

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau
Professur für Straßenbau

**Mechanisches Verformungsverhalten von Tragschichten
ohne Bindemittel unter besonderer Berücksichtigung des
Temperatureinflusses**

Experimentelle Analyse am Beispiel einer Kiestragschicht

Mechanical deformation behavior of a base course material with
particular effect of temperature

Experimental analysis using the example of a gravel base course

Von der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden zur Erlangung
der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte

Dissertation

vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Jörg Patzak

geb. am 5. Juni 1975 in Werdau

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner
Technische Universität Dresden
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfram Ressel
Universität Stuttgart

Tag der Verteidigung: 24. August 2015

Kurzfassung

Im Straßenbau sind Tragschichten ohne Bindemittel (ToB) die konstruktive Grundlage des frostsicheren Oberbaus unabhängig von der Bauweise oder der Belastungsklasse. Das mechanische Verformungsverhalten von ToB ist sowohl durch elastische als auch durch plastische Verzerrungen geprägt, wobei die Größe der jeweiligen Dehnungen/Stauchungen u. a. von der Art und Größe der Beanspruchung abhängt. Erschwerend kommt der Einfluss unterschiedlichster, derartige Gemische beeinflussender Randbedingungen hinzu. Verwiesen sei z. B. auf die Materialdichte, den Wassergehalt, Korngrößenverteilungen oder die Kornform.

Die thermische Beanspruchung ungebundener Gesteinskorngemische (ofentrockener Zustand) innerhalb des Gebrauchstemperaturbereiches ist für das elastische Materialverhalten als unbedeutende Einflussgröße einzustufen. Dies gilt nicht mehr wenn Wasser im Material vorhanden ist und Temperaturänderungen vom positiven in den negativen °C-Temperaturbereich (oder entgegengesetzt) vorliegen. Die klimatischen Randbedingungen in Deutschland bedingen jedoch sowohl positive als auch negative °C-Temperaturen in den ToB, welche sehr häufig wechseln können. Deshalb ist ein Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit die Untersuchung des elastischen Verformungsverhaltens von Gesteinskorngemischen unter triaxialen Bedingungen und zyklischer Beanspruchung sowie zusätzlicher thermischer Beeinflussung des Materials. Von besonderer Bedeutung hierbei ist die Untersuchung des mechanischen Verformungsverhaltens während des Aggregatzustandswechsels des im Gesteinskorngemisch existenten Wassers von der fluiden in die kristalline Zustandsform im Zuge der Materialabkühlung bzw. von der kristallinen in die fluide Zustandsform im Zuge der Materialerwärmung.

Für die Analyse des spannungsabhängigen Materialverhaltens bei unterschiedlichen Verdichtungsgraden und Wassergehalten sowohl mit als auch ohne zusätzliche thermische Beeinflussung des Materials, stellt die Erarbeitung einer geeigneten Prüfprozedur einen weiteren essentiell erforderlichen Bearbeitungsschwerpunkt im Rahmen des Untersuchungsprogramms dar.

Neben der bekannten Temperaturunabhängigkeit von ToB im positiven °C-Temperaturbereich (Gebrauchstemperaturbereich) kann im Ergebnis der vorliegenden Arbeit festgestellt werden, dass Gleiches gilt wenn das im Gesteinskorngemisch existente Wasser quasi-vollständig kristallisiert ist und dieser Zustand unverändert erhalten bleibt (bzw. eine weitere Abkühlung vorliegt), d. h. die Massenanteile von Wasser in fluider und kristalliner Form als

konstant angesehen werden können. Temperaturzustände, welche zwischen den beiden zuvor genannten Sachverhalten eingeordnet werden können (unabhängig davon, ob ein Abkühlungs- oder Erwärmungsprozess vorliegt), beeinflussen das mechanische Verformungsverhalten des Materials infolge des Aggregatzustandswechsels von Wasser im Gesteinskornmisch erheblich.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen kann u. a. herausgearbeitet werden das nicht nur ohne sondern auch bei thermischer Beeinflussung der Wassergehalt dominanten Charakter aufweist. Ein steigender Wassergehalt führt bei thermisch unbeeinflusstem Material zum bekannten Anstieg der elastischen Materialantwort. Bei thermischer Beeinflussung tritt ein gegenteiliges Phänomen auf. Die elastische Dehnung nimmt bei gleichen Beanspruchungsrandbedingungen und steigendem Wassergehalt (dränierter Bedingungen) erheblich ab und kann mit dem ansteigenden kristallinen Wasseranteil im Gesteinskornmisch begründet werden.

Die Spannungsabhängigkeit des Gesteinskornmisches, welche für den thermisch unbeeinflussten Zustand bekannt ist, kann hierbei resultierend aus dem vergleichsweise geringen Kristallisationsfortschritt von Wasser zum Betrachtungszeitpunkt auch für den thermisch beeinflussten Zustand zu Beginn der Abkühlphase bzw. am Ende der Erwärmungsphase festgestellt werden. Sowohl bei quasi-vollständigem Durchfrieren als auch bei fortschreitender Materialabkühlung und damit steigender kristalliner Wasseranteile im Gesteinskornmisch kann im Rahmen der festgelegten Prüfbedingungen, der festgelegten Prüfprozedur und der definierten Beanspruchungszustände linear elastisches Materialverhalten unterstellt werden.

Abstract

Sub-base courses are the basis of constructive frost resistant pavement, regardless of the design or load class. The mechanical deformation behaviour of unbound granular materials (UGM) used in sub-base is characterized by both elastic and plastic distortions. Respective strains depends among others on the type and size of load. UGM are affected by different marginal conditions. The most significant conditions, material density, water content, grain size distributions or the grain shape, are just some of these values at this point.

The thermal stress of UGM (oven-dry state) within the service temperature range is classified for the elastic material behaviour as an insignificant effect size. This is no longer valid when water is present in the material and a °C temperature change occurs from positive to negative or negative to positive. The climatic conditions in Germany cause both positive and negative °C temperatures in UGM, which can change frequently. Therefore, a focus of the present thesis is to study the elastic deformation behaviour of UGM under triaxial conditions and cyclic loading while considering the additional thermal influence on the material. Of particular importance is the study of the mechanical deformation behaviour during the physical state change of existing water in UGM, from fluid to crystalline state during the cooling of the material, or from crystalline to fluid state during the heating of the material.

The development of a suitable test procedure for the analysis of the stress-dependent material behaviour at different compaction degrees and water content both with and without additional thermal influence of the material, is an essential key aspect of the study.

In addition to the known temperature dependence of UGM in the positive °C temperature range (operating temperature range), it can be found in the results of the present thesis that the same is valid if the existent water in UGM is quasi-completely crystallized and this state remains unchanged (or further cooling is present). This means the mass fractions can be considered as constant. Temperature conditions, which can be classified between the two afore mentioned circumstances (regardless of whether a cool-down or heating process is present), significantly affect the mechanical deformation behaviour of the material due to the physical state change of water in UGM. Within the investigations it was determined that the character of water content in UGM dominates material behavior both with and without thermal influence. Rising water content in thermally uninfluenced material leads to a known increase in the elastic material response. During thermal influence an opposite phenomenon occurs. The elastic strain decreases significantly under the same stress conditions with increasing water content (drain conditions), and can be justified by the increasing crystalline

water content in the stone grain mixture. The stress dependence of UGM, which is known for a thermally influenced condition, may result from the relatively low crystallization progress of the water at the time of observation. The stress dependence of UGM can also be observed for the thermally affected state at the beginning of the cooling phase or at the end of the heating phase. Both quasi-complete freezing as well as progressive cooling of the material cause increasing crystalline water content in UGM can be assumed under the specified test conditions, the specified test procedure, and the defined stress states of linear elastic material behaviour.