

**A study on Textile Reinforced - and Expanded Polystyrene
Concrete sandwich beams**

Untersuchung von Sandwichbalken aus Textil- und Styroporbeton

Viet Anh Nguyen

Abstract

Textile Reinforced Concrete (TRC) with a small thickness, high tensile and compressive strength has been combined with lightweight materials to create sandwich elements. Due to the low strength of the core materials in the sandwich elements, the additional shear connector devices were suggested to improve the load capacity. However, it raised an idea of using a higher strength material core, Expanded Polystyrene Concrete (EPC), without any connector devices to create a new type of lightweight sandwich element, which can be an answer for not only developing lightweight structures but also solving environmental problems. In this thesis, this novel idea was gradually realized with a study on TRC-EPC sandwich beams.

Firstly, experimental material tests on EPC showed the possibility to recycle EPS waste for EPC with a density of around 950 kg/m^3 . Thus, an EPC with a density of 920 kg/m^3 and a compressive strength of 5.2 N/mm^2 was chosen for the core to realize the concept for TRC-EPC sandwich with 18 experimental beams. Bending tests of six series with shear-to-depth-ratio (a/d) from 1.5 to 5.2 were implemented to study load responses of this type of sandwich beam. The failure moments of all the specimens were smaller than the nominal moment strength of the cross section. The load capacities of the specimens depend strongly on the ratio a/d .

The calculations for the shear capacity according to standards as well as shear calculation approaches were implemented. Due to their generalized form, ACI 318-05 and EC2 offer conservative results for $a/d < 5.2$. The dependence of the shear capacity on a/d could be better described with CEB-FIB Model Code 1990. For the beams with $1.5 < a/d < 2.1$, Strut and Tie Model gave the most suitable results. In case $a/d > 2.1$, ZINK's model offered better results than the others. Besides, a new proposed equation for the shear capacity of TRC-EPC sandwich beams depending on the a/d was also suggested.

In order to model the load response of the six experimental series, FEM models with ATENA developed. The models with and without a consideration of the bond between the textile and fine HSC in the TRC layer underestimated the load capacity with tolerance 26% and 28 % respectively. The tolerances for the deflections in the models with $a/d > 2.5$ were around 22 % and 23%.

Finally, an engineering model originally based on sandwich theory was developed to model the load-deflection response of this type of sandwich beams. The model could predict the displacement with tolerances from -24 % to 12 %. The load capacity of TRC-EPC sandwich beams was underestimated with a tolerance in the range of 15- 34 %.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde eine neue Sandwichkonstruktion untersucht, für die Textilbeton, ein Werkstoff mit geringer Dicke und gleichzeitig hoher Zug- und Druckfestigkeit, mit leichten Kernmaterialien kombiniert wurde. Aufgrund der geringen Festigkeit der Kernmaterialien werden in vielen Sandwichkonstruktionen zusätzliche Schubverbinder benötigt, um eine ausreichende Tragfähigkeit zu erreichen. Dies führte zu der Idee, der Styroporbeton (Expanded Polystyrene Concrete, EPC) als höherfestes Kernmaterial zu verwenden, das keine zusätzlichen Verbindungsmittel benötigt. Damit entsteht eine neuartige Sandwichkonstruktion, die nicht nur eine Lösung für die Entwicklung neuer leichter Strukturen ist, sondern auch für Umweltprobleme. Diese Idee wurde in dieser Arbeit durch theoretische und experimentelle Untersuchungen an Textilbeton-EPC-Sandwichbalken umgesetzt.

Zunächst wurden Materialuntersuchungen an EPC durchgeführt, um nachzuweisen, dass es möglich ist, EPC mit einer Dichte von rund 950 kg/m^3 mit recyceltem EPS herzustellen. Für die anschließenden Untersuchungen an 18 Sandwichbalken wurde dann ein EPC mit einer Dichte von 920 kg/m^3 und einer Druckfestigkeit von $5,2 \text{ N/mm}^2$ ausgewählt. In 6 Serien von Sandwichbalken wurden 4-Punkt-Biegeversuche mit Schubslankheiten von 1,5 bis 5,2 durchgeführt. Die Bruchmomente aller Balken waren geringer als die rechnerische Momenten Tragfähigkeit des Querschnitts und die Tragfähigkeit war stark von der Schubslankheit abhängig.

Es wurden Berechnungen zur Schubtragfähigkeit nach den verschiedenen internationalen Normen durchgeführt. Aufgrund ihrer allgemeingültigen Form ergaben ACI 318-05 und EC2 sehr konservative Ergebnisse für Schubslankheiten kleiner als 5,2. Die Formulierung des CEB-FIB Model Code 1990 war besser geeignet, die Abhängigkeit der Schubtragfähigkeit von der Schubslankheit abzubilden. Für die Balken mit Schubslankheiten $a/d=1,5$ bis 2,1 brachten Stabwerkmodelle ausreichend gute Ergebnisse. In Fällen mit $a/d>2,1$ ergab das Modell von Zink die besten Übereinstimmungen. Um die Abhängigkeit der Schubtragfähigkeit von der Schubslankheit besser erfassen zu können, wurde eine neue Berechnungsgleichung für Textilbeton-EPC-Balken vorgeschlagen.

Um das Last-Verformungsverhalten der experimentellen Untersuchungen beschreiben zu können, wurden FEM-Modelle mit der Software ATENA entwickelt. Es wurden verschiedene Modelle untersucht, die den Verbund zwischen dem textilen Gelege und dem Feinbeton unterschiedlich stark berücksichtigten. Die Tragfähigkeit der untersuchten Balken wurde mit den FEM-Modellen um ca. 26% bis 28% unterschätzt. Die Abweichungen in den berechneten Durchbiegungen betragen für die Balken mit $a/d>2,5$ ca. 22% bis 23%.

Abschließend wurde ein Ingenieurmodell auf Grundlage der Sandwichtheorie entwickelt, mit dem das Last-Verformungsverhalten dieser Sandwichkonstruktion gut beschrieben werden kann. Mit dem Modell ergaben sich Abweichungen von -24% bis +12% zwischen experimentellen und theoretisch ermittelten Verformungen. Die Tragfähigkeit wurde mit einer Abweichung von 15% bis 34% unterschätzt.