



Laboruntersuchungen für die Kalibrierung eines zerstörungsfreien Nachweisverfahrens zur Abdichtung wasserbaulicher Erddämme mittels Kunststoffinjektion

Dirk Fleischer

Einleitung

Zum Gelingen von Abdichtungsarbeiten an Deichen und Dämmen unter Verwendung von hochviskosen chemikalischen Injektionsmitteln auf Acrylatgel-Basis („Rubbertite“ des Industriepartners TPH), ist es notwendig nach dem Injizieren eine zerstörungsfreie Erfolgskontrolle zu implementieren, um z. B. einen bereits durch anstehendes Wasser belasteten Dammkörper nicht durch zusätzliche Probebohrungen oder Freilegungen zu schwächen. Ein erhöhter Salzgehalt im Injektionsmittel führt zur Veränderung der elektrischen Leitfähigkeiten, wobei die geoelektrische Widerstandstomografie als Erfolg versprechendes Verfahren identifiziert wurde (siehe Schema in Abb. 1).

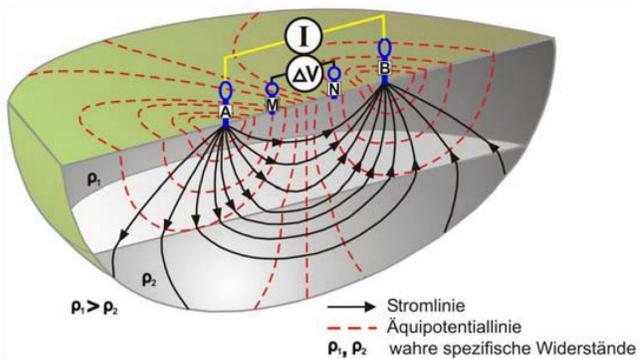


Abb. 1: Prinzip der Widerstandsmessung mit einer Vierpunkte-Anordnung, mit A,B=Sendedipol; M,N=Empfangsdipol, I=Stromstärke, ΔV =Potentialdifferenz [Lange 1997]

Sensitivitätsanalyse

Im Projektlauf sind bereits großmaßstäbliche Versuche zur Entwicklung und Erprobung der Injektionstechnologie realisiert worden, wobei auch eine Untersuchung zahlreicher Probekörper auf bodenmechanische Parameter wie z. B. Einaxiale Druckfestigkeit, Durchlässigkeit und Quellverhalten erfolgte. Im Anschluss daran wurden zunächst Mischproben aus Schluffigem Sand (SU) unter Variation des Einbauwassergehalts und des Injektionsmittelanteils in Volumina von ca. 1L vorbereitet, die zur Kalibrierung bzw. Sensitivitätsanalyse des geophysikalischen Verfahrens zur Messung des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes ρ_a (SSEW) herangezogen wurden (Ergebnisse in Abb. 2). Die Proben wurden ebenso einer Untersuchung auf ihre Durchlässigkeit, einaxiale Druckfestigkeit und auf den Wassergehalt unterzogen.

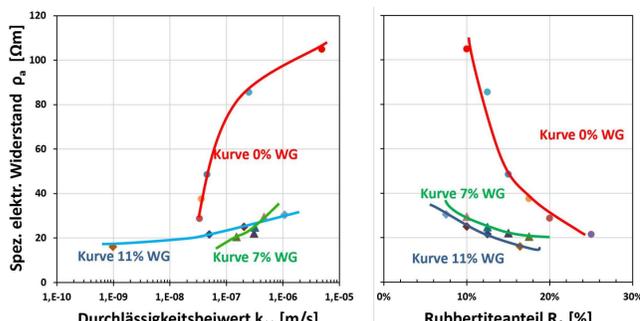


Abb. 2: Messergebnisse Mischproben, modifiziert nach GGL Leipzig

Durchlässigkeit und elektrischer Widerstand

So nimmt der SSEW mit zunehmendem Anteil an Injektionsmittel in Kombination mit zunehmendem Einbauwassergehalt ab. Durch den erhöhten Salzgehalt im Injektionsmittel erhöht sich ebenso die Anzahl der Ladungsträger. Nimmt der Wassergehalt zu, so verbessert sich ebenso die Leitfähigkeit des Transportmediums, was zu einer erhöhten elektrischen Leitfähigkeit führt. Die Durchlässigkeit steht hier im Zusammenhang mit dem Porenfüllungsgrad (äquivalent zum Sättigungsgrad, aber unter Einbeziehung des Injektionsmittelanteils). Je weniger Porenanteil mit einem leitfähigen Medium gefüllt ist (welches gleichzeitig die Durchlässigkeit verringert), desto weniger leitfähig ist der Probekörper.

Druckfestigkeit und Berechnung des Rubbertiteanteils

Die einaxiale Druckfestigkeit der Mischproben ergab hohe Werte bis ca. 200 kPa. Das Verformungsverhalten war dabei stark abhängig von der Erhöhung des Injektionsmittelanteils, welcher mit stark elastischem Verhalten mit hoher Querdehnung einher ging. Eine Erhöhung des Einbauwassergehaltes führte zu niedrigeren Festigkeitswerten.

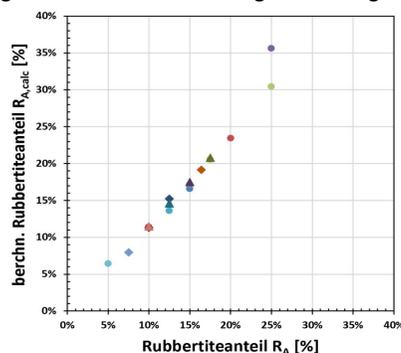


Abb. 3: Eingestellter Rubbertiteanteil R_A im Vergleich zum berechneten Rubbertiteanteil $R_{A,calc}$

Die Ofentrocknung bei 105°C über 24h ergab ebenfalls ein annähernd konstantes Verhältnis zwischen festem und verdunstbarem Anteil an Injektionsmittel von ca. 60%, welcher in der Verlustmasse erhalten war. Ausgehend von der Trockenmasse lässt sich die Kornmasse extrapolieren, wobei durch die Massedifferenz der feste Anteil von Rubbertite bestimmt werden kann, ohne diesen vorher zu kennen. Die berechneten und die eingebrachten Rubbertiteanteile sind in Abb. 3 dargestellt. Experimentell lässt sich der feste Rubbertiteanteil über den Glühverlust nach DIN 18128 bestimmen.

Erprobung im mittleren Maßstab

Zur Erprobung der Detektierbarkeit von Injektionskörpern mittels der geoelektrischen Widerstandstomografie wurden 200L Fassproben mit schluffigem Sand hergestellt, wobei der Einbauwassergehalt, der Salzgehalt und die Lagerungsdichte variiert wurden.

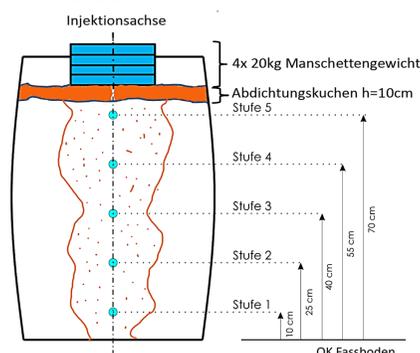


Abb. 4: Injektionsschema an einer Fassprobe (verändert nach Skizze von TPH)

Störkörper wurden ebenfalls eingebracht. In diesen Fassproben wurden Injektionskörper mithilfe der Technologie von TPH hergestellt (siehe Schema in Abb. 4).

Geoelektrische Widerstandstomografie an Fassproben

An jeweils 3 Messhorizonten je Fass wurde mit Messtechnik des Industriepartners GGL Leipzig vor und nach der Injektion eine geoelektrische Widerstandstomografie mittels alternierender Gleichstromelektrik des Dipol-Dipol-Verfahrens durchgeführt (Messeinrichtung in Abb. 5) und anschließend auf die Kreisgeometrie invertiert. Daraus ergab sich eine Pseudosektion der 2-dimensionalen Verteilung des SSEW über den horizontalen Fassquerschnitt. Durch das schichtenweise Freilegen der Injektionskörper und anschließender fotometrischer Vermessung durch CAD, konnte die gemessene Verteilung des SSEW mit den tatsächlichen Ausmaßen des standfesten Injektionskörpers verglichen werden, wie im Beispiel für das Fass KV_27 (vollgesättigt) vor und nach der Injektion ist in Abb. 6 dargestellt. Der Umriss des Injektionskörpers ist als weiße Linie zu erkennen.

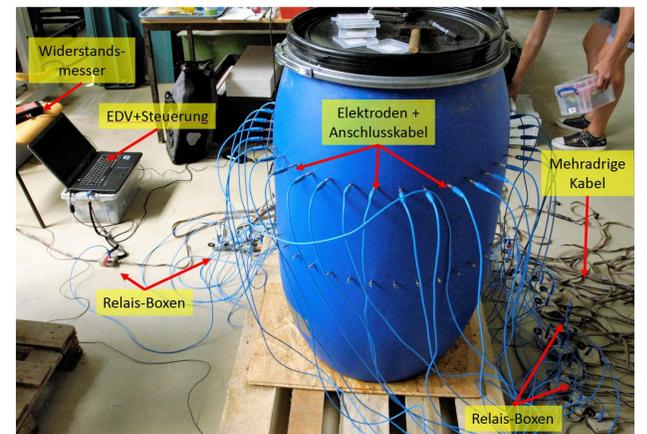


Abb. 5: Aufbau der Messeinrichtung des Industriepartners GGL Leipzig am Fassversuch

Auffallend ist eine erhöhte Leitfähigkeit an der Peripherie des Injektionskörpers, wo die beste Kombination aus transportfähigem Medium und frei beweglichen Ladungsträgern vorzufinden ist. Anwendungsgrenzen des Verfahrens wurden insbesondere bei hohem Salzgehalt und sehr trockenen Proben (< 5% Wassergehalt) identifiziert.

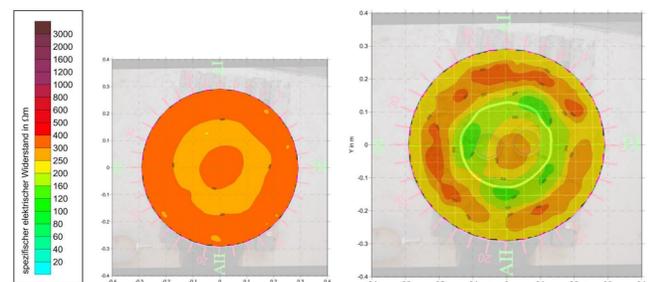


Abb. 6: Pseudosektion des SSEW und Injektionskörper der Probe KV_27 (Messergebnisse GGL Leipzig)

Injektionsparameter

Aus den Fassversuchen wurden zahlreiche Probekörper zur Untersuchung des Wassergehalts, der Durchlässigkeit und einaxialen Druckfestigkeit entnommen. Dabei wurde ein starker Einfluss des aufgetragenen Injektionsdruckes auf die Bodenparameter, mit einhergehender Verdichtung und erhöhtem Einpresswiderstand, festgestellt. Hohe Injektionsdrücke führten dabei zu kleineren Injektionsreichweiten bei erhöhten Festigkeitswerten und kleinerem Rubbertiteanteil.

Zusammenfassung

Es wurden physikalische Versuchsreihen im kleinen und mittleren Maßstab zur Kalibrierung eines zerstörungsfreien Nachweisverfahrens auf Grundlage der geoelektrischen Widerstandstomografie durchgeführt, mit gemessenen bodenmechanischen Parametern, wie Durchlässigkeit und einaxiale Druckfestigkeit verglichen und Kenntnisse zur Anwendung von Injektionstechnologie vertieft. Dabei konnte die Sensitivität und Anwendbarkeit des Verfahrens für kleinere und mittlere Maßstäbe unter Voraussetzung eines ausreichenden Feuchtegehalts nachgewiesen werden. Ebenso wurde ein Verfahren zur Abschätzung des Anteils des Injektionsmittels eines Probekörpers auf Grundlage der Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18121-1 entwickelt. Mit dieser Arbeit wurden die Voraussetzungen für die anschließende großmaßstäbliche Erprobung des Verfahrens am Deichkörper geschaffen.

Projekt

Diplomarbeit

Hochschullehrer

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

Wissenschaftliche Betreuung

RNDr. Vladislava Kostkanová, Ph.D. (Inst. für Geotechnik)
Dr.-Ing. Ulf Helbig (IWD)

Abgabe

September 2018