

Baukammerpreis 2019

Anerkennung an Hannes Benke in der Gruppe der Master-Arbeiten der TUB und der Hochschulen:

Bewertung des Einflusses organischer Beimengungen zur Bodenverfestigung von Sanden mittels Tiefeneinmischverfahren

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

Zweitgutachter: Dr.-Ing. Ralf Glasenapp (TU Berlin)

Die Verwendung von Bindemitteln zur Verbesserung der Baugrundeigenschaften ist weit verbreitet und wird bei verschiedenen Verfahren des Spezialtiefbaus und in vielen Bereichen der Geotechnik eingesetzt. Insbesondere weiche bindige und organische, aber auch locker gelagerte rollige Böden sowie Mischformen werden entsprechend den gestellten Anforderungen durch gezieltes Vermischen mit beispielsweise Zement verfestigt.

Organische Böden oder anorganische Böden mit organischen Anteilen stellen dabei eine Herausforderung dar, denn sie können die chemische Reaktion des Bindemittels während der Hydratation und damit die Festigkeitsentwicklung maßgeblich beeinflussen. Über die Auswirkungen entscheidet im Wesentlichen die Zusammensetzung der organischen Substanzen. So ist beispielsweise aus dem Betonbau bekannt, dass schon geringe Mengen Zucker oder zuckerähnlicher organischer Stoffe das Erstarren und Erhärten verzögern oder gar vollständig verhindern können.

Ausgangspunkt für die Untersuchungen im Rahmen der Abschlussarbeit war eine praktische Problemstellung im Großraum Berlin, bei der ein locker gelagerter sandiger Boden mit geringen organischen Anteilen für eine Gründungsmaßnahme im Tiefeneinmischverfahren verbessert werden sollte. Im Vorfeld wurden Laborversuche mit dem Boden und dem vorgesehenen Zement zur Beurteilung der Anwendbarkeit dieser Maßnahme durchgeführt. Aufgrund der geringen Festigkeitsentwicklung der angemischten Proben musste jedoch eine alternative Verbesserungsmaßnahme ausgeführt werden. Die aus diesem Ergebnis motivierte Laborstudie zur Untersuchung des Einflusses von organischen Beimengungen beim zementgestützten Tiefeneinmischverfahren im Baugrund stellt

die zentrale Fragestellung der Abschlussarbeit dar.

Als Grundlage der Laborstudie wurde ein Versuchsprogramm entwickelt. Hierbei wurden Probekörper hergestellt und auf Ihre einaxiale Druckfestigkeit untersucht. Neben den verwendeten Zementsorten und Beimengungen organischer Bodensubstanz, wurden bei der Probekörperherstellung die Aushärtezeit sowie die Mengenverhältnisse (Zement, organische Bodensubstanz) variiert. Zur bestmöglichen Simulation der Verhältnisse in situ wurde ein Versuchsstand entwickelt. In der Abb. 1 ist der schematische Aufbau des Versuchsstand zur Probekörperherstellung dargestellt. Mithilfe der Lagerung im Wasserbad konnten die Grundwasserverhältnisse nachgestellt werden. Die Ballastierung simuliert die Auflast des darüberliegenden Bodenkörpers.

Das Versuchsprogramm wurde in zwei Serien unterteilt. Im ersten Schritt wurde anhand variierender Zementsorten der Einfluss der Zementzusammensetzung untersucht. Eine weiterführende Serie wurde mit konstant bleibender Zementsorte bei variierenden organischen Beimengungen durchgeführt. Neben der Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit wurden zusätzlich Untersuchungen zur Hydratationswärmeentwicklung sowie Untersuchungen des pH-Wertes, des Wassergehaltes und der Dichte vorgenommen.

Die erbrachten Versuchsergebnisse geben Rückschlüsse darüber, dass die organischen Bodensubstanzen einen Einfluss auf die Zementhydratation nehmen. Dies zeigt sich sowohl im Verhalten der Druckfestigkeits- als auch der Hydrationswärmeentwicklung der untersuchten Versuchsreihen. Es ist eine grundsätzlich hemmende und behindernde Wirkung der Organik

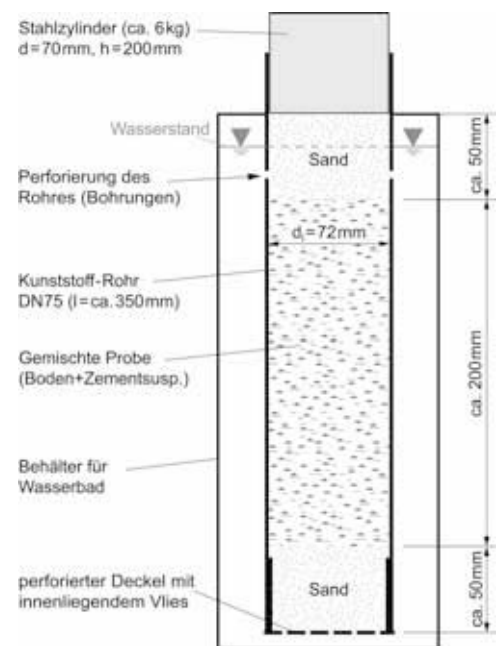


Abb. 1:
Schematischer Aufbau der Probenform während der Lagerung im Wasserbad

festzuhalten. Hier können neben den organischen Verbindungen des Bodens, welche in die chemische Reaktion der Hydratation eingreifen, auch mechanische Abhängigkeiten des untersuchten Spezialtiefbauverfahrens wie der Wassergehalt oder der w/z-Wert als Ursache herangezogen werden.

Bei der Planung einer Baugrundverbesserung für einen Boden mit organischen Bestandteilen kommt den jeweiligen organischen Bestandteilen (Huminstoffe und Nicht-Huminstoffe) im Boden eine besondere Bedeutung zu. Bedingt durch die ineinandergreifenden Prozesse der Mineralisierung und Humifizierung beim Umwandlungsprozess des Bodens, ist die genaue Untersuchung und Einteilung der Böden auf deren organische Zusammensetzung erforderlich, um die Risi-

ken für die unterschiedlichen Bauverfahren abschätzen zu können. Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Voruntersuchungen wie der Nachweis der Fulvosäuren und Humus stellen hierfür leicht umsetzbare Analysemethoden für den Nachweis von Huminstoffen dar. Da neben den Huminstoffen auch Nicht-Huminstoffe (niedermolekulare Verbindungen, Zucker, Öle usw.) in der Organik vorhanden sein können, kommt der Untersuchung des Zersetzungsgrades eine größere Bedeutung zu. Denn so kann qualitativ festgestellt werden, inwieweit der Zersetzungsprozess bereits abgeschlossen ist und Nicht-Huminstoffe auch einen Einfluss auf den Abbindeprozess des Zements haben können.

In den bereits veröffentlichten Studien zum Einfluss der Organik auf das Festigkeitsverhalten von zementverbesserten Böden mit organischem Anteil werden bisher die Huminsäuren als wesentlicher Faktor genannt. Die gewonnenen Erkenntnisse zeigen jedoch, dass auch der Anteil an Nicht-Huminstoffen, deren Bedeutung mit zunehmendem Zersetzungsgrad der organischen Substanz sinkt, den chemischen Prozess der Zementhydratation negativ beeinflussen kann. Die Zugabe von mehr Zement hatte in den Untersuchungen eine Erhöhung der Druckfestigkeit zur Folge. Zum Zementgehalt wurde in bestehender Forschung eine Schwelle eingeführt, womit die Einflussnahme der organischen Substanz und der damit verbundenen organischen Säuren auf die Zementhydratation mit steigendem pH-Wert neutralisiert werden soll. Bei den eigenen Versuchen konnte über den ermittelten pH-Wert bei Ein- und Ausbau der Probekörper nachgewiesen werden, dass sich ab Zugabe

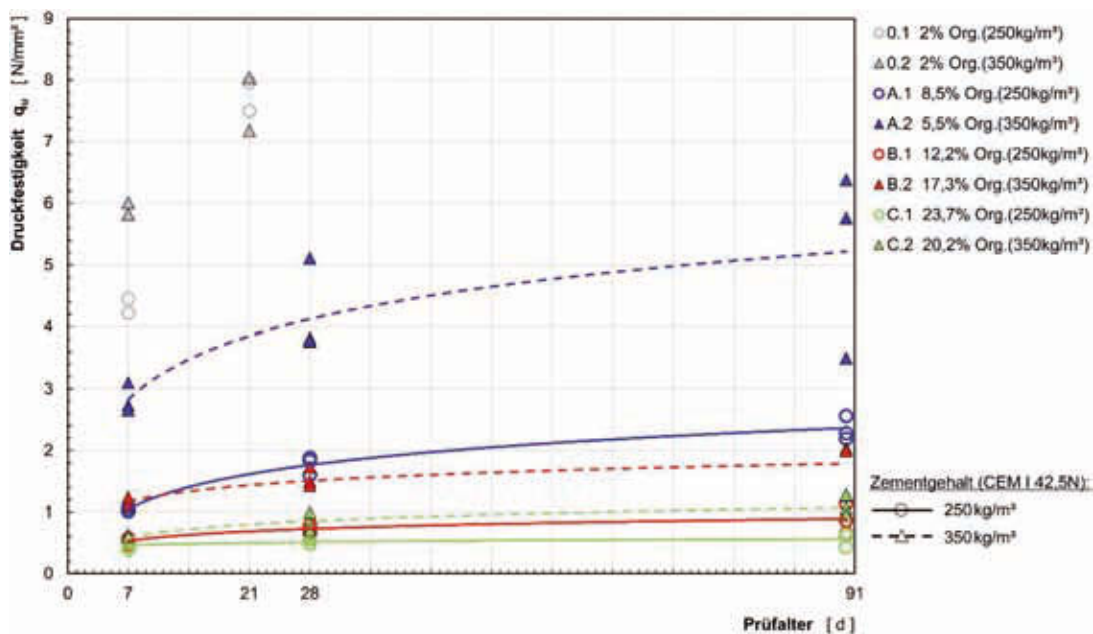


Abb. 2: Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit über das Prüfalalter. Die stark verzögernde Wirkung der Organik konnte durch Analyse der Zementhydratation nachgewiesen werden.

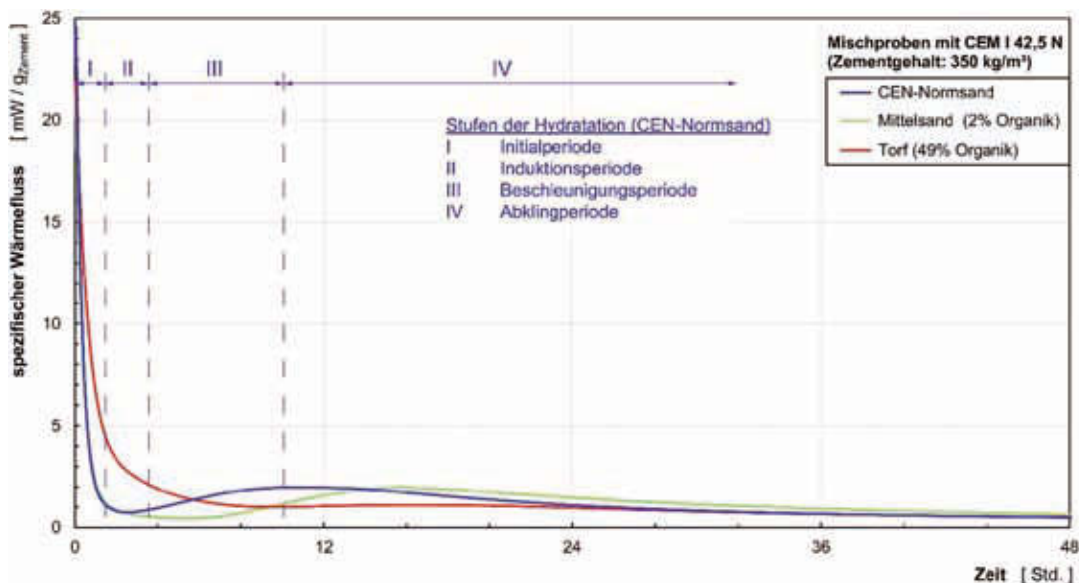


Abb. 3: Wärmefluss während der Zementhydratation

des Zements ein basisches Milieu in den Boden-Zement-Mischungen ausgebildet und über das Prüfalalter konstant gehalten hat. Zur Verifizierung wurden weitere pH-Werte an den ausgebauten und getrockneten Probekörpern geprüft – es wurden pH-Werte von 12 gemessen. Da die zugehörigen Probekörper trotz dieses basischen Milieus eine reduzierte Druckfestigkeit aufwiesen, kann die vorgeschlagene Schwelle mit den Ergebnissen dieser Studie in der Form nicht bestätigt werden.

Die präsentierten Ergebnisse stellen eine gute Basis für weitere Arbeiten dar. Es ist sinnvoll, die Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung und der Prozesse bei der Zersetzung der Organik zu intensivieren, um die Einflussfaktoren auf die Zementhydratation besser zu identifizieren. Somit lassen sich gegebenenfalls Möglichkeiten erarbeiten, um die Festigkeitsentwicklung im Spezialtiefbau bei organischen Böden zu verbessern.