

# Untersuchungen zum Einfluss und zur Bestimmung von zementhydratationshemmenden Bestandteilen in organischen Böden und Böden mit organischen Anteilen

## Themenschwerpunkt: Laborversuche zum Einfluss organischer Säuren und zur Beurteilung der Festigkeitsentwicklung

Björn Bodner

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Frank Rackwitz (TU Berlin)

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Stephan (TU Berlin)

Betreuer: Dr.-Ing. Ralf Glasenapp (TU Berlin), Dr. Patrick Arnold (GuD)

Organogene und organische Böden sind als gering tragfähig einzustufen und erfüllen daher unter üblichen Bedingungen nicht die Anforderungen für eine bautechnische Verwendung. Bodenverfestigungsmaßnahmen ermöglichen es, die Festigkeit gering tragfähiger Böden durch Einarbeiten von Bindemitteln zu erhöhen und darüber hinaus die Ziele der Ressourcenschonung und der Abfallvermeidung umzusetzen. Das Tiefeneinmischverfahren kann im Rahmen einer Baugrundverbesserung angewandt werden und stellt ein vergleichsweise wirtschaftliches aber auch vielseitig einsetzbares Bauverfahren dar.

Je nach Ziel der Maßnahme und abhängig vom zu behandelnden Boden kommen unterschiedliche Bindemittel zum Einsatz. Die Vorgänge bei der Zementhydratation bei Vorhandensein von organischen Bestandteilen sind allerdings sehr komplex und von vielen Faktoren abhängig. Weiterhin führen zementhydratationshemmende Bestandteile, wie der lösliche Anteil der Huminstoffe (Fulvo- und Huminsäuren) bzw. Saccharose, dazu, dass die erwarteten Festigkeiten teilweise nicht erreicht werden. Um Bodenstabilisierungsmaßnahmen unter Zugabe von Bindemitteln bei organogenen Böden zu etablieren, muss bei der Anwendung in der Praxis daher bereits im Planungsprozess reagiert werden.

Der Themenschwerpunkt dieser Abschlussarbeit, die als Gruppenarbeit erstellt wurde, basiert auf der Durchführung von Laborversuchen zur Bestimmung des Einflusses organischer Säuren und zur Beurteilung der Festigkeitsentwicklung.

Im Rahmen von Vorversuchen wurden kommerzielle Fulvo- und Huminsäurepulver in unterschiedlichen Mengen zu einer Sand-Zement-Mischung separat hinzugegeben. Hierfür wurde ein Versuchsstand, bestehend aus Probekörpern in der Größe einer handelsüblichen Filmdose (siehe Abb. 1), entwickelt, um den Einfluss verschiedener Parameter wie Huminstoffmenge, Zementmenge und Abbindezeit auf die Festigkeitsentwicklung zu beurteilen.

Generell wurde ein Festigkeitsabfall mit steigendem Huminstoffgehalt festgestellt, wobei deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Huminstofffraktionen auftraten. Ein höherer Zementgehalt und eine steigende Abbindezeit führten nur bedingt zu einem Festigkeitsanstieg.



Abbildung 1: Versuchsstand der Kleinversuche

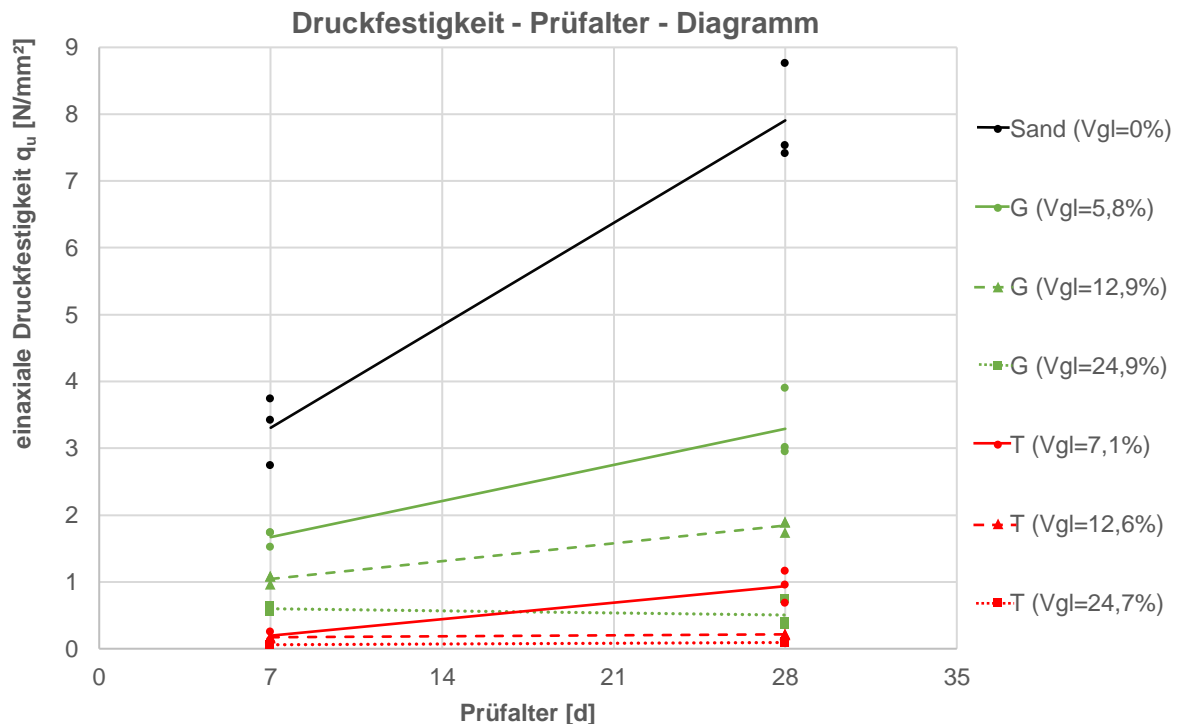
Der pH-Wert der Säuren beeinflusste die Festigkeiten nur geringfügig, da sich bereits ab Zugabe des Bindemittels ein basisches Boden-Bindemittel-Milieu einstellte. Auch der w/z-Wert der Sand-Zement-Organik-Mischung korrelierte nur bedingt mit den erzielten Festigkeiten. Die Ergebnisse verdeutlichen die Komplexität des Huminstoffsystems, da Fulvo- und Huminsäuren über keinen einheitlichen chemischen strukturellen Aufbau verfügen. Die abweichenden Eigenschaften der Huminstoffpulver wurden mit modernen analytischen Verfahren wie der UV/VIS-Spektroskopie und der IR-Spektroskopie nachgewiesen.

Neben den Vorversuchen wurde ein Laborprogramm, bestehend aus Großversuchen für bindemittelverbesserte Sandproben unter Zugabe gewachsener organischer Böden, ausgearbeitet. Es wurden ein gering zersetzter Torf G ( $V_{gl} = 50,3\%$ ) und ein hochzersetzer Torf T ( $V_{gl} = 87,7\%$ ) verwendet. Für die organischen Böden wurde im anderen Teil der Gruppenarbeit zuvor der Anteil an Fulvo- und Huminsäuren quantitativ bestimmt. Für die Versuche wurde der bestehende Versuchsstand der Technischen Universität Berlin verwendet, bei dem die Boden-Bindemittel-Mischungen unter Wasser und mit einer Auflast gelagert werden, um die in-situ Verhältnisse zu simulieren. Der Ansatz der Großversuche lag darin, die Sand-Organik-Mischungen durch gezielte Zugabe von anorganischem Sand auf den gleichen organischen Anteil anzumischen. Der organische Anteil wird, wie in der geotechnischen Praxis üblich, anhand des Glühverlustes ermittelt. Durch die Vorgehensweise wird der Einfluss der Zusammensetzung der organischen Bestandteile hervorgehoben. Die Stoffraumrechnung führt aufgrund des gewählten Ansatzes dazu, dass die Bodenmischungen, die einen organischen Boden mit hohem Glühverlust enthalten, tendenziell festigkeitssteigernde Eigenschaften aufweisen, da mehr Sand und weniger Wasser im Stoffraumsystem vorhanden sind.



**Abbildung 2: Versuchsstand der Kleinversuche und ausgeschaltete Probekörper**

In der ersten Versuchsreihe wurde Portlandzement als Bindemittel verwendet und die Bodenmischungen auf unterschiedliche organische Anteile angemischt. Trotz gleichem Glühverlust der Sand-Organik-Mischungen wurden deutliche Festigkeitsunterschiede erzielt (siehe Abb. 3). Bei Zugabe der Organik T liegen die Festigkeiten durchweg unter denen der Organik G und das, obwohl die Organik T über einen größeren Glühverlust und die Sand-Organik-Mischung dementsprechend über festigkeitssteigernde Eigenschaften im Vergleich zur Mischung mit der Organik G verfügt. Der Glühverlust als Parameter zur Abschätzung der erzielbaren Festigkeit ist demnach nur bedingt geeignet. Die Festigkeitsunterschiede sind insbesondere auf die nachgewiesenen höheren Huminstoffanteile der Organik T zurückzuführen. Die Menge der Organik bzw. der Organikgehalt sind demnach nicht zwangsweise entscheidend für die Ausbildung hoher Festigkeiten bei der Verfestigung von Böden mit organischen Bestandteilen, sondern vielmehr die Zusammensetzung der Organik selbst. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass das Verfestigungspotential mit steigendem Zersetzungsgrad organischer Böden abnimmt.



**Abbildung 3: Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit über das Prüfalter von zementverbesserten Sand-Organik-Mischungen**

Bei der zweiten Versuchsreihe wurde der Einfluss von Hüttensand als Zusatzstoff zum Portlandzement auf die Festigkeitsentwicklung bindemittelverbesserter Sand-Organik-Mischungen untersucht. Hierfür wurde der Anteil an Hüttensand variiert und die organischen Böden aus der ersten Versuchsreihe verwendet. Der Festigkeitsanstieg nach 28 Tagen ist bei den Proben unter Zugabe von Portlandzement deutlich ausgeprägter. Die organische Substanz beeinflusst die alkalische Aktivierung des Hüttensandes deutlich, sodass nach 28 Tagen überwiegend nur mit Portlandzement die höchsten Festigkeiten erzielt werden.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass anhand der Parameter organischer Anteil, Zersetzungsgrad und Huminsäuregehalt eine erste Abschätzung zur Verfestigungsfähigkeit organischer Böden und Böden mit organischen Bestandteilen möglich ist. Dabei sinkt die erzielbare Festigkeit tendenziell mit steigendem organischem Anteil, steigendem Huminsäuregehalt und höherem Zersetzungsgrad der organischen Bodensubstanz. Der insbesondere in der Literatur beschriebene deutliche festigkeitsmindernde Einfluss von Grauhuminsäuren konnte bei den Laboruntersuchungen nur vereinzelt nachgewiesen werden.

Auf Basis weiterer Erfahrungswerte sind geeignete Methoden im Rahmen einer Handlungsanweisung festzulegen, um in der Praxis bereits im Planungsprozess reagieren zu können. Dadurch wird gewährleistet, dass der planende Ingenieur bereits frühzeitig die Anwendbarkeit einer Bodenstabilisierungsmaßnahme durch Zugabe von Bindemitteln, bedingt durch projektbezogene Anforderungen, beurteilen kann.