

Ondrej Kyjanek, Oliver David Krieg  
Tobias Schwinn, Achim Menges

# **Mensch-Roboter-Kooperation im Holzbau: Potentiale für die Vorfertigung**

F 3180

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 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

2020

ISBN 978-3-7388-0461-4

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/bauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung)



Universität Stuttgart



Institut für Computerbasiertes  
Entwerfen und Baufertigung

# Mensch-Roboter-Kooperation im Holzbau: Potentiale für die Vorfertigung

WISSENSCHAFTLICHER ABSCHLUSSBERICHT

## Projektteam:

**Universität Stuttgart**

**Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung (ICD) -**

Keplerstraße 11, D-70174 Stuttgart

*Ondrej Kyjanek*

*Oliver David Krieg*

*Tobias Schwinn*

*Prof. Achim Menges*

## In Kooperation mit

**Müllerblau Stein Holzbau GmbH**

Pappelauer Straße 51, 89134 Blaustein

Reinhold Müller, Geschäftsführer

**KUKA Roboter GmbH**

Zugspitzstraße 140, 86165 Augsburg

Frank Zimmermann, Market Segment Manager Education

## Eckdaten

Gesamtkosten:	264.331,11 €
Anteil Bundeszuschuss:	142.200,16 €
Projektlaufzeit:	24 Monate



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

FORSCHUNGSINITIATIVE  
**ZukunftBAU**

## Kurzzusammenfassung

Das Forschungsprojekt untersucht neuartige Ansätze der Mensch-Robot Kooperation (MRK) im Montageprozess der Holzbau-Vorfertigung. Holzbau ist in der Regel Auftragsproduktion, d.h. er zeichnet sich durch stark variierende Bauteile oder ein geringes Volumen an Bauteilen (Losgröße 1) aus. Menschliches Know-How und Erfahrung sind deshalb essentiell. Im Gegensatz zur Vollautomatisierung, die im Holzbau aufgrund der Projektspezifität und KMU-Strukturen wenig Sinn macht, steht hier die mögliche Synergie von Robotik und Handwerk im Vordergrund. Die Mensch-Roboter-Kollaboration ist eine Kombination aus robotischer Präzision und Fertigungsgeschwindigkeit mit menschlicher Logik und Geschicklichkeit. Das Ziel ist folglich die Evaluierung der Potenziale von MRK in der Holzbauindustrie. Zunächst wurden deshalb bestehende Prozesse in der Holzproduktion und bestehende Ansätze der MRK analysiert und systematisiert. Darauf aufbauend wurden dann drei übergeordnete Mensch-Roboter-Kollaborationstrategien für die Holzbauindustrie vorgeschlagen und deren Umsetzungspotential evaluiert. In zwei Fallstudien wurden schließlich die beiden Strategien "Direkte Mensch-Roboter-Kooperation" und "Gelegentliche Koordination" und deren entsprechende technologische Ansätze in Zusammenarbeit mit Industriepartnern prototypisch umgesetzt und evaluiert. Das Forschungsprojekt zeigt auf wie neuartige Ansätze der Mensch-Roboter Kooperation auch für die Montage in der Holzbau-Vorfertigung ein höheres Maß an Automatisierung, Qualität und Wirtschaftlichkeit ermöglichen. Eine übergeordnete Erkenntnis des Forschungsprojekts ist, dass die Anwendung von Mensch-Robot Kooperation sowohl in einer höheren Produktivität bei gleichzeitig hohem Maß an Individualisierung resultieren kann, als auch in grundlegend neuen Anwendungsbereichen und Bausystemen im Holzbau.

## Abstract

The research project investigates novel approaches of human-robot cooperation (HRC) in the assembly process of timber prefabrication. Timber construction is usually contract-based production, i.e. it is characterized by strongly varying components and/or a small volume of components (lot size 1). Human know-how and experience are therefore essential. In contrast to full automation, which makes little sense in timber construction due to project specificity and SME structures, the focus here is on the possible synergy of robotics and craftsmanship. Human-robot collaboration is a combination of robotic precision and production speed with human logic and skill. The aim consequently was to evaluate the potential of HRC in the context of the timber construction industry. Therefore, existing processes in wood production and existing HRC approaches were first analyzed and systematized. Based on the systematisation, three high-level human-robot collaboration strategies for the timber construction industry were proposed and their implementation potential evaluated. In two case studies, the two strategies "Direct human-robot cooperation" and "Occasional coordination" and their corresponding technological approaches were implemented and evaluated in cooperation with industrial partners. The research project shows how new approaches in human-robot cooperation also enable a higher degree of automation, quality and cost-effectiveness for assembly in prefabrication of timber construction. An overarching finding of the research project is that the application of human-robot cooperation can result both in higher productivity with a high degree of individualization, as well as in fundamentally new areas of application and building systems in timber construction.

## Inhalt:

Einleitung .....	1
Ausgangslage .....	1
Projektaufbau .....	2
Arbeitsplan.....	2
Projektdurchführung .....	5
AP 1: Prozessanalyse .....	5
AP 1.1: Prozessanalyse: Vorfertigung im Holzbau .....	5
AP 1.2: Prozessanalyse: Modelle Mensch-Roboter-Kooperation.....	7
AP 2: Identifikation der Potentiale .....	11
AP 2.1: Identifizierung der Potenziale von MRK im Holzbau .....	11
Automatisierung von Fertigungsprozessen .....	11
Merkmale und Trends im Holzbau.....	11
Potenziale identifizieren.....	12
AP 2.2: Identifizierung verwandter robotergestützter technologischer Lösungen .....	15
Zur Kollaboration zwischen Mensch und Roboter.....	15
Klassifizierung der Kollaboration.....	16
Voraussetzungen für die Umsetzung der Mensch-Roboter-Kollaboration.....	17
Mensch-Roboter-Kommunikation .....	18
Strategien zur Umsetzung von MRK im Holzbau .....	20
AP 3: Systematisierung Anwendungsfelder und Auswertung .....	23
AP 3.1: Systematisierung der möglichen Vorfertigungsprozesse / Technologiekombinationen .....	23
AP 3.2: Aufarbeitung und Evaluierung .....	25
Level of Automation (LoA) und Flexibilität.....	25
Innovationspotenzial .....	28
AP 3.3: Kurz-, mittel- und langfristige Implementierungsstrategien.....	30
AP 4: Beispielhaftes Prototyping, Testung und Evaluierung.....	33
EXPERIMENT 1 - Collaborative Robotic Workbench .....	33
Kontext .....	34
Methoden .....	35
Implementierung.....	39
Demonstrator .....	43
Diskussion .....	44
Danksagung .....	45
EXPERIMENT 2 - Robotische Vorfertigung einer leichten Holzschale .....	46

Kontext .....	46
Methoden .....	48
Implementierung .....	51
Ergebnisse .....	54
Diskussion .....	56
Danksagung .....	56
Publikationsliste .....	57
Veranstaltungsliste .....	57
Abbildungsverzeichnis .....	57
Tabellenverzeichnis .....	59
Literaturverzeichnis .....	59