



Holschemacher (Hrsg.)

Betonbauteile 2023

Hintergründe, Auslegungen, Neue Tendenzen
im Betonbau

**Bauwerk
Beuth**

Betonbauteile 2023

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Klaus Holschemacher, HTWK Leipzig

Betonbauteile 2023

**Hintergründe, Auslegungen,
Neue Tendenzen im Betonbau**

Mit Beiträgen von:

Jörg Appl • Ulrich Bauermeister • Andreas Borgstädt
Eva Maria Dorfmann • Johannes Furche • Michael Gellen
Josiane Giese • Otto Grauer • Lars Hoffmann
Klaus Holschemacher • Alexander Kahnt • Christina Krenn
Josef Landler • Peter Mark • Sebastian May • Filippo Medeghini
Dennis Meßerer • René Oesterheld • Mirsada Omercic
Steffen Rittner • Frank Schladitz • Amer Suliman
Nguyen Viet Tue • Martin Weisbrich • Udo Wiens
Katharina Zaydowicz

Beuth Verlag GmbH · Berlin · Wien · Zürich

Bauwerk

© 2023 Beuth Verlag GmbH

Berlin · Wien · Zürich

Am DIN-Platz

Burggrafenstraße 6

10787 Berlin

Telefon: +49 30 2601-0

Telefax: +49 30 2601-1260

Internet: www.beuth.de

E-Mail: kundenservice@beuth.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden von Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen. Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Maßgebend für das Anwenden jeder in diesem Werk erläuterten oder zitierten Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum. Den aktuellen Stand zu jeder DIN-Norm können Sie im Webshop des Beuth Verlags unter www.beuth.de abfragen. Dort finden Sie insbesondere etwaige Berichtigungen und Warnvermerke, welche bei der Anwendung der jeweiligen Norm unbedingt zu beachten sind.

Druck: Plump Druck & Medien GmbH, Rheinbreitbach

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706

ISBN 978-3-410-31562-9

Vorwort

Das Bauwesen ist derzeit starken Veränderungen unterworfen. Themen wie Verringerung der CO₂-Emissionen, Ressourcenschonung, Recycling von Baustoffen sowie Automatisierung und Digitalisierung der Produktion von Betonfertigteilen prägen die aktuellen Entwicklungen der Betonbauweise und führen zu erheblichen Umstellungen für die in der Bauplanung oder der Bauausführung tätigen Ingenieure. Der vorliegende Band enthält die Beiträge zur 14. Tagung Betonbauteile, die am 30. März 2023 unter dem Thema „Betonbauteile 2023“ vom Institut für Betonbau (IfB) der HTWK Leipzig, dem InformationsZentrum Beton GmbH und dem Fachverband Beton- und Fertigteilwerke Sachsen/Thüringen e.V. durchgeführt wurde. In den insgesamt 12 Beiträgen geben renommierte Autoren aus Wissenschaft und Praxis einen Überblick zu aktuellen in der Betonbaubauweise zu verzeichnenden Tendenzen.

Aspekte der Nachhaltigkeit und der Ressourceneffizienz gewinnen im Bauwesen zunehmend an Bedeutung. Neue Baustoffe wie Carbonbeton können dabei helfen, die anstehenden Probleme zu lösen. Im Mittelpunkt der ersten Beiträge des vorliegenden Bandes steht daher das Bauen mit Carbonbeton, wobei intensiv auf Ausführung und Bemessung von Bauteilen aus diesem Baustoff eingegangen wird. In den daran anschließenden Beiträgen finden sich klassische Massivbauthemen wieder. Die darin angesprochenen Problemstellungen wie Bemessung der Mindestbewehrung für Zwangbeanspruchung, die neue DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton, Bauzustände von Halbfertigteilen und nachträglich installierte Bewehrungsanschlüsse unter Brandeinwirkung sind für die in der Tragwerksplanung tätigen Bauingenieure, ebenso wie für die Bauausführung, von Interesse. Im letzten Teil des Buches wird auf die DAfStb-Planungshilfe „Nachhaltig Bauen mit Beton“, die Holz-Beton-Verbundbauweise und die neue Normengeneration DIN 1045 eingegangen. Abschließend wird ein innovatives Monitoringkonzept vorgestellt, welches auf der Faseroptik basiert und dazu beitragen kann, den Bauwerksbestand zu erhalten.

Mein besonderer Dank gilt den Autoren der einzelnen Beiträge, ohne deren Fachkompetenz und termingerechte Bearbeitung die Herausgabe dieses Bandes nicht möglich gewesen wäre. Dank gebührt weiterhin dem Beuth Verlag für die gewohnt gute Zusammenarbeit sowie den Mitarbeitern des Instituts für Betonbau, die maßgeblich zum Gelingen der 14. Tagung Betonbauteile beigetragen haben.

Leipzig, im März 2023

Klaus Holschemacher

Inhaltsverzeichnis

Klaus Holschemacher, Otto Grauer, Steffen Rittner, Alexander Kahnt

Das Carbonbetontechnikum: Neue Visionen für den Betonfertigteilbau	1
1 Ausgangssituation	1
2 Das Carbonbetontechnikum	2
3 Forschungsprojekte	9
4 Zusammenfassung	10

Steffen Rittner, Otto Grauer, Alexander Kahnt, Klaus Holschemacher

Entwicklung und Fertigung nichtmetallischer Bewehrungen im automatisierten Prozess	13
1 Einleitung	13
2 Stand der Technik und Forschung	15
3 Entwicklung der Direktgarnablage	18
4 Fazit	29

Amer Suliman, Josiane Giese, Frank Schladitz

Konstruktion und Bemessung von Bauteilen aus Carbonbeton.....	35
1 Einleitung	35
2 Konstruktion	35
3 Bemessung	47
4 Ausblick	54

Andreas Borgstädt, Sebastian May

Vorgespannte Cabonbetonelemente – Bemessung mit CPC-Elementen	57
1 Einleitung	57
2 Die Herstellung der CPC-Elemente	59
3 Materialkennwerte	61
4 Bemessung Allgemein	62
5 Bemessungsbeispiel Balkonbelag	63
6 Bemessungsbeispiel Fußgänger- und Radfahrerbrücke	68
7 Ausblick	72

Filippo Medeghini, Katharina Zaydowicz, Josef Landler, Peter Mark

Stahlfaserbeton: Bemessung nach DAfStb-Richtlinie und aktuelle Entwicklungen	75
1 Einleitung	75
2 DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton	76
3 Aktuelle Entwicklungen	85
4 Schlussfolgerungen	91

Nguyen Viet Tue, Christina Krenn, Eva Maria Dorfmann

Mindestbewehrung für Zwangbeanspruchung im Stahlbetonbau – Risschnittgröße versus Verformungskompatibilität	95
1 Einleitung	95
2 Konzept auf Grundlage der Risschnittgröße	96
3 Konzept auf Grundlage Verformungskompatibilität	97
4 Gegenüberstellung der beiden Konzepte	101
5 Schlussbemerkungen	102

Ulrich Bauermeister, Johannes Furche

Krantransport langer Filigran®-Platten	105
1 Einleitung	105
2 Einwirkung	106
3 Krafteinleitung in die Fertigteilplatten	107
4 Biege- und Querkraftwiderstand der Fertigteile in Gitterträgerlängsrichtung	109
5 Biege- und Querkrafttragfähigkeit quer zum Gitterträger	111
6 Bemessungshilfe	112
7 Zusammenfassung	113

Jörg Appl, Michael Gellen

Tragverhalten und Bemessung von nachträglich installierten Bewehrungsanschlüssen unter Brandeinwirkung	117
1 Einführung	117
2 Nachträglich eingemörtelte Bewehrungsstäbe – Definition und thematische Abgrenzung	117
3 Heißbemessung von Betonbauteilen mit einbetonierten Bewehrungsstäben	119
4 Zusammenfassung	127

Udo Wiens, Mirsada Omercic

DAfStb-Planungshilfe „Nachhaltig Bauen mit Beton“	129
1 Allgemeines	129
2 Hinweise für die Planung	130
3 Hinweise zum Baustoff	135
4 Auswirkungen von Planungsentscheidungen auf die Bauausführung	139
5 Zusammenfassung	140
Anhang: Erläuterungen zur Planungshilfe	143

Lars Hoffmann, Klaus Holschemacher

Elementierung im Holz-Beton-Verbundbau	151
1 Einleitung	151
2 Normung	152
3 Überblick zur Vielfalt der HBV-Konstruktionen	154
4 Eigene wissenschaftliche Untersuchungen	159
5 Zusammenfassung	166

René Oesterheld

Die neue Betonnorm DIN 1045	171
1 Einleitung	171
2 Status Quo für tragende und aussteifende Bauteile in Deutschland	171
3 Aufbau des Regelwerkes	173
4 Festlegung der Klasseneinteilung	175
5 Beispiele und Zusammenhänge der Normenteile	179
6 Zusammenfassung	180

Martin Weisbrich, Dennis Meßerer, Klaus Holschemacher

Herausforderungen und Möglichkeiten der Faseroptik im Betonbau	183
1 Einleitung	183
2 Experimentelle Untersuchungen	185
3 Schlussfolgerungen und Ausblick	195

Rautiefenmessung

mit Lasertechnologie nach
DIN EN ISO 13473-1
ZTV-ING
DAfStb-Rili SIB

FORM+TEST®
PRÜFSYSTEME

Druckprüfung



Biegeprüfung



Zugprüfung



WU-Prüfung



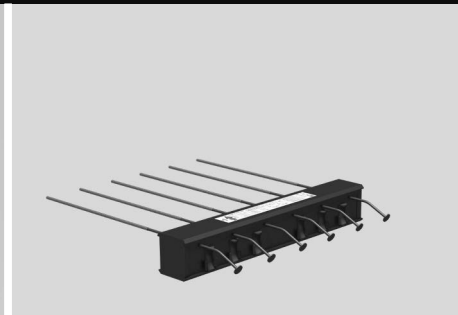
Choose the Original
Choose Success!



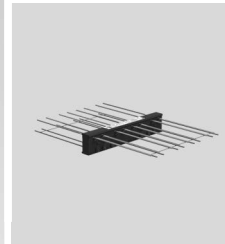
FORM+TEST Seidner&Co. GmbH
Telefon +49 (0) 7371 9302-0
sales@formtest.de, www.formtest.de

Wir sind Leviat

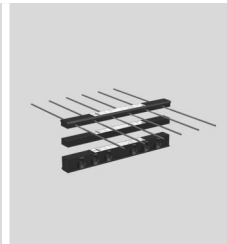
Leviat, ein CRH-Unternehmen, ist Teil des weltweit führenden Baustoffunternehmens.



HIT-MVX OU/OD
für den Anschluss an Balken



HIT-MVXL
für anspruchsvolle
Auskragungen



HIT-MVX ES
für auskragende
Balkone

© tomjasmy.com

Wir entwickeln, konstruieren und produzieren technische Produkte und innovative Konstruktionslösungen die helfen, architektonische Visionen in die Realität umzusetzen und unsere Baupartner befähigen, besser, sicherer, stärker und schneller zu bauen.

The home of:



Für weitere Informationen besuchen Sie Leviat.com und die Webseiten der Produktmarken: Ancon.de, Halfen.com und Modersohn.eu.



Follow us!



Das Carbonbetontechnikum: Neue Visionen für den Betonfertigteilmbau

Klaus Holschemacher, Otto Grauer, Steffen Rittner, Alexander Kahnt

1 Ausgangssituation

In den vergangenen Jahrzehnten war der weltweit wichtigste Baustoff Stahlbeton. Jedes Jahr werden ca. 15-20 Milliarden Kubikmeter Stahlbeton verbaut [1]. Neben seinen Vorteilen (gute mechanische Eigenschaften, weltweite Verfügbarkeit der benötigten Rohstoffe, wirtschaftliche Herstellung) hat er jedoch auch Nachteile. So ist allein zum Schutz der bisher üblichen Betonstahlbewehrung vor Korrosion und zu schneller Erwärmung im Brandfall eine bis zu 5 cm dicke Betondeckschicht auf dem Bewehrungsstahl vorzusehen, die sich in vielen Fällen nicht an der Lastabtragung beteiligt [2]. Durch diese Materialineffizienz, sowie den hohen und äußerst CO₂-intensiven Zementanteil, steht Stahlbeton heute in der Kritik [3], sodass es erhebliche Anstrengungen erforderlich sind, um auch zukünftig Stahlbeton unter den verschärften Nachhaltigkeitsanforderungen einsetzen zu können. Bei dem vor diesem Hintergrund entwickelten Verbundwerkstoff Carbonbeton wird der korrosionsempfindliche Stahl durch korrosionsbeständiges Carbon in Form textiler und/oder stabförmiger Bewehrungen aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) ersetzt. In der Folge ist eine Betondeckung von lediglich wenigen Millimetern erforderlich. Weiterhin ist die Carbon-Bewehrung viermal so leicht und zugleich fünf- bis sechsmal tragfähiger (3.000 N/mm² statt 500 N/mm²) [4]. Aufgrund der optimierten Materialwahl ergibt sich für Carbonbeton-Baukonstruktionen eine deutlich höhere Lebensdauer. Während diese bei Stahlbeton bei 40 bis 80 Jahren liegt, wird bei Carbonbeton mit 200 Jahren gerechnet [5], [2]. Aus der enormen Betoneinsparung (je nach Anwendung bis zu 75 %) resultiert zudem eine nahezu um den Faktor 5 verbesserte Ökobilanz [6], [7]. Hinzu kommen architektonische Vorteile, erzeugt durch die Filigranität und Leichtigkeit dieser neuen Bauweise. So kann beispielsweise eine vorgehängte Fassadenplatte bei der Wahl von Carbonbeton 2 cm dick ausgeführt werden, statt wie bei Stahlbeton in 7-10 cm bei mindestens gleicher Leistungsfähigkeit. Außerdem sind Flächengewinne von bis zu 15 % realisierbar [8]. Demnach lässt sich bei identischer Versiegelungsfläche durch Carbonbeton-Konstruktionen weitaus mehr Wohnfläche erzeugen – ein idealer Effekt für eine flächeneffiziente, städtebauliche Nachverdichtung. Anwendungspotentiale für Carbonbeton betreffen den Wohnungs-

bzw. Nichtwohnungsbau sowie den Infrastrukturbereich, da Salzangriffe, Frost oder dynamische Belastungen unproblematisch sind.

Obwohl das Wissen zu den Materialkennwerten der Carbonbewehrung bzw. deren Verbundverhalten, zur Herstellung der Bewehrung (Garn- und Gelegeherstellung sowie Konfektionierung), zu dem in Carbonbetonbauteilen verwendeten Beton (Bindemittel, Zuschläge, Zusatzmittel) sowie zum Betonrecycling sehr umfangreich vorliegen, sind Aspekte der Funktionsintegration, der planerischen Detaillösungen und der (teil-) automatisierten Fertigung inkl. passfähiger Fertigungsmittel nicht zufriedenstellend gelöst.

Während Stahlbetonelemente bereits seit vielen Jahren schnell, maßgeschneidert und vollautomatisiert gefertigt werden können, durchlaufen Carbonbetonbauteile heute immer noch vorwiegend händische Fertigungsschritte. Um weg von einem kostenintensiven sowie zeitaufwändigen Nischenprodukt zu kommen und den Markt schlagkräftig zu erreichen, müssen die noch verbliebenen technische Wissenslücken geschlossen und komplette Prozessketten für standardisierte Bauteile in reproduzierbaren, hohen Ausführungsqualitäten entwickelt werden.

2 Das Carbonbetontechnikum

2.1 Notwendigkeit der Forschung / Initiierung Modellfabrik

Innerhalb der mittlerweile sehr weitreichenden Forschung zum Thema Textil- und Carbonbeton hat man sich das Ziel gesetzt, ca. 20 % des Stahlbetons durch Carbonbeton zu ersetzen. Hierfür ist es dringend notwendig, Carbonbeton massentauglich zu machen. Da sich dieses Ziel nur durch Vorantreiben der Automatisierung der Produktion von Betonfertig- und Halbfertigteilen realisieren lässt, wurde 2019 die Idee geboren eine Carbonbeton-Modellfabrik zu initiieren. Mit dieser soll in Zukunft eine durchgängig digitale, weltweit einzigartige Demonstrationsfertigungslinie umgesetzt werden, die es ermöglicht, die Prozessketten zur digitalen, vollautomatisierten und dadurch hocheffizienten Herstellung von Fertig- und Halbfertigteilen aus Carbonbeton zu erforschen und zu optimieren. Mit dem durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie dem Freistaat Sachsen geförderten Carbonbetontechnikum Deutschland ist dafür die entsprechende Grundlage geschaffen worden.

Das Carbonbetontechnikum Deutschland an der HTWK Leipzig widmet sich im Besonderen dem Ausbau des Forschungsschwerpunktes „Digitalisierung und Automatisierung der Herstellung von Carbonbeton“ [9]. Die Umsetzung dieses Themenschwerpunktes führt unmittelbar zu einer verstärkten Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft. Durch die im Carbonbetontechnikum integrierte Modellfabrik wird es einerseits möglich, neue Innovationen und Lösungsansätze im werksnahen Maßstab zu untersuchen, zu erproben und zu validieren. Andererseits können Modelle zur Werksintegration geschaffen werden, die beispielsweise mittelständischen Unternehmen der Branche in der Breite befähigt, Carbonbeton wirtschaftlich in der Praxis einzusetzen. Somit bietet sich die Chance einer einfachen,

schnellen und skalierbaren Integration von Carbonbeton in die aktuell vorhandene Wertschöpfungskette der Massenfertigung von Betonbauteilen.

2.2 Struktur / Ausstattung

Die Modellfabrik soll sich prinzipiell mit der Digitalisierung und Automatisierung der Herstellung von Carbonbeton befassen. Dafür wurde das Carbonbetontechnikum in zwei Abschnitte unterteilt.

2.2.1 Prozessstrecke

Abschnitt 1 (siehe Bild 1) dient als Standort der eigentlichen Modellfabrik. Auf 450 m² ist eine modellhafte Produktionsstrecke installiert, auf welcher die automatisierten Fertigungsschritte für Carbonbeton entwickelt, untersucht und validiert werden.

Die möglichen Bauteilgrößen, welche bei den Untersuchungen von der Technik gehandhabt werden können, erstrecken sich von 10,0 cm x 10,0 cm stufenlos bis zu einer Maximalgröße von 125,0 cm x 305,0 cm. Transportiert werden kann ein Maximalgewicht von 2.000 kg. Von der Struktur her unterscheidet sich das Anlagenlayout von dem Großteil bestehender Betonfertigteilewerke. Diese nutzen das System des Palettenumlaufs [10]. Die Modellfabrik wurde in drei parallel verlaufende Arbeitslinien untergliedert auf denen sich jeweils 3-4 Arbeitsstationen befinden. Der Wechsel zwischen den separaten Linien erfolgt über drei Querverfahreinheiten.

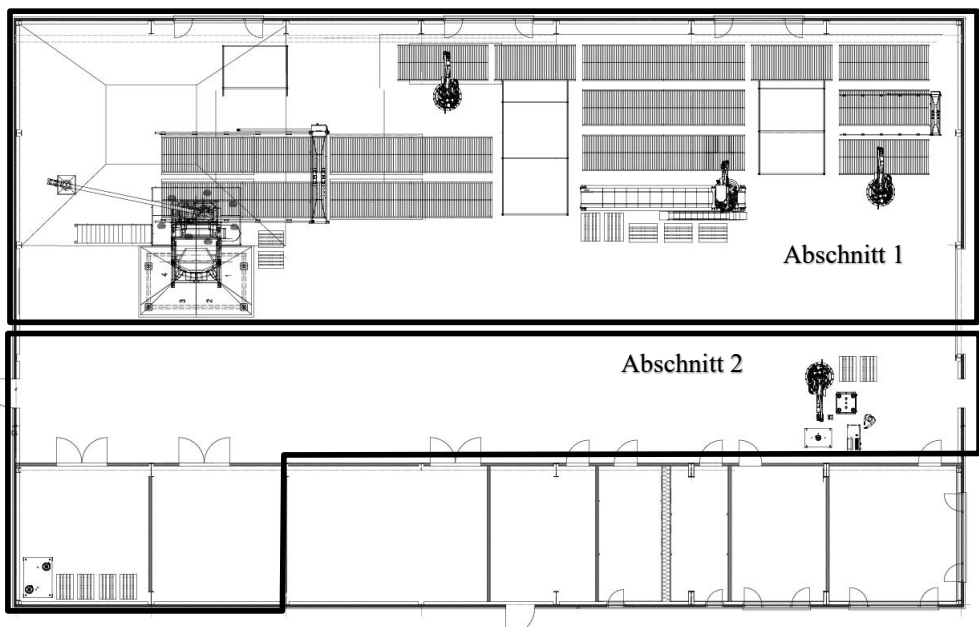


Bild 1: Grundriss Carbonbetontechnikum Deutschland (Grafik: HTWK Leipzig)

Durch das beschriebene Anlagenlayout wurde eine Flexibilität geschaffen, welche es ermöglicht, Entwicklungsarbeiten an einzelnen Prozessschritten durchzuführen, ohne den Betrieb der Gesamtanlage zu gefährden. Aktuell können 4 Arbeitsstationen mittels Roboter betrieben werden. Diese sind zeitgleich auch die Kernarbeitsschritte bei der Herstellung von Carbonbetonelementen – Herstellung der Carbonbewehrung, Erstellung der Schalung für dünnwandige Wandelemente, Verlegung der Carbonbewehrung, automatisierte Nachbearbeitung und Montage. Angeschlossen an die Fertigungsstrecke ist eine Hochleistungsmischanlage, sowie ein auf textilbewehrte Betone angepasster Betonverteiler.

Station 1: Automatisierte Garnablage und thermische Nachbehandlung

An dieser Bearbeitungsstation werden die gewünschten Bewehrungsstrukturen zwei- und dreidimensional vollautomatisiert hergestellt. Zu Beginn berechnet eine eigens entwickelte Software automatisch für das jeweilige Bauteil die Bewehrungsgeometrie, welche im Anschluss durch Algorithmen in einen Verlegepfad für einen Roboter umgewandelt wird. Mit diesen Informationen legt der Roboter selbstständig die Bewehrung auf einem Spannrahmen ab. Während der Garnablage wird das Carbonsarn online mit einer Harzmatrix getränkt. Dadurch verbinden sich die einzelnen Carbonfilamente miteinander, sodass der komplette Bewehrungsquerschnitt des verwendeten Garns bei der statischen Betrachtung angesetzt werden kann. Zudem unterstützt die Tränkung die Lagestabilität der Bewehrungsmatten während der Betonage.



Bild 2: Arbeitsstation zur automatisierten Garnablage / Temperofen (Foto: Tobias Krettek)

Ist die Bewehrung vollständig abgelegt, wird der Spannrahmen samt Bewehrung der thermischen Nachbehandlung zugeführt. Dafür verfährt dieser selbstständig innerhalb der Modellfabrik zum nächsten Prozessschritt. In einem Umluftofen wird das Gelege einem dem Harz spezifischen thermischen Nachbehandlungsregime (Temperung) unterzogen. Dadurch wird die Endfestigkeit der Harzmatrix sowie der Punkt der Glasübergangstemperatur festgelegt. Diese ist für den späteren Einsatz in den Bauteilen und für die Dauer der Feuerbeständigkeit von großer Bedeutung. Nach erfolgter Temperung verfährt der Spannrahmen mit dem nun ausgehärteten Gelege aus dem Ofen zum nächsten Bearbeitungsschritt.

Station 2/3: Automatisierte Schalungsverlegung und Einbringen der Bewehrung

Zwei weitere Prozessstationen dienen der vollautomatischen Herstellung der Betonschalung und der anschließenden Verlegung der Bewehrung in der Schalung. Beide Stationen können von einem Roboter bedient werden. Durch den Einsatz eines pneumatischen Schnellwechselsystems ist der Roboter in der Lage, vollautomatisch zwischen verschiedenen Greifern und anderen Bearbeitungswerkzeugen zu wechseln.

Um die Schalung zum Betonieren vollautomatisch zu verlegen, wird zunächst die Geometrie der Schalung durch einen eigens entwickelten Elementialgorithmus generiert. Dieser setzt aus fünf unterschiedlich langen Magnetschalelementen die gewünschte Geometrie zusammen, so dass die speziell für den Einsatz für Textilbetonbauteile hergestellten Schalelemente in ihrer Form angepasst sein können. Damit das möglich ist, wurden die Fasen an der Bauteilaußenseite verkleinert und die Höhe des Schalelementes auf 5 cm begrenzt.

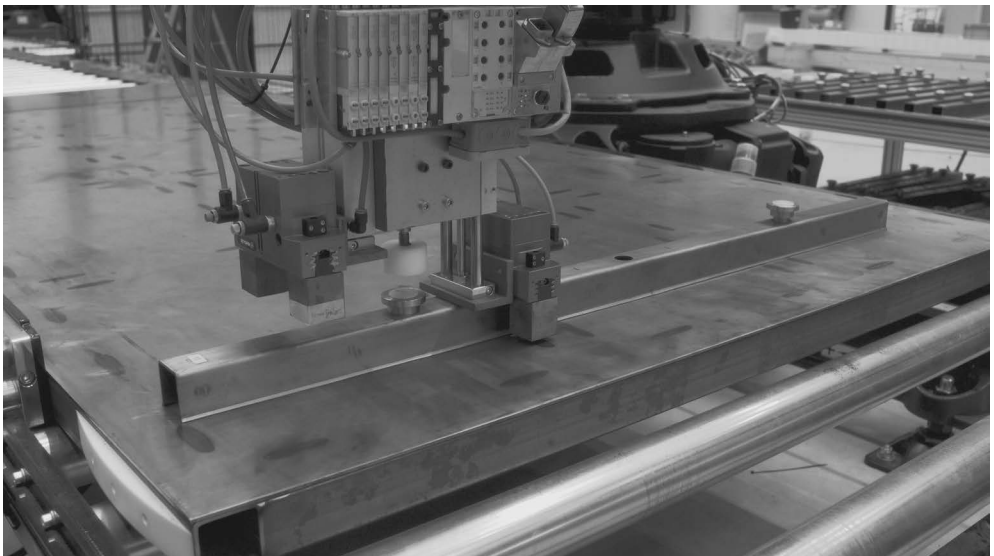


Bild 3: Automatische Verlegung der Schalelemente für dünnwandige Bauteile (Foto: Tobias Krettek)

Zusätzlich zu aktuell verfügbaren Schalungsrobotern ermöglicht der Einsatz von Sechs-Achs-Robotern das gleichzeitige Einbringen von magnetischen Stabankern an den Vertikalseiten der Abschaler. Diese werden benötigt, um beim späteren Abheben der Bauteile Anschlagpunkte zur Verfügung zu stellen.

Zum Einbringen der Bewehrung ist eine erste Teilbetonage notwendig. Dies bringt den Vorteil, dass durch das Einbringen einer ersten Lage Beton inklusive Verdichtung mittels Vibration eine definierte Höhe für die Platzierung der Bewehrung erreicht wird. Die Betonage erfolgt mit Hilfe einer für Feinkornbetone weiterentwickelten Hochleistungsmischanlage inklusive Betonverteilerportal. Auf diese erste „Grundschrift“ Beton wird das Carbongelege aufgebracht. Dafür steht ein weiteres Greifwerkzeug zur Verfügung. Dieses ist mit mehreren an das Bewehrungsraster anpassbaren 2-Backengreifern ausgestattet. Die Greifer besitzen spezielle „Pads“ an den Greifzangen, damit beim Greifen keine Querkraft in die Bewehrungsstränge eingebracht wird, um so die Schadensfreiheit der Bewehrung aufrechtzuerhalten. Das Handling dieses Prozessschrittes übernimmt derselbe Roboter wie für die Schalungsablage, ermöglicht durch erwähntes Schnellwechselsystem für Werkzeuge.

Im Zuge zukünftiger Untersuchungen können an diesen beiden Prozessstationen weitere Arbeitsschritte hinzugefügt werden, da durch den Werkzeugwechsel generell unendlich viele Bearbeitungs – und Greifwerkzeuge zum Einsatz kommen können.

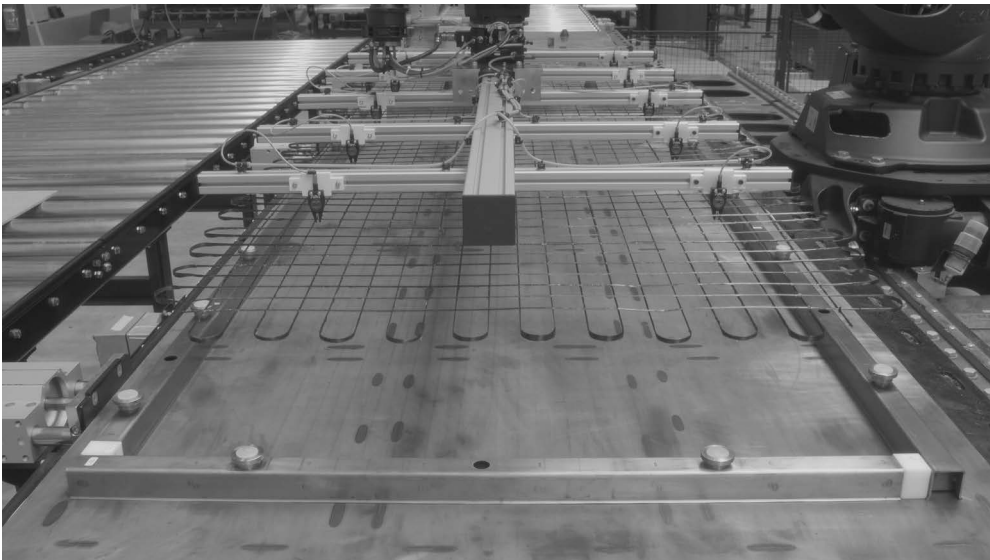


Bild 4: Exemplarisches Einbringen der Bewehrung (Foto: Tobias Krettek)

Station 4: Mechanische Nach- und Weiterbearbeitung

Innerhalb der Modellfabrik steht ein weiter Spezialroboter zur Verfügung (Bild 5), welcher im dreidimensionalen Raum Nachbearbeitungsaufgaben erledigen kann. Dieser ist mit einer Hochleistungsdrehspindel ausgestattet und kann nach Bedarf

individuell bohren, schleifen und fräsen. So können am Beispiel einer vorgehängten Fassadenplatte aus Carbonbeton Hinterschnitte gefräst werden, wo später Befestigungsmittel wie Anker etc. angebracht werden können. Weiterhin besteht die Möglichkeit, mit Hilfe des Roboters Sonderschalungen bzw. Sonderschalungselemente mittels Fräsen herzustellen. Vor allem bei gekrümmten Bauteilen, welche sich durch die positiven Eigenschaften des Carbonbetons besonders gut herstellen lassen, können durch den vollautomatisierten Workflow Betonschalung und herzustellende Carbonbewehrung perfekt aufeinander angestimmt werden.

Zusätzlich zu den vier Arbeitsstationen, bei denen Roboter zum Einsatz kommen, sind mehrere Prozessstationen mit Sondertechnik ausgestattet, welche notwendig ist, um die neuen Herausforderungen bei der Herstellung und Untersuchung von Carbonbeton zu bewerkstelligen.



Bild 5: Fräsroboter / Beispiel Hinterschnittanker [11] (Fotos: HTWK Leipzig)

Station 5: Entnahme der fertigen Betonbauteile

Um ein fertiges Bauteil aus Carbonbeton aus der Fertigungsstrecke entnehmen zu können, kommen verschiedene Methoden zum Einsatz. So kann entweder der Schalungstisch auf einen Kipptisch verfahren, welcher automatisch die Schalung mit dem Betonbauteil fixiert (Sicherung gegen Kippen im aufrechten Zustand), um so die Fahrfreigabe für den Kippvorgang der Kippstation zu erhalten. Das Bauteil wird in eine senkrechte Position verfahren, Anschlagmittel der Kranbahn an die bauteilintegrierten Befestigungsanker angebracht und das Bauteil per Kran (maximale

Kranlast 20 Tonnen) in ein Lagergestell transportiert. Dieser Vorgang ist notwendig, da, entgegen dem Stahlbeton, im Falle von Doppelwänden, keine Gitterträger mehr als Anschlagpunkt genutzt werden können. Die nun zum Einsatz kommenden Verbindungsmittel in Form von Kunststoffpins können alternativ nicht als Anschlagpunkt verwendet werden, da diese punktuell auf der Gesamtfläche der nunmehr stark dickenreduzierten Platte (2-3 cm) zu hohe Biegebeanspruchungen hervorrufen würden, was eine Schädigung der Platte zur Folge hätte. Alternativ steht im Carbonbetontechnikum ein Aufnahmewerkzeug zur Verfügung, welches durch spezielle Saugteller an der rauen Oberfläche der Plattenrückseite angebracht wird und so Plattengewichte bis 750 kg bewegen kann. Das Vakuumsauggestell kann die Platten nach Entnahme um sämtliche Achsen drehen, was ein Handling zum nächsten Bearbeitungsschritt vereinfacht.

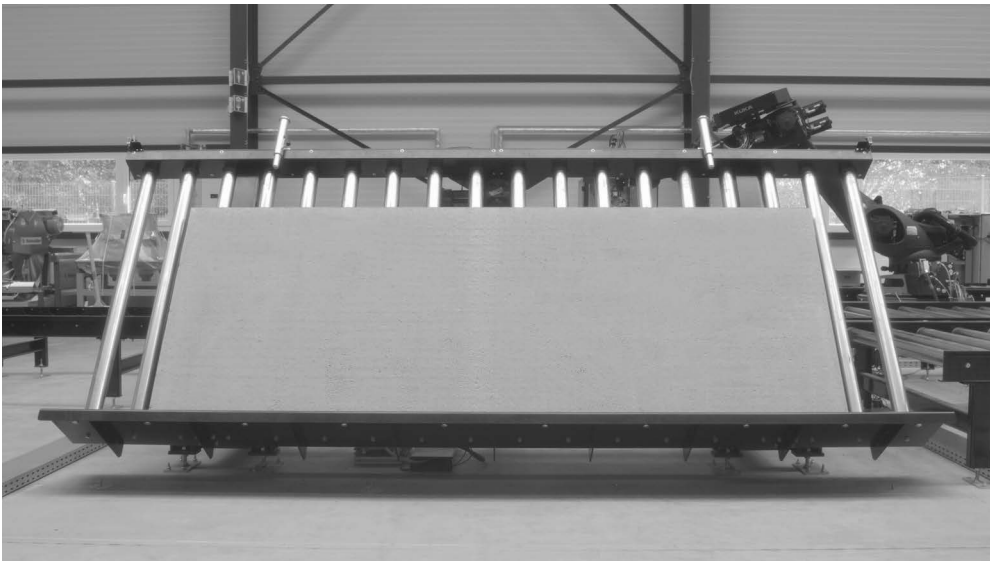


Bild 6: Vollautomatische Entnahmestation (Foto: Tobias Krettek)

2.2.2 Prüfbereiche

Neben der modellhaften Produktionsstrecke verfügt das Carbonbetontechnikum Deutschland über weitere 350 m² Fläche für Bauteilprüfungen im Abschnitt 2 (siehe Bild 1). So können auf einem Aufspannfeld Prüfraumen bis zu einer Höhe von 3,50 m installiert und zu Belastungsuntersuchungen an größeren Bauteilen genutzt werden. Mehrere Klimaräume und -kammern können für die Probenlagerung (Wasserlagerung etc.), aber auch für Dauerstandsversuche unterer definierten klimatischen Bedingungen eingesetzt werden.

Zudem wird der Automatisierungsgedanke auch in der Prüftechnik verfolgt. So wird im 2. Quartal 2023 eine Prüfmaschinenkombination (Bild 7), bestehend aus Druckprüfmaschine und Biegezugrahmen, für die robotergestützte Bedienung in den

Anlagebestand des Carbonbetontechnikums aufgenommen. Somit können in Zukunft vollautomatisierte Prüfungen entsprechend der Standards EN 12390-5, DAfStB-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ und EN 14651 (CMOD) durchgeführt werden. Prüflasten von bis zu mindestens 300 kN im Biegeprüfrahmen sowie 5.000 kN im Druckprüfrahmen sind durch die Aggregate abbildbar.

3 Forschungsprojekte

Aktuell werden mehrere Forschungsprojekte im Carbonbetontechnikum bearbeitet. Diese beschäftigen sich, aufbauend auf dem einstigen Initialprojekt C³-Carbon-Concrete-Composite [12], mit der Weiterentwicklung von Anwendungsgebieten, Qualitätssicherung, Prozessschritten etc. von Carbonbeton. So wird beispielsweise eine vollautomatische Qualitätskontrolle für Carbonbetonbauteile entwickelt. Das Institut für Betonbau der HTWK Leipzig konzentriert sich dabei vor allem auf die robotergestützte individuelle Mattenfertigung sowie die Baustellenprozesse. So wird unter Nutzung des Carbonbetontechnikums ein Sensorkonzept für die robotergestützte Bewehrungs- und Bauteilherstellung entwickelt und umgesetzt. Auf dessen Basis sollen alle potenziell qualitätsbestimmenden Prozessparameter auf deren Einfluss auf die Fertigungsqualität (vor allem die Streuung der Leistungskennzahlen der Bewehrung) untersucht werden. Dazu wird das von den Projektpartnern erarbeitete Datenerfassungs- und -analysesystem implementiert, erprobt und validiert. Weiterhin werden Untersuchungen zur Qualitätssicherung auf der Baustelle bei der Nutzung von Carbonbetonfertigteilen durchgeführt. Dies betrifft einerseits die Nutzung digitaler Zwillinge, andererseits die Erfassung von Qualitätsmerkmalen im Qualitätssicherungssystem. Ziel soll es sein, Ansätze zur Qualitätssicherung aus anderen Branchen in das Bauwesen und speziell in Betonfertigteilwerke zu überführen, um die Fertigungsqualität insgesamt zu erhöhen, deren Streuung massiv zu reduzieren und damit eine bessere Auslastung des Hochleistungswerkstoffes Carbonbeton zu ermöglichen. Einher geht dies mit Untersuchung qualitätsbestimmender Prozessparameter, die für eine stärker qualitätsorientierte Bemessung herangezogen werden können. So kann dieselbe Leistung von Bauteilen mit erheblich weniger Bewehrung und Beton erbracht und die Möglichkeiten von Carbonbeton zur CO₂-Einsparung auch in der Praxis realisiert werden. Die Einführung moderner Qualitätssicherungsansätze im Bauwesen mit dem Aufbau digitaler Schatten und digitaler Zwillinge der Bauteile sowie Gebäude kann nicht nur bei deren Errichtung zu erheblichen Einsparungen führen, sondern auch im Gebäudelebenszyklus durch eine sehr viel genauere Zustandsanalyse den Instandhaltungs- und Wartungsaufwand reduzieren. Mit einer zielgenauen, rechtzeitigen Instandhaltung ist darüber hinaus mit einer deutlichen Verlängerung der Lebensdauer von Bauwerken zu rechnen.