



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN, INSTITUT FÜR STADTBAUWESEN  
UND STRASSENBAU, PROFESSUR FÜR STRASSENBAU

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

# **Korrelation von Elastizitätsmodul und Ermüdungsschädigung von Straßenbeton**

*Dipl.-Ing. Paul G. Bolz*

geboren am 03. Januar 1992 in Schwäbisch Hall

betreut durch

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut WELLNER

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen MARX

Prof. Dr.-Ing. Jörn HÜBELT

16. Juni 2022

# Kurzfassung

Gegenstand dieser Dissertation ist die Etablierung des Elastizitätsmoduls als Parameter, der qualitative Aussagen über den Schädigungszustand des Baustoffs Straßenbeton ermöglicht. Zu diesem Zweck erfolgte eine systematische Ermüdung von labormaßstäblichen Betonprobekörpern bei zeitgleicher Messung des Elastizitätsmoduls mit Hilfe von unterschiedlichen Verfahren.

Im ersten Schritt wurde ein Versuchsprogramm entwickelt, mit dem Probekörper mittels des Spaltzug-Schwellversuchs gezielt in einen definierten Ermüdungszustand versetzt werden können. Hierfür wurde der Parameter des Grenz-Elastizitätsmoduls definiert, welcher, wenn er unterschritten wird, zum Pausieren des Versuchs führt. In diesen systematisch eingehaltenen Lastpausen erfolgten begleitende Untersuchungen der Ultraschalllaufzeit und der Eigenfrequenz zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls der Probekörper während des Ermüdungsvorganges. Es zeigt sich zwischen den Ergebnissen aller untersuchten Verfahren eine sehr gute Synchronität hinsichtlich des qualitativen ermüdungsbedingten Verlaufs des Elastizitätsmoduls. Die vier angewandten Verfahren, die sich voneinander unabhängiger physikalischer Phänomene bedienen, ermöglichen neben einer qualitativen Aussage über die Schädigung des Materials die Bestimmung von Absolutwerten des Elastizitätsmoduls. Je nach verwendetem Verfahren weichen die absoluten Elastizitätsmoduln leicht voneinander ab. Der Elastizitätsmodul bestätigt sich als geeigneter Parameter zur Beschreibung der Degradation des Baustoffs Straßenbeton im Zuge des Ermüdungsprozesses.

Im zweiten Schritt wurden der Einfluss längerer Lastpausen sowie die Verminderung der Betonfestigkeit im Zuge der Materialermüdung tiefergehend untersucht. Es wurde festgestellt, dass längere Lastpausen in der zyklischen Belastung einen signifikanten Einfluss auf den ermüdungsbedingten Verlauf des Elastizitätsmoduls haben können. Weiterhin legen die Untersuchungen nahe, dass es im Zuge einer starken Ermüdung zu einer zum Teil signifikanten Verminderung der Festigkeit kommt. Als Resultat der Untersuchungen konnten sowohl ein Verfahren zur Bestimmung charakteristischer Verläufe für die Verminderung des Elastizitätsmoduls als auch ein Verfahren zur Abschätzung der materialspezifischen Verminderung der Festigkeit im Zuge der Ermüdung entwickelt werden.

Diese Verfahren könnten zukünftig den Regelwerken der RSO Beton und der RDO Beton zugeführt werden, um die ermüdungsbedingte zeitliche Entwicklung des Elastizitätsmoduls und der Festigkeit in den durch die Regelwerke festgeschriebenen Prognose- und Dimensionierungsprozessen zu berücksichtigen. Durch die Einbeziehung zeitlich veränderlicher Werte im Prognoseverfahren, welches als Grundlage für die RSO Beton dienen soll, wird in dieser Dissertation exemplarisch gezeigt, dass die Berücksichtigung der Auswirkungen der Betonermüdung auf diese für die Prognose und die Dimensionierung von Betonfahrbahnbefestigungen sehr relevanten Parameter zur signifikanten Erhöhung der Ausfallrate gegenüber der Verwendung konstanter Werte führen kann.

The subject of this doctoral dissertation is the establishment of the elastic modulus as a parameter that enables qualitative statements about the state of damage of the concrete pavement building material. For this purpose, a systematic fatigue of laboratory-scale concrete specimens was carried out with simultaneous measurement of the elastic modulus by means of different methods.

In the first step, a test program was developed for the targeted and systematic fatigue of concrete specimens by means of the cyclic indirect tensile test. For this purpose, a limit value for the elastic modulus was defined. When the elastic modulus fell below the limit, the test was paused to perform accompanying investigations of the ultrasonic transit time and the natural frequency in order to determine the change of the elastic modulus of the specimens during the fatigue process. There is a very good synchronicity between the results of all investigated methods for the qualitative determination of the elastic modulus. The four methods applied, which make use of physical phenomena that are independent of each other, allow, in addition to a qualitative statement about the damage to the material, the determination of absolute values of the elastic modulus. Although there are slight differences between the methods for the determination of the elastic modulus, it is confirmed as a suitable parameter for describing the degradation of the concrete pavement building material in the course of the fatigue process.

In the second step, the influence of longer loading pauses and the reduction of concrete strength due to material fatigue were investigated in more detail. It was found that longer loading pauses during cyclic loading can have a significant influence on the fatigue-related course of the elastic modulus. Furthermore, the investigations suggest that in the course of severe fatigue there is a sometimes significant reduction in strength. As a result of the investigations, both a method for determining characteristic curves for the reduction of the elastic modulus and a method for estimating the material-specific reduction of strength in the course of fatigue could be developed.

In the future, these methods could be implemented into the RSO Beton and RDO Beton regulations in order to take into account the fatigue-related temporal development of the elastic modulus and the strength in the forecasting and dimensioning processes specified by the regulations. By including time-varying values in the forecasting procedure, which is to serve as the basis for the RSO Beton, this doctoral dissertation exemplifies that the consideration of the effects of concrete fatigue on these very relevant parameters for the forecasting and dimensioning of concrete pavements, can lead to the significant increase of the failure rate compared to the use of constant values.