

**Die Bestimmung der undrainierten Scherfestigkeit in  
Tagebaukippen**

Determination of undrained shear strength in soils of open pit  
mines

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
eingereichte

**Dissertation**

Vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Markus Uhlig

Geb. am 11. Dezember 1986 in Karl-Marx-Stadt

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle  
Prof. Dr.-Ing. habil. Torsten Wichtmann  
Prof. Dr.-Ing. Dieter Dahmen

Tag der Einreichung: 30.10.2020

Tag der Verteidigung: 24.02.2021

---

# **Kurzfassung**

## **Die Bestimmung der undrainierten Scherfestigkeit in Tagebaukippen**

Braunkohle galt lange und gilt streng betrachtet heute immer noch als eine der wichtigsten Rohstoffquellen für die Energieversorgung in Deutschland. Ein großes Abbaugebiet befindet sich in Nordrhein-Westfalen (zwischen Mönchengladbach, Köln und Aachen). Im sogenannten rheinischen Braunkohlenrevier liegen mächtige Braunkohleflöze vor, welche seit einigen Jahrzehnten im Tagebaubetrieb abgebaut werden. Allerdings fallen auch große Mengen an Abraum (die Deckschichten über der Braunkohle) an, welche meist auf der, dem Abbauort, gegenüberliegenden Seite, wieder verkippt werden. Dort bilden die verkippten Massen eine Böschung, die im Fall des Tagebaus Hambach ein Böschungssystem mit über 400 m Höhe erreicht hat. Diese sich ständig verändernden Böschungen müssen, wie alle hohen Böschungen, durch Fachpersonal auf ihre Standsicherheit überprüft werden. Für diese Standsicherheitsberechnungen bedarf es Kennwerte für die vorliegenden verkippten Böden. Diese liegen nach der Verkipfung meist heterogen vor und verändern durch eine fortschreitende Konsolidation ihren Zustand. Ein wichtiger Kennwert, insbesondere für die Bestimmung der kurzfristigen Standsicherheit stellt dabei die undrainierte Scherfestigkeit dar.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Bestimmung des Kennwertes der undrainierten Scherfestigkeit in fein- und gemischtkörnigen Böden. Dazu werden zunächst die Klassifikations- und Zustandseigenschaften während der Verkipfung der Böden für die in den Tagebauen Inden und Hambach verwendeten Materialklassen vorgestellt. Dabei wird auch auf die Besonderheiten der Böden im Tagebau, wie z. B. die Zustandsänderung während des Transportes oder die vorliegende Heterogenität, eingegangen. Es werden analytische und numerische Prognosemodelle zur Bestimmung der undrainierten Scherfestigkeit vorgestellt. Die Grundlage dieser Modelle bilden die Konsolidationstheorien, mit welchen sich die Zustandsvariablen, wie die Porenzahl oder die effektive Spannungen, berechnen lassen. Über verfügbare Stoffmodelle, wie z. B. das hypoplastische Modell nach Mašin können anhand der Zustandsvariablen die undrainierte Scherfestigkeit abgeleitet werden.

Mit den in dieser Arbeit verwendeten Modellen lassen sich undrainierte Scherfestigkeitskennwerte zu verschiedenen Zeitpunkten prognostizieren, mit denen wiederum z. B. Standsicherheitsberechnungen von Böschungen durchgeführt werden können. Die statistischen Auswertungen der Klassifikationseigenschaften und Zustände erlauben eine Beurteilung von im Tagebaubetrieb häufig verwendeten Kennwerten (z. B. Fließgrenze oder Wassergehalt) und deren Streubreiten innerhalb der Materialklassen.

---

## **Summary**

### **Determination of undrained shear strength in soils of open pit mines**

Lignite was and still is an essential source for producing energy in Germany. One huge extraction site is located in North-Rhine-Westphalia (in between Mönchengladbach, Cologne and Aachen). The so called Rhenish lignite district contains very thick lignite deposits, which are mined in open pit mines since a few decades . There are huge overburdens (on top on the lignite) which are transported and dumped on the opposite to the excavation side. The dumped soil masses create slope systems, that can amount to 400 m of height (in open pit mine Hambach). These large slopes undergo permanent changes and have to be assessed considering their safety and stability by specialists. Characteristic properties regarding shear strength of the heterogeneous fine- and mixed grained soils are required for such calculations. The main challenge is the description of the state of the soil, as it is permanently changing due to consolidation. One essential characteristic is the undrained shear strength.

The main focus of this thesis is the determination of the undrained shear strength. Therefore, the soil properties are determined with classification tests and the state of the soils at the time of dumping is assessed. The results are categorised using the material classes of the open pit mines Inden and Hambach. The particularities of dumped soils in open pit mines are shown, for instance the change of state during transport or the heterogeneity. Moreover, analytical and numerical models are employed to predict the undrained shear strength. The basis of all these models are consolidation theories, which are applied to determine the state variables such as void ratio and effective stresses. The undrained shear strength can then be predicted by using constitutive models such as the hypoplastic model for clays according Mašín.

Using the approach presented in this thesis the undrained shear strength can be predicted and employed for example for slope stability analyses. The statistic evaluation of the soil properties allows a review of the soil characteristics that are typically employed in open pit mining. Furthermore, the scattering of properties of the material classes in the open pit mines can be assessed.