

F 2924

Clemens Freitag, Walter Haase, Werner Sobek

Analysetool für Gitterschalen nach der Dynamic-Relaxation-Methode

F 2924

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9354-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Analysetool für Gitterschalen nach der Dynamic-Relaxation-Methode

Dipl.-Ing. Clemens Freitag

Dr.-Ing. Walter Haase

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek

März 2014



Universität Stuttgart

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek

Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Jun.-Prof. Dipl.-Ing. Dirk A. Schwede, PhD



Universität Stuttgart

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek

Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Jun.-Prof. Dipl.-Ing. Dirk A. Schwede, PhD



Forschungsprojekt: Analysetool für Gitterschalen nach der
Dynamic-Relaxation-Methode

Förderstelle: Forschungsinitiative Zukunft Bau
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und
Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn (Germany)

Förderkennzeichen: AZ SF 10.08.18.7-09.39

Mitarbeit: Dipl.-Ing. Clemens Freitag
Dr.-Ing. Walter Haase

Bearbeitungsbeginn: März 2010

Bearbeitungsstelle: Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren
Direktor:
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h.c. Werner Sobek
Pfaffenwaldring 7 + 14
70569 Stuttgart
Telefon +49 711 / 685 63599
Telefax +49 711 / 685 66968

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert (Aktenzeichen: SF 10.08.18.7-09.39).

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Dieser Bericht umfasst 104 Seiten.

Stuttgart, den 20.03.2014

Dipl.-Ing. Clemens Freitag



Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	8
1.1	Ziel des Forschungsvorhabens	8
1.2	Forschungsansatz	8
2	Gitterschalen	9
2.1	Definition	9
2.2	Stabelemente	9
2.3	Kategorisierung der Verbindungstechnologien	10
2.4	Verbindungsarten für Biegestäbe	11
2.4.1	Bolzenverbindungen	11
2.4.2	Klemmplattenverbindungen	12
2.4.3	Schellenartige Verbindungen	13
2.5	Kategorisierung der Aussteifungsprinzipien	13
2.5.1	Aussteifung durch auf Zug beanspruchte Konstruktionen	13
2.5.2	Aussteifung und Ausbildung eines Raumabschlusses durch auf Zug beanspruchte Konstruktionen	13
2.5.3	Aussteifung durch auf Druck und auf Zug beanspruchte Konstruktionen	14
2.5.4	Aussteifung und Ausbildung eines Raumabschlusses durch auf Druck und auf Zug beanspruchte Konstruktionen	14
2.6	Kategorisierung der Errichtungsprinzipien	14
2.6.1	Errichten durch Emporheben	14
2.6.2	Errichten durch Absenken	15
2.6.3	Kinematisches Errichten durch Auflagerverschiebung	16
3	Analysewerkzeug	18
3.1	Recherche nach Formfindungswerkzeugen für Gitterschalen	18
3.1.1	DOMEdesign	18
3.1.2	Grid Generator	18
3.2	Zielsetzung	19
3.3	Anforderungen	20
3.4	Herangehensweise	20
3.4.1	Rhinoceros	20
3.4.2	RhinoScript	21



4	Die Dynamic-Relaxation-Methode	22
4.1	Beschreibung des DR-Algorithmus	22
4.2	Schematische Illustration des DR-Algorithmus	23
4.2.1	Struktureller Aufbau der Illustration des DR-Algorithmus	23
4.2.2	Ablauf des Algorithmus	24
4.2.3	Steuerungsschleifen des DR-Algorithmus	24
4.3	Beschreibung der strukturellen und geometrischen Zusammenhänge	25
4.4	Physikalische Annahmen	25
4.5	Berechnung des spannungsfreien Zustands	26
4.6	Berechnung des Spannungszustands	26
4.6.1	Berechnung der Axialkräfte	27
4.6.2	Berechnung der Einzelkräfte aus den Momenten	27
4.6.3	Berechnung der Massenparameter	28
4.6.4	Berechnung der kinetischen Energie	29
4.7	KE limit als Abbruchkriterium	29
5	Bedienung des Analysewerkzeugs	31
5.1	Geometrieerstellung auf der Grundlage von "getrimmten" Geometrien	31
5.2	Parametereingabe	32
5.3	Freigabe der Geometrie / Optionale Modifikationen	33
5.4	Berechnung durch den DR-Algorithmus	33
5.5	Postprozess	34
5.6	Geometrieerstellung auf der Grundlage von Freiformen	35
6	Kategorisierung und Untersuchung von Verbindungsmitteln	37
6.1	Gurtartige Verbindungen: Klettverschlüsse	37
6.2	Gurtartige Verbindungen: Kabelbinder	37
7	Erprobung der Errichtungsmethode an einem Demonstrator	39
7.1	Materialien für den Demonstrator	40
7.2	Montage und Errichtung des Demonstrators	41
7.3	Erkenntnisse aus der Umsetzung des Demonstrators	43
8	Entwicklung und Planung des 1:1-Prototyps	44



8.1	Projektbesprechung beim Industriepartner Fiberline Composites A/S	44
8.2	Entwicklung der Verbindungstechnologie	44
8.3	Materialversuche	45
8.3.1	Ermittlung des E-Moduls von GFK-Stäben mit Hilfe von 3-Punkt-Biegeversuchen	46
8.3.2	3-Punkt-Biegeversuch an einem GFK-Stab bis zum Bruch	47
8.3.3	3-Punkt-Biegeversuche an über Hülsen gefügten GFK-Stäben bis zum Bruch	48
8.3.4	Analoge Kraftgrößenermittlung an den Endpunkten eines GFK-Biegestabs	51
8.3.5	Digitale Kraftgrößenermittlung an den Endpunkten eines GFK-Biegestabs	53
8.3.6	Versuche an den Knotenverbindern	54
8.3.7	Schlussfolgerungen aus den Materialversuchen	58
9	Bau des 1:1-Prototyps	59
9.1	Planung des 1:1-Prototyps	59
9.1.1	Anpassen der Stablängen	59
9.1.2	Ausbildung und Positionierung von unterschiedlichen Knoten	60
9.1.3	Planung des Ringankers	60
9.2	Einrichten der ILEK-Experimentierplattform	62
9.3	Vorbereitende Arbeiten für den Prototyp	62
9.4	Montage der Gitterschale	63
9.5	Errichtung der Gitterschale	64
10	Validierung des Analysewerkzeugs	70
10.1	Simulation und Validierung durch ANSYS	70
10.2	Laserscanning	71
11	Durchführung von Belastungsversuchen	76
11.1	Numerische Verformungssimulation des Aufbringens zusätzlicher Lasten	76
11.2	Durchführung von Belastungsversuchen am Prototyp	76
12	Zusammenfassung	79
12.1	Recherche zu Gitterschalen, Softwareprogrammen und Verbindungsmitteln	79
12.1.1	Literatur- und Softwarerecherche zu Gitterschalen	79
12.1.2	Recherche zu Verbindungsmitteln	79
12.2	Programmierung und Modellversuche	80
12.2.1	Entwicklung des Programms	80



12.3	Bau und Test eines 1:1-Prototyps	80
12.4	Validierung	81
12.4.1	Validierung durch ANSYS	81
12.4.2	Validierung durch Laserscanning	81
13	Leistungsabgleich	82
	Abbildungsverzeichnis	84
	Tabellenverzeichnis	89
	Quellenverzeichnis	90
	Anhang	92
	Firmenadressen	92
	Übersicht realisierter Gitterschalen und deren Verbindungsmittel	94
	Übersicht potentieller schellenartiger Verbindungsmittel	96
	Übersicht potentieller gurtartiger Verbindungsmittel (Klettverbinder)	100
	Übersicht potentieller gurtartiger Verbindungsmittel (Kabelbinder)	102
	Projektbeteiligte	104