

Das mechanische Verhalten von Böden unter zyklischer Beanspruchung in einem Großmodellversuch

Autor: Maximilian Kahnt



Motivation und Ziel

Die Prognose langfristiger Verformungen unter wiederholter Verkehrsbeanspruchung erfordert Versuchsdaten unter definierten und zugleich praxisnahen Randbedingungen.

Ziel der Arbeit ist es, das mechanische Langzeitverhalten eines gemischtkörnigen Bodens in einem Großmodellversuch abzubilden. Im Mittelpunkt stehen die Entwicklung von Spannungen und Setzungen bei hoher Lastspielzahl im niedrigen Spannungsbereich.

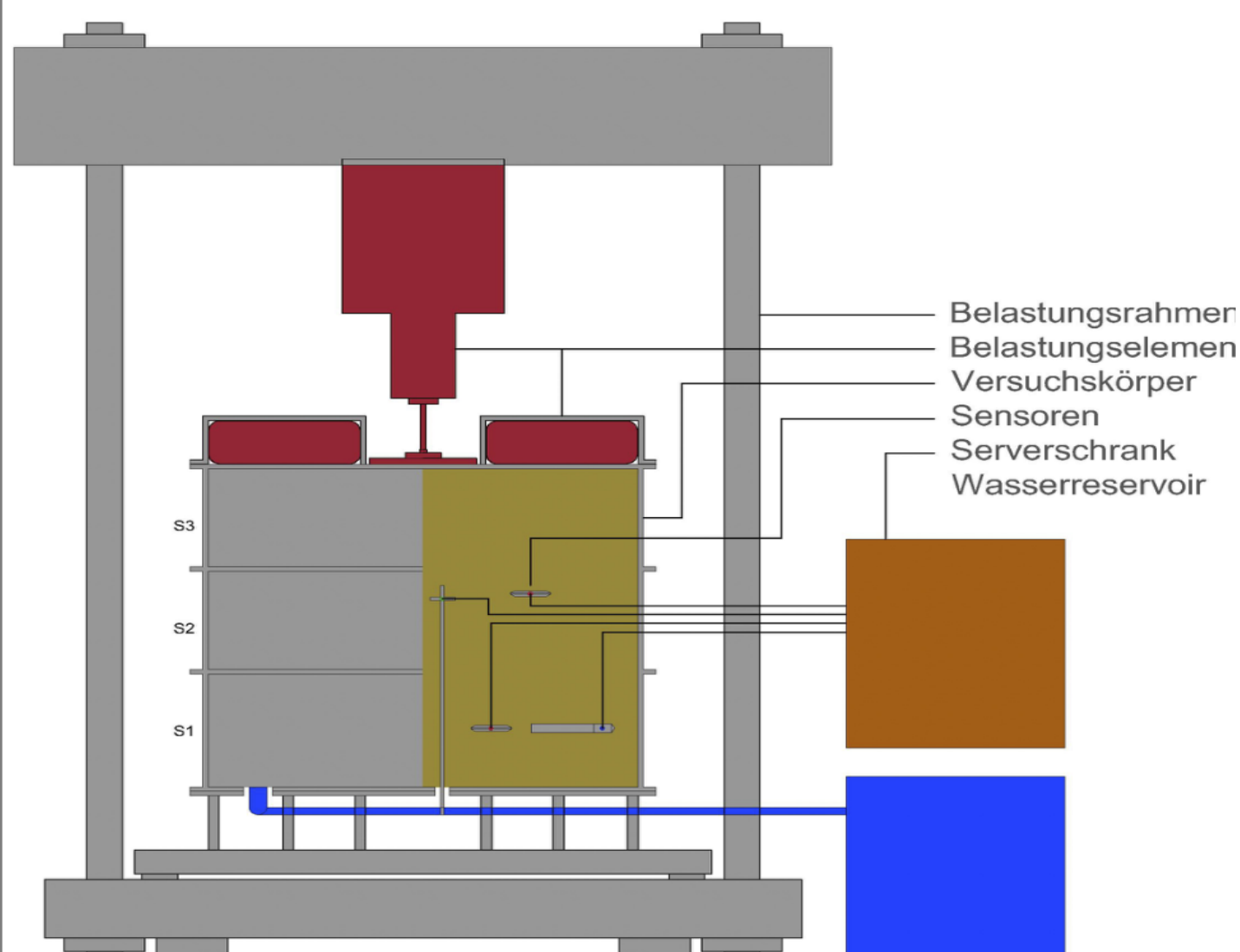


Abb.: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Versuchsaufbau und Belastung

Der zylindrische Versuchskörper mit einem Durchmesser von 1,20 m und einer Bodeneinbauhöhe von 1,05 m bildet einen räumlich begrenzten Ausschnitt unter definierten Randbedingungen ab.

Der Boden wurde schichtweise eingebaut und verdichtet. Mit einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} > 96\%$ liegt insgesamt ein dichter Ausgangszustand vor, wobei lokale Unterschiede in der Verdichtung festgestellt wurden.

Während der zyklischen Versuche wirkt zunächst eine konstante Auflast von 20 kPa. Darauf werden sinusförmige Belastungen mit mehr als 10^6 Lastspielen und Spannungsamplituden von 15, 25 und 35 kPa aufgebracht. Innerhalb der jeweiligen Belastungsphasen befindet sich der Boden überwiegend in einem überkonsolidierten Zustand.

Zur Untersuchung des Einflusses des Sättigungszustands wurde das Versuchsmaterial nach den Belastungsphasen geflutet. Daraufhin wurde der Wasserstand abgesenkt, sodass sich eine teilgesättigte Zone oberhalb und ein vollständig gesättigter Bereich unterhalb des Wasserspiegels ausbildeten.

Das zyklische Belastungsprogramm wurde anschließend mit denselben Belastungsstufen wiederholt.

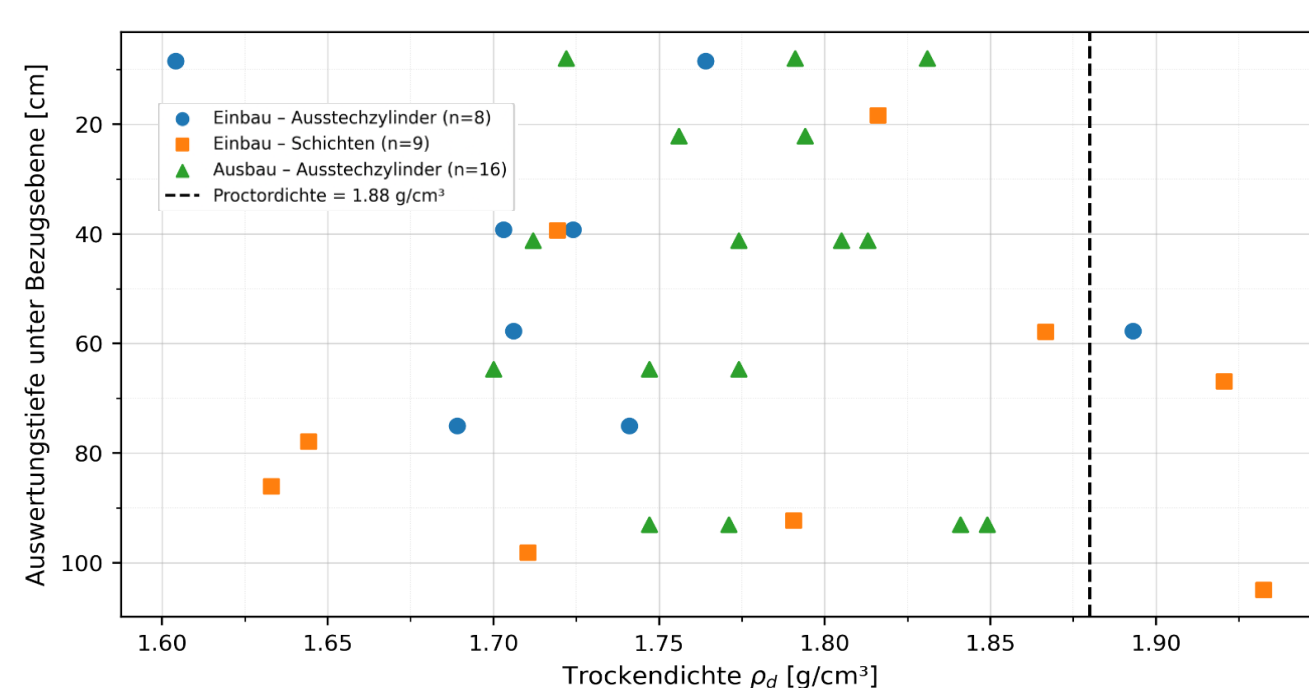


Abb.: Zustandsbeschreibung des Bodenmaterials anhand der bestimmten Trockendichten

Messtechnik und Auswertung

Die Instrumentierung erfasst kontinuierlich die mechanische und hydraulische Entwicklung im Bodenkörper. Wegaufnehmer beschreiben die Setzungen an der Lastplatte und in unterschiedlichen Tiefen.

Erddrucksensoren erfassen die Vertikalspannungen, ergänzt durch Porenwasserdruck- und Wassergehaltssensoren zur Beschreibung des hydraulischen Zustands. Die Erddruckmessungen werden mithilfe sensorspezifischer Kalibrierfaktoren und Referenzwerte ausgewertet.



Abb.: Setzungsteller im Versuchsmaterial und Wegaufnehmer unter der Bodenplatte

Spannungsübertragung im Modell

Die gemessenen Spannungen werden mithilfe analytischer Ansätze eingeordnet und hinsichtlich ihrer Plausibilität bewertet.

Dabei zeigt sich die erwartete Abhängigkeit von Messtiefe und Sensorposition: Der Einfluss der Bodeneigenlast nimmt mit der Tiefe zu, während Zusatzspannungen aus der Oberflächenbelastung mit zunehmender Entfernung vom Lastangriff abklingen. Oberflächennahe Sensoren erfassen die zyklische Zusatzbeanspruchung deutlich stärker als tiefer liegende Messpunkte.

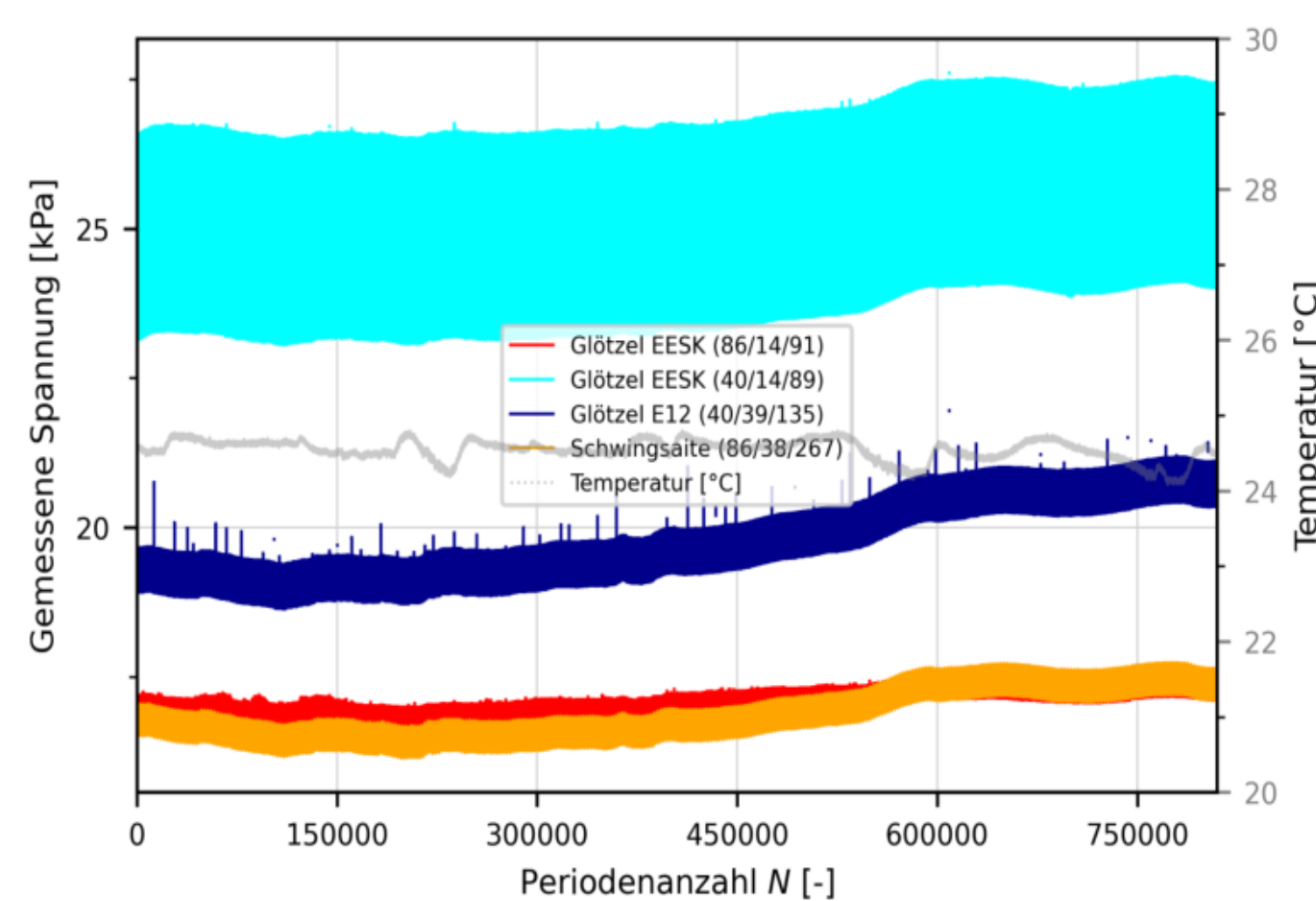


Abb.: Spannungsaufzeichnung unter zyklischer Beanspruchung bei einer Amplitude von 25 kPa, es zeigt sich in den gemessenen Amplituden ein deutlicher Unterschied in Abhängigkeit der Sensorposition

Die Untersuchungen bestätigen die Plausibilität der gemessenen Spannungsverläufe, zeigen jedoch auch relevante Einflüsse auf die Messsignale.



Abb.: Eingebaute Sensoren in der Ebene

Wechselwirkungen zwischen Sensoren und Boden sowie klimatische und messtechnische Randbedingungen können die eindeutige Zuordnung zu mechanischen Beanspruchungen erschweren. Dies ist vor allem bei nachfolgenden Verwendungen der Messtechnik in Feldversuchen zu berücksichtigen.

Setzungen unter zyklischer Belastung

Die größten Verformungen treten an der Lasteinleitung auf und nehmen mit zunehmender Tiefe ab. Im Gegensatz zu den Verläufen der Spannungssensoren, lassen sich Veränderungen der Belastungszustände deutlich von messtechnischen Einflüssen abgrenzen. Mit zunehmender Belastung steigt die Setzung.

Akkumulierte Verformungen

Innerhalb der einzelnen Belastungsphasen zeigen sich akkumulierte Setzungen, die auch im Bodenkörper erkennbar sind. Dabei verformt sich der obere Setzungsteller stärker als der tiefer liegende. Die Ergebnisse belegen damit sowohl die Abhängigkeit von der Belastungsamplitude als auch die Abnahme der Verformungswirkung mit zunehmender Tiefe.

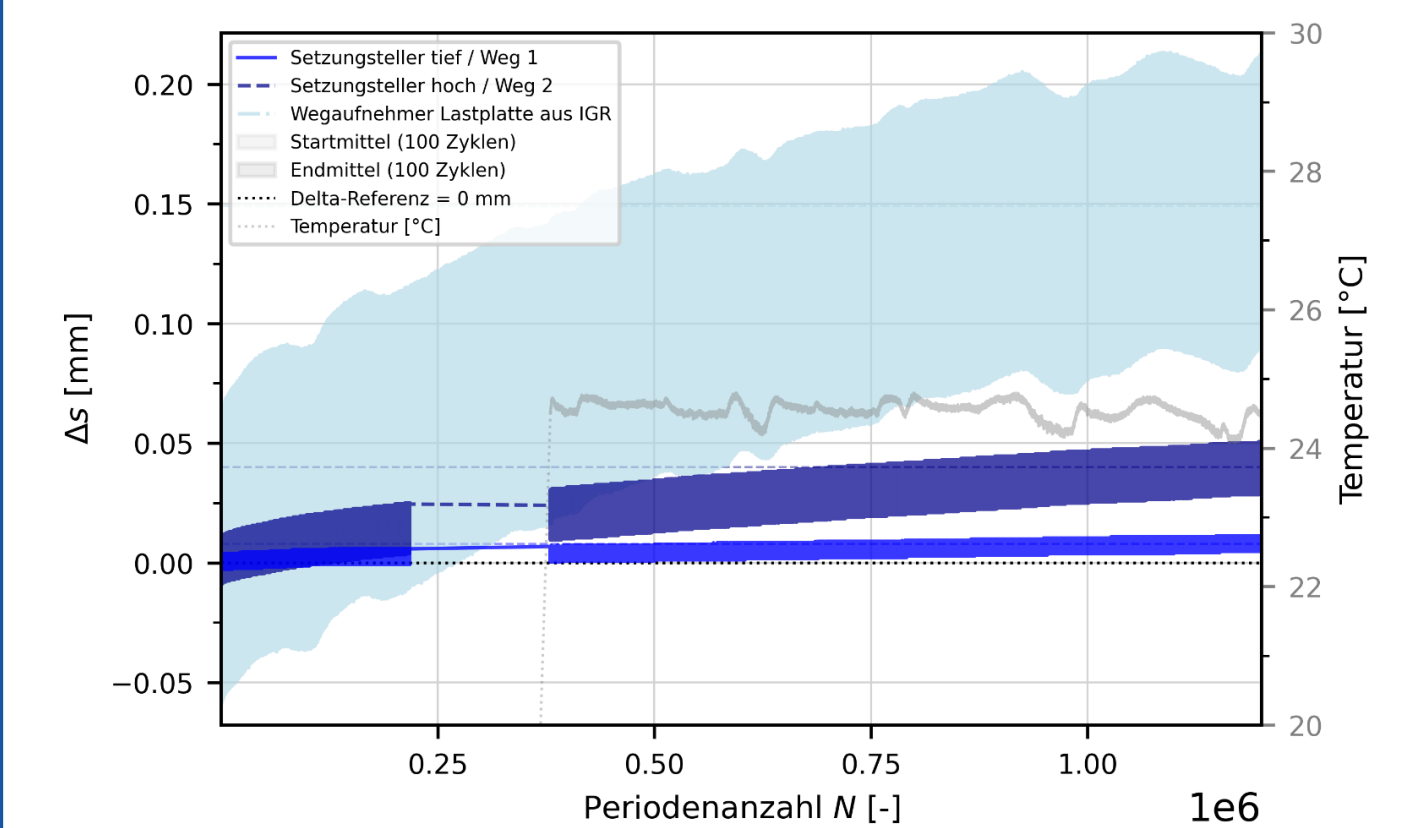


Abb.: Setzungsaufzeichnung unter zyklischer Beanspruchung bei einer Amplitude von 25 kPa, die Verformungen aus dem Initial des ständigen Lastniveaus von 20 kPa werden nicht berücksichtigt

Endzustand

Der Vergleich nach dem Ausbau zeigt keine eindeutige systematische Änderung der Porenzahl. Die globale Nachverdichtung infolge zyklischer Beanspruchung bleibt gering und ist mit den kleinen Setzungen vereinbar. Räumliche Unterschiede des Einbauszustandes bleiben jedoch erhalten: dichter eingebaute Bereiche weisen weiterhin höhere Trockendichten beziehungsweise geringere Porenzahlen auf.

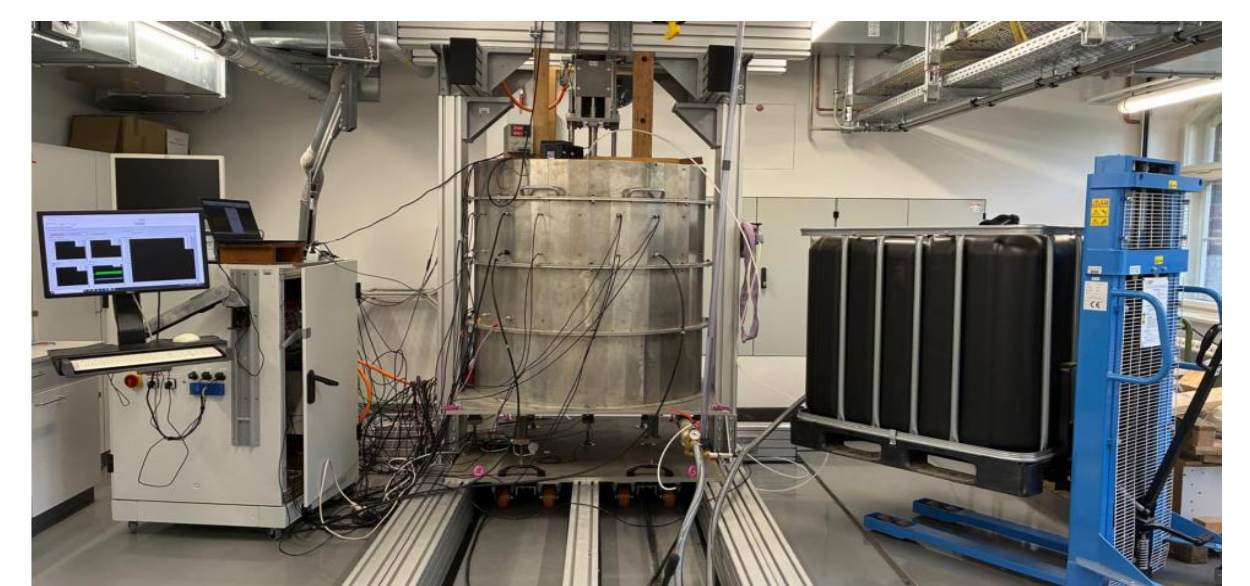


Abb.: Großmodellversuch im Labor

Fazit

Der relativ dicht eingebaute gemischtkörnige Boden entwickelt unter den untersuchten Beanspruchungen nur geringe bleibende Verformungen. Dennoch ist eine klare belastungsabhängige Setzungsakkumulation erkennbar. Für die weitere Modellierung sind Setzungsverläufe, räumliche Spannungsübertragung und die realen Randbedingungen zu berücksichtigen.

Projekt

Diplomarbeit

Hochschullehrer

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

Wissenschaftliche Betreuung

Dipl.-Ing. Sebastian Ullmann, TU Dresden

Abgabe

August 2026