

# **Torsionstragverhalten von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen**

**Torsion bearing behavior of  
textile-reinforced concrete (TRC) strengthened  
reinforced concrete components**

**Dissertation  
vorgelegt an der Fakultät Bauingenieurwesen  
der Technischen Universität Dresden  
zur Erlangung der Würde eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
– Dr.-Ing. –**

von

Frank Schladitz M.Sc.  
geboren am 23. Juli 1977 in Leisnig

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell

**Kurzfassung & Thesen**

**Abstract & Theses**

# Kurzfassung

In den letzten 15 Jahren wurde vorrangig im Rahmen eines Sonderforschungsbereiches an der Technischen Universität Dresden die Verstärkung bestehender Stahlbetonkonstruktionen mit Textilbeton erforscht. Untersuchungen des Textilbetons, welcher aus einem Feinbeton und einer textilen Bewehrung besteht, erfolgten u. a. in Bezug auf seine Wirkung als Biege-, Querkraft- und Normalkraftverstärkung.

Die vorliegende Arbeit befasst sich nach Kenntnis des Aufstellers erstmals mit dem Torsionstragverhalten von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen. Sie soll somit einen Einstieg in die Thematik schaffen und einen grundlegenden Beitrag für die Forschung sowie die Anwendung des Textilbetons in der Praxis leisten.

In einem Überblick zum **Stand des Wissens** werden Möglichkeiten der Verstärkung sowie allgemeine Eigenschaften der verwendeten Bau- und Verbundstoffe vorgestellt. Des Weiteren erfolgt eine Erläuterung der bereits von anderen Wissenschaftlern durchgeführten experimentellen und theoretischen Untersuchungen zum Torsionstragverhalten von Stahlbetonbauteilen.

Für die eigenen **experimentellen Untersuchungen** war aufgrund der Erkenntnisse aus dem Stand des Wissens zunächst ein neuer Versuchsstand zu entwickeln. Dessen Konstruktion ermöglicht es, reine Torsionsbelastungen in die Probekörper einzuleiten und ist gleichzeitig so flexibel, dass er für die Untersuchung verschiedener Probekörperquerschnitte genutzt werden kann.

Nach der Darstellung des neuen Versuchsstandes werden die Ergebnisse der 67 durchgeführten Versuche präsentiert. Diese beinhalten u. a. grundlegende Zusammenhänge zwischen dem Torsionstragverhalten und der Menge, der Anordnung und dem Material der Verstärkung sowie der Bauteilgeometrie aber auch des Zusammenwirkens der textilen Bewehrung mit der Stahlbewehrung.

Ein wesentliches Ergebnis der **theoretischen Untersuchungen** ist ein Ingenieurmodell zur Bestimmung der Torsionstragfähigkeit (Bruchmoment) der verstärkten Stahlbetonbauteile. Für dieses Modell werden – wie im Stahlbetonbau – Stabwerke verwendet, in welche die Geometrie der Bauteile und die Eigenschaften der Baustoffe einfließen.

Weiterhin wurde ein erster handhabbarer Berechnungsansatz zur Abschätzung des Rissmomentes erarbeitet. Die dafür angestellten Überlegungen zum Zusammenwirken des Altbetonkerns und der Feinbetonummantelung sowie der rissunterdrückenden Wirkung der textilen Bewehrung sind ausführlich zusammengefasst.

Zur Abschätzung der Verformungen im Zustand I und II werden Ansätze aus dem Stahlbetonbau überarbeitet, so dass sie auch bei verstärkten Stahlbetonbauteilen Anwendung finden können.

In dem abschließend aufgestellten **Bemessungsvorschlag** fließen der Stand des Wissens sowie die Erkenntnisse aus den experimentellen und theoretischen Untersuchungen zusammen.

In der **Zusammenfassung** und dem **Ausblick** wird verdeutlicht, dass mit dieser Arbeit nicht nur ein Einstieg in das Thema Torsionsverstärkung mit Textilbeton geschaffen wurde, sondern mit den Ergebnissen bereits ein begrenzter Einsatz in der Baupraxis denkbar ist. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgezeigten offenen Fragestellungen sollten jedoch im Rahmen fortführender vertiefender Forschungsarbeiten ausführlich untersucht werden.

# Thesen

- Eine Verstärkung aus Textilbeton führt zu einer Erhöhung der Torsionssteifigkeit. Sowohl im Zustand I als auch im Zustand II sind bei gleichem Lastniveau die Verformungen der verstärkten Stahlbetonbauteile geringer als die der unverstärkten Bauteile. Im Zustand I ist dies vorrangig durch die Querschnittsvergrößerung und im Zustand II durch die zusätzliche Bewehrung begründet.
- Durch eine Verstärkung mit Textilbeton oder auch unbewehrtem Feinbeton wird das Rissmoment erhöht. Eine Verstärkung aus Textilbeton führt zu einem größeren Rissmoment als eine Verstärkung aus unbewehrtem Feinbeton. Somit wird deutlich, dass die textile Bewehrung bereits im ungerissenen Zustand I einen deutlichen Einfluss hat.
- Die Dehnungen auf der Bauteiloberfläche der verstärkten Probekörper sind beim Erreichen des Rissmomentes ca. doppelt so groß wie die auf den unverstärkten Probekörpern. Das kann u. a. dadurch begründet werden, dass der Feinbeton in etwa den gleichen Elastizitätsmodul, aber die doppelte Zugfestigkeit des Altbetons besitzt.
- Die Torsionstragfähigkeit (Bruchmoment) wird durch einen unbewehrten Feinbeton mit textilbetontypischen Dicken nicht nennenswert erhöht. Für die Erhöhung der Torsionstragfähigkeit ist eine textile Bewehrung in der Verstärkungsschicht notwendig.
- Die Steigerung der Torsionstragfähigkeit ist im Wesentlichen von den Eigenschaften, der Menge und der Ausrichtung der textilen Bewehrung abhängig. Mit der Vergrößerung der Zugfestigkeit oder der Menge der Bewehrung steigt die Verstärkungswirkung. Bei gleichen Eigenschaften und gleicher Menge der Bewehrung führt eine Bewehrungsanordnung im Winkel von  $45^\circ$  zu einer höheren Tragfähigkeit als eine Anordnung im  $0^\circ/90^\circ$ -Winkel.
- Die winkelabhängige Tragfähigkeit der textilen Bewehrung beeinflusst die Torsionstragfähigkeit. Wird die textile Bewehrung nicht parallel zu ihrer Faserrichtung beansprucht, sinkt deren Tragfähigkeit. Dies trifft in den Eckbereichen quadratischer Bauteile zu, aber vor allem bei einer Anordnung der textilen Bewehrung im  $0^\circ/90^\circ$ -Winkel.
- Zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ist eine Mindestbewehrung in der Verstärkungsschicht notwendig. Hierdurch ist sicherzustellen, dass die Tragfähigkeit im Zustand II über dem Rissmoment, welches durch die Verstärkung erhöht wurde, liegt.
- Zur Sicherstellung des Zusammenwirkens der textilen Bewehrung und der Stahlbewehrung sind geringe Rissabstände in der Verstärkungsschicht notwendig. Die Rissweite eines Einzelrisses in der Verstärkung stellt nicht die für das Fließen der Bewehrung notwendigen Dehnungen sicher. Somit müssen sich mehrere feine Risse in der Verstärkungsschicht zu größeren Rissen in der Ebene der Stahlbewehrung verbinden können.
- Eine Textilbetonverstärkung auf einzelnen Seiten eines Querschnittes führt zu einer Erhöhung der Torsionstragfähigkeit. Sowohl zwei-, drei- und vierseitige Verstärkungen sind ausführbar. Durch die nicht umlaufenden Zugstreben und den damit notwendigen Verankerungsbereichen wird die Wirkung der Verstärkung jedoch um über 50 % minimiert.

- Mit dem aufgestellten Ingenieurmodell zur Ermittlung der Torsionstragfähigkeit ist es anhand von Stabwerken möglich, die Tragfähigkeit der verstärkten Probekörper zu bestimmen. Die Abweichungen zu den experimentellen Werten betragen meist weniger als 10 % und nur in seltenen Fällen um 20 %.
- Das Rissmoment kann unter Zuhilfenahme des vorgeschlagenen handhabbaren Modells mit Abweichungen von meist unter 10 % abgeschätzt werden.
- Die Verformungen im Zustand I und II können mit den präsentierten Ansätzen lediglich abgeschätzt werden. Plausible belastbare Modelle für die Berechnung der Verformungen (Verwindungen) von Stahlbetonbauteilen sind nicht vorhanden. Zurzeit werden die nach der Elastizitätstheorie ermittelten Verformungen im Zustand I durch empirisch ermittelte Korrekturfaktoren ergänzt, um die Verformungen der Stahlbetonbauteile abschätzen zu können. Die gleiche Vorgehensweise wurde auch für die Abschätzung der Verformungen der verstärkten Stahlbetonbauteile übernommen.

# Abstract

In the framework of a Collaborative Research Centre at the Technical University of Dresden, the strengthening of existing reinforced concrete constructions has been researched foremost during the past 15 years. The investigations of textile-reinforced concrete consisting of fine-grained concrete and textile reinforcement were, among others, carried out in respect to their effects on bending-, shear force-, and normal force strengthening.

According to the author's knowledge, the present study is the first to be dealing with torsion load-bearing behavior of textile-reinforced concrete construction parts. It is to create access to the topic and to make a basic contribution to research as well as the application of textile-reinforced concrete in practice.

In an overview referencing the **state of knowledge**, the possibilities for strengthening as well as the general characteristics of building and composite materials are introduced. Furthermore, an explanation is to be given of the experimental and theoretical investigations regarding the torsion load-bearing behavior of reinforced concrete construction parts already carried out by other scientists.

Based on the insights from the state of knowledge, first of all, a test stand had to be developed for own **experimental investigations**. Its construction enables the insertion of pure torsion loads into the test body. Simultaneously, it is so flexible that it can be used for the investigation of different test specimen cross-sections.

After the explanation of the new test stand, the results of the 67 tests carried out will be presented. These include, among others, the basic relationships between the torsion load-bearing behavior and the amount, the order, and the material of the strengthening as well as the construction part geometry, yet also the characteristics of the steel reinforcement.

An essential result of the **theoretical investigations** is an engineering model for the determination of the torsion load-bearing capacity (ultimate moment) of the strengthened construction parts. As with the steel concrete construction, Strut-and-tie model are used for this model, which displays both the geometry of the construction parts and the characteristics of the construction materials.

Furthermore, a first, manageable calculation attempt was worked out by which the crack moment can be estimated. The considerations concerning the cooperation of the old concrete core and the fine-grained concrete casing as well as the crack-suppressing effect of the textile reinforcement are summarized in detail.

For the estimation of the deformations in both, condition I and II, the attempts for reinforced concrete constructions are being revised so that they can also find application for textile-reinforced concrete strengthened construction parts.

Finally, the determined **design suggestion** consists of the state of knowledge as well as the insights gained from the experimental and theoretical investigations.

In the **summary** and the **outlook** this study explains that, besides creating an entrance into the topic of torsion strengthening with textile-reinforced concrete, it is already thinkable that the results allow for its limited application in the construction practice. The formulation of questions still remaining open within the framework of the present study should, however, be investigated in detail within the framework of continuing, more in-depth studies.

# Theses

- A strengthening consisting of textile-reinforced concrete leads to an increase in torsion stiffness. On the same load level, the deformations of the strengthened reinforced concrete construction parts in both, condition I as well as condition II, are lower than those of the unstrengthened construction parts. In condition I, this is foremost due to the cross-section enlargement, and in condition II this stems from the additional reinforcement.
- A strengthening with textile-reinforced concrete or also unreinforced fine-grained concrete increases the crack moment. A strengthening consisting of textile-reinforced concrete leads to a bigger crack moment than a strengthening consisting of unreinforced fine-grained concrete. This exemplifies that the textile reinforcement has a marked influence already in the uncracked condition I.
- The strain of the construction part surface of the strengthened test specimen is about twice as large at reaching the crack moment as those of the unstrengthened test specimens. This can, among others, be attributed to the fact that the fine-grained concrete has an approximately equal modulus of elasticity but twice the tensile strength of the old concrete.
- The torsion load-bearing capacity (breaking moment) is not essentially increased by an unreinforced fine-grained concrete with a textile-reinforced-concrete-typical thickness. An increase in the torsion load-bearing capacity necessitates textile reinforcement in the strengthening layer
- The torsion load-bearing capacity essentially depends on the characteristics of the amount and the direction of the textile reinforcement. The effect of the strengthening increases with the increase in the tensile force or the amount of reinforcement. With the same characteristics and the same amount of reinforcement, a reinforcement order at an angle of  $45^\circ$  leads to a higher load-bearing capacity than the order at an angle of  $0^\circ/90^\circ$ .
- The angle-dependent load-bearing capacity of the textile reinforcement influences the torsion load-bearing capacity. If the textile reinforcement is not put under stress parallel to its fiber direction, its load-bearing capacity decreases. This concerns the corner sections of the square construction parts but, particularly, when the order of the textile reinforcement is at an angle of  $0^\circ/90^\circ$ .
- For securing a ductile construction part behavior, a minimum of reinforcement is needed in the strengthening layer. This way it is to be ascertained that the load-bearing capacity in condition II lies above the crack moment that was heightened by the strengthening.
- For securing the joint cooperation of the textile reinforcement and the steel reinforcement, small crack distances in the strengthening layer are necessary. The crack width of an individual crack in the strengthening does not safeguard the strain necessary for the yielding of the reinforcement. Thus, several small cracks in the strengthening layer must be able to connect to larger cracks in the level of the steel reinforcement.

- A textile-reinforced concrete strengthening on the individual sides of a cross-section leads to an increase in the torsion load-bearing capacity. Two-, three - as well as four-sided strengthening is possible. The effect of the strengthening, however, is reduced by more than 50 % due to the non-rotating traction rods and the thus needed
- With the engineering model set up for determining the torsion load-bearing capacity, it is possible to determine the load-bearing capacity of the strengthened test specimen by way of Strut-and-tie models. The deviations from the experimental values usually come to less than 10 % and, in rare cases only, to 20 %.
- By using the suggested manageable model, the crack moment can usually be estimated at below 10 %.
- The deformations in condition I and II can merely be estimated with the presented attempts. Plausible loadbearing models for the calculation of the deformations (twisting) of reinforced concrete construction parts do not exist. Currently, the deformations in condition I determined according to the theory of elasticity are being completed with empirically determined correction factors in order to be able to estimate the deformations of the reinforced concrete construction parts. The same procedure was adopted for the estimation of the deformations of the strengthened reinforced concrete construction parts.