

Diplomarbeit

Untersuchung des Einflusses von Bentonit- beimengungen auf die thermischen Eigenschaften von Bettungsmaterialien für erdverlegte Stromkabel

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads
Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Investigation of the influence of bentonite admixtures on the thermal properties of bedding materials for underground power cables

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

von

Marlene Caroline Wagner, BSc

Matr.Nr.: 11913644

Betreuung: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Dietmar Adam**
Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Aleksandar Kostadinovic**, BSc
Institut für Geotechnik
Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/220-02, 1040 Wien, Österreich

Wien, im März 2026

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der experimentellen und numerischen Untersuchung bentonitvergüteter Kabelbettungsmaterialien für erdverlegte Stromkabel. Eine effiziente Ableitung der Kabelabwärme in den umgebenden Boden ist erforderlich, um die Strombelastbarkeit des Kabels zu maximieren und Schäden an der Kabelisolierung zu verhindern. Dies erfordert ein Bettungsmaterial mit hoher Wärmeleitfähigkeit. In Böden hängt die Wärmeleitfähigkeit primär vom Wassergehalt ab, während der Verdichtungsgrad und die mineralogische Zusammensetzung des Korngerüsts eine untergeordnete Rolle spielen. Die Erhöhung des Wassergehalts ist daher der effektivste Ansatz zur Verbesserung der Wärmeableitung.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es zu untersuchen, ob die Zugabe von Bentonit die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens verbessern und die thermisch bedingte Austrocknung verringern kann, ohne dabei die Wärmeleitfähigkeit negativ zu beeinflussen.

Es werden Wärmeleitfähigkeiten von zwei Bodenarten – sandigen Kiesen und sandigen Schluffen – mittels der Nadelsondenmessmethode bestimmt. Die Untersuchungen werden für unterschiedliche Wassergehalte (trocken, feucht, wassergesättigt), Verdichtungszustände (locker, dicht) und Bentonitgehalte durchgeführt. Die Massenanteile (Massen-%) des zugesetzten Natrium-Bentonits sind für die grobkörnigen Korngemische (sandige Kiese) mit 5 % und 12 % und für die feinkörnigen Korngemische (sandigen Schluffe) mit 3 %, 5 %, 10 % und 12 % festgelegt, woraus sich insgesamt 36 unterschiedliche Konfigurationen ergeben. Anschließend wird eine detaillierte Auswertung der Wärmeleitfähigkeitsmessungen vorgenommen.

Darüber hinaus werden sogenannte Austrocknungsversuche an den sandigen Schluffen sowohl ohne als auch mit Bentonitbeimengungen von 3 %, 5 %, 10 % und 12 % durchgeführt. Um die kabelabwärmeinduzierten Austrocknungsprozesse im Labormaßstab nachzubilden, werden zyklische Heiz- und Abkühlvorgänge durchgeführt, sodass Rückschlüsse auf das Wasserretentionsvermögen des Bodens gezogen und damit die Wirksamkeit des Bentonits beurteilt werden kann.

Zusätzlich wird das Temperaturfeld innerhalb der Bodenprobe während des Austrocknungsversuchs numerisch simuliert, indem ein rotationssymmetrisches Berechnungsmodell einer mit 10 % Bentonit vergüteten sandigen Schluffprobe mithilfe der Software *COMSOL Multiphysics* erstellt wird. Die Validierung des Modells erfolgt durch den Vergleich der simulierten mit den experimentell erfassten Temperaturverläufen.

Abstract

This diploma thesis presents the experimental and numerical investigation bentonite-modified cable bedding materials for underground power cables. Efficient dissipation of Joule heat into the surrounding soil generated by underground cables is essential to maximize current-carrying capacity and to prevent damage to the cable insulation. This requires bedding material with high thermal conductivity. In soils, thermal conductivity primarily depends on water content, while the degree of compaction and the mineralogical composition of the soil skeleton play a subordinate role. Increasing the water content is therefore the most effective approach to improving heat dissipation.

The aim of this diploma thesis is to investigate whether the addition of bentonite can improve the water retention capacity of the soil and reduce thermally induced drying without negatively affecting thermal conductivity.

Thermal conductivities of two types of soil – sandy gravel and sandy silt – are determined using the needle probe method. The investigations are carried out for different water contents (dry, moist, saturated), degrees of compaction (loose, dense), and bentonite mass fractions. The bentonite proportions are set at 5 % and 12 % for the sandy gravel mixtures, and at 3 %, 5 %, 10 %, and 12 % for the sandy silt mixtures, resulting in a total of 36 different configurations. Subsequently, a detailed evaluation of the thermal conductivity measurements is carried out.

In addition, simple cyclic heating tests are performed on sandy silts both without and with bentonite mass fractions of 3 %, 5 %, 10 %, and 12 % to replicate the cable heat induced drying processes on a laboratory scale to draw conclusions about the water retention capacity of the soil and thus evaluate the effectiveness of the added bentonite.

Furthermore, the temperature field within the soil sample during the drying test is numerically simulated by creating a rotationally symmetric computational model of a sandy silts sample with 10 % bentonite *using COMSOL Multiphysics*. For validation, the simulated temperatures are compared with the measured temperatures.