

Auswirkungen dynamischer Beanspruchungen in Beton von Fahrbahndecken auf potenzielle Gefügeschädigungen

FA 8.197

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik (Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher)

Bearbeiter: Breitenbücher, R. / Kunz, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Dezember 2013

1 Aufgabenstellung

Fahrbahndecken aus Beton unterliegen während ihrer Lebensdauer nicht nur statischen Beanspruchungen. Aufgrund des in den letzten Jahren stark zunehmenden Güterverkehrsaufkommens nehmen auch dynamische Verkehrsbeanspruchungen stetig zu. Durch die Überlagerung dieser Verkehrsbeanspruchungen mit den zeitlich veränderlichen thermischen und hygri-schen Einwirkungen kommt es über das Jahr verteilt zu deutlich variierenden Maximalbelastungen. Diese zyklische Belastung hat zur Folge, dass der Straßenbeton aufgrund von Materialermüdung auch schon deutlich unterhalb seiner Kurzzeitfestigkeit versagen kann. Wird im Zuge der kombinierten Beanspruchung die Betonzugfestigkeit im Bereich lokaler Fehlstellen überschritten, kommt es zu einer Mikrorissbildung. Diese Gefügeschädigung beeinträchtigt neben der Biegezug- und Druckfestigkeit insbesondere auch die Steifigkeit des Betons. Darüber hinaus wird die Dichtigkeit des Betongefüges reduziert, wodurch Feuchtigkeit und Taumittel stärker aufgenommen werden.

In der Bemessung von Betonfahrbahndecken werden zyklische Belastungen meist nur hinsichtlich des Versagensfalls nach entsprechender Lastwechselzahl anhand der Wöhlerlinie unter Anwendung von Schadensakkumulationshypothesen betrachtet. Die mit zunehmender Lastwechselzahl fortschreitende Festigkeits- und Steifigkeitsabnahme des Betons wird dabei bisher lediglich über einen globalen Beiwert berücksichtigt. Das Ziel der im Rahmen dieses Forschungsprojekts durchgeführten Untersuchungen war es daher, die Auswirkungen einer zyklischen Biegeschwellbelastung auf die mechanischen Eigenschaften von Straßenbetonen zu evaluieren. Dies soll dazu beitragen, das Langzeitverhalten von Betonfahrbahndecken in zukünftigen Lebensdauerbemessungen besser abbilden zu können.

2 Untersuchungsmethodik

Durch das ARS Nr. 5/2006 wurde in Deutschland die Waschbetonbauweise als Standardbauweise zur Ausführung einer lärmindernden Betonfahrbahndecke eingeführt. In den vorliegenden Untersuchungen wurden daher im Wesentlichen zwei charakteristische Straßenbetone zugrunde gelegt, um möglichst genau die reale Beanspruchung einer Betonfahrbahndecke abbilden zu können. Diese beiden Betonzusammensetzungen entsprachen dabei einerseits einem typischen Unterbeton (Serie U) mit einem Größtkorn von 22 mm und einem Zementgehalt von 350 kg/m³ sowie andererseits einer üblichen Waschbetonzusammensetzung mit einem Größtkorn von 8 mm und einem Zementgehalt von 430 kg/m³. Orientierend wurde außer-

dem ein Unterbeton Z betrachtet. Dieser entsprach in der Zusammensetzung dem Unterbeton U, wobei jedoch der Basaltspitt durch eine quarzitisches Gesteinskörnung (Rheinkies) substituiert wurde.

In den Hauptuntersuchungen wurden Prismen (150 x 150 x 700 mm³) dieser Straßenbetone im Vier-Punkt-Biegeschwellversuch mit teilweise bis zu 10 000 000 Lastzyklen zyklisch belastet. Als Oberspannungen $\sigma_{0,i}$ wurden 40, 50 und 70 % der Biegezugfestigkeit festgelegt. Die zyklische/dynamische Verkehrsbelastung wurde bei der Biegeschwellbelastung über die Schwingbreite mit 1,00 N/mm² aufgebracht. Zur Erhöhung der Redundanz der Prüfergebnisse wurde ein Prüfrahmen entwickelt, mit dem es möglich ist, gleichzeitig vier Probekörper unter Ansteuerung eines Prüfzylinders zyklisch zu belasten. Somit wurde eine Mehrfachbestimmung wesentlicher Kenngrößen ermöglicht.

In einer ersten Prüferie wurden die Prismen des Straßenbetons bis zur Prüfung unter Wasser gelagert, wobei diese während der Prüfung in feuchten Tüchern und Frischhaltefolie eingewickelt wurden, um ein Austrocknen zu vermeiden. Im Verlauf der Untersuchungen wurden die Probekörper schließlich in einer zweiten Prüferie ab dem 14. Tag in der Prüfhalle bei rund 20 °C und 65 % rel. F. vorgelagert. Während der Biegeschwellbelastung wurden auf der Biegezugseite sukzessiv die Ultraschalllaufzeiten mittels Rayleighwellen aufgezeichnet und – durch den Vergleich mit den Ultraschalllaufzeiten vor Belastungsbeginn – in relative dynamische E-Moduln umgerechnet. Nach Beendigung der Biegeschwellbelastung, das heißt nach Beaufschlagung mit der festgelegten Anzahl an Lastzyklen, wurden an den Prismen die Rest-Festigkeits (Biegezug-, Spaltzug-, Druckfestigkeit) und Rest-Steifigkeiten ermittelt. Teilweise wurden außerdem die kapillare Wasseraufnahme und die Mikrorissbildung (lichtmikroskopisch) untersucht.

3 Untersuchungsergebnisse

Ausgehend von den Ergebnissen der Voruntersuchungen konnten die zugrunde gelegten Betone in die Straßenbetonklassen StC35/45 – 4,0 (Oberbeton O), StC35/45 – 3,7 (Unterbeton U) und StC25/30 – 3,0 (Unterbeton Z) nach AL Sp-Beton 06 beziehungsweise RDO Beton 09 eingestuft werden.

Die in der ersten Prüferie an wassergelagerten Prismen ermittelten Abnahmen der relativen dynamischen E-Moduln fielen mit rund 5 % nach bis zu 2 000 000 Lastzyklen bei einer Oberspannung σ_0 von 70 % der Biegezugfestigkeit gegenüber früheren Untersuchungen vergleichsweise gering aus.

Da als Ursache für diese vergleichsweise geringen Steifigkeitsabnahmen der Einfluss der Feuchtigkeit auf die Änderung der Ultraschalllaufzeit infolge einer Mikrorissbildung angesehen wurde, erfolgte in einer zweiten Prüferie eine Belastung von Prismen, die ab dem 14. Tag in der Prüfhalle bei rund 20 °C und 65 % rel. F. gelagert wurden (Bild 1).

Die an den trockenen gelagerten Proben ermittelten relativen dynamischen E-Moduln wiesen eine deutliche Abhängigkeit von der Lastwechselzahl sowie der Spannungsintensität auf und

zeigten bei sämtlichen Serien eine sukzessive Abnahme auf Werte von rund 85 bis 90 % nach 2 000 000 Lastzyklen (Bild 2).

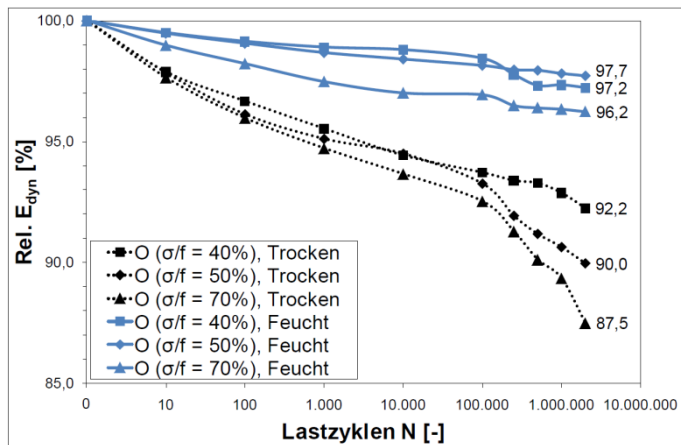


Bild 1: Einfluss des Feuchtegehalts des Betons auf die Abnahme des dynamischen E-Moduls, errechnet aus Ultraschalllaufzeitmessungen

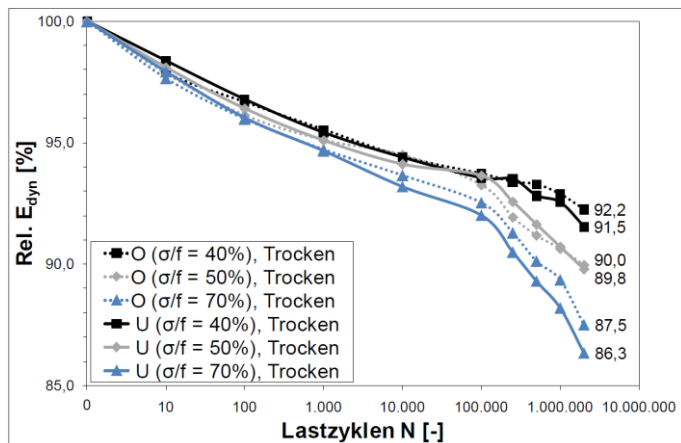


Bild 2: Einfluss der Spannungsintensität (als Verhältnis σ_o/f_{fl}) auf die Abnahme des dynamischen E-Moduls, errechnet aus Ultraschalllaufzeitmessungen

Ferner wies der Unterbeton U, vermutlich aufgrund des größeren Größtkorns, des geringeren Zementgehalts und des erhöhten w/z-Werts, in sämtlichen Untersuchungen geringfügig stärkere Abnahmen des relativen dynamischen E-Moduls als der Oberbeton O auf. Ebenso wies der orientierend betrachtete Unterbeton Z (Substitution von Basaltsplitt durch Quarzkies) höhere Steifigkeitsabnahmen auf als der Unterbeton U. Dies war im Wesentlichen auf die schwächer ausgeprägte Kontaktzone zwischen Zementstein und der ungebrochenen quarzischen Gesteinskörnung zurückzuführen.

Im Vier-Punkt-Biegeversuch wiesen nahezu alle Serien der feucht belasteten Prismen Abnahmen der Biegezugfestigkeit infolge der zyklischen Belastung auf, welche sich in Rest-Biegezugfestigkeiten von unter 100 % darstellten (Bild 3). Der Abfall betrug dabei rund 5 %, in einigen Serien auch bis zu rund 10 bis 15 % gegenüber der Referenz-Biegezugfestigkeit. Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus den Ultraschalllaufzeitmessungen war hier jedoch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen ertragener Lastwechselzahl und Schädigungsfortschritt zu erkennen. Die Rest-Biegezugfestigkeiten der trocken belas-

teten Prismen wiesen zwar mitunter Werte größer 100 % (bezogen auf die Referenz-Biegezugfestigkeit) auf, jedoch nahmen diese mit steigender Lastwechselzahl deutlich ab.

Dieser Effekt zeigte sich besonders bei dem Mittelwert aller Prüfungen der Serien O (Oberbeton) und U (Unterbeton). Nach 5 000 000 Lastwechseln betrug der Abfall der Biegezugfestigkeit im Mittel rund 10 %.

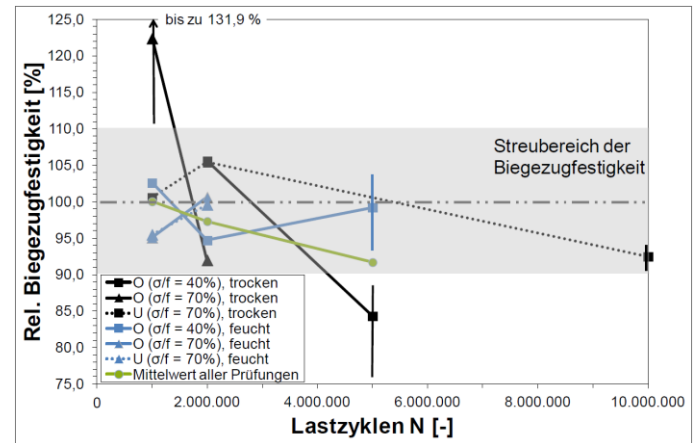


Bild 3: Relative Rest-Biegezugfestigkeiten (Vier-Punkt-Biegeversuch) der Betone infolge Biegeschwellbelastung mit bis zu 10 000 000 Lastzyklen

Analog zu der Biegezugfestigkeit konnten auch für die statischen E-Moduln, ermittelt in Druckversuchen in Anlehnung an DIN 1048-5, Abnahmen in Höhe von rund 5 bis 10 % gegenüber den unbelasteten Referenzproben festgestellt werden, wobei auch hier kein eindeutiger Zusammenhang zwischen ertragener Lastwechselzahl, Spannungsintensität und Schädigungsfortschritt festgestellt werden konnte (Bild 4).

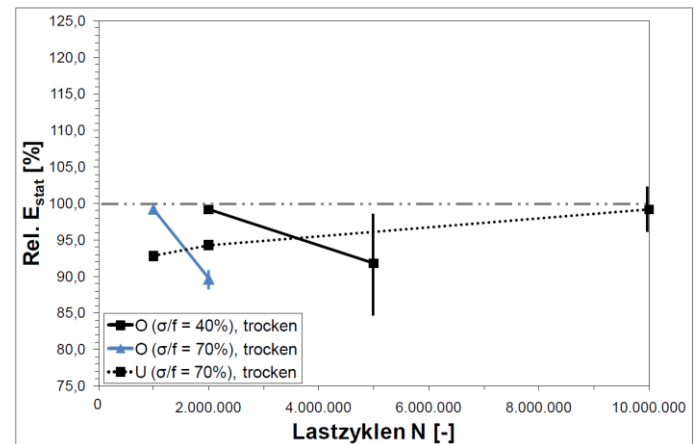


Bild 4: Relative statische E-Moduln der Betone infolge Biegeschwellbelastung mit bis zu 10 000 000 Lastzyklen, ermittelt an Prismen (75 x 75 x 150 mm³) im Druckversuch in Anlehnung an DIN 1048-5

Resümierend lässt sich feststellen, dass Biegeschwellbelastungen infolge überlagerter Spannungen aus thermischen und hygrischen Einflüssen und der Verkehrsbeanspruchung einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Steifigkeit des Straßenbetons haben. Dabei ist schon nach wenigen Millionen Lastwechseln mit Steifigkeitsabnahmen von rund 10 bis 15 % zu rechnen, welche sich über die Messung von Ultraschalllauf-

zeiten zielsicher erfassen lassen. Neben der Steifigkeit beeinflusst die zunehmende Degradation des Betongefüges jedoch auch die Festigkeit des Betons, wenngleich sich hier – trotz einer Mehrfachbestimmung wesentlicher Kenngrößen – kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Spannungsintensität und Schädigung feststellen ließ. Für eine möglichst genaue Bewertung des Schädigungsgrads einer Betonfahrbahndecke stellt somit eine zerstörungsfreie Prüfung der Ultraschalllaufzeit ein sinnvolles Instrument dar, wobei in weiteren Untersuchungen der Einfluss der Feuchtigkeit auf die Ultraschalllaufzeitänderung näher erörtert werden sollte.