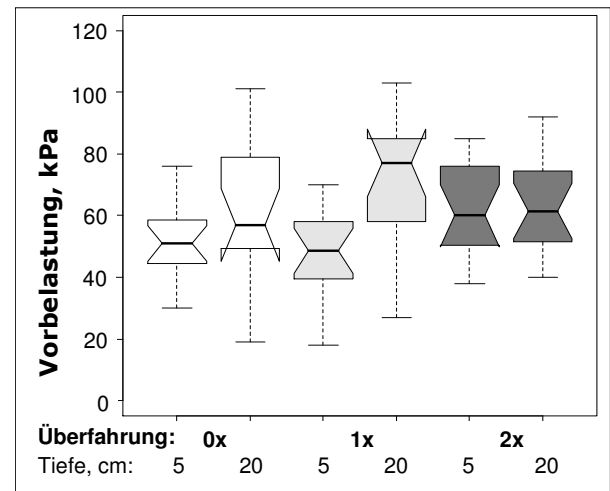


Abb. 1 Einfluss der Überfahrungshäufigkeiten auf die Vorbelastung in den Tiefen 5 und 20cm, n=16.

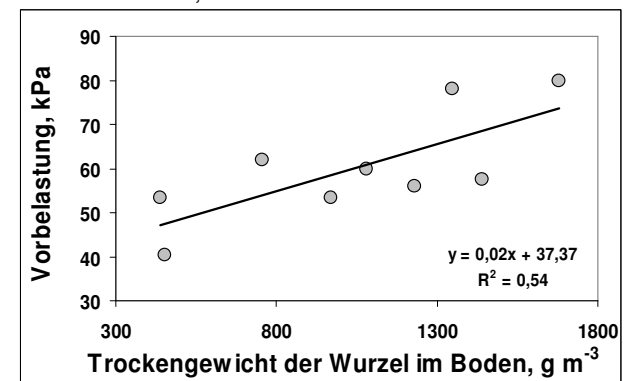


Abb. 2: Korrelation zwischen Trockengewicht der Wurzel und Vorbelastung. Dargestellt sind die Werte aus 5cm Tiefe aus allen Überfahrungsvarianten.

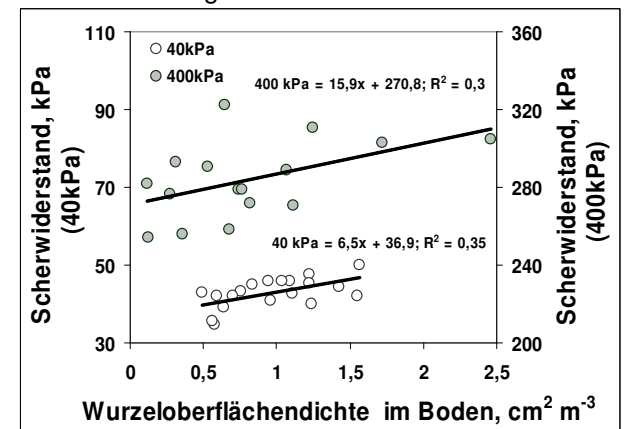


Abb. 3: Korrelation zwischen Wurzeloberfläche im Boden und den maximalen Scherwiderstand unter den Auflasten von 40 und 400kPa. Dargestellt sind die Werte aus 5cm Tiefe aus allen Überfahrungsvarianten.

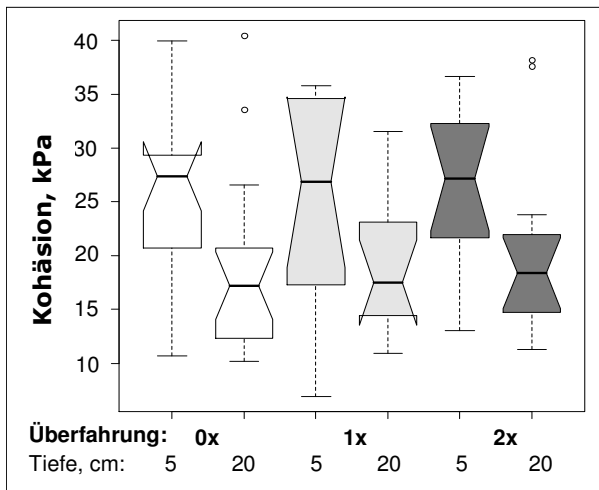


Abb. 4 Einfluss der Überfahrungshäufigkeiten auf die Kohäsion in den Tiefen 5 und 20cm, n=12.

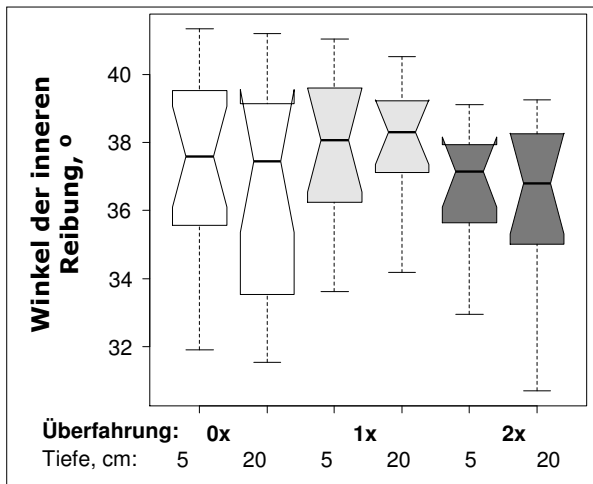


Abb. 5 Einfluss der Überfahrungshäufigkeiten auf den Winkel der inneren Reibung in den Tiefen 5 und 20cm, n=12.

Aus der Korrelation in Abb. 6 kann man erkennen, dass die Erhöhung des Scherwiderstandes durch die Erhöhung der Kohäsion zustande kommt. Mit steigender Wurzeloberfläche im Boden steigt die Kohäsion.

Es gibt eine hohe Korrelation zwischen Wurzelradius und Reißkraft (Abb. 7). Je dicker die Wurzel, desto mehr Kraft wird benötigt, um sie zu zerreißen. Die Zugfestigkeit wird jedoch berechnet pro Flächeneinheit. Daher sind dünnere Wurzeln bezogen auf die Querschnittsfläche stabiler als dicke Wurzeln und folglich nimmt die Zugfestigkeit mit zunehmendem Durchmesser ab (Abb. 7).

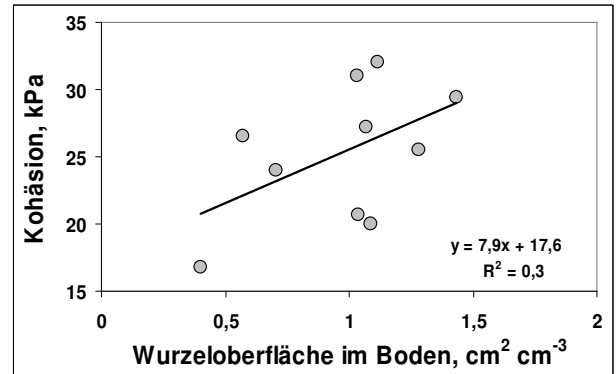


Abb. 6: Korrelation zwischen Wurzelradius und Kohäsion. Proben aus 5cm Tiefe aus allen Überfahrungshäufigkeiten.

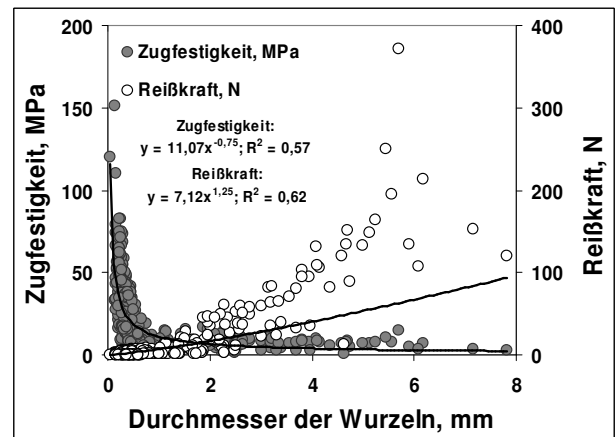


Abb. 7: Korrelation zwischen Wurzelradius und Zugfestigkeit bzw. Reißkraft.

## Diskussion

Die Wurzeln von Grünlandvegetation (Gras und Leguminosen) können den Boden stabilisieren und dessen Tragfähigkeit erhöhen. Die Untersuchungen ließen eine Erhöhung der Vorbelastung mit steigender Wurzelmasse in 5cm Tiefe erkennen. Aber wir konnten keine durch Überfahrungshäufigkeiten bedingte Erhöhung der Bodenstabilität feststellen. Durch eine intensive Durchwurzelung der Oberkrume im Grünland können Bodendrucke besser aufgefangen und kompensiert werden. Kleinfelder et al. (1992) und Vossbrink et al. (2002) konnten belegen, dass die einaxiale Druckfestigkeit in Auenböden mit Krautvegetation oder in Waldböden mit einer intensiven Krautschicht deutlich größer waren als in unbewachsenen Flächen. Des Weiteren erhöhen Wurzeln die Tragfähigkeit in Waldböden und Fahrspurtiefen werden verringert (Cofie et al. 2000).

Den Stabilisierungseffekt von Wurzeln konnten wir auch anhand des Scherwiderstandswertes feststellen. Die Wurzeln erhöhen die Scherfestigkeit, indem sie sich

verankern und ein Netzwerk mit dem Boden ausbilden. Auch Tengbeh (1993) weist in seinen Untersuchungen über den Einfluss von Graswurzeln auf den Scherwiderstand bei variiertem Wassergehalt darauf hin, dass durch die Armierung eine Zunahme der Festigkeit erwartet werden kann.

Die Erhöhung des Scherwiderstandes kam durch die Erhöhung der Kohäsion zustande (ca. 10kPa höher in 5cm als in 20cm Tiefe). Die Wurzeln erhöhen die Scherfestigkeit dabei hauptsächlich durch das Übertragen (und Verteilen) der Scherspannungen im Boden. Wurzeln können sich durch ihre Elastizität bei wirkender Scherspannung ausdehnen. Die Wurzel dehnt sich solange aus bis sie zerreißt und es kommt zum Bruch im Boden (Gray & Sotir 1996). Hierbei wiederum kommt der Zugfestigkeit der Wurzeln eine besondere Bedeutung zu, die abhängig ist vom Wurzeldurchmesser. Die gezeigten Ergebnisse wiesen eine exponentielle Beziehung zwischen Zugfestigkeit und Durchmesser auf. Dieser Trend wurde auch in anderen Untersuchungen gefunden (Baets et al. 2008; Abernethy & Rutfherfurd 2001).

## Danksagung

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die finanzielle Unterstützung.

## Literatur

- Abernethy, B. & Rutfherfurd, I.D. 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement. *Hydrological Processes* 15(1): 63–79.
- Amezketta, E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture* 14(2-3): 83–151.
- Atwell, B.J. 1993. Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany*; 33 (1), 27–40
- Baets, De S., Poesen, J., Reubens, B., Wemans, K., Baerdemaeker De J. & Muys, B. 2008. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. *Plant and Soil* 305(1-2): 207–226.
- Bengough, A.G., Croser, C. & Pritchard, J. 1997. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. *Plant and Soil* 189: 155–164.
- Böhm, W. 1979. *Methods of Studying Root systems*. Springer-Verlag, Berlin.
- Casagrande, A. 1936. The determination of preconsolidation load and its practical significance. 60–66. *Proceedings of the first International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*.
- Cofie, P., Koolen, A.J. & Perdok, U.D. 2000. Measurement of stress-strain relationship of beech roots and calculation of the reinforcement effect of tree roots in soil-wheel systems. *Soil and Tillage Research* 57: 1–12.
- Gray, D.H. & Sotir, R.B. 1996. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilisation: A Practical Guide for Erosion Control*. John Wiley & Sons, New York.
- Greenway, D.R. 1987. Vegetation and slope stability. 187–230. *Slope stability: geotechnical engineering and geomorphology*. Anderson, M.G. & Richards K.S. (Eds.), Wiley, Chichester.
- Jakobsen, B.E. & Dexter, A.R. 1988. Influence of biopores on root growth, water uptake and grain yield of wheat (*Triticum aestivum*) based on predictions from a computer model. *Biology and Fertility of Soils* 6: 315–321.
- Kage, H. & Ströh, R. 2004. *Universitätsversuchsgut Hohenschulen - Betriebsspiegel und Versuchsprogramm*. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Kleinfelder, D., Swanson, S., Norris, G. & Clary, W. 1992. Unconfined compressive strength of some stream bank soils with herbaceous roots. *Soil Science Society of America Journal* 56: 1920–1925.
- Norris, J.E. 2005. Root reinforcement by Hawthorn and Oak roots on a highway cut-slope in Southern England. *Plant and Soil* 278: 43–53.
- Operstein, V. & Frydman, S. 2000. The influence of vegetation on soil strength. *Ground Improvement* 4: 81–89
- Pollen, N. 2007. Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks: Accounting for soil strength and moisture. *Catena* 69: 197–205.
- Tengbeh, G.T. 1993. The effect of grass roots on shear strength variations with moisture content. *Soil Technologies* 6: 287–295.
- Vossbrink, J., Horn, R., Becker, S. & Koester, P. 2002: Influence of different harvesting methods in the black forest on the habitat ecology from a soil physical point of view. 407 – 414. *Sustainable Land Management - Environmental Protection - a Soil Physical Approach*. Pagliari, M. & Jones, R. (Eds.), *Advances In Geoecology*, 35, Catena, Reiskirchen. ISBN: 3-923381-48-4
- Ziemer, R.R. 1981. Roots and the stability of forested slopes. Publication No. 132. *International Association of Hydrologic Sciences* 343–361.