

Bodenverbesserung mittels Boden-Kunststoff-Zement-Mischung unter zyklischer Belastung und Dauerlast

Rojda Kirmizioglan

Einleitung

Mit der Zeit wachsen die Anforderungen an die Baustoffe im Bauwesen. Da sich jedoch die Eigenschaften eines Betons oder Bodens nur begrenzt durch zementgebundene Stoffe variieren lassen, kommen zu diesem Zweck vermehrt Polymere zum Einsatz. Unter anderem lassen sich dadurch die mechanischen Eigenschaften wie die Festigkeit und Steifigkeit gezielt beeinflussen, welche sich auf das Verformungsverhalten des Betons oder Bodens auswirken. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit das Verhalten einer Boden-Kunststoff-Zement-Mischung unter zyklischer und andauernder Belastung unter verschiedenen Gesichtspunkten untersucht.

Probenherstellung

Bei der Herstellung der in dieser Arbeit benötigten Proben wurden die Erkenntnisse und Verfahrensweisen der vorangegangenen Abschlussarbeiten von Schmeier (2017) und Wiegel (2020) angewandt. Sämtliche Proben wurden auf dieselbe Art und Weise hergestellt.

Bei dem Ausgangsmaterial handelt es sich zum einen um den sogenannten Dresdner Heidesand, welcher sich als ein enggestufter Mittelsand klassifizieren lässt. Für die Untersuchungen wurde ein Zement mit der Bezeichnung CEM I 32,5 R verwendet. Die Auswahl fiel aufgrund der Untersuchungen Wiegels (2020) auf diesen, da er eine höhere resultierende Druckfestigkeit und ein steiferes Materialverhalten aufwies als die anderen untersuchten Zementarten. Bei dem in dieser Arbeit verwendeten Polymer handelt es sich um das Solidcryn, einem auf Acrylat- bzw. Methacrylat basierendem Injektionsgel, welches aus vier Komponenten besteht.

Nach Variation der Mischungsverhältnisse durch Anpassung der Masseanteile der verschiedenen Materialkomponenten ergab sich nach Wiegel (2020) das folgende optimale Mischungsverhältnis:

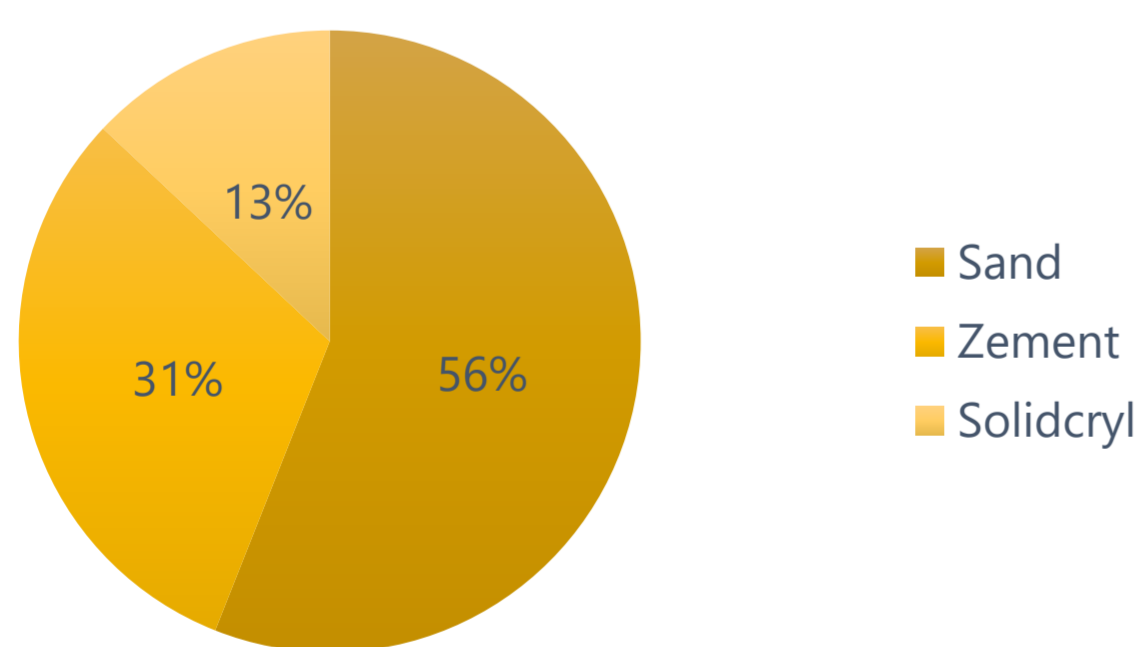


Abb. 1: Mischungsverhältnis Ausgangsmaterial

Untersuchung der Eigenschaften der Boden-Kunststoff-Zement-Mischung

Untersuchungsvariablen

Die Laboruntersuchungen zur einaxialen Druckfestigkeit q_u , dem Verhalten unter Dauerlast und dem Verhalten unter zyklischer Belastung der Boden-Kunststoff-Zement-Mischung wurden unter Variation der Belastung σ des Umgebungswassergehaltes w , und der Aushärtezeit t_A durchgeführt. Gewählt wurden dabei folgende:

- σ : 0,5- q_u , 0,7- q_u , 0,8- q_u und 0,9- q_u
- w : 0%, 2% und 4%
- t_A : 1 Tag, 7 Tage, 14 Tage, 34 Tage und 41 Tage

Verhalten unter Dauerlast

Für die Untersuchung des Kriechverhaltens wurden die Ödometerstände des Instituts für Geotechnik entsprechend Abb. 2 umgebaut. Die Belastung der Proben erfolgte aufgrund der zuvor ermittelten minimalen einaxialen Druckfestigkeiten der jeweiligen Probenreihen.

Die Wahl fiel auf die minimalen Druckfestigkeiten um eine Überschätzung dieser und ein damit einhergehendes frühzeitiges Versagen zu vermeiden. Die Last wurde in einer Stufe aufgebracht und die Proben über eine Zeit von 7 Tagen belastet, wobei die Setzung in Abhängigkeit der Zeit aufgezeichnet wurde.

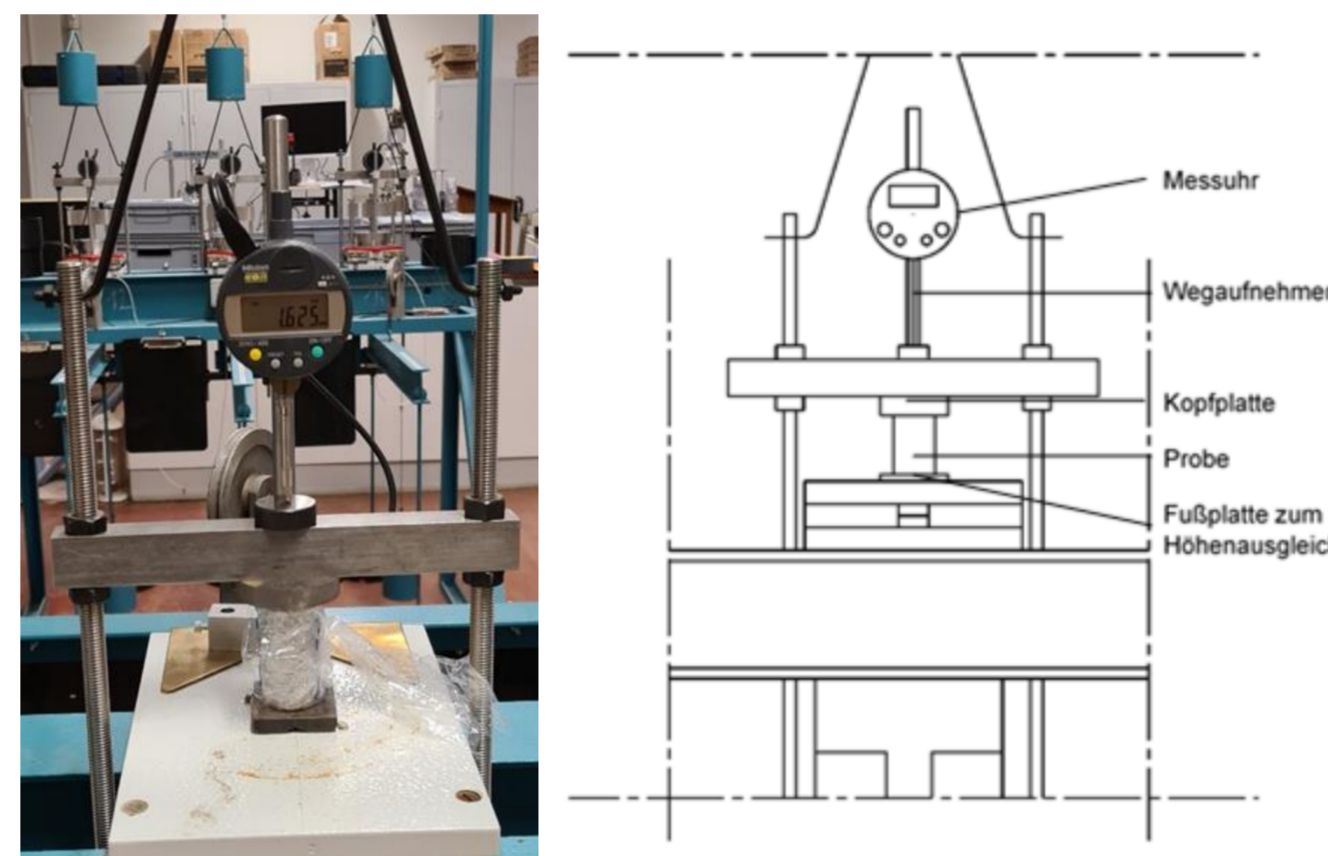


Abb. 2: Versuchsaufbau Dauerlastversuch

Aufgrund des Dreikomponentengemisches konnte die Porenzahl der Proben nicht ermittelt und damit die übliche Auswertung über Spannungs-Porenzahl-Diagramme nicht durchgeführt werden. Darum wurde zur Auswertung der Vergleich der Proben anhand des Stauchungs-Zeit-Verhaltens durchgeführt. Dabei wurde der Anstieg der Geraden im annähernd linearen Bereich des sekundären Kriechens bestimmt, dieser Anstieg wird auch als Kriechkoeffizient C_ϵ bezeichnet und nach Formel 1 berechnet.

$$C_\epsilon = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)} = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\log(t_2) - \log(t_1)} \quad (1)$$

Aus den so ermittelten Kriechkoeffizienten wurden Mittelwerte gebildet, die zur Auswertung der Ergebnisse genutzt wurden.

Stellt man die Kriechkoeffizienten in Abhängigkeit der Belastung dar, erhält man das in Abb. 3 dargestellte Diagramm. Wie sich unschwer erkennen lässt, nahmen mit zunehmender Belastung die Kriechkoeffizienten ungeachtet des Umgebungswassergehaltes und der Aushärtezeit ebenfalls zu.

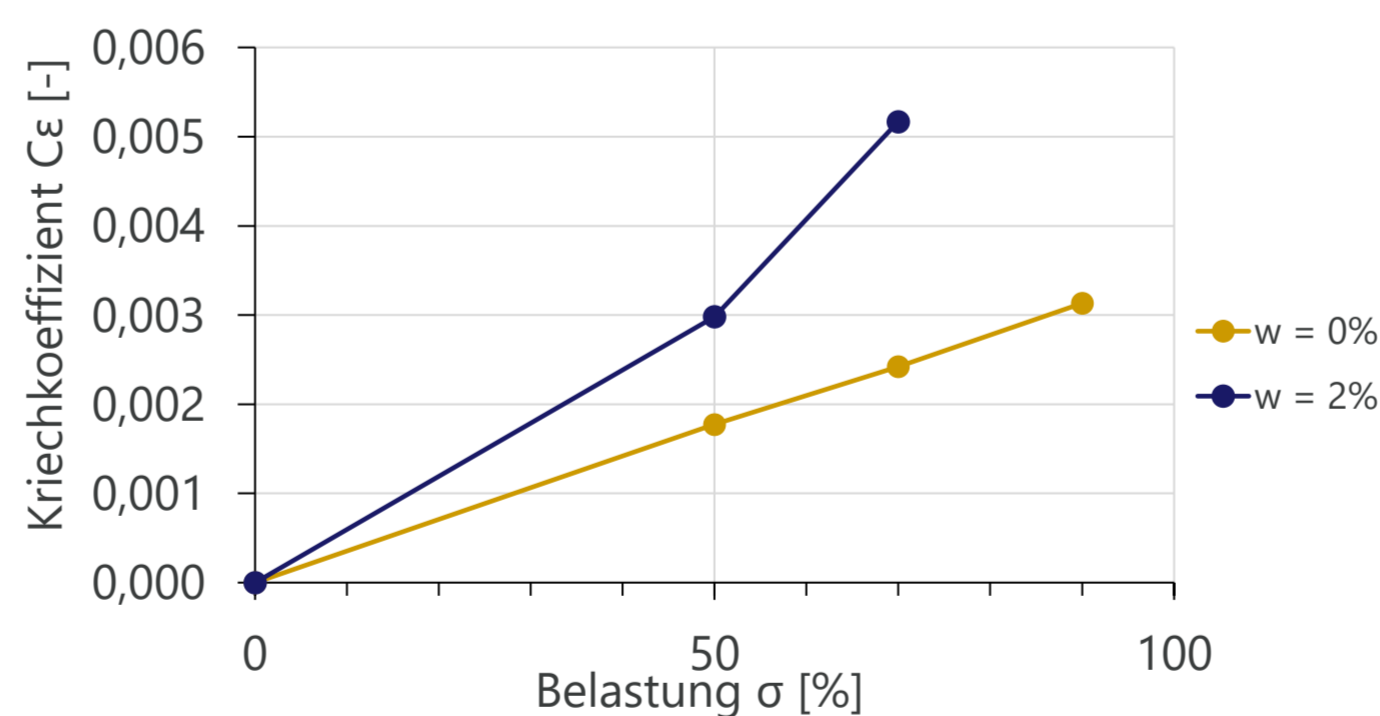


Abb. 3: Kriechkoeffizient C_ϵ in Abhängigkeit der Belastung bei $t_A = 1$ d

Mit zunehmendem Umgebungswassergehalt sollten die Kriechverformungen ebenfalls zunehmen. Ein solches Verhalten konnte bei den Probenreihen unterschiedlicher Aushärtezeiten nur bedingt nachgewiesen werden (Abb.4).

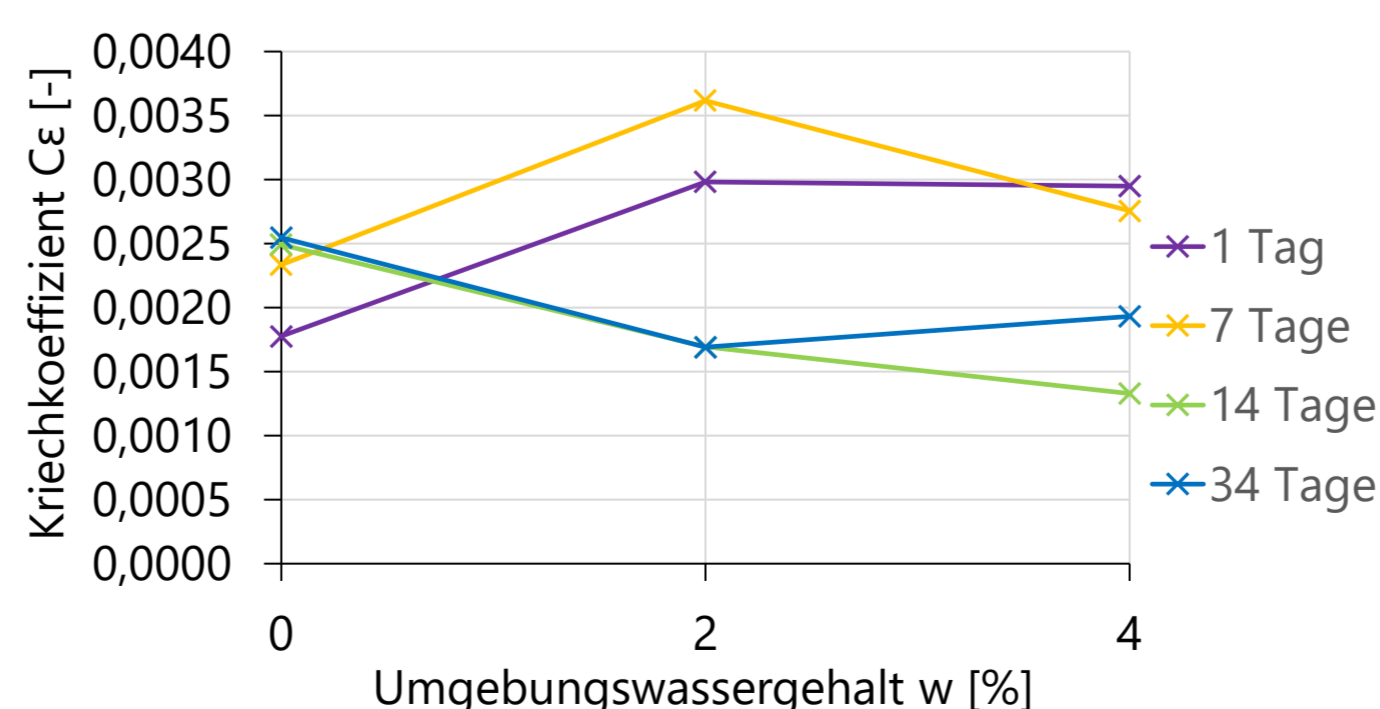


Abb. 4: Kriechkoeffizient C_ϵ in Abhängigkeit des Umgebungswassergehaltes bei $\sigma = 0,5 q_u$

Außerdem sollten mit zunehmender Aushärtezeit bei einem Umgebungswassergehalt von 0% die Kriechkoeffizienten zunehmen und bei den Umgebungswassergehalten von 2% und 4% abnehmen. Auch dieses Verhalten trat nur bedingt auf.

Verhalten unter zyklischer Belastung

Die Untersuchungen zum zyklischen Verhalten der Boden-Kunststoff-Zement-Mischung wurden mit dem einaxialen Druckgerät der Infratest Prüftechnik GmbH durchgeführt. Dazu wurden die Proben weggesteuerter mit einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit belastet.

Während des Versuchs wurden Setzung und Kraft in Abhängigkeit der Zeit gemessen. Die Belastung erfolgte mit 50-80% der angenommenen Druckfestigkeiten. In jedem Zyklus wurde die Probe zunächst bis zum Erreichen der gegebenen Auflast belastet. Daraufhin wurde die Probe bis zu einer Auflast von 20% der einaxialen Druckfestigkeit entlastet. Dieser Vorgang wurde bis zum Erreichen von 100 Zyklen wiederholt. Danach wurde die gegebene Auflast bis zum Ausbau der Probe gehalten.

Bei den zyklischen Versuchen wurden die Kriechkoeffizienten wie in den Dauerlastversuchen bestimmt und ausgewertet. Daraus ergaben sich mit zunehmender Belastung und zunehmendem Umgebungswassergehalt eine Zunahme der Kriechkoeffizienten. Auch bei den zyklischen Versuchen traten bei Variation der Aushärtezeiten Widersprüche zum theoretischen Materialverhalten auf (Abb. 5).

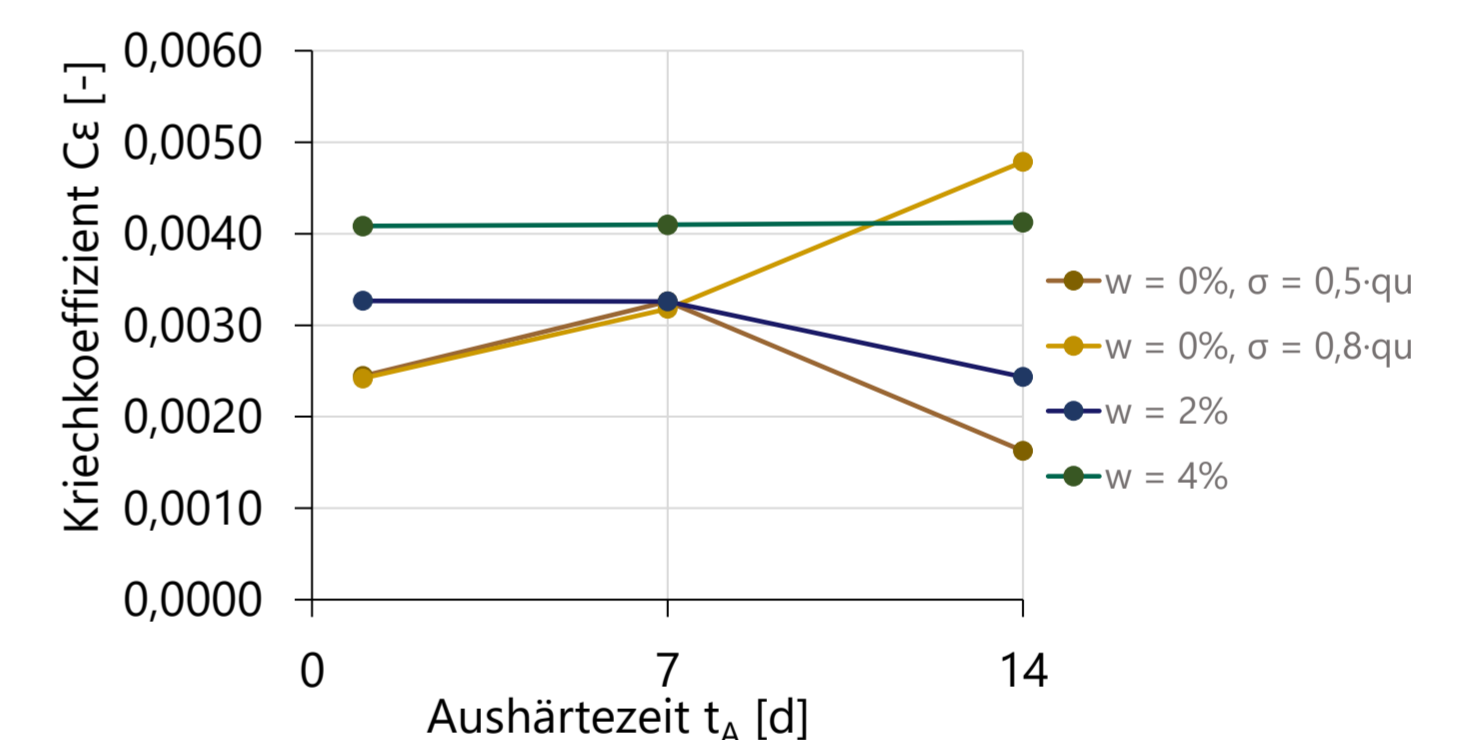


Abb. 5: Kriechkoeffizient C_ϵ in Abhängigkeit der Aushärtezeit t_A

Zusammenfassung

Aus den Versuchen zum Verhalten der Boden-Kunststoff-Zement-Mischung unter zyklischer und andauernder Belastung ergab sich, dass mit Erhöhen der Belastung und des Umgebungswassergehaltes die Kriechverformungen zunehmen. Für die Aushärtezeit kann keine solche allgemeine Aussage getroffen werden, da die Versuchsreihen unterschiedliche Ergebnisse aufwiesen. Grund hierfür kann eine Kombination verschiedener Faktoren wie der Inhomogenität der Proben (Kornverteilung, Dichte), dem zur Festigkeitssteigerung führenden Austrocknen der Proben während der Belastungszeit und des Versuchsaufbaus sein.

Aufgrund der Abweichungen des Probenverhaltens vom theoretischen Materialverhalten bzw. des uneinheitlichen Probenverhaltens lässt sich keine genaue Aussage über die Eignung des Solidcryn zur Bodenverbesserung treffen, weshalb weitere Versuche notwendig wären.

Projekt
Projektarbeit

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

Wissenschaftliche Betreuung
Dipl.-Ing. Georg Lichtblau, TU Dresden

Abgabe
Februar 2021