

Deutsch
English

DBV-Heft 53

Digitale Fertigung im Betonbau

Digital fabrication with concrete



DBV-Heft 53

„Digitale Fertigung im Betonbau: Grundsätze, Definitionen und mögliche Anwendungsfelder“

DBV-Booklet 53

“Digital fabrication with concrete: Principles, definitions and possible applications”

© Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Berlin 2023

Redaktion:

Dr.-Ing. Ksenija Vasilić

Herausgeber:

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.

Kurfürstenstraße 129

10785 Berlin

info@betonverein.de

betonverein.de

Verlag: Eigenverlag

Druck: AC medienhaus GmbH, 65205 Wiesbaden

Titelbild/Quelle: © Heidelberg Materials/Detlef Podehl

Hinweis: Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte sowie die Anwendbarkeit etwaiger Erkenntnisse und Empfehlungen, die sich aus den Beiträgen ergeben oder ableiten lassen, übernimmt der DBV keinerlei Haftung oder Gewährleistung. Von etwaigen Ansprüchen Dritter ist der DBV freizustellen.

Deskriptoren: additive Fertigung, Automatisierung, Beton-3D-Druck, Beton, Betonbau, digitale Fertigung, Digitalisierung, Nachhaltigkeit, Produktivitätssteigerung

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Schrift darf ohne schriftliche Genehmigung des DBV in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Markennamen, Handelsbezeichnungen oder sonstige Kennzeichen in dieser Schrift berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

DBV-Heft 53

Digitale Fertigung im Betonbau

Grundsätze, Definitionen
und mögliche Anwendungsfelder

Fassung September 2023



DBV-Booklet 53

Digital fabrication with concrete

Principles, definitions and possible applications

Edition September 2023

Vorwort

Die industrielle Anwendung der digitalen Fertigung im Betonbau schreitet schnell voran und es werden weltweit immer größere Projekte realisiert. Die realisierten Projekte zeigen das große Potenzial einer volldigitalisierten Bauwirtschaft, durch die auch hoch individualisierte Bauprojekte ökonomischer, materialsparender und nachhaltiger abgewickelt werden können.

Stagnierende Produktivität und zunehmender Fachkräftemangel haben die Bauwirtschaft in Richtung Industrialisierung und Digitalisierung getrieben, sodass sich diese derzeit an einem „digitalen Wendepunkt“ befindet. Auch aus Gründen der Nachhaltigkeit werden in naher Zukunft die Anpassungen bestehender Arbeitsweisen und Bauverfahren notwendig. Daher ist zu erwarten, dass mittelfristig die digitalen Fertigungsverfahren eine steigende Bedeutung für Bauunternehmen erlangen werden.

Dieses DBV-Heft soll dabei helfen, einen ersten Überblick zu den schon entwickelten und zukunftsfähigen Lösungen zu gewinnen. Es werden außerdem offene Fragen angesprochen, zu denen Antworten notwendig sind, um angewandte Forschung mit praxisgerechten Anleitungen zu vereinen.

Der Fokus des Heftes liegt insbesondere auf 3D-Druck mit Beton. Konkret beinhaltet das Heft:

- Definitionen und Glossar spezifischer Begriffe für die digitale Fertigung im Betonbau,
- technologische Hauptentwicklungen und Schwerpunkte mit Technologiereifegrad (TRL),
- anwendungsreife Technologien,
- Auswahlhilfe für Einsatzmöglichkeiten passender Technologien in verschiedenen Anwendungsbereichen,
- Beschreibung bereits existierender Prüfverfahren für Frisch- und Festbeton,
- normative und genehmigungsrechtliche Aspekte,
- offene Fragen und Benennung des weiteren Forschungsbedarfs.

Wir danken den Mitgliedern des DBV-Arbeitskreises „Digitale Fertigung im Betonbau“ für die Unterstützung bei der Finalisierung dieses Heftes.

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.

Dr.-Ing. Lars Meyer
Geschäftsführer

Dr.-Ing. Ksenija Vasilic
Leiterin Forschung | Digitalisierung

Inhalt

Vorwort	5
Autorenverzeichnis	9
1 Anwendungsbereich	11
2 Begriffe und Definitionen	11
3 Grundlagen	15
3.1 Digitale Fertigung (allgemein)	15
3.2 Digitale Fertigung im Betonbau	16
4 Betontechnologische Aspekte	21
4.1 Neue Anforderungen an den Frischbeton	21
4.2 Frischbetoneigenschaften	24
4.3 Frischbetonprüfungen und Messmethoden	25
4.3.1 Frischbetonprüfungen	25
4.3.2 Inline-Kontrolle der Materialeigenschaften	26
5 Konstruktive Aspekte	29
5.1 Tragwerksplanung und Bemessungskonzepte	29
5.2 Festbetoneigenschaften und -prüfungen	29
5.3 Integration der Bewehrung in 3D-gedruckte Elemente	32
6 Prozess- und maschinentechnische Aspekte	35
6.1 Prozessbesonderheiten und Anforderungen	35
6.2 Anforderungen an die Technik	36
7 Baurechtliche Aspekte	39
7.1 Normen und Regelwerke	39
7.2 Zustimmungs- und Genehmigungsverfahren	40
8 Ökologische Aspekte	45
8.1 Nachhaltigkeitsstudien	45
8.2 Digitale Methoden als Tool für klimaneutrales Bauen – Potenziale	45
9 Wirtschaftliche Aspekte	47
9.1 Aktuelle Herausforderungen und Potenziale	47
9.2 Wirtschaftlichkeitsstudien	48
9.3 Minimum Viable Technology	48

10	Praktische Implementierung im Bauwesen	51
10.1	Industrielle Entwicklung und Pilotprojekte	51
10.2	Entwicklungsgrad verschiedener Fertigungsverfahren	54
10.3	Einsatzmöglichkeiten	55
11	Perspektiven und offene Fragestellungen	57
11.1	Herausforderungen und Forschungsbedarf	57
11.2	Potenziale der digitalen Fertigung für Betonbau	58
12	Fazit und Ausblick	61
13	Schrifttum	63

DBV-Booklet “Digital fabrication with concrete: Principles, definitions and possible applications”	71 – 137
--	----------

Foreword

The implementation of digital fabrication with concrete in the construction industry is progressing fast and large projects are currently being realised worldwide. The projects realised so far show the great potential of a fully digitalised construction, enabling production of highly individualised building projects with greater economic and ecological efficiency, resulting in reduced material usage and waste.

Stagnating productivity and a lack of skilled workers have driven the construction industry towards industrialisation and digitalisation so that it is currently at a “digital turning point”. In this context, the digitalisation and automation of manufacturing technologies represent the core of the new industrial processes and are also recognised by various institutions as an important topic for the future. Furthermore, from the current sustainability perspective, the adaptations of existing manufacturing models and processes will become necessary in the near future. It is therefore to be expected that digital manufacturing will become more relevant and important for construction companies.

This booklet gives an overview of already developed sustainable solutions for digital fabrication with concrete. It is also intended to define the open questions and research topics, in order to provide practical guidance for applied research. The main focus of this booklet lies on 3D printing with concrete. The following practice-relevant aspects are addressed in this booklet:

- glossary of terms specific to digital fabrication with concrete,
- main technological developments with technology readiness level (TRL),
- application-ready technologies,
- selection guide for possible uses of suitable technologies in different application areas,
- description of existing test methods for quality control of fresh and hardened concrete,
- normative and approval aspects,
- open questions and further research needs.

We would like to thank the members of the DBV working group “Digital Manufacturing in Concrete Construction” (DBV-Arbeitskreis „Digitale Fertigung im Betonbau“) for their support in finalizing this booklet.

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.



Dr.-Ing. Lars Meyer
Managing Director



Dr.-Ing. Ksenija Vasilic'
Head of Research | Digitalization

Table of content

Foreword	73
List of authors	77
1 Scope	79
2 Terminology	79
3 Introduction	83
3.1 Digital fabrication	83
3.2 Digital fabrication with concrete	84
4 Material aspects	89
4.1 New requirements on fresh concrete	89
4.2 Fresh concrete properties	92
4.3 Testing and measurements for fresh concrete	93
4.3.1 Tests for fresh concrete	93
4.3.2 Inline control	94
5 Constructive aspects	97
5.1 Structural design	97
5.2 Hardened concrete properties and tests	97
5.3 Integration of reinforcement	100
6 Process and machinery aspects	103
6.1 Process specifics and requirements	103
6.2 Machine technology requirements	104
7 Regulatory aspects	107
7.1 Standards and regulations	107
7.2 Building approval procedures	108
8 Ecological aspects	113
8.1 Sustainability studies	113
8.2 Digital methods as a tool for climate-neutral construction	113
9 Economic aspects	115
9.1 Challenges and potentials	115
9.2 Economical evaluation, case studies	116
9.3 Minimum Viable Technology	116

10	Practical implementation in construction sector	119
10.1	Industrial developments and pilot projects	119
10.2	Technology readiness level of different technologies	122
10.3	Possible applications	123
11	Challenges and perspectives	125
11.1	Open questions and research needs	125
11.2	Potentials and opportunities	126
12	Conclusions and outlook	129
13	Literature	131

	DBV-Heft 53 „Digitale Fertigung im Betonbau: Grundsätze, Definitionen und mögliche Anwendungsfelder“	3 – 70
--	---	--------