

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Wudtke, Robert-Balthasar; Witt, Karl Josef**

## **Hydraulischer Grundbruch in bindigen Böden**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102087>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

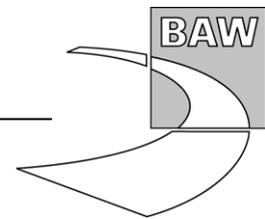
Wudtke, Robert-Balthasar; Witt, Karl Josef (2010): Hydraulischer Grundbruch in bindigen Böden. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Forschung und Entwicklung Binnenverkehrswasserbau. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 42-46.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





Dr. R.-B. Wudtke, Prof. Dr. K. J. Witt, Universität Weimar  
**Hydraulischer Grundbruch in bindigen Böden**

## **1 Problemstellung und Ziel**

### **1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens**

Die Auswirkungen von aufwärts gerichteten Grundwasserströmungen auf einen durchgängig bindigen Boden (z. B. Auflockerung und Veränderung der Bodenstruktur) sind bisher nur unzureichend bekannt. In Ermangelung von Ansätzen, welche die bindigen Eigenschaften von Böden umfassend berücksichtigen, werden die Berechnungsverfahren, die für nichtbindige Böden entwickelt wurden, bodenunabhängig angewendet. Da bei diesen Ansätzen die Oberflächenkräfte (Kohäsion) zwischen den sehr feinen Bodenpartikeln bindiger Böden, die beim Versagen in Form eines hydraulischen Grundbruchs als haltende Kräfte wirken würden, vernachlässigt werden, ergeben diese Nachweise geringere Sicherheiten, als dies bei Berücksichtigung dieser Kräfte der Fall wäre.

### **1.2 Bedeutung für die WSV**

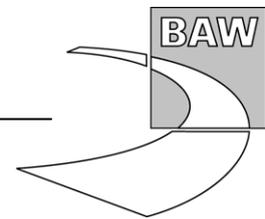
Der Hydraulische Grundbruch ist neben dem Auftrieb und dem Erosionsgrundbruch die wesentliche hydraulische Versagensform. Beim Bau von Baugruben im Grundwasser und bei der Unterströmung von Bauwerken ist diese Versagensform meist der maßgebende Grenzzustand der Tragfähigkeit. Während der Grenzzustand in nichtbindigen Böden hinreichend realistisch bodenmechanisch beschrieben werden kann, gibt es für ein Versagen bindiger Böden nur erste grobe statische Betrachtungen, Zeiteffekte werden bisher gar nicht berücksichtigt. Die nicht unerheblichen Sicherheitsreserven durch die Kohäsion bleiben somit unberücksichtigt. Eine Weiterentwicklung der bisher bestehenden Nachweise wäre somit von erheblichem wirtschaftlichem Nutzen für die WSV.

### **1.3 Untersuchungsziel**

Das Ziel des Forschungsvorhabens besteht in der Untersuchung der Versagensmechanismen in bindigen Böden, die Wasserströmungen mit entsprechend hohen hydraulischen Gradienten ausgesetzt sind. Durch numerische, analytische und versuchstechnische Analysen sollen Erkenntnisse gewonnen werden, die es ermöglichen einen wirklichkeitsnahen Ansatz zum rechnerischen Nachweis des hydraulischen Grundbruchs abzuleiten.

## **2 Untersuchungsmethoden**

Für die Bearbeitung der oben beschriebenen Fragestellungen sind sowohl theoretische Beobachtungen als auch die Durchführung von Versuchen vorgesehen. Die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen, resultierend aus analytischen und numerischen Ansätzen zur Analyse von Spannungs- und Verformungszuständen sowie von hydraulisch verursachten Versagensformen im bindigen Böden, sind Grundlage der Herleitung des Bemessungsansatzes.



zes und werden durch die Ergebnisse von qualitativen und quantitativen Versuche zur Untersuchung der Versagensart ergänzt und begründet.

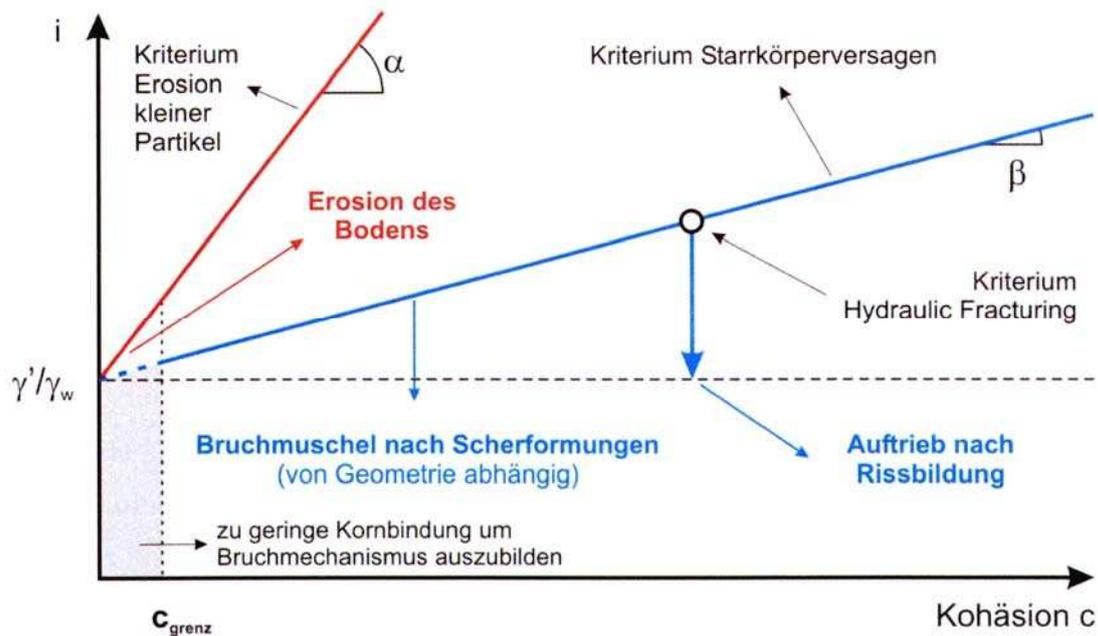
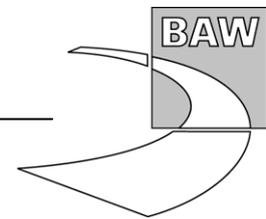
### **3 Ergebnisse und weiteres Vorgehen**

In einem ersten Schritt wurde Prof. Witt (Bauhaus-Universität Weimar) mit der Untersuchung hydraulisch bedingter Versagensformen in Baugrubensohlen sowie der Analyse der an einer Baugrubenwand in bindigem Boden gültigen Spannungszustände und Grenzbedingungen beauftragt.

2005 wurde von Prof. Witt eine Studie zu hydraulisch bedingten Versagensformen in der Sohle von Baugruben vorgelegt. Hierin wurden die wichtigsten durch Wasser hervorgerufenen Transportmechanismen und Versagensformen aufgezeigt sowie eine Detailanalyse zu Nachweismethoden und Bemessungsregeln durchgeführt. Abschließend wurde eine vereinfachte Grenzzustandsfunktion abgeleitet.

Im Jahre 2006 wurde ebenfalls von Prof. Witt eine Studie zu Spannungszuständen und Grenzbedingungen beim hydraulischen Grundbruch erarbeitet mit dem Ziel, die vereinfachte Grenzzustandsfunktion zu verbessern. Außerdem wurde überprüft, ob die zunächst nicht betrachteten Parameter wie Festigkeit, Oberflächenspannung und initiale Deformation relevant sind und ob für das Versagen ggf. Bruchvorgänge maßgebend sind, die bei hohen Wasserüberdrücken im Boden und Fels beobachtet werden (hydraulic fracturing).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für zumindest schwach bindigen Boden in erster Näherung eine Modellierung des Grenzzustandes als Starrkörperversagen angemessen ist. Weiterhin lässt sich ableiten, dass mit zunehmender Kohäsion und Einspannung des Bodens im Bereich des Wandfußes bei hohen Porenwasserdrücken das Versagen nicht in einem Starrkörperbruchmechanismus, sondern initial in einem Aufreißen der Bodenstruktur im Sinne eines hydraulic fracturing besteht. Der Ort und die Richtung der Rissinitiation werden durch die Größe und Richtung der Hauptspannungen bestimmt, die neben den Gewicht- und Strömungskräften von den Auflagerkräften der umströmten Baugrubenwand mit beeinflusst werden. Bild 1 zeigt qualitativ die Abhängigkeit der Versagensformen von Kohäsion und hydraulischem Gradienten.

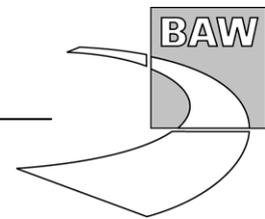


**Bild 1: Definition der Versagensformen auf Grundlage von Kohäsion und hydraulischem Gradienten**

Um die theoretischen Erkenntnisse der Studie „Spannungszustände und Grenzbedingungen an einer Baugrubenwand in bindigem Boden“ weiter zu verfeinern wurden Versuche zur qualitativen Erfassung des Grenzzustandes durchgeführt (vgl. Studie „Visualisierung des durch Strömung verursachten Bruchverhaltens in bindigen Böden“). Als Ergebnis der Versuche lässt sich der Versagensablauf beschreiben durch eine initiale Schädigung in Form einer Rissentstehung gefolgt von einer hydraulisch verursachten strukturellen Zerstörung des Bodenkontinuums, an das sich schließlich ein abruptes Versagen der abstromseitigen Bodenoberfläche anschließt, wobei sich ein diskreter Bodenkörper formiert.

Im Rahmen der Studie "Analyse zur Rissinitiation und Einfluss der Auflagereaktion beim hydraulischen Grundbruch", die 2007 bearbeitet wurde, wurden verschiedene Möglichkeiten zur Ermittlung des Grenzzustandes einer hydraulisch verursachten Rissentstehung im bindigen Boden untersucht. Hierzu zählen die Betrachtung des Spannungszustandes an einer Pore bei Aufweitung der Pore verursacht durch Erhöhung des Poreninnendruckes, die Bruchtheorie nach Griffith und die Rissanalyse bei Anwendungen der Theorie der linear elastischen Bruchmechanik (LEBM) als Applikation für bindigen Boden.

Bei Annahme einer Porenaufweitung wird der Grenzzustand allein durch den lokalen Spannungszustand bestimmt. Bodendeformationen und Variabilitäten der Spannungsverteilung im umliegenden Bodenkontinuum werden hierbei nicht berücksichtigt. Die Anwendung der Bruchtheorie nach Griffith ermöglicht zwar die Berücksichtigung der Deformationseigenschaften des umliegenden Materials, wird jedoch stark von der zugrunde gelegten Schädigung (Risslänge) bestimmt. Die außerdem hinsichtlich einer Anwendbarkeit als Grenzkriterium analysierte



LEBM ermöglicht neben der Darstellung der Auswirkungen verschiedener Einflüsse auf das Bodenkontinuum, wie Normal- und Schubbeanspruchungen, die Berücksichtigung veränderlicher Spannungsverhältnisse, wie diese beispielsweise an einer Baugrubenwand relevant sind.

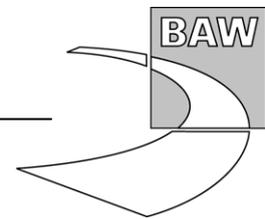
Im zweiten Teil der Studie wurden insbesondere die Auswirkungen der durch die Widerlagerwirkung eines Baugrubenverbaus im Boden aktivierten Verspannung auf den Grenzzustand des hydraulischen Grundbuches untersucht. Hierbei kamen vor allem numerische Verfahren (Plaxis) zur Anwendung. Als Ergebnis ist festzustellen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen einer im bindigen Boden als tragfähig beurteilten Stützkonstruktion und einer dadurch auch ausreichenden Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nicht gegeben ist. Es wurde insbesondere belegt, dass bei der Analyse des Versagens durch einen hydraulischen Grundbruch im bindigen Boden der Spannungszustand und der Wassergehalts des Bodens wesentlich für die Beurteilung der Tragfähigkeit des Bodenwiderlagers sind.

Zur Komplettierung der theoretischen Ergebnisse und Ansätze wurden Versuche ausgeführt, um die Zugfestigkeit unterschiedlich bindiger Böden bei ungesättigten und gesättigten Baugrundverhältnissen anhand indirekter und direkter Analyseverfahren zu messen (vgl. Studie „Zugfestigkeit bindiger Böden“).

Da beim hydraulischen Grundbruch im bindigen Baugrund nicht eine mechanische sondern vielmehr eine hydraulische Bodenzerstörung dominant ist, wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, mit dem insbesondere die bei einer entsprechenden Einwirkung aktivierte Zugfestigkeit analysiert werden kann. Bei diesem Versuch wird eine in einem Zylinder definiert eingebaute bindige Bodenprobe ausgehend von einer zentralen Bohrung radial durchströmt, wobei der Gradient sukzessive gesteigert wird. Drücke, Wassermengen und Verformungen der Oberfläche werden gemessen. Neben dem Einfluss der Versuchsmethode wurde auch der Einfluss des Spannungszustandes auf die bodenspezifisch aktivierbare Zugfestigkeit analysiert (vgl. Studie „Untersuchung der hydraulisch bedingten Rissinitiation in bindigem Boden – hydraulische Zugfestigkeit“). Als wesentliches Ergebnis der Versuche kann festgestellt werden, dass die Randbedingungen totaler Spannungszustand, Wassergehalt und Porenanteil bei den für einen hydraulischen Grundbruch in bindigem Boden relevanten Grenzzustandsbedingungen eine gegenseitige Abhängigkeit aufweisen. Für einen bestimmten Satz der Randbedingungen existiert eine noch realisierbare, bodenspezifische, effektive Spannung, die als Grenzzustandsbedingung der Zugfestigkeit des Materials entspricht.

#### **4 Zukünftiges Arbeitsprogramm**

Inhalt des abschließenden Untersuchungsschrittes ist die Herleitung eines begründeten Bemessungsansatzes gegen einen hydraulischen Grundbruch in bindigem Boden. Hierbei werden insbesondere die Erkenntnisse des im bindigen Boden gültigen Versagensablaufes als für einen bestimmten Versagensfortschritt relevante Widerstandsanteile berücksichtigt. Im Fokus steht hierbei die Entwicklung eines Entscheidungsbaumes zur Identifikation der an unterschiedlichen Baugrubensituationen relevanten Versagensarten als Grundlage der Ermittlung



des gültigen Berechnungsverfahrens im bindigen Boden. Die Möglichkeiten des Verfahrens werden an einem exemplarischen Beispiel dargestellt.

### **Literatur**

- Wudtke, R.-B.; Witt, K. J.: "A static Analysis of Hydraulic Heave in Cohesive Soil", Proceedings of the 3rd International Conference on Scour and Erosion, 01.-03.11.2006, Amsterdam, CURNET, S. 251
- Witt, K. J.; Wudtke, R.-B.: "Versagensmechanismen des Hydraulischen Grundbruchs an einer Baugrubenwand", 22. Christian Veder Kolloquium, 12.-13.04.2007, Graz, S. 229 – 242
- Wudtke, R.-B.; Witt, K. J.: "Phänomene des Hydraulischen Grundbruchs an Baugrubenwänden", Johann-Ohde-Kolloquium 2007, BAW & TU Dresden, 15.11.2007, Hannover, S. 1 – 7
- Wudtke, R.-B.; Witt, K. J.: "Einfluss von Bodenwiderständen beim Hydraulischen Grundbruch", 6. Kolloquium "Bauen in Boden und Fels", 22.-23.01.2008, Ostfildern, S. 147 – 153
- Wudtke, R.-B.: "Failure Mechanisms of Hydraulic Heave at Excavations", Proceedings of the 19. Young Geotechnical Engineers' Conference (EYGEC) 2008, 04.-06.09.2008, Győr (Ungarn), S. 331 – 338
- Wudtke, R.-B.: "Grenzzustände beim Hydraulischen Grundbruch an Baugrubenwänden", Spezialsitzung "Forum für junge Geotechnik-Ingenieure"; 30. Baugrundtagung, 24.-27.09.2008, Dortmund, S. 44 - 45