

Christoph Kämper

# Entwurf gewichtsminimierter Flächentragwerke aus Hochleistungsbeton



Schriftenreihe des Instituts für  
Konstruktiven Ingenieurbau, Heft 2023-03

Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau

Herausgeber:  
Geschäftsführender Direktor des  
Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau  
Ruhr-Universität Bochum

Heft 2023-3

**Christoph Kämper**

**Entwurf gewichtsminimierter Flächentragwerke  
aus Hochleistungsbeton**

Shaker Verlag  
Düren 2023

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2022

Copyright Shaker Verlag 2023

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8950-9

ISSN 1614-4384

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Entwurf gewichtsminimierter Flächentragwerke aus Hochleistungsbeton

Christoph Kämper

### Zusammenfassung:

In dieser Arbeit werden zwei Methoden zur Optimierung der Kernstruktur von Flächentragwerken entwickelt. Der Fokus liegt in einer optimierten Gestaltung des Querschnitts, besonders im Bereich der Neutralebene, da dort die größte Materialeinsparung möglich ist. Die entwickelten Methoden liefern Ansätze für den Entwurf von Platten oder Schalen mit maximaler Steifigkeit bei minimalem Gewicht und führen besonders im Stahlbetonbau zu einer signifikanten Reduktion des Eigengewichts.

Beide Methoden basieren auf Erweiterungen der klassischen Ansätze der topologischen Optimierung. Als Ergebnis stellt sich jeweils eine am inneren Kraftfluss orientierte Verteilung von Verstärkungsrippen ein. Einerseits ergibt sich eine Verteilung mit freien geometrischen Formen und freier lokaler Zusammensetzung des Querschnitts. Andererseits wird die Geometrie eines Querschnitts vorgegeben, der in Abhängigkeit der Dichte variiert. Daraus resultiert ein orthogonales Raster von Verstärkungsrippen mit variabler Rippendicke. Wesentlicher Unterschied zwischen den Methoden ist die praxisorientiertere Umsetzung auf ein reales Tragwerk. Während sich für formfreie Verstärkungsrippen ein verstärkter Schalungsaufwand ergibt, kann ein orthogonales Raster von Verstärkungsrippen durch Einsatz von Hohlkörpern in der Neutralebene erzielt werden.

Erstere Methode ermittelt an einer optimierten Materialverteilung die relativen Anteile der Basissteifigkeiten an der Gesamtsteifigkeit in Form der Biege-, Membran- und Schubsteifigkeit in Abhängigkeit der Dichte. Aus den Verteilungen der Basissteifigkeiten lässt sich die Struktur hinsichtlich ihrer dominanten Beanspruchung gesamtheitlich bewerten. Zusätzlich ergibt sich für jede Position in der Materialverteilung eine optimierte Zusammensetzung der einzelnen Basissteifigkeiten, die folglich einen örtlichen optimierten Querschnittsaufbau beschreiben. Mit der Lokalisierung der dominierenden örtlichen Basissteifigkeiten lassen sich innerhalb der Materialverteilung verschiedene Tragsysteme ableiten. Bei einer dominanten Membransteifigkeit erfolgt eine Übertragung in räumliche fach- oder stabwerksähnliche Systeme mit (Druck)-Bögen und (Zug)-Bändern. Bereiche mit dominanter Biege- oder Schubsteifigkeit werden durch örtliche Systeme mit balkenartiger Tragwirkung beschrieben.

Mit der letzteren Methode wird eine optimierte, steifigkeitsorientierte Verteilung eines vordefinierten, in der Dichte variierenden Querschnitts aufgezeigt. Dazu wird eine spezifische Dichte-Steifigkeits-Beziehung abgeleitet, die aus einer Homogenisierung der Eigenschaften einer Einheitszelle mit quadratischem Loch innerhalb einer sich periodisch wiederholenden Mikrostruktur resultiert. Mit der Übertragung der homogenisierten Eigenschaften auf die Elementebene bei einer Finite-Elemente-Diskretisierung der Struktur wird eine Verteilung von Hohlkörpern abgeleitet. Diese folgt aus einer Harmonisierung der elementbezogenen Hohlkörpergrößen innerhalb eines vorgegebenen Einflussbereiches, der äquivalent zur Strukturdicke definiert wird. Die sich örtlich ergebende Hohlkörpergröße definiert folglich die Rippendicke und das Raster der Verstärkungsrippen.

Am Beispiel einer uniaxial gekrümmten, großformatigen Schale aus Hochleistungsbeton werden die beiden entwickelten Methoden zur Optimierung der Kernstruktur genutzt. Diese Tragstruktur gilt bei einer optimierten Auslegung als konkurrenzfähige Alternative zu filigranen, räumlichen Stahlfachwerken, die bisher in Form von Kollektormodulen für Parabolrinnenkraftwerke eingesetzt werden.