

# Untersuchungen zur Veränderung der Bodeneigenschaften bei Kornbruch (Investigation of the alternation of soil properties during grain breakage)

Franz Krämer

## Einleitung

Splitt und Schotter gehören heute zu den weit verbreiteten Erdbaustoffen. Sie besitzen eine hohe Durchlässigkeit, können somit als frostsicher bewertet werden und bieten daher eine Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten im Bauwesen. Zum Gewährleisten der Standsicherheit werden diese Baustoffe beim Einbau verdichtet. Hierzu werden beim flächigen Verbau Rüttelplatten und Walzen eingesetzt. Des Weiteren finden diese Materialien bei der Herstellung von Rüttelstopfsäulen Verwendung. Dabei erfolgt die Verdichtung durch Schleusenrüttler. In Abhängigkeit von der Gesteinsfestigkeit, dem Verwendungszweck und der, bei der Verdichtung, aufgetragenen Belastung kann es bei den größeren Gesteinskörnern zum Auftreten von Kornbruch kommen. Ziel dieser Arbeit ist die Bestimmung und Abschätzung der Änderung der Bodeneigenschaften mit Hilfe diverser Laborversuche. Der Kornbruch wird in Folge von Hochdrucködometerversuchen erzeugt. Hierbei wird die Kompressibilität vor und nach dem Eintreten des Kornbruches untersucht. Zum Bestimmen der Reibungswinkel zwischen Boden und Metall werden Kastenscherversuche durchgeführt. In Verbindung mit der Messung des tatsächlich auftretenden Reibungsverlustes in einem speziellen Konsolidierungsstand kann der Einfluss der Mantelreibung in Ödometerversuchen näherungsweise bestimmt werden. Zur Bestimmung der kritischen Bruchspannung des Bodens werden einaxiale Druckversuche an Einzelkörnern durchgeführt. Die Untersuchungen werden an zwei Böden durchgeführt. Bei Boden 1 handelt es sich um einen Splitt 5/8 aus Diabas und Boden 2 ist ein Schotter 16/32 aus Muschelkalkstein.

## Kastenscherversuche

Zur Bestimmung der kritischen Reibungswinkel  $\varphi_{c,\sigma}$  und zur Ermittlung des Kontaktverhaltens zwischen Boden und Metall werden Kastenscherversuche durchgeführt. Die Auswertung der Versuche erfolgt durch eine lineare und eine potentielle Näherung der Normalspannungs-Schubspannungs-Beziehungen. Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung der Messergebnisse.

Tab. 1: Ergebnisse der Kastenscherversuche

|         | $\varphi_{c,konst}$<br>[°] | $\varphi_{c,\sigma}$<br>[°]        | $\varphi_{SM,konst}$<br>[°] | $\varphi_{SM,\sigma}$<br>[°]       |
|---------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Boden 1 | 49,48                      | $\arctan(1,271 * \sigma^{-0,022})$ | 34,10                       | $\arctan(2,775 * \sigma^{-0,173})$ |
| Boden 2 | 54,01                      | $\arctan(0,684 * \sigma^{-0,004})$ | 31,55                       | $\arctan(1,141 * \sigma^{-0,153})$ |

## Einfluss der Mantelreibung

Zur Bestimmung des tatsächlichen Reibungsverlustes werden Mantelreibungsversuche durchgeführt. Hierbei wird die, an der Probenoberseite wirkende Kraft und die, an der Probenunterseite resultierende Kraft gemessen. Aus der Differenz beider Kräfte ergibt sich der Betrag der Reibungskraft. Mit Hilfe der hiermit bestimmten Werte ist es möglich das, auf den bestimmten Reibungswinkeln aufbauende, Näherungsverfahren zu überprüfen. Abbildung 2 zeigt die Gegenüberstellung von Messwerten und Näherungen für drei verschiedene Laststufen.

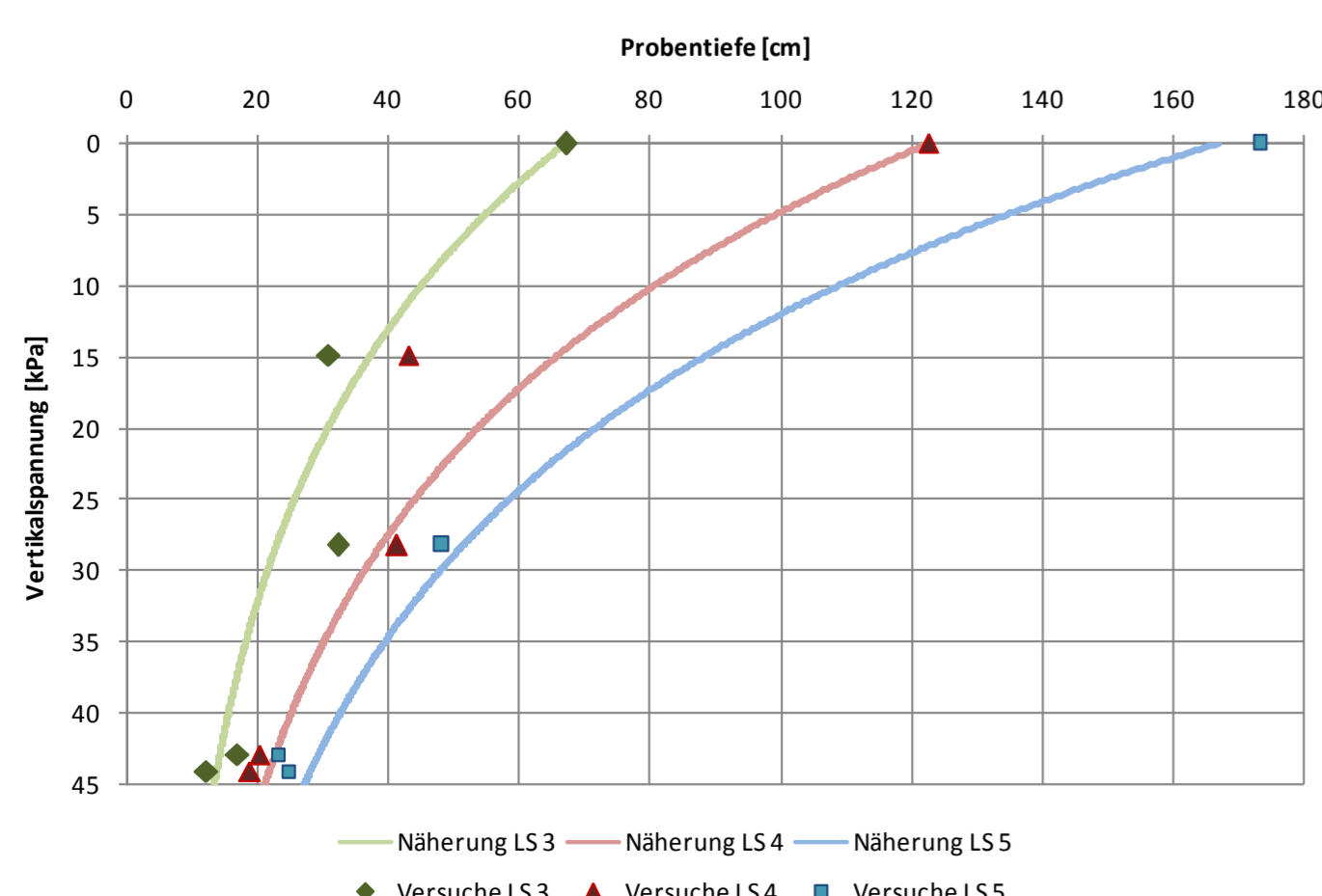


Abb. 1: Näherungen und Messpunkte, Mantelreibungsversuche, Boden 1

## Ödometerversuche

Zur Bestimmung des Einflusses von Mantelreibung und Kornbruch auf die Parameter der beiden Böden werden Ödometerversuche (Abb. 2) durchgeführt. Hierbei wird der Einfluss auf die Lagerungsdichte, die Kornverteilungskurve, die Kompressionsbeiwerte, die Steifemodule und die Setzungen untersucht. Des Weiteren findet eine versuchsbegleitende akustische Messung zur Häufigkeit des auftretenden Kornbruches statt.



Abb. 2: Ödometerversuche mit akustischer Messung

## Kompressionsbeiwerte

Bei besonders großen Spannungen zeigt sich ein Anstieg der Kompressionsbeiwerte bis zu einem Maximalwert. Bei Versuchen mit dem Boden 1 lag dieser bei ca. 5000 kPa, siehe Abb. 3.

| Nr. | $\sigma_u$<br>[kPa] | $\sigma_o$<br>[kPa] | $C_c$<br>[-] |
|-----|---------------------|---------------------|--------------|
| 1   | 100                 | 500                 | 0,00071      |
| 2   | 1000                | 2000                | 0,00078      |
| 3   | 3000                | 4000                | 0,00183      |
| 4   | 5000                | 6000                | 0,00448      |
| 5   | 7000                | 8000                | 0,00482      |
| 6   | 9000                | 10000               | 0,00485      |
| 7   | 11000               | 12000               | 0,00447      |

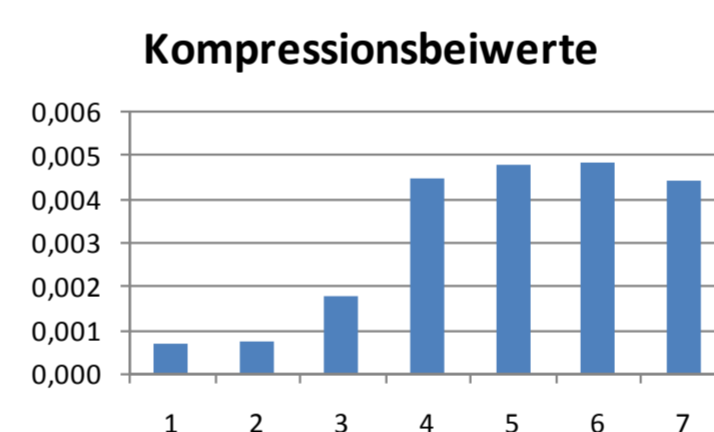


Abb. 3: Kompressionsbeiwerte Testversuch (Boden 1)

## Akustische Messungen

Zur Untersuchung des Zusammenhanges zwischen dem hörbaren Auftreten von Kornbruch und der standardisierten Messung von Spannung und Stauchung, werden alle Ödometerversuche durch eine akustische Messung begleitet. Zur Beschreibung der Messwerte wird die selbst gewählte Einheit "akustische Aktivität" genutzt. Diese gibt an wie groß die Anzahl der gemessenen relevanten Signale in einem festgelegten Zeitintervall ist [1/min]. Die Messung zeigt eine, mit steigender Spannung, zunehmende akustische Aktivität (Abb. 4). Die akustische Aktivität der Wiederbelastungsphasen ist deutlich geringer als bei einer Erstbelastung. Bei ca. 800 kPa (Vertikalspannung unter der Kopfplatte) stellt sich bei Boden 2 eine deutliche Zunahme der akustischen Aktivität ein. Bei Boden 1 zeigte sich eine deutliche Zunahme ab ca. 2000 kPa.

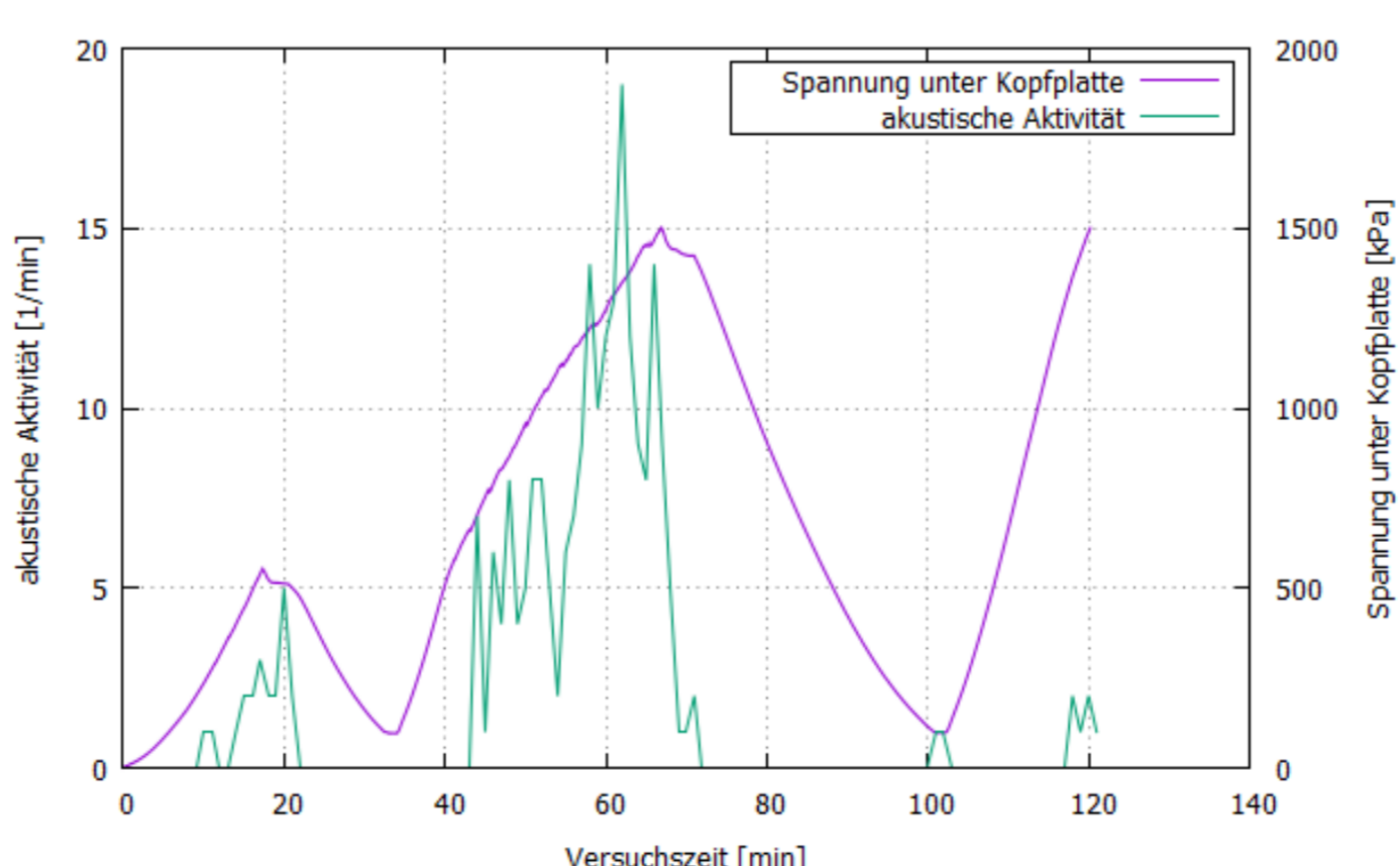


Abb. 4: Spannung und akustischer Aktivität (Boden 2)

## Druckfestigkeit von Einzelkörnern

Die Versuche sollen zeigen, in wie weit eine Grenzspannung für das Eintreten von Kornbruch bei einem Boden auf Grundlage der Druckfestigkeit der Einzelkörner möglich ist. Dabei werden die Körner (Abb.: 5) zum Bestimmen einer kritischen Kraft einzeln, bis zum Versagen mit Hilfe einer Presse belastet. Eine hinreichende Näherung zur Bestimmung der Bruchfläche konnte durch den Vergleich der Standardabweichung (Tab.: 2) verschiedener Ansätze der Bruchfläche gefunden werden. Der Rechenansatz Nr. 3 ( $A_3 = d_{max} * d_{min}$ ) bietet bei beiden Böden die Näherung mit der geringsten Varianz.

Tab. 2: Druckfestigkeiten der Einzelkörner

| Boden 1    |       |       |       | Boden 2 |            |       |       |      |      |
|------------|-------|-------|-------|---------|------------|-------|-------|------|------|
| Rechnung   | [-]   | 1     | 2     | 3       | Rechnung   | [-]   | 1     | 2    | 3    |
| Varianz    | [MPa] | 3,00  | 2,46  | 2,07    | Varianz    | [MPa] | 4,26  | 1,73 | 1,41 |
| Mittelwert | [MPa] | 14,65 | 13,66 | 11,47   | Mittelwert | [MPa] | 10,90 | 5,18 | 4,59 |

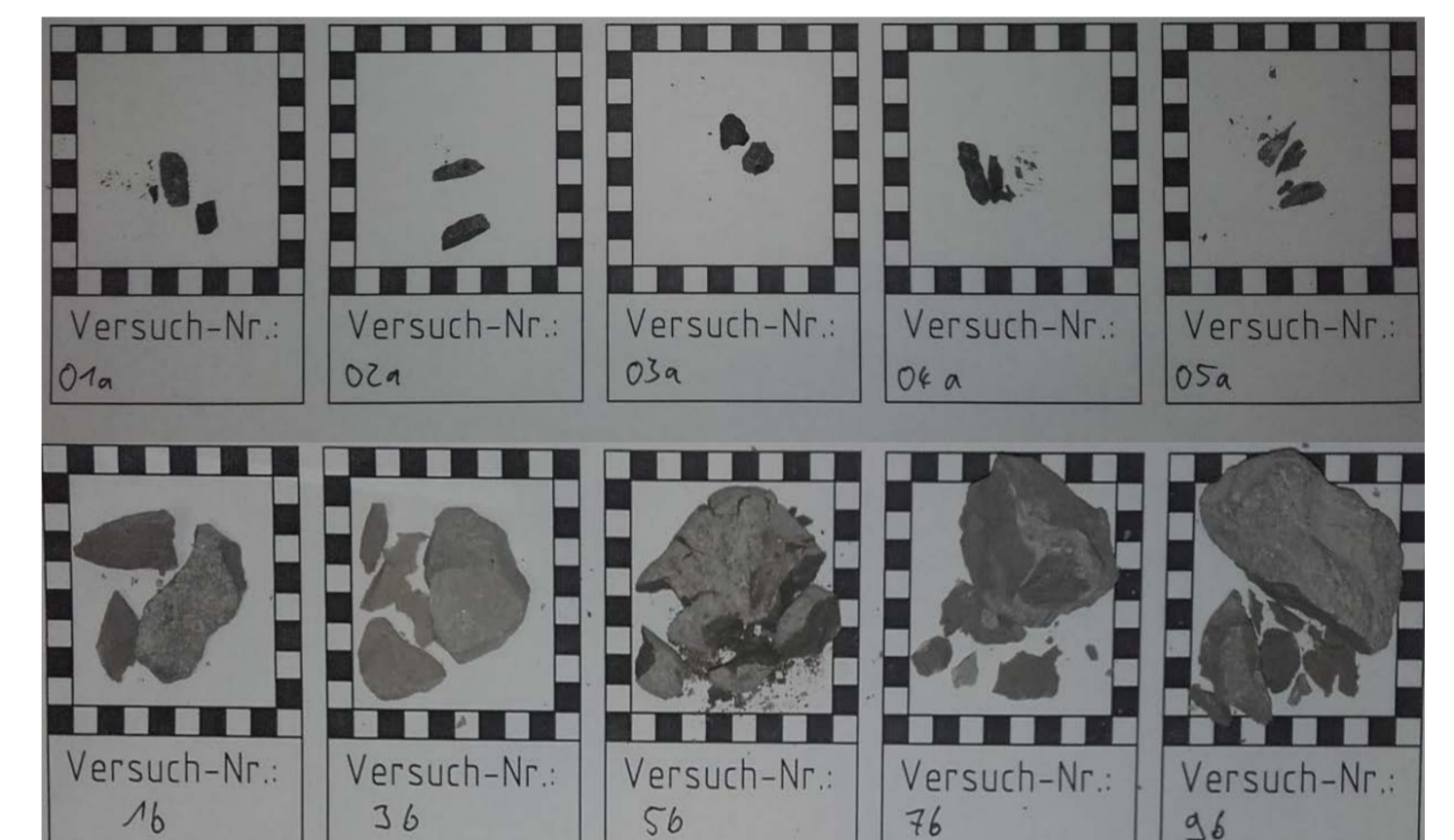


Abb. 5: Versuche zur Kornfestigkeit, oben: Boden 1, unten: Boden 2

## Zusammenfassung

Die Bestimmung der Reibungswinkel hat in Verbindung mit den Mantelreibungsversuchen gezeigt, dass eine hinreichende Näherung des Vertikalspannungsverlaufs für grobkörnige Böden möglich ist. Da diese Näherung den Einfluss der Kohäsion vernachlässigt, sind Berechnungen nur für nicht bindige Böden möglich. Des Weiteren hat eine exponentielle Näherung der Normalspannungs-Scherspannungs-Beziehung die Lastabhängigkeit des Reibungswinkels von der einwirkenden Normalspannung besonders bei grobkörnigem Boden (Boden 2) gezeigt.

Die Versuche zur Druckfestigkeit von Einzelkörnern zeigten die Möglichkeit einer näherungsweisen Bestimmung der kritischen Bruchspannung  $\sigma_{Korn}$  von Einzelkörnern. Die akustischen Messungen ergaben bodentypische Spannungen  $\sigma_{Oedo}$  unter denen ein erhöhtes Auftreten von Kornbruch zu erwarten ist. Aus beiden Messungen ergibt sich ein ähnlicher, faktorieller Zusammenhang:

Tab. 3: Vergleich Druckfestigkeit Einzelkorn und Kornbruchspannung im Ödometer

|         | $\sigma_{Korn}$<br>[MPa] | $\sigma_{Oedo}$<br>[MPa] | $\sigma_{Korn}/\sigma_{Oedo}$<br>[-] |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Boden 1 | 11,47                    | 2                        | 5,735                                |
| Boden 2 | 4,59                     | 0,8                      | 5,738                                |

In Folge der durchgeführten Ödometerversuche konnte ein Einfluss des Kornbruches auf die Kompressionseigenschaften nachgewiesen werden. Es zeigte sich ein eine Erhöhung der Lagerungsdichten auf Grund einer Zunahme des Feinkornanteiles.

### Hochschullehrer

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

### Wissenschaftlich Betreuung

Dipl.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

### Abgabe

Oktober 2017