

Kurzfassung

Großmaßstäbliche Laborversuche zum Verbundwerkstoff „geogitterbewehrter Boden“

Dipl.-Ing. Felix Jacobs,
 Dipl.-Ing. Axel Ruiken,
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler,
 Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen, RWTH Aachen

1 Einführung

Die tragfähigkeitserhöhende Wirkung von Geogittern im Boden ist in Wissenschaft und Praxis anerkannt. Es gibt ein noch immer wachsendes Feld für die Anwendung des Verbundwerkstoffs geogitterbewehrter Boden und viele solcher Anwendungen werden in sogenannten Modellversuchen untersucht. Um das komplexe Verhalten geogitterbewehrten Bodens allerdings prinzipiell zu untersuchen, sind Elementversuche geeignet. Um die dreidimensionale Geometrie und das Verhältnis der Partikel- zu Geogitteröffnungsgröße zu berücksichtigen, wurde ein Versuchsstand für den ebenen Verformungszustand entwickelt, der Probengrößen von $800 \times 800 \times 450 \text{ mm}^3$ (H x B x T) ermöglicht. In diesem Beitrag werden Ergebnisse erster Serien dieser biaxialen Druckversuche vorgestellt.

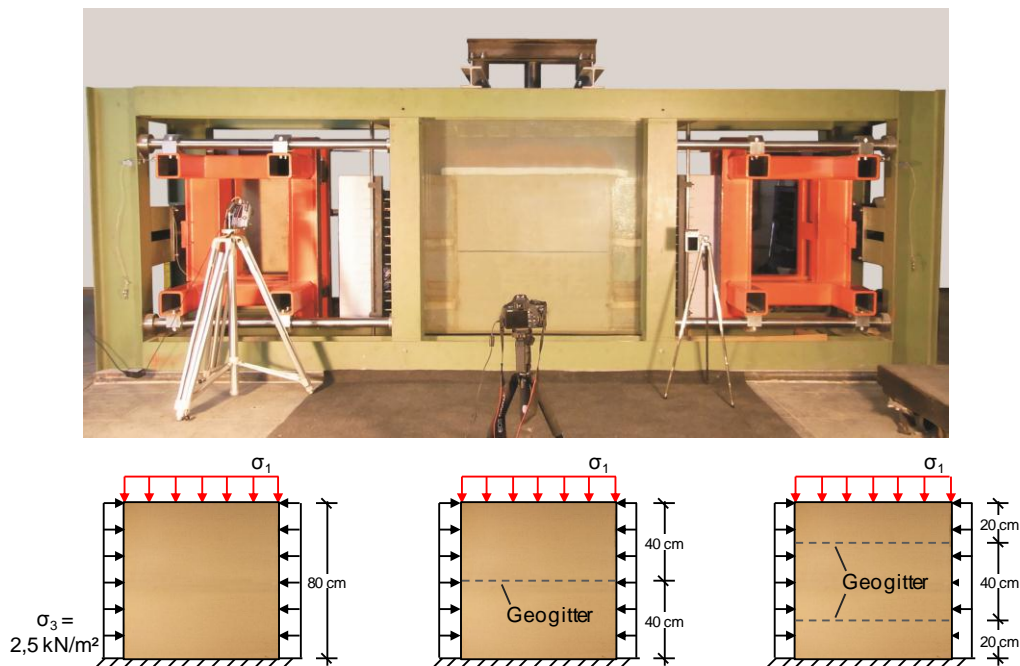


Abb. 1: Versuchsstand für großmaßstäbliche biaxiale Druckversuche mit einer Skizze der hier behandelten Geogitteranordnungen.

2 Versuchsausführung

Abb. 1 zeigt den entwickelten Versuchsstand. Die untersuchten unbewehrten und ein- bzw. zweifach bewehrten Probekörper sowie die auf die Bodenkörper wirkenden Spannungen sind schematisch ebenfalls in Abb. 1 dargestellt. Die Probekörper wurden mit Latexmembranen luftdicht umschlossen, so dass ein Stützdruck mittels Vakuum aufgebracht werden konnte. Dadurch wirkte ein konstanter Druck von $2,5 \text{ kN/m}^2$ auf alle Seiten des eingeschlossenen Bodens. Während des Belastungsvorgangs konnte der Probekörper durch die transparente Seitenfläche des Versuchsstands beobachtet werden.

In den Versuchen wurde ein trockener, enggestufter Mittelsand (SE) verwendet. Der Sand konnte mithilfe der von Ruiken u.a. (2010) beschriebenen Rieseltechnik mit 101 % Proctordichte ($\rho_{Pr} = 1,74 \text{ t/m}^3$) eingebracht werden. Dies entsprach einer Lagerungsdichte von $I_D = 0,87$. Als Bewehrungslagen wurden biaxiale Geogitter mit Flachstäben und geschweißten Knotenpunkten verwendet. Die Dehnsteifigkeit wurde für den Bereich bis 2 % als näherungsweise linear angenommen und betrug $J_{0-2\%} = 700 \text{ kN/m}$.

3 Ergebnisse der Laborversuche

3.1 Spannungs-Dehnungsverhalten

Die resultierenden Spannungs-Dehnungskurven für unbewehrte und bewehrte Versuche bei einem Stützdruck von $\sigma_3 = 2,5 \text{ kN/m}^2$ sind in Abb. 2a aufgetragen. Sie zeigen einen erheblichen Anstieg der Tragfähigkeit des Bodens, wenn dieser mit Geogittern bewehrt wurde. Je höher der Bewehrungsgrad, desto stärker war dieser Effekt: Bereits ein Geogitter führte zu einer Erhöhung der maximalen Belastung um 250 %, Probekörper mit zwei Geogittern erreichten sogar 450 % der Peak-Spannungen des unbewehrten Bodens.

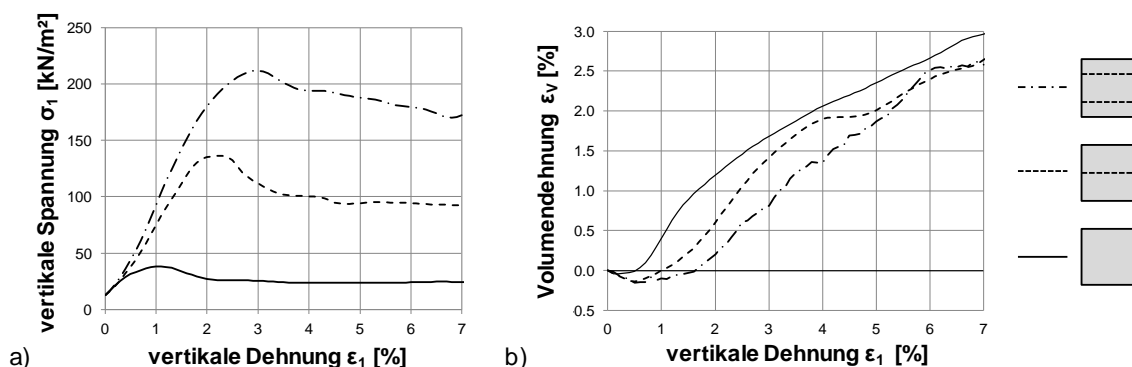


Abb. 2: Ergebnisse der biaxialen Druckversuche im ebenen Verformungszustand.

Alle Versuchskurven zeigen einen ausgeprägten Peak und sowie den anschließenden Abfall auf eine Restspannung, wie es charakteristisch für einen dicht gelagerten Sand ist. Dem-

entsprechend zeigen die Volumendehnungskurven in Abb. 2b das dilatante Verhalten von dichtem Sand bei zunehmender Verformung. Es wird aber auch deutlich, dass mit steigendem Bewehrungsgrad die Kontraktanz der Probe zu Versuchsbeginn zunahm.

3.2 Kinematisches Verhalten

Während des Belastungsvorgangs wurden die Seitenflächen (σ_2 -Flächen) der Probekörper durch die transparente Seitenfläche des Versuchstands mit einer ferngesteuerten Digitalkamera in regelmäßigen Intervallen fotografiert. Anhand einer nachfolgenden Evaluierung der Belastungsfotos mit der Digital Image Correlation (DIC) Methode konnten die Partikelverschiebungen und Partikelrotationen des Probekörpers sichtbar gemacht werden. Die resultierenden Verformungen dieser Auswertung sind in Abb. 3 für einen Kompressionszustand von $\varepsilon_1 = 10\%$ für einen unbewehrten (links), einen einfach bewehrten (Mitte) und einen zweifach bewehrten Versuch (rechts) dargestellt. Es wird deutlich, dass die Geogitter den Boden zwingen, mehr Scherfugen auszubilden. Insgesamt zeigte sich, dass sich mit steigendem Bewehrungsgrad mehr Zonen unterschiedlicher Bewegung ausgebildet haben. Dadurch wird der Gesamtwiderstand gegen die aufgebrauchte Kompression erhöht.

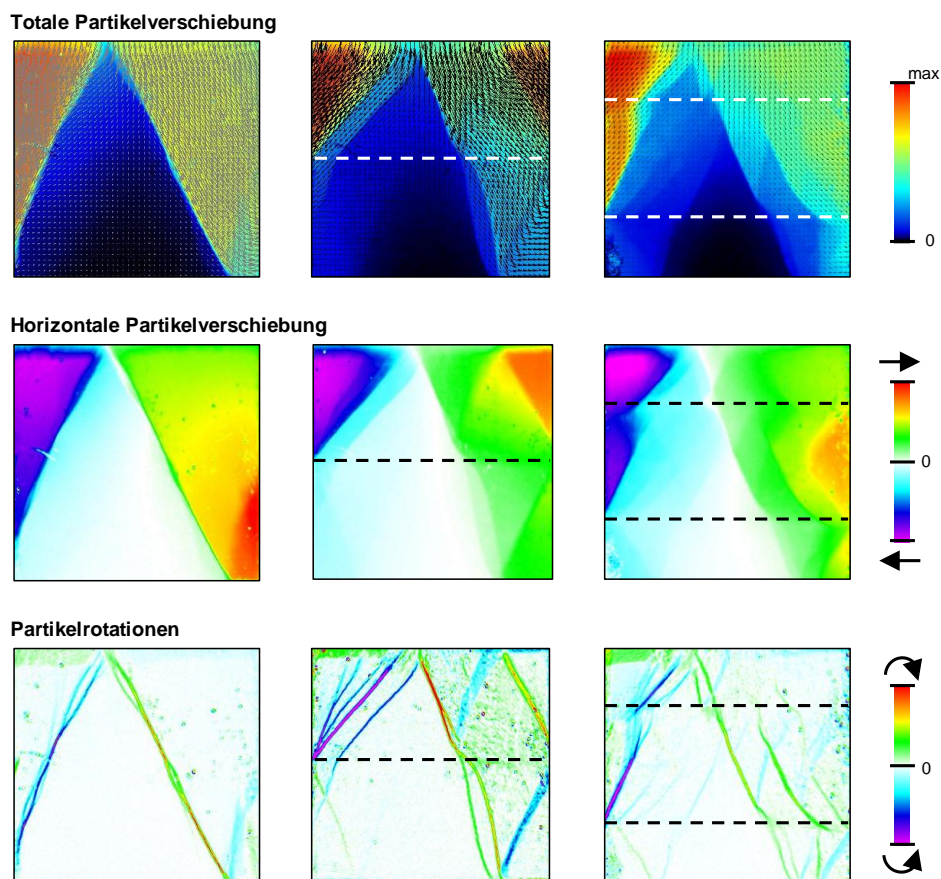


Abb. 3: Partikelverschiebungen und -rotationen von drei Versuchen für $\varepsilon_1 = 10\%$.

4 Numerische Untersuchungen

Mit den Versuchen können äußere Kräfte, Spannungen und Verformungen des Bodenkörpers bei biaxialer Kompression gemessen werden. Zusätzlich gewährt die DIC-Methode einen Einblick in den inneren Verformungszustand des Probekörpers. Um die Spannungszustände im Inneren des Elements zu ermitteln, wurde ein zweidimensionales FE-Modell der biaxialen Druckversuche erstellt. Der trockene, nichtbindige Boden wurde mit einem elasto-plastischen Stoffgesetz und der Fließbedingung nach Mohr-Coulomb beschrieben. Für das Geogitter wurde ein bi-linear elasto-plastisches Verhalten angenommen. In Abb. 4 wird die Auswertung der Partikelrotationen eines einfach bewehrten Versuchs den äquivalenten plastischen Dehnungen einer FEM-Berechnung gegenüber gestellt. Sowohl Partikelrotationen und als auch äquivalente plastische Dehnungen deuten auf Scherfugen hin, da in einer Scherfuge eine Konzentration der Rotationen und der Dehnungen, eine sogenannte Dehnungslokalisierung, auftritt. Es zeigt sich, dass die Lokalisierungen der Dehnungen und damit die Positionen der Scherfugen mit dem Berechnungsmodell zufriedenstellend reproduziert werden können.

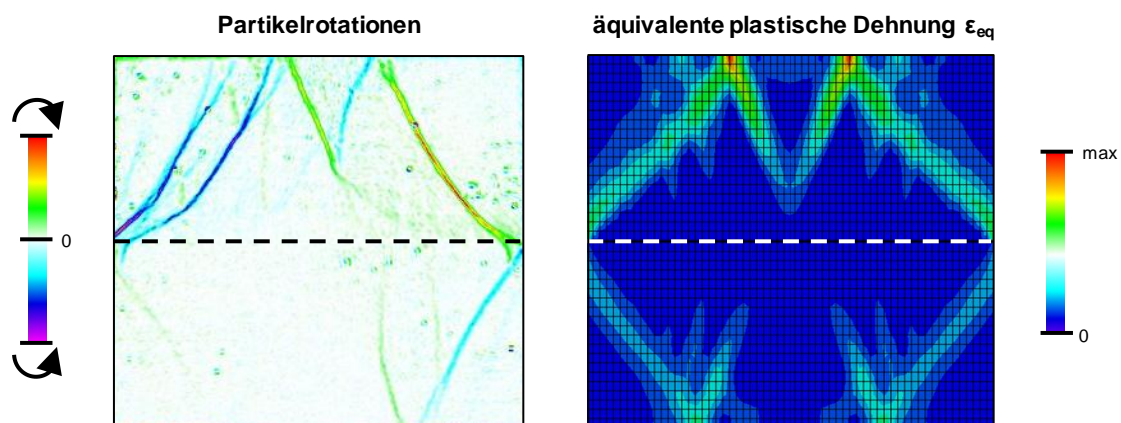


Abb. 4: Scherfugen im biaxialen Druckversuch erkennbar als Partikelrotationen im Versuch und als Dehnungslokalisierungen in der Simulation.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lassen sich die durchgeführten Versuche wie folgt bewerten:

- Es wurde ein Versuchsstand entwickelt, der es erlaubt großmaßstäbliche biaxiale Druckversuche unter reproduzierbaren Bedingungen durchzuführen.
- Redundante Messungen von Verformungen und Rotationen, Kräften und Spannungen erlaubten die ganzheitliche Untersuchung und Betrachtung des Spannungs-Dehnungsverhaltens von geogitterbewehrtem Boden.

- Erste numerische Modellierungen zeigten die Reproduzierbarkeit der sich entwickelnden Scherfugen im Probekörper mittels der FE-Methode.

Im Ergebnis zeigen die Versuche an geogitterbewehrtem Boden eine deutliche Tragfähigkeitserhöhung gegenüber dem unbewehrten Boden.

Nach diesen ersten Ergebnissen sollen gezielt die Einflüsse der Dehnsteifigkeit und des Lagenabstands der Geogitter auf das Spannungs-Dehnungsverhalten des bewehrten Bodens untersucht werden. Dazu soll das numerische Modell verfeinert werden, um auch die numerische Abbildung dieser Einflussparameter zu ermöglichen und diese dann innerhalb definierter Bandbreiten variieren zu können.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Naue GmbH & Co. KG und Colbond B.V. für die finanzielle Unterstützung und für die Bereitstellung der Geogitter. Ein besonderer Dank geht an das Geosynthetic Institute (GSI), Pennsylvania, USA, das Teile dieser Arbeit im Rahmen seines Fellowship-Programms gefördert hat.

Literatur

Ruiken, A., Ziegler, M., Ehrenberg, H. und Höhny, S. (2010), Determination of the soil confining effect of geogrids, *From Research to Design in European Practice 2010*, Bratislava, Slowakei.