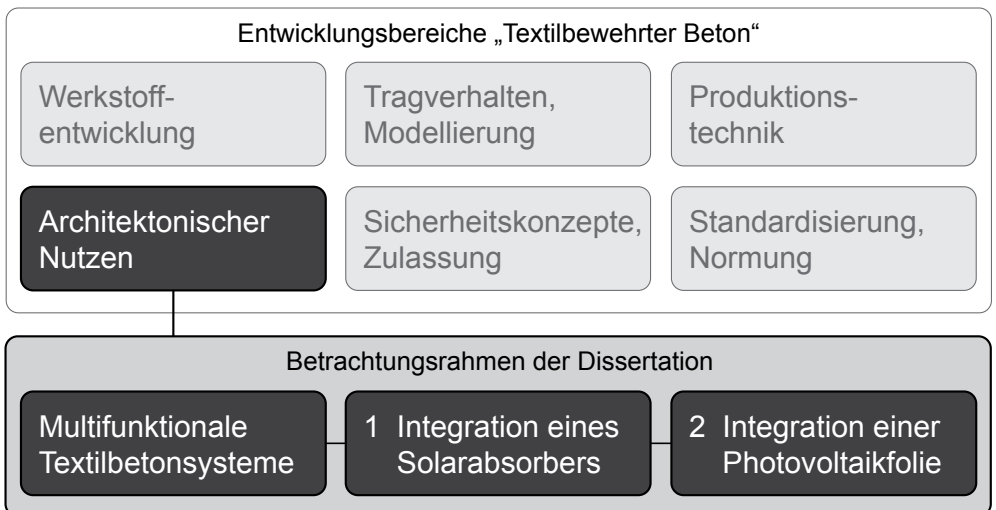


Multifunktionale Textilbetonsysteme für die Gebäudehülle

Andreas Koch



Multifunktionale Textilbetonsysteme für die Gebäudehülle

Von der Fakultät der Architektur
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Andreas Koch

Berichter:

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Architekt Dirk Henning Braun
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie (gbt) der RWTH Aachen University

Universitätsprofessor Prof. h.c. (MGU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries
Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University

Tag der mündlichen Prüfung: 18.05.2017

Berichte aus der Architektur

Andreas Koch

**Multifunktionale Textilbetonsysteme
für die Gebäudehülle**

Shaker Verlag
Aachen 2018

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.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2017)

Copyright Shaker Verlag 2018

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5746-1

ISSN 0945-0661

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand im Zuge meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University (2011-2017). Daher möchte ich mich in besonderem Maße bei Prof. Thomas Gries bedanken, der mir 2011 die Möglichkeit gab als erster Diplomingenieur der Fachrichtung Architektur am ITA zu promovieren. Auch Herrn Prof. Dirk Henning Braun vom Lehrstuhl für Gebäudetechnologie (gbt) der RWTH Aachen University möchte ich meinen Dank aussprechen, dass er sich für dieses fachübergreifende Thema einsetzte und die Betreuung dieser Arbeit federführend übernahm. Beiden Professoren möchte ich für die gute Betreuung und die stetigen inhaltlichen Impulse recht herzlich danken.

Mein Dank gilt außerdem den ITA-Kollegen, insbesondere den Kollegen des Bereichs "Faserverbundwerkstoffe". Als RWTH-Externer und Fachfremder wurde ich sehr freundschaftlich aufgenommen und stets gefördert. Die freundschaftliche Zusammenarbeit war die Basis meiner erfolgreichen und schönen Zeit am ITA. Meinen Vorgesetzten und Mentoren möchte ich danken für das Vertrauen in meine Arbeit und die Möglichkeiten zur persönlichen Weiterbildung. Dies betrifft Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Markus Linke, Dipl.-Kff. Silke Tomoscheit, Dr.-Ing. Steffen Janetzko, Dr.-Ing. Michael Glowania, Dr.-Ing. Christoph Greb und Dr.-Ing. Udit Gohil. Auch den Technikumsmitarbeitern und meinen Hiwis gilt ein besonderer Dank für die gute Unterstützung meiner Arbeit.

Des Weiteren gilt mein Dank auch den zahlreichen Projektpartnern, u. a. der Fa. Durapact (Haan), der Fa. Heliatek (Dresden) und der Handwerkskammer Aachen, die meine Arbeit im Zuge von öffentlichen Projekten oder Vorversuchen unterstützt haben.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und insbesondere meinen Eltern bedanken, die mich stets unterstützt und ermutigt haben meinen Weg zu gehen. Ohne ihre finanzielle und emotionale Unterstützung wäre dieser Ausbildungsweg nicht möglich gewesen. Für den Rückhalt auch in schwierigen Zeiten möchte ich mich nochmals recht herzlich bedanken.

Kurzfassung

In der heutigen Architektur übernehmen zunehmend technische Innovationen eine Schlüsselrolle bei der Planung von Gebäuden. Betrachtet man diesbezüglich die letzten Jahrzehnte ist festzustellen, dass die Innovationsdichte im Bauwesen bis zum heutigen Tag signifikant ansteigt. Dies betrifft vor allem Innovationen im IT- und Umweltbereich. Von der Nutzung erneuerbarer Energien (Photovoltaik und Solarthermie), über deren intelligente Vernetzung (Smart Grids) bis hin zur intelligenten Nutzung (Smart Home) sind zahlreiche und vielfältige Konzepte entwickelt worden. Auslöser war vor allem das ökologische Umdenken der Industriestaaten, die gemeinsam den stark angestiegenen CO₂-Ausstoß und dessen negativen Folgen für das Weltklima reduzieren möchten (s. UN-Klimakonferenz Paris, 2015). Außerdem sind wichtige Ressourcen der heutigen Zeit nicht endlos verfügbar, sodass Entwicklungen im Bereich alternativer Energieversorgung notwendig sind.

Diese Veränderungen treiben zahlreiche Firmen an, innovative Bauprodukte zu entwickeln und am Markt zu platzieren. Leider geschieht dies überwiegend ohne Beachtung von gestalterischen Aspekten und einer architektonischen Bewertung. Ein Beispiel hierfür sind die Photovoltaik-Module, die meist als "On-Top"-Lösungen auf dem Gebäudedach platziert und nicht gestalterisch integriert werden. Dieses Problem erkennen mittlerweile nicht nur Architekten, sondern auch Bauherren an und wünschen sich vermehrt gestalterisch integrative Konzepte, die sowohl die technische Funktionalität ermöglichen, als auch eine gestalterische Integration und Vielfalt.

In der vorliegenden Dissertation wird diese Problemstellung ausführlich erläutert und Lösungskonzepte auf Basis des neuentwickelten und nachhaltigen Verbundwerkstoffs Textilbeton aufgezeigt. Dabei liegt der Fokus auf gestalterisch integrierten Systemen im Bereich der Gebäudehülle (gestalterisch integrierter Solarabsorber und gestalterisch integrierte Photovoltaik). Dieser Entwicklungsschritt sorgt neben der Entwicklung neuer Gestaltungsmöglichkeiten mit Textilbeton dafür, dass der architektonische Nutzen von textilbewehrtem Beton gesteigert wird. Dieser ist neben der reinen Werkstoffentwicklung, den Untersuchungen zum Tragverhalten, der Produktionstechnik, den Sicherheitskonzepten für das Zulassungsverfahren und der Etablierung einer Standardisierung/Normung des Verbundwerkstoffs für einen nationalen und internationalen Markttransfer von fundamentaler Bedeutung.

Teile dieser Dissertation basieren auf Ergebnissen der von mir betreuten studentischen Arbeiten im Zuge meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University.
Eine bibliographische Auflistung befindet sich am Ende der Dissertation (Teil I).

Inhaltsverzeichnis

Teil A	Einleitung	1
1.0	Einführung in das Thema	1
1.1	Thematischer Kontext	1
1.2	Aufbau der Dissertation	8
1.3	Betrachtungsraum/ Dissertationsziele	12
2.0	Problemstellung	14
2.1	Aktuelle Innovationsdichte in der Architektur	14
2.2	Gestalterische Integration	18
2.3	Politische Notwendigkeit	20
3.0	Hypothese der Dissertation	21
4.0	Begriffserläuterungen	23
4.1	Textiles Bauen	23
4.2	Textilbewehrter Beton	25
4.3	Funktionsintegration	25
4.4	Building Attached Photovoltaic/Building Integrated Photovoltaic	27
Teil B	Textilbewehrter Beton	28
1.0	Stand der Technik	28
1.1	Sonderforschungsbereiche 528 und 532	32
1.2	Aktueller Forschungsstand	34
1.2.1	TUDALIT e.V.	34
1.2.2	C ³ - Carbon Concrete Composite	36
1.3	Wertschöpfungskette	37
1.4	Forschungs- und Industrielandschaft	40
2.0	Technische Erläuterung	42
2.1	Textile Bewehrungsstrukturen	42
2.1.1	2D-Gelegestrukturen	42

2.1.2	3D-Abstandsgewirke	47
2.2	Tränkung der Textilien	49
2.3	Feinbetonmatrix	53
2.4	Produktionstechniken	55
2.5	Verbundverhalten und Bemessungsmethode	56
2.6	Übersicht der Prüfverfahren	63
3.0	Architektonischer Nutzen	65
4.0	Aktuelle Einsatzgebiete	67
4.1	Vorhangfassaden	69
4.2	Sandwichfassaden	70
4.3	Dachelemente	71
4.4	Tragsysteme I - Pavillon	72
4.5	Tragsysteme II - Fußgängerbrücke	73
4.6	Verstärken von Stahlbetonbauteilen	74
4.7	Interieur/Möbelbau/Designobjekte	75
4.8	Sonstige Nischenanwendungen	76
5.0	Zukünftige Herausforderungen/ Zukunftsvisionen	77
5.1	Wirtschaftlich/Technisch	77
5.2	Politisch	78
5.3	Ökologisch	79
5.4	Sozial	80
Teil C	Funktionalisierung der Gebäudehülle	81
1.0	Aufgaben einer Gebäudehülle	81
2.0	(Technische) Funktionalitäten	83
2.1	Systeme zur Generierung von Energie	84
2.1.1	Photovoltaik	86
2.1.2	Solarthermie	88
2.2	Betrachtete Systeme im Zuge der Dissertation	90
2.2.1	Organische Photovoltaikfolien	91

2.2.2	Kapillarrohrmatten als Solarabsorber	92
3.0	Aktueller Einsatz gebäudeintegrierter Photovoltaik	93
4.0	Zukünftige Bedeutung im Bereich Textilbeton	97
Teil D	Multifunktionale Textilbetonsysteme	98
1.0	Forschungsansatz	98
2.0	Bauteilintegrierter Solarabsorber (EnTex)	99
2.1	Projektbeschreibung	100
2.2	Konstruktiver Aufbau und Funktionsprinzip des Dachelements	101
2.3	Entwicklung geeigneter Textilstrukturen	104
2.4	Herstellung der EnTex-Dachelemente	108
2.5	Aufbau des Demonstratorgebäudes	110
2.6	Bauteilversuche	111
2.7	Ökologische und ökonomische Bewertung	112
2.7.1	Referenzkonstruktion	112
2.7.2	Ökologische Bewertung	116
2.7.3	Ökonomische Bewertung	121
2.8	Akteursanalyse	128
2.9	Einsparpotential	131
2.10	Projektbewertung/ Marktpotential	135
3.0	Bauteilintegrierte Photovoltaik (Solarbeton)	136
3.1	Beschreibung der Grundidee	137
3.2	Produktbedingte Anforderungen	138
3.2.1	Mechanische Anforderungen	138
3.2.2	Thermische Anforderungen	139
3.2.3	Umweltbedingte Anforderungen	139
3.2.4	Ästhetische Anforderungen	139
3.2.5	Wirtschaftliche Anforderungen	140
3.2.6	Zusammenfassung der produktbedingten Anforderungen	140
3.3	Prozessbedingte Anforderungen	140

3.3.1	Materialgerechte Anforderungen	141
3.3.2	Prozessgerechte Anforderungen	141
3.3.3	Zusammenfassung der prozessbedingten Anforderungen	141
3.4	Konzeptentwicklung	142
3.5	Bewertung der Konzepte	145
3.6	Demonstratorentwicklung	146
3.7	Zusammenfassung	152
3.8	Ausblick	152
4.0	Zusammenfassung	155
Teil E	Zusammenfassung	156
Teil F	Ausblick	161
1.0	Weiterentwicklung über Nachfolgeprojekte	163
2.0	Entwurf eines Fassadenkonfigurators	163
2.1	Übertragbarkeit auf multifunktionale Textilbetonfassaden	165
2.2	Anforderungen	166
2.3	Umfang und Struktur	167
2.4	Vorgehen und Abhängigkeiten	168
2.5	Entwurf eines Fassadenkonfigurators	169
Teil G	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	172
Teil H	Literaturverzeichnis	178
Teil I	Studentische Arbeiten	204
Teil J	Anhang	206
1.0	Dissertationsliste Textilbeton	206
2.0	Literaturliste Textiles Bauen	209

Textiles Bauen (Appendix)	212
1.0 Definition "Textiles Bauen"	212
2.0 Historie und aktueller Status technischer Textilien	213
3.0 Textile Anwendungen im Bauwesen	216
3.1 Anwendungen im konstruktiven Ingenieurbau	217
3.1.1 Kurzfaserbewehrter Beton	217
3.1.2 Textilbewehrter Beton	218
3.1.3 Putz-/Estrich-/Mauerwerks-/Fugenarmierung	219
3.1.4 Textilverstärkter Holzbau	220
3.1.5 Textilbewehrter Lehm- und Ziegelbau	222
3.1.6 Faserverstärkte Kunststoffe	223
3.2 Anwendungen im Bereich der Gebäudehülle	227
3.2.1 Textiler Membranbau/Zeltdachkonstruktionen	227
3.2.2 Transluzenter Beton/Lichtbeton	229
3.2.3 GFK-Fassadenelemente	230
3.2.4 Sonnenschutztextilien	231
3.2.5 Faserbasierte Dämmstoffe	232
3.3 Anwendungen im Tiefbau	233
3.3.1 Geokunststoffe/Geotextilien	234
4.0 Zukünftige Potentiale	236