



Modellversuche zum Bodenverhalten beim hydraulischen Grundbruch

(Model tests on the soil behavior during hydraulic heave)

Marvin Nöller

Einleitung

Strömungskräfte durch Grundwasser im Boden können zu einem Versagen von geotechnischen Bauwerken führen. Ein Beispiel ist der hydraulische Grundbruch. In der Nachweisführung werden stabilisierende Einwirkungen (Gewichtskraft) mit destabilisierenden Einwirkungen (Strömungskraft) gegenübergestellt.

$$S_{dst;d} \leq G'_{stb;d}$$

Die Berechnung der Strömungskraft wird in der Regel aus der Potentialverteilung bestimmt [DIN 1054]. Die Berechnung der Gewichtskraft erfolgt mit der Wichte des Bodens unter Auftrieb und der Annahme des Bruchkörpers nach Terzaghi, wenn der Boden vor dem Fuß einer Stützwand von unten nach oben durchströmt wird. Dieser Bruchkörper wird mit einer Höhe gleich der Einbindetiefe und einer Breite gleich der halben Einbindetiefe angenommen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Modellversuche unter Variation der Lagerungsdichte in einem Modellkasten durchgeführt, um die Bruchkörpergröße bei einem Versagen durch hydraulischen Grundbruch mittels photographischer Auswertung (PIV) zu bestimmen.

PIV- Particle Image Velocimetry

Die Bestimmung der Bruchkörpergröße erfolgte anhand photographischer Auswertung. Grundlage der Auswertung ist die Verfolgung von Bewegungen kleiner Ausschnitte eines Bildes durch eine Serie von Aufnahmen. Aus der Lageänderung der kleinen Ausschnitte kann die Richtung und Größe von Verschiebungsvektoren berechnet und grafisch ausgegeben werden.

GeoPIV-RG 'preconditioned optimisation' scheme with first-order subset shape function:

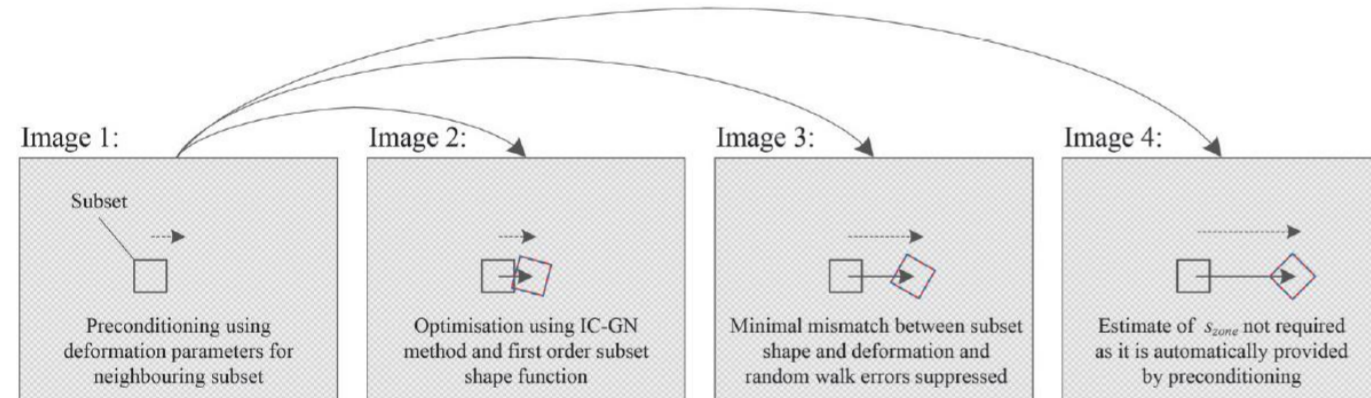


Abb. 1: Funktionsweise des Programms GeoPIV-RG [Stanier et al.]

Modellversuche

In einem Modellkasten (siehe Abb.2) wurden Versuche unter Variation der Lagerungsdichte eines enggestuften Grobsandes durchgeführt.

Hierbei konnten bei ansteigender Wasserspiegeldifferenz Bodenumlagerungen von baugrubenäußerer zu baugrubeninnerer Seite beobachtet werden. Bei Erreichen einer kritischen Wasserspiegeldifferenz kam es zu einem Versagen und dem Ausspülen des Versuchsbodens unter der Stützwand.



Abb. 2: Versuchsstand HM 169 [G.U.N.T. Gerätebau]

Standicherheit

Vor den Modellversuchen wurde, anhand der geometrischen Randbedingungen, die Versagenshöhe mithilfe von Näherungsformeln berechnet. Die berechneten Versagenshöhen weisen große Abweichungen zu den im Versuch festgestellten Versagenshöhen auf, wie in Abb. 3 zu erkennen ist. Die Differenz liegt zwischen 37 und 68%.

Bei der Berechnung der Standicherheiten nach DIN 1054 zeigten sich ebenso hohe Abweichungen von den berechneten Versagenshöhen.

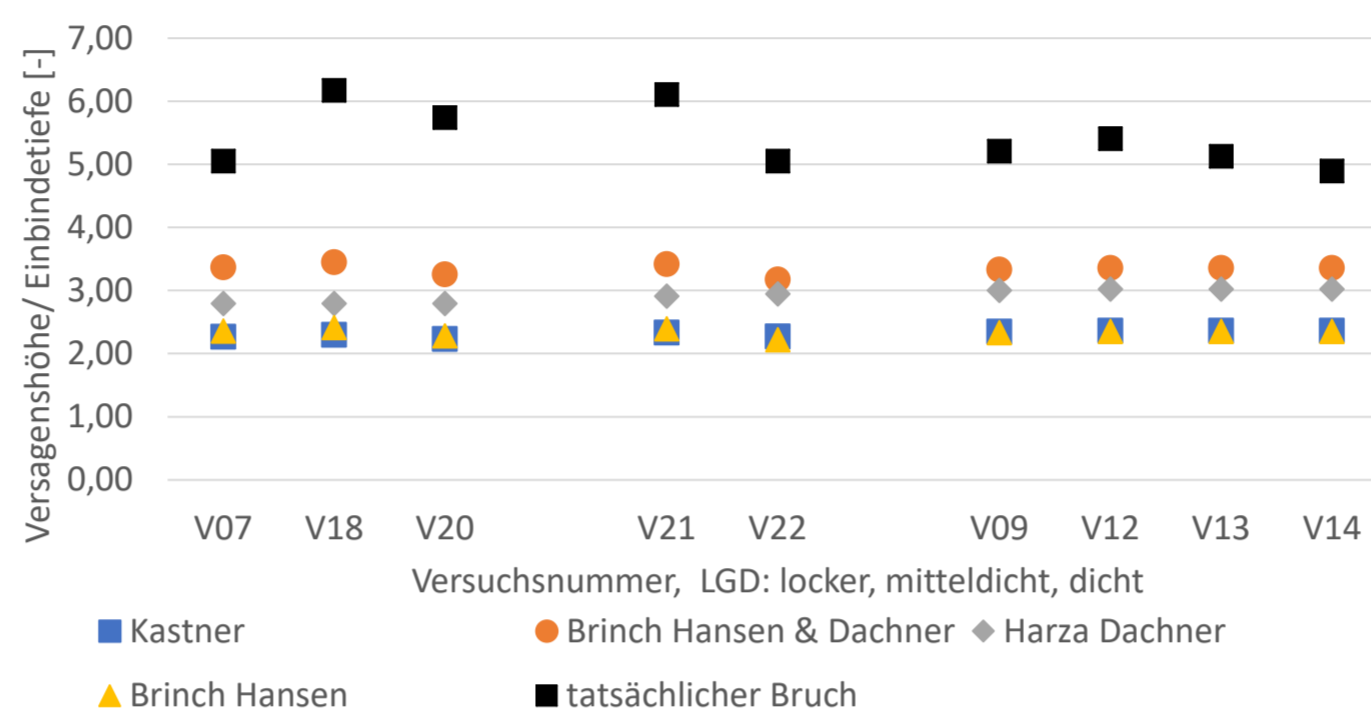


Abb. 3: normierte Versagenshöhe der Versuche mit Näherungsformeln

Bruchkörpergeometrien

Die Bestimmung der Bruchkörpergröße erfolgte mit dem Programm GeoPIV-RG. Die festgelegte Grenzverschiebung zur Ermittlung der Bruchkörperbegrenzung wurde einheitlich mit einem Wert von 0,45 cm angenommen.

Bruchkörperabmessung

In Abb. 4 sind die festgestellten Bruchkörper, getrennt nach Lagerungsdichte, gefärbt dargestellt. Anzumerken ist, dass die Versuche bei unterschiedlichen Einbindetiefen stattfanden. Sehr gut zu erkennen ist die elliptische Bruchkörperbegrenzung.

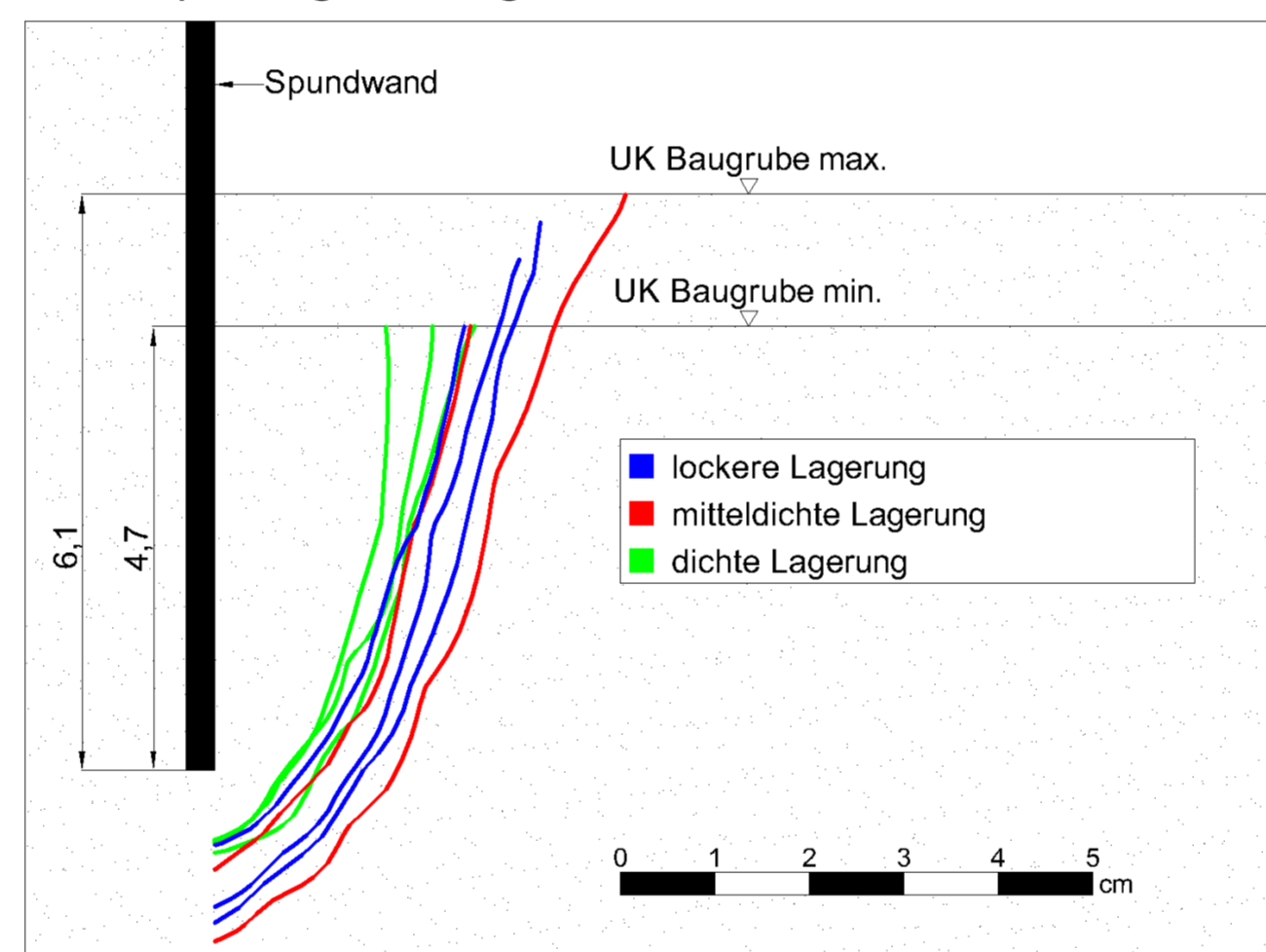


Abb. 4: Festgestellte Bruchkörper, Zeitpunkt: vor Versagen

Im Vergleich der Flächen zeigte sich näherungsweise eine Übereinstimmung mit der Bruchkörperfläche nach Terzaghi. Bei lockerer Lagerungsdichte wurden 96% und bei mitteldichter 103% der Fläche nach Terzaghi festgestellt. Bei dichter Lagerung betrug die Abweichung 20%, was allerdings auch einer hohen Abweichung eines Versuches geschuldet ist.

Insgesamt wurde in den Versuchen festgestellt, dass für die verschiedenen Lagerungsdichten keine abweichende Bruchkörpergröße/-geometrie festgestellt wurde. Aufgrund dessen wurde eine Bruchkörperidealisation entwickelt die Abb. 5 entnommen werden kann.

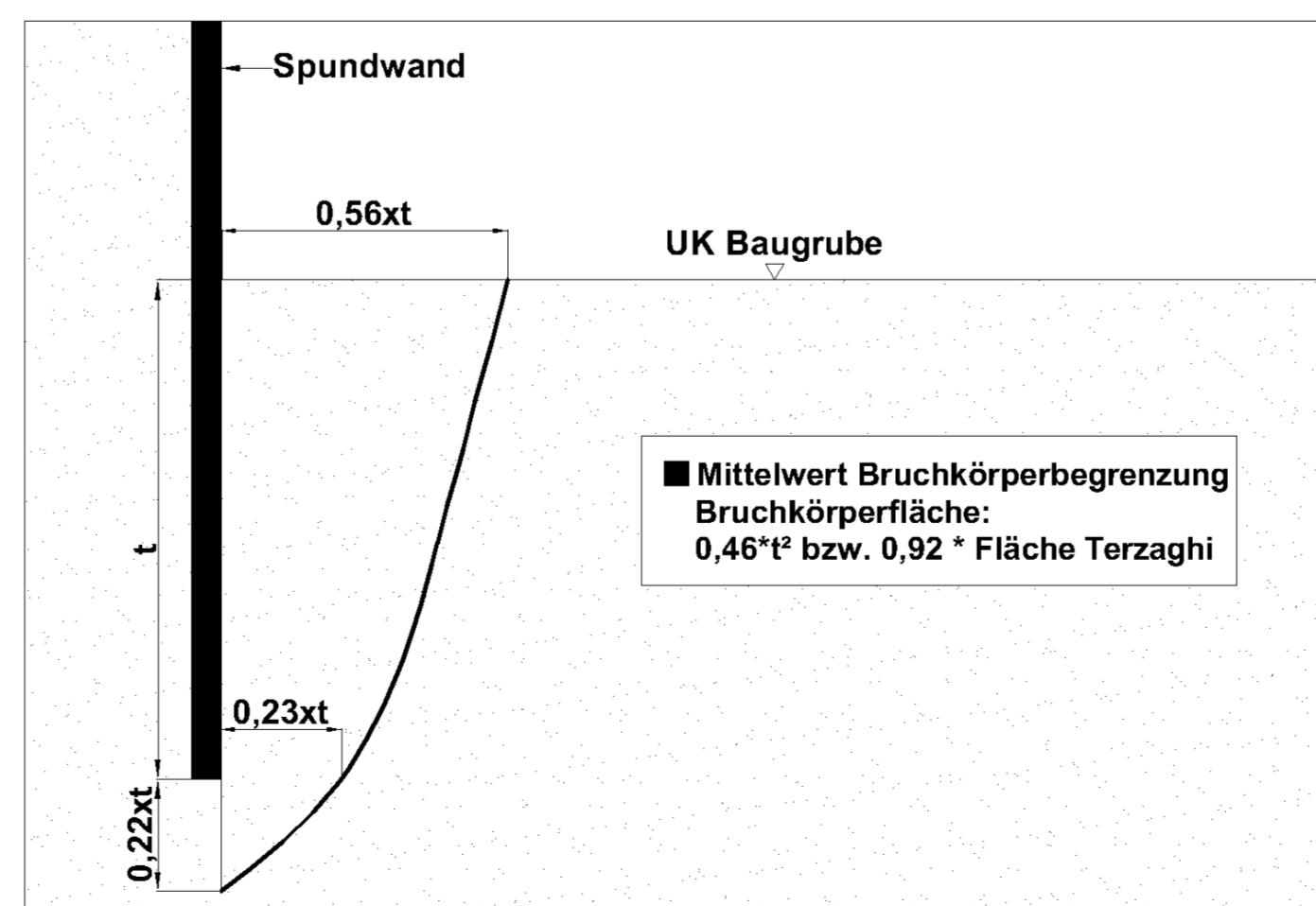


Abb. 5: Idealisierung Bruchkörper aus den Versuchsergebnissen

Bruchkörperentwicklung

Die Analyse der Bruchkörperentwicklung ab den ersten Bodenbewegungen zeigte eine relativ konstante Zunahme der Bruchkörperfläche, siehe Abb. 6.

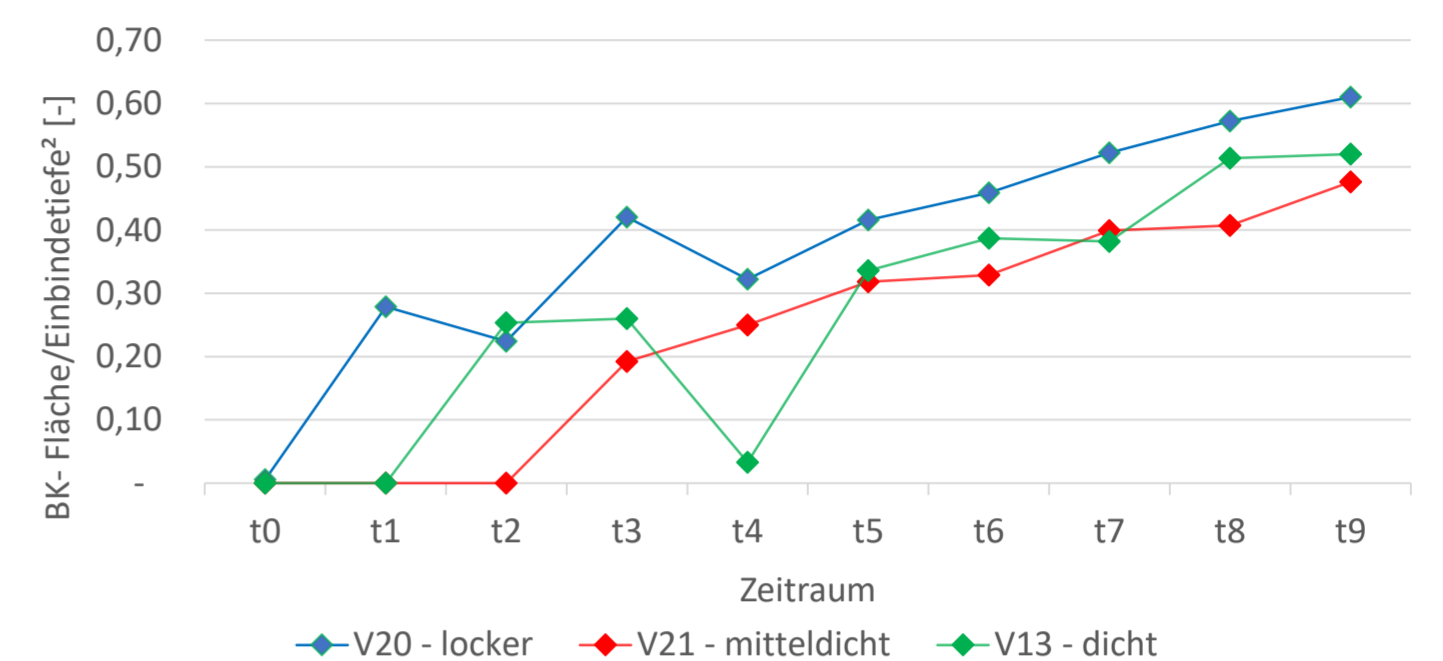


Abb. 6: Entwicklung der normierten Bruchkörperfläche

Standicherheit am Bruchkörper

Für die Berechnung der Standicherheit am festgestellten Bruchkörper wurde die Gewichtskraft anhand des Bruchkörpers einschließlich der Erweiterung um die Bodenumlagerungen ermittelt. Die Strömungskraft wurde an acht gleichmäßigen Stellen aus der Potentialverteilung inklusive Berücksichtigung der Bodenumlagerungen bestimmt. Im Vergleich der Ausnutzungsgrade zeigen sich geringe Abweichungen, wie in Abb. 7 zu erkennen ist.

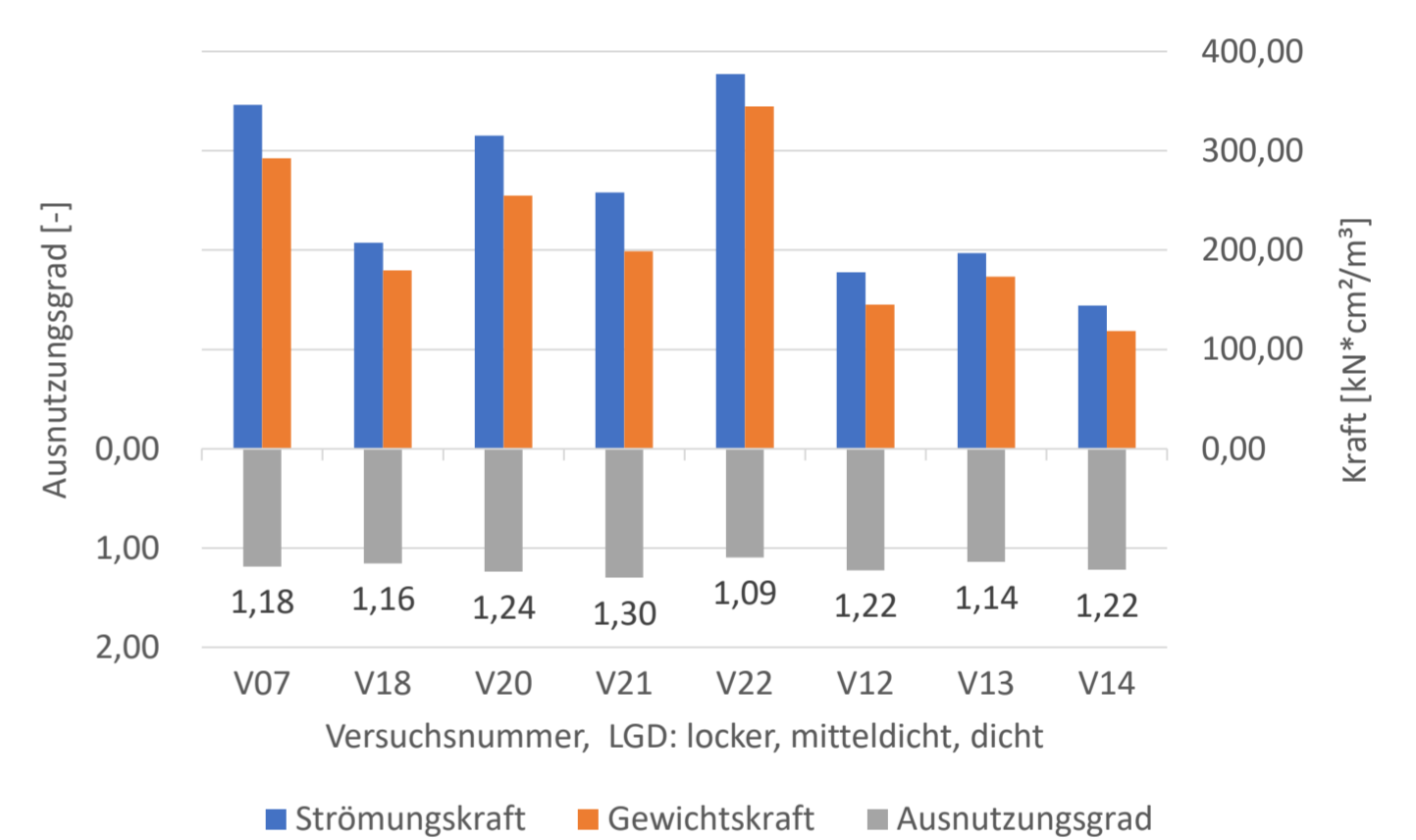


Abb. 7: Standicherheit am festgestellten Bruchkörper

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden Modellversuche zum Bodenverhalten beim hydraulischen Grundbruch unter Variation der Lagerungsdichte in einem Modellkasten durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass neben dem Versagen durch hydraulischen Grundbruch auch ein Versagen durch Piping zufällig auftreten kann.

Die in den Versuchen zum Versagen führende Wasserspiegeldifferenz überstieg die auf Grundlage früherer Untersuchungen berechnete Versagenshöhe teilweise deutlich. Vor Eintritt des hydraulischen Grundbruches waren hohe Bodenumlagerungen zu erkennen.

Der festgestellte Bruchkörper kann durch eine elliptische Begrenzungslinie beschrieben werden und hat den Ursprung unterhalb des Spundwandfußes. Unterschiedliche geometrische Randbedingungen des Bruchkörpers konnten bei Variation der Lagerungsdichte nicht beobachtet werden. Die Fläche des ermittelten Bruchkörpers aus den Modellversuchen stimmt mit der Annahme nach Terzaghi überein.

Die Berechnung der Strömungskraft und Gewichtskraft anhand des festgestellten Bruchkörpers in den Modellversuchen liefert vergleichbare Ergebnisse für die Standicherheitsuntersuchung bei geringen Abweichungen vom Mittelwert.

Projekt

Diplomarbeit 2019_07

Hochschullehrer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden

Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Erik Schwiteilo, TU Dresden

Dipl.-Ing. Johannes Welsch, TU Dresden

Abgabe

September 2019