

Ultra-light beams as concrete-steel hybrid

Reinforced-concrete beams in building construction and civil engineering

Ultraleichte Balken als Beton-Stahl-Hybrid

Stahlbetonbalken im Hoch- und Industriebau

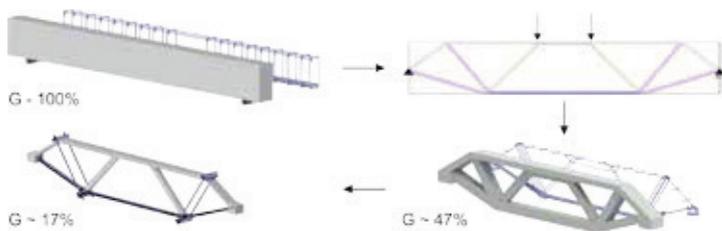


Fig.: Transformation of a reinforced-concrete beam according to topological density distribution to truss structures made of normal concrete and a concrete-steel hybrid, respectively

Abb.: Umwandlung eines Stahlbetonbalkens nach topologischer Dichteverteilung in Strebenstrukturen aus Normalbeton bzw. ein Beton-Stahl-Hybrid

Reinforced-concrete beams are widely used in building construction and civil engineering. They often have full rectangular cross-sections which is advantageous for both the simple production on site and as precast element; however, it involves high dead weight and material input simultaneously.

Concrete structures are not a priori linked to geometries and can be designed in almost any shape. Shapes following the flow of forces lead to slender and aesthetic structures, which rapidly decrease the material consumption [1]. The same applies to the reinforcement, which favorably is to be installed with orientation to the tensile stress trajectories [2]. The presentation will show how such optimizations can look like, using a simple beam as an example, and what enormous material savings are possible – while maintaining the load-bearing capacity and stiffness.

Starting point is a single-span beam under bending load with a rectangular cross-section and full utilization of the bending load capacity in mid-span both in compression zone and tension zone. In case of bi-material design approaches based on topology optimization [3] alternative truss-like load-bearing structures are created, which specifically consider the compression-affine and tension-affine material properties of concrete and steel with penalty functions. The structures are characterized by constantly uniform stress utilization (fully stressed design), implicating full utilization of all areas of the load-bearing structure. A version made of normal concrete with conventional reinforcement bars and a hybrid version made of high-performance concrete and section steel (Fig.) are used for the implementation. In the first case, the weight is reduced by roughly one half, in the second case by about one sixth. Experiments reveal that, in particular, the truss joints require specific structural design. Greater accuracy in geometry, material quality and processing are crucial for the use in practice, what recommends the production at the precast plant.

Stahlbetonbalken finden vielfach Einsatz im Hoch- und Industriebau. Sie besitzen oft rechteckige Vollquerschnitte, was für eine einfache Herstellung vor Ort oder als Fertigteil von Vorteil ist, gleichzeitig aber hohes Eigengewicht und Materialeinsatz mit sich bringt.

Betonstrukturen sind a priori an keine Geometrien gebunden und lassen sich mit nahezu beliebigen Formen ausbilden. Kraftflussaffin geformt, entstehen schlanke und ästhetische Konstruktionen, die den Materialverbrauch rapide senken [1]. Gleiches gilt für die Bewehrung, die günstiger Weise an den Zugtrajektorien orientiert verlegt sein sollte [2]. Der Beitrag zeigt am Beispiel eines einfachen Balkens wie derartige Optimierungen aussehen können und welche weitreichende Materialeinsparungen – bei Erhalt von Tragfähigkeit und Steifigkeit – möglich sind.

Ausgangspunkt ist ein biegebeanspruchter Einfeldträger mit Rechteckquerschnitt und voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit in Feldmitte in Druck- wie Zugzone. Mit bi-materiellen Ansätzen der Topologieoptimierung [3] werden alternative, fachwerkartige Tragstrukturen erzeugt, die gezielt die druck- wie zugdominanten Materialeigenschaften von Beton und Stahl mit Straffunktionen berücksichtigen. Die Strukturen sind durch eine durchgehend gleichartige Spannungsausnutzung gekennzeichnet (fully stressed design), was volle Ausnutzung sämtlicher Tragwerksbereiche mit sich bringt. Sie werden umgesetzt in eine Variante aus Normalbeton mit konventioneller Stabbewehrung und eine Hybridvariante aus hochfestem Beton und Profilstahl (Abb.). Im ersten Fall reduziert sich das Gewicht auf etwa die Hälfte, im zweiten Fall auf rund ein Sechstel. Experimente zeigen, dass insbesondere die Fachwerkknoten besondere konstruktive Durchbildung benötigen. Für die praktische Nutzung sind erhöhte Genauigkeiten in Geometrie, Materialqualität und Verarbeitung entscheidend, so dass sich eine Herstellung im Fertigteilwerk empfiehlt.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Peter Mark;
Ruhr-Universität Bochum
peter.mark@rub.de



Georgios Gaganelis,
M. Sc.; Ruhr-Universität
Bochum
georgios.gaganelis@rub.de