



Institut für Baubetrieb und Baumanagement  
Prof. Dr.-Ing. Alexander Malkwitz

## SCHRIFTENREIHE

Harfid Hadrovic

# **Nutzen von modellbasiertem Arbeiten bei der Roh- und Ausbauausführung im Wohnungsbau am Beispiel einer mittelständischen Bauunternehmensgruppe**

2022

# Nutzen von modellbasiertem Arbeiten bei der Roh- und Ausbauausführung im Wohnungsbau am Beispiel einer mittelständischen Bauunternehmensgruppe

Der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung  
Bauwissenschaften, der Universität Duisburg-Essen zur Erlangung des  
akademischen Grades

DOKTOR-INGENIEUR (Dr.-Ing.)

vorgelegte Dissertation

von Harfid Hadrovic, M.Sc.

Dissertation eingereicht am: 16.08.2021

Tag der mündlichen Prüfung: 23.06.2022

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Alexander Malkwitz  
Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus



Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb und Baumanagement  
der Universität Duisburg-Essen  
herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Alexander Malkwitz

**Harfid Hadrovic**

**Nutzen von modellbasiertem Arbeiten bei der  
Roh- und Ausbauausführung im Wohnungsbau  
am Beispiel einer mittelständischen  
Bauunternehmensgruppe**

Shaker Verlag  
Düren 2022

**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.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2022

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8733-8

ISSN 2510-4977

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Vorwort des Herausgebers

Die Digitalisierung von Bauprojekten in Planung und Ausführung ist ein Megatrend in der internationalen aber inzwischen auch in der deutschen Bauindustrie. Nachdem die Digitalisierung zunächst in der Planungsphase genutzt wurde, oft auch als BIM (Building Information Modelling) bezeichnet, ist die Digitalisierung von Prozessen und Arbeiten in der Abwicklung von Bauprojekten und auf der Baustelle nur in geringen Teilen entwickelt. Es wird nach wie vor mit Papierplänen gearbeitet und oft wird das Versenden von pdf Dateien schon als Digitalisierung angesehen. Dabei ist allen Beteiligten klar, dass im Bereich der Bauausführung und der Baustellenfertigung signifikante Verbesserung- und Effizienzpotentiale ungenutzt sind. Dies betrifft alle relevanten Projektziele wie etwa die Einhaltung des Terminplanes, des Budgets und der Ausführungsqualität.

Hier setzt Hadrovics Forschungsansatz an. Mit einer modellbasierten Projektabwicklung nicht nur in der Planung und Darstellung der Bauaufgabe, sondern auch direkt auf der Baustelle in Zusammenarbeit mit den gewerblichen Arbeitnehmern wird der Frage nachgegangen, ob und in welchem Umfang die Effizienz auf der Baustelle mit Hilfe digitaler Methoden erhöht werden kann. Dazu werden in Feld-versuchen auf Baustellen des Wohnungsbaus sowohl Rohbau- wie auch Ausbauarbeiten auf einer modellbasierten Grundlage ausgeführt. Dazu werden zunächst 3D Modelle der zu erstellenden Bauwerke erstellt. Dabei wird das 3D-Modell um die Darstellung der Arbeitsschritte also zum Beispiel beim Rohbau um die Darstellung der Schal- und Betoniertakte ergänzt. Diese Darstellungen verwenden die gewerblichen Arbeitnehmer dann zur Erstellung der Bauwerke. Dabei wird gemessen, mit welchem Zeitaufwand die Arbeiten ausgeführt werden. Der gemessene Zeitaufwand wird dann mit Erfahrungswerten vergleichbarer Projekte sowie mit Literaturwerten verglichen. Um eine gute Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden dazu typische Standortwohnungsbauprojekte ausgewählt.

Das Besondere an diesem Ansatz ist, dass die gewerblichen Arbeitnehmer einbezogen werden und Ihre Ausführungsexpertise in die digitalen Modelle eingebracht werden kann. Gerade vor dem Hintergrund, dass Hadrovic selber eine Ausbildung zum Betonbauer absolviert und einige Jahre als Betonbauer sowie später als Vorarbeiter und Polier gearbeitet hat, ist dieses ein für ihn persönlich wichtiges Forschungsthema.

Dieses Werk ist für alle, die sich mit der Wirtschaftlichkeit digitaler Lösungen bei der Abwicklung von Bauprojekten beschäftigen eine sehr wertvolle Lektüre, um durch Digitalisierung Effizienzvorteile realisieren zu können. Daher ist dem Werk eine breite Verbreitung zu wünschen.

Essen, im Juli 2022

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Malkwitz

## Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer externen Promotion sowie meiner Lehrtätigkeit am Institut für Baubetrieb und Baumanagement der Universität Duisburg-Essen. Das Thema steht im Kontext meiner Tätigkeit als geschäftsführender Gesellschafter der Unternehmensgruppe HARFID. Seit der Gründung im Jahr 2008 hat sich die HARFID Holding zu einem integrierten Projektentwickler und Totalunternehmer entwickelt. Die damit verbundenen beruflichen Erfahrungen sowie die vorhandenen Kontakte haben einen nicht unwesentlichen Anteil an dieser Dissertation. All jenen Menschen, die mich dabei begleitet und zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich auf diesem Wege danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Malwitz, der mir als Leiter des Instituts für Baubetrieb und Baumanagement das Vertrauen geschenkt und mir somit die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit zu verfassen. Die zahlreichen Diskussionen und Anregungen während der Bearbeitung meiner Promotionschrift haben einen besonders großen Einfluss auf ihren Erfolg.

Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus, Leiter des Lehr- und Forschungsinstituts Baubetrieb an der Bergischen Universität Wuppertal, für die Erstellung des Zweitgutachtens. Seine Expertise auf dem Gebiet des modellbasierten Arbeitens war gleichfalls für das Gelingen dieser Arbeit sehr förderlich.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Mitgliedern der Prüfungskommission.

Zudem möchte ich mich bei allen Mitarbeitenden des Instituts für Baubetrieb und Baumanagement der Universität Duisburg-Essen bedanken, die mir bei fachlichen und organisatorischen Fragen zur Seite standen sowie bei allen Mitarbeitern der Unternehmensgruppe HARFID für die Unterstützung in den vergangenen Jahren. Ganz besonders möchte ich sowohl den Mitarbeitern der Unternehmensgruppe HARFID danken, die auf der Baustelle die ausgeführten Arbeiten überwacht haben, als auch den gewerblichen Mitarbeitern, die diese Arbeiten auf der Baustelle vorgenommen haben.

Ein herzlicher Dank gilt auch meiner Familie, die mich allzeit unterstützt und motiviert hat, immer wieder den nächsten Schritt in meiner beruflichen und akademischen Laufbahn zu gehen.

Schließlich möchte ich mich ausdrücklich bei meiner Frau bedanken. Ihre fortwährende Unterstützung in den letzten Jahren war für den Erfolg dieser Arbeit genauso von Bedeutung wie die fachliche Unterstützung. Meinen beiden Kindern danke ich für das Verständnis, dass ich in den letzten Jahren während der Dissertation zeitlich eingeschränkt war. Ohne den Rückhalt meiner Frau und Kinder wäre diese Doktorarbeit nicht möglich gewesen.

Vielen Dank für alles.

Essen, im Juli 2022

Harfid Hadrovic





## Abstract

In allen Lebensbereichen schreitet die Digitalisierung voran und bestimmt zunehmend unseren Alltag. Die Baubranche ist davon nicht ausgenommen. Viel hat sich hier in den vergangenen Jahren getan. Insbesondere das Building Information Modelling (BIM) und das Lean Management sind die Treiber der Digitalisierung.

Der Fokus dieser Thesis richtet sich auf die Optimierung des modellbasierten Arbeitens auf den Baustellen. Obwohl dieser Aspekt sich positiv auf die Kosten und den Zeitaufwand auswirkt, spielt er bei der Digitalisierung häufig nur eine untergeordnete Rolle. Zugleich verhilft die modellbasierte Vorgehensweise zu einer neuen Arbeitsweise, die eine andere Mentalität des Miteinanders auf der Baustelle erfordert und auch fördert.

Anhand von zwei neuen Wohnungsbauprojekten, die „Barbara Höfe“ in Essen und das „Waldquartier“ in Gelsenkirchen-Buer, wird ein Vergleich zwischen einer klassisch und einer modellbasiert geplanten Vorgehensweise durchgeführt. Der Fokus der Forschung in dieser Arbeit richtet sich darauf, die Effizienz der Ausführungen der gewerblichen Mitarbeiter auf der Baustelle im Roh- und Ausbau zu untersuchen und zu optimieren.

Mit einer zweidimensionalen baubegleitenden Planung lassen sich nur unzureichend die Projektziele insbesondere hinsichtlich der Terminplanung kalkulieren. In der Thesis wurden daher anhand einer dreidimensionalen Planung den gewerblichen Mitarbeitern die täglichen Abläufe und Taktungen der einzelnen Baumaßnahmen verdeutlicht, um auf diese Weise die Arbeiten effektiver und einfacher zu gestalten.

Erste positive Effekte waren in den gemessenen Aufwandswerten abzulesen. Die modellbasierte Vorgehensweise wurde zwar lediglich für den Teil des Roh- und Ausbaus genutzt, sie lässt sich jedoch problemlos auf weitere Bereiche der Gebäudetechnik und Gebäudehülle anwenden. Auch eine Ableitung der effektiveren Leistung auf andere Gebäudearten ist gegeben.

Gleichzeitig konnte mit der außergewöhnlich intensiven Einbindung des gewerblichen Personals die Kommunikation zwischen den Mitarbeitern auf der Baustelle und denen im Büro verbessert werden. Diese enge Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten macht eine systematische Projektsteuerung mit einer entsprechenden Kommunikation und Dokumentation unabdingbar.

Anhand einer durchgeführten Hebelanalyse konnte ein Gesamtkonzept für die Einführung und Umsetzung des modellbasierten Bauens auf der Baustelle entwickelt werden.

## Abstract

Digitization is advancing in all areas of life and is increasingly determining our everyday lives. The construction industry is no exception. Much has happened here in recent years. In particular, Building Information Modeling (BIM) and Lean Management are the drivers of digitization.

The focus of this thesis is on the optimization of model-based work on construction sites. Although this aspect has a positive impact on costs and time, it often plays only a subordinate role in digitization. At the same time, the model-based approach helps to create a new way of working that requires and also promotes a different mentality of togetherness on the construction site.

Using two new residential construction projects, the "Barbara Höfe" in Essen and the "Waldquartier" in Gelsenkirchen-Buer, a comparison is made between a classic and a model-based planned approach. The focus of the research in this thesis is directed at investigating and optimizing the efficiency of the executions of the commercial employees on the construction site in the shell and finishing work.

With a two-dimensional construction-accompanying planning the project goals can be calculated only insufficiently in particular regarding the scheduling. In the thesis, therefore, the daily processes and timing of the individual construction measures were made clear to the industrial employees by means of three-dimensional planning, in order to make the work more effective and simpler in this way.

First positive effects could be seen in the measured effort values. Although the model-based approach was only used for the shell and finishing work, it can easily be applied to other areas of the building technology and building envelope. It is also possible to derive the more effective performance for other building types.

At the same time, the exceptionally intensive involvement of the commercial staff has improved communication between those on the construction site and those in the office. This close cooperation between all project participants makes systematic project management with appropriate communication and documentation indispensable.

On the basis of a leverage analysis it was possible to develop an overall concept for the introduction and implementation of model-based construction on the construction site.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung .....	1
1.2	Ziel .....	2
1.3	Forschungsfrage und Hypothese .....	2
<b>2</b>	<b>Vorgehensweise und Konzept in den Pilotprojekten</b> .....	<b>5</b>
2.1	Methodik.....	7
2.1.1	Grundlagen der Herangehensweise .....	7
2.1.2	Auswahl der Gewerke und Bauteile.....	8
2.1.3	Allgemeine Repräsentativität der Pilotprojekte .....	10
2.1.4	Vorgehen bei den Pilotprojekten.....	10
2.1.5	Methodik in der Planung und Messung.....	11
2.1.6	Nutzenermittlung auf Basis der Messdaten in den Pilotprojekten .....	12
2.1.7	Konzeptentwicklung auf Basis der Pilotprojekte .....	13
2.2	Pilotprojekt „Barbara Höfe“ in Essen.....	13
2.3	Pilotprojekt „Waldquartier“ in Gelsenkirchen-Buer .....	14
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung</b> .....	<b>17</b>
3.1	Methode des modellbasierten Arbeitens im Bauwesen .....	17
3.1.1	Software und IT .....	17
3.1.2	Die 3D-Visualisierung im Bauwesen.....	17
3.1.3	Aktuelle Entwicklungen der 3D-Visualisierung im Bauwesen .....	18
3.1.4	Virtual- und Augmented-Reality-Technologien im Bauwesen .....	19
3.1.5	Virtual Reality im Bauwesen.....	19
3.1.6	Grundlagenforschung zum Thema BIM.....	20
3.1.7	BIM bei Bestandsbauwerken (Laserscans).....	21
3.2	Modellbasiertes Arbeiten bei Bauprojekten.....	21
3.3	Modellbasiertes Arbeiten auf der Baustelle.....	24
<b>4</b>	<b>Modellbasierte Arbeitsvorbereitung</b> .....	<b>27</b>
4.1	Konventionelle Arbeitsvorbereitung .....	27

4.1.1	Klassische Baustelleneinrichtung und Baulogistik .....	27
4.1.2	Klassische Terminplanung .....	30
4.1.3	Schalungsplanung.....	31
4.2	Modellbasierte Arbeitsvorbereitung.....	32
4.2.1	Modellbasierte Arbeitsvorbereitung mit 5D BIM.....	32
4.2.2	Modellbasierte 3D-Planung .....	36
4.2.3	Modellbasierte Baustelleneinrichtungsplanung.....	40
4.2.4	Modellbasierte Massenermittlung.....	40
4.2.5	Modellbasierte Arbeitstakte und Bauablauf .....	41
4.2.6	Modellbasierte Terminplanung .....	44
4.2.7	Modellbasierte Kalkulation.....	44
4.3	Modellbasierte Arbeitsvorbereitung und Planung in den Pilotprojekten.....	45
4.3.1	Operativer Start der Piloten .....	46
4.3.2	Erstes Modell - erste Erkenntnisse vor dem Projektstart .....	46
4.4	Vor- und Nachteile der modellbasierten Arbeitsvorbereitung .....	48
<b>5</b>	<b>Methodik der Nutzenerfassung in den Pilotprojekten .....</b>	<b>51</b>
5.1	Versuchsaufbau und Methodik .....	51
5.1.1	Personalmanagement auf der Baustelle.....	52
5.1.2	Datenerhebung .....	53
5.1.3	Datenerfassung.....	56
5.1.4	Werkzeuge und Logistik .....	58
5.2	Arbeitsvorbereitung zur Effizienzermittlung der Arbeiten auf der Baustelle .....	60
5.2.1	Rohbauarbeiten.....	61
5.2.2	Ausbauarbeiten .....	63
<b>6</b>	<b>Modellbasiertes Bauen in den Pilotprojekten .....</b>	<b>65</b>
6.1	Die Pilotprojekte und die untersuchten Arbeiten .....	65
6.1.1	Darstellung der Pilotprojekte .....	65
6.1.2	Stand der Projekte beim Start und bei Beendigung der Messungen.....	66
	.....	66

6.1.3	Untersuchte Arbeiten.....	66
6.1.3.1	Testphase der modellbasierten Methode ohne Messungsrelevanz.....	67
6.1.3.2	Schalungsarbeiten.....	69
6.1.3.3	Bewehrungsarbeiten.....	70
6.1.3.4	Betonarbeiten.....	72
6.1.3.5	Einbau von Betonhalbfertigteilen.....	74
6.1.3.6	Mauerwerksarbeiten.....	75
6.1.3.7	Ausbauarbeiten.....	77
6.2	Messung im Pilotprojekt „Barbara Höfe“.....	78
6.2.1	Erarbeitung Arbeitsabläufe und Taktung.....	79
6.2.2	Schalungsplanung.....	92
6.2.3	Zeitmessung.....	93
6.3	Messung im Pilotprojekt „Waldquartier“.....	95
6.3.1	Erarbeitung von Arbeitsabläufen und Taktung.....	95
6.3.2	Ausbauplanung.....	99
6.3.3	Zeitmessung.....	99
6.4	Erfahrungen von der Baustelle.....	101
<b>7</b>	<b>Ergebnisauswertung.....</b>	<b>105</b>
7.1	Analyse der Ergebnisse der Aufwandswertmessung.....	105
7.1.1	Planung und Arbeitsvorbereitung.....	105
7.1.2	Rohbauarbeiten.....	106
7.1.3	Ausbauarbeiten.....	109
7.2	Hebelanalyse.....	111
7.2.1	Rohbauarbeiten.....	111
7.2.1.1	Stahlbetonbodenplatte.....	111
7.2.1.2	Stahlbetonwand.....	113
7.2.1.3	Stahlbetonstütze.....	115
7.2.1.4	Aufzugschachtwand.....	117
7.2.1.5	Deckenunterzüge.....	119

7.2.1.6	Betonhalbfertigteil-Wand .....	121
7.2.1.7	Betonhalbfertigteil-Decken.....	123
7.2.1.8	Mauerwerk .....	125
7.2.2	Ausbauarbeiten .....	127
7.2.2.1	Trockenbauwand.....	127
7.2.2.2	Trockenbaudecke .....	129
7.2.2.3	Wandfliesen .....	130
7.2.2.4	Bodenfliesen .....	132
7.2.2.5	Malerarbeiten .....	134
7.3	Unterschiede der modellbasierten Erstellung von Rohbauarbeiten zur herkömmlichen Rohbauerstellung .....	136
7.4	Nutzenbewertung der modellbasierten Vorgehensweise .....	137
7.4.1	Rohbauarbeiten.....	137
7.4.2	Ausbauarbeiten .....	140
7.4.3	Vergleich der realisierten Aufwandswerte mit den Werten aus der eigenen Erfahrung .....	142
7.4.4	Gesamtvergleich .....	143
7.4.5	Nutzenbewertung bei einer Einführung in einem Bauunternehmen .....	146
<b>8</b>	<b>Gesamtkonzept .....</b>	<b>149</b>
8.1	Gesamtkonzept auf Basis der Pilotprojektergebnisse .....	149
8.1.1	Modellierungsphase .....	150
8.1.1.1	Wahl eines geeigneten Pilotprojektes.....	150
8.1.1.2	Wahl des Projektteams.....	151
8.1.1.3	Kommunikation.....	152
8.1.1.4	Lernphase .....	155
8.1.1.5	Modellbasierte Arbeitsvorbereitung .....	156
8.1.1.6	Modellierung.....	156
8.1.2	Ausführungsphase .....	157
8.1.2.1	Arbeitsvorbereitung auf der Baustelle.....	157
8.1.2.2	Anwendung und Messung .....	158

---

8.1.2.3	Ergebnisbewertung.....	159
8.2	Konzept zur Einführung modellbasierter Vorgehensweise im Unternehmen ....	160
8.2.1	Strategische Vorgehensweise .....	160
8.2.2	Taktische Vorgehensweise.....	162
8.2.3	Operative Vorgehensweise .....	163
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>165</b>
9.1	Zusammenfassung .....	165
9.2	Ausblick .....	166