1 Einführung

1.1 Anlass der Arbeit

Wissenschaftliche Studien und Analysen belegen branchenumfassend erhebliche Qualitätsdefizite bei der Produktion in der Bauwirtschaft.[1]
Die qualitativen Anforderungen werden bei ca. 10 % der Bauleistungen nicht erfüllt.[2] Mängelanalysen des Instituts für Bauforschung (IFB) Hannover zeigen sogar, dass sich die Mängelquote trotz stetiger Weiterentwicklung und Spezifizierung der Normen für das Qualitätsmanagement (QM)[3] jüngst noch erhöht hat.[4]
Die empirische Studie der BauInfoConsult GmbH aus dem Jahr 2016 gibt die Fehlerkosten der deutschen Bauwirtschaft mit ca. 14,1 Milliarden Euro an. Dieser Betrag entspricht ca. 14 % des gesamten Umsatzes der Baubranche.[5] In der aktualisierten Auflage dieser Studie ist die Angabe zum Wert der Fehlerkosten der deutschen Bauwirtschaft für das Jahr 2018 auf ca. 17,8 Milliarden Euro erhöht.[6] Nach den Untersuchungen von Weyhe betragen die Kosten der Fehlerbehebung bei der Herstellung von Bauwerken bis zu 12 % der Baukosten.[7]

Weyhe stellt fest, dass Planungsfehler einen Anteil von ca. 13 bis 46 %, Ausführungsfehler einen Anteil von ca. 46 bis 59 % und Materialfehler einen Anteil von 2 bis 8 % an den Ursachen für Baumängel und Bauschäden aufweisen.[8] Mit durchschnittlich 53 % liegt der Schwerpunkt der Fehler im Bereich der Bauausführung. Bestätigt wird diese Erkenntnis durch Untersuchungen und Einschätzungen zur Verteilung der Bauschadensursachen von Helmus im Bericht „Dialog Bauqualität". [9]
Auch bei diesen Untersuchungen zur Bauqualität zeigt sich, dass der größte Anteil der Baufehler einem ausführungsbasierten Ursprung zuzuordnen ist. Die Verbesserung der Ausführungsqualität hat demnach die größte Wirkung auf die Gesamtqualität von Bauprojekten.
Die Untersuchungen basieren auf unterschiedlichen Erhebungen. Dennoch wird die kritische Qualitätssituation in der deutschen Bauwirtschaft allgemein belegt. Letzteres ist insbesondere auch im Wettbewerb von internationalen Großprojekten von Nachteil.

Die Feststellungen begründen die Forderung zur qualitativen Verbesserung der handwerklichen Bauleistungen. Es ergibt sich hieraus der Bedarf nach einer Weiterentwicklung von ausführungsorientierten Qualitätsmanagementstrategien und Qualitätsmanagementaktivitäten (QM-Aktivität)[10].
In diesem Zusammenhang beschreibt das Qualitätsmanagement den übergeordneten Rahmen für die Qualitätsmanagementsysteme (QM-System) und deren Maßnahmen. Beispielsweise besteht

---

1 Die folgenden Berichte aus Wissenschaft und Praxis stellen einen Querschnitt zur Bauqualität dar und zeigen Baumängelerfassungen auf:
Böhmer 2015, S. 9; Böhmer 2019, S.9; DEKRA 2008, S. 19ff; Oswald 1996; Rauh 2014, S. 40ff; Schild 1983, S. 7; Simon 2012, S. 8; Vogt 2017, S. 18; Weyhe 2005, S. 74ff

2 Vgl. Weyhe 2005, S. 124

3 Vgl. Schwerdtner 2005, S. 34

4 Vgl. Institut für Bauforschung e.V. (IFB) 2015

5 Vgl. Faust und Packwitz 2016

6 Vgl. Packwitz 2019, S. 1

7 Vgl. Weyhe 2005, S. 124

8 Vgl. Weyhe 2005, S. 14, S. 16

9 Vgl. Helmus und Offergeld 2012, S. 103

10 Eine QM-Aktivität stellt eine Maßnahme oder ein Verhalten zum Erreichen der Ziele der Qualitätsstrategie dar.

eine QM-Aktivität in der Motivation der Baubeteiligten zur Verbesserung der ausgeführten Leistung. Die kontinuierliche Evaluation[11] der Systeme und Maßnahmen zur Selbstreflektion und Weiterentwicklung stellt eine weitere qualitätssteigernde Aktivität dar.
Ein grundlegendes Element zur Verbesserung der Bauausführungsqualität ist die kontinuierliche Messung und Bewertung des qualitativen Zustandes des in der Herstellung befindlichen Bauwerks. Eine anforderungsgerechte Bauausführungsqualität besteht allgemein dann, wenn keine Abweichung des IST-Zustandes zum SOLL-Zustand (i. d. R. der Planung) der Bauleistung besteht. Die Differenz der Zustände ist messbar. Die Ergebnisse der Qualitätsmessung können durch eine systematisierte Bewertung zielgerichtet aufbereitet und genutzt werden. Die Quantifizierung der Qualitätsbewertung steigert das Nutzungspotenzial der Erkenntnisse signifikant.[12]
Recherchen haben ergeben, dass im Bauwesen keine über die Mängelzahl und Nachkalkulation hinausgehende quantitative Bewertung der Bauausführungsqualität vorgenommen wird. Ein wesentlicher Grund dafür besteht in den komplexen und umfangreichen Informationen des Bauwerks, die mit den derzeit eingesetzten Methoden des Baumanagements nicht aufwandsgerechtfertigt ausgewertet werden können.

Die modellbasierte Projektabwicklung des „Building Information Modeling“ (BIM) eröffnet im Zusammenhang mit der Qualitätsbewertung neue Möglichkeiten in Bezug auf die Datenerhebung und -analyse. Ein digitales und interdisziplinäres Modell des Bauwerks enthält umfangreiche und detaillierte Informationen zu den Bauteilen und zur Bauorganisation. Angebundene Datenbanksysteme komplementieren die Bauwerksinformationsdatenbank und werden zur Ergänzung der modellbasierten Informationen genutzt. Die modellbasierte Arbeitsweise erleichtert den Umgang mit der Komplexität von Bauprojekten. Speziell bei technisch und organisatorisch anspruchsvollen Bauvorhaben profitieren die Projektbeteiligten von der interdisziplinären Informationsdatenbank. Eine vergleichbare EDV-technisch nutzbare Bauwerksinformationsdatenbank gab es bis zur Einführung der BIM-Methode im Baumanagement nicht.
Die integrale Bauwerksinformationsdatenbank kann in Bezug auf die systematische Bewertung der Ausführungsqualität eine nützliche Datenbasis darstellen.

Der Anlass der Arbeit ergibt sich daher zusammengefasst aus den folgenden Ansätzen:

- Unzureichende Qualitätssituation in der Bauwirtschaft, zu der die Ausführungsqualität ursprungsbezogen den größten Anteil beiträgt
- Fehlende Methode zur Messung und quantitativen Bewertung der Ausführungsqualität als Ausgangspunkt für Sicherungs- und Verbesserungsmaßnahmen
- Qualitätsbewertung als Anwendungsfeld eines integralen digitalen Projektmanagements auf Basis des Building Information Modeling

[11] Eine Evaluation ist eine systematische Analyse und Interpretation von Informationen zur Ermittlung und Bewertung der Umsetzung und der Wirkungen von Interventionen (Maßnahmen/Programmen). Vgl. Jentsch 2009, S. 10
[12] Vgl. Seghezzi et al. 2013, S. 55

1.2 Thema und Zielsetzung der Arbeit

Die unzureichende Qualitätssituation in der Bauwirtschaft erfordert Maßnahmen, die eine wirksame Steigerung der Bauqualität ermöglichen. Ein hohes Potenzial beinhaltet die effektive Auswahl, die effiziente Nutzung und die Verbesserung qualitätssichernder und qualitätssteigernder Aktivitäten für die Bauausführung. Eine differenzierte Bewertung der Bauausführungsqualität bildet dabei eine belastbare Grundlage.
Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Methode zur baubegleitenden Bewertung der Ausführungsqualität von Bauprojekten zu entwickeln. Sie soll unabhängig von QM-Aktivitäten angewendet werden können. Die Entwicklung wird im Folgenden als Qualitätsbewertungsmethode (QBM) bezeichnet. Die Ergebnisse sollen die Bauausführungsqualität quantitativ abbilden und so eine Aussage zum erreichten Qualitätsniveau liefern. Bei der Konzeption der Methode sind die bauprojektspezifischen Randbedingungen und qualitätsrelevante Faktoren bzw. Auswirkungen zu berücksichtigen. Die Entwicklung soll projektbezogen praktikabel sein, d. h. der Aufwand zur Anwendung soll steuerbar sein, um die Einbindung in die zeitkritische Bauausführung zu gewährleisten. Eine weitere Anforderung besteht in der projektübergreifenden Vergleichbarkeit von Bewertungsergebnissen durch eine Normierung von Projektrandbedingungen. Die Methode wird in die Phasen *Vorbereitung*, *Durchführung* und *Analyse* eingeteilt.

Die Besonderheit der zu entwickelnden Methode besteht in der objektiven Bewertung der ausführungsbezogenen Bauqualität. Bestehende Verfahren sind klassisch risikoorientiert ausgelegt. Das bedeutet für die Ausrichtung der Verfahren, dass ein besonderer Fokus auf der Kontrolle von fehleranfälligen Bauteilen liegt. Beispielsweise fokussieren sich diese Prüfungen während der Bauwerksherstellung auf Bauteile, deren potenzielle Fehler einen hohen negativen monetären bzw. wirtschaftlichen Effekt für das Bauprojekt bewirken können. Bauunternehmen setzten dafür i. d. R. Prüfpläne oder -listen ein, die aus Erkenntnissen und Erfahrungen vergangener Projekte entwickelt sind und entsprechend zu kontrollierende Situation oder Bauteile enthalten. Im Zusammenhang der risikoorientierten Qualitätssicherung kann exemplarisch ebenfalls die baubegleitende und abschließende Abnahmemängelaufnahme und -beseitigung genannt werden. Entsprechende Prüfungen von Bauteilen, die erfahrungsgemäß ein hohes Risiko in Bezug auf eine fehlerhafte Herstellung aufweisen, gewährleisten, dass im Endeffekt die abschließende Qualität einer Baumaßnahme ausreichend hoch ist. Dies ist insbesondere notwendig, damit eine Abnahme der Leistung zum Zeitpunkt der Übergabe erfolgreich wird.[13] Eine objektive Bewertung oder ein Vergleich von Ergebnissen wird dabei nicht primär angestrebt. Aus den aufgeführten Gründen wird das in dieser Arbeit verfolgte Ziel der Konzeption einer Methode zur quantitativen Bewertung der Bauausführungsqualität unabhängig von bestehenden Verfahren zur Qualitätssicherung oder -verbesserung erarbeitet. Um die Zielerreichung zu gewährleisten, werden die Rahmenbedingungen, Verfahren und Werkzeuge für die Entwicklung der Methode neu und unabhängig definiert und gestaltet.

Im Ansatz baut die zu entwickelnde Methode auf dem Forschungsvorhaben „Organisationsmodelle und vertragliche Anreizsysteme zur Verbesserung der Bauqualität bei der Ausführung schlüsselfertiger Baumaßnahmen“ auf.[14] Ein zentrales Ziel des Forschungsvorhabens bestand in der Konzeption eines Verfahrens zur objektiven Bewertung von Bauausführungsqualität als Grundlage für den Anwendungsfall der Einbindung von Anreizsystemen innerhalb von schlüsselfertigen Bauprojekten. Demnach entspricht die Basis und Ausrichtung zur Ermittlung einer objektiven Bauausführungsqualität dem Ansatz des vorliegenden Vorhabens. Im Rahmen dieser Arbeit wird das bestehende Bewertungsverfahren hinsichtlich der Rahmenbedingungen und Berechnungsverfahren adaptiert und für die neue Entwicklung einer anwendungsfallunabhängigen Methode genutzt.

[13] Vgl. VOB Teil B §13
[14] Vgl. Rauh 2014

Die baubegleitende Ermittlung von Zwischenergebnissen der QBM kann für das Controlling eingesetzter QM-Aktivitäten verwendet werden. Das Bewertungsergebnis der QBM zum Ausführungsabschluss soll differenziert analysierbar sein, um verursachungsgerechte Rückschlüsse auf die Qualität der Bauausführung zu ermöglichen. Der Vergleich von abschließenden Bewertungsergebnissen und die daraus resultierenden Erkenntnisse sollen zur kontinuierlichen Verbesserung von QM-Aktivitäten beitragen. Dies kann besonders eine Steigerung der Wirksamkeit von Maßnahmen eines QM-Systems ermöglichen. Die QBM soll einen Ansatz zur Verbesserung der Bauqualität und somit der Qualitätssituation in der deutschen Baubranche leisten. Die Entwicklung soll auf die Qualitätsbewertung innerhalb der Bauhaupt- und Baunebengewerbe, im Speziellen für den Hochbau[15], ausgerichtet werden.

Die Möglichkeiten zur Umsetzung der entwickelten QBM sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit in verschiedenen Stufen der digitalen Umsetzung gezeigt werden. Die umsetzungstechnisch einfachste Stufe wird dabei mit konventionellen Softwarelösungen (z. B. Microsoft Excel) entwickelt. Die höchste Stufe der digitalen Umsetzung kann durch die vollständige Integration in ein BIM-basiertes Bauprojekt erreicht werden. Auf diese Umsetzungsvariante wird im Rahmen dieser Arbeit fokussiert. Ein wesentliches Ziel besteht also in der Entwicklung einer Möglichkeit zur Implementierung eines ausführungsorientierten Qualitätsmanagements in ein digitales Bauprojektmanagement. Ein weiteres Ziel ist der Vergleich und die Bewertung des Aufwands bei verschiedenen Umsetzungsvarianten in Bezug zur Implementierung und Anwendung. Es ist für den Einsatz der QBM in der Praxis von wesentlichem Interesse, ob bei einer Implementierung in ein BIM-basiertes Bauprojekt ein Mehrwert gegenüber einer Umsetzung der QBM mit konventionellen EDV-Programmen in ein konventionell abgewickeltes Bauprojekt besteht.

Im Folgenden sind die aus der Zielsetzung abgeleiteten Forschungsfragen aufgeführt:

Kernfragen:

- Durch welche Methode und mit welchen Parametern ist eine quantitative Aussage zur ausführungsorientierten Bauqualität möglich?
- Lässt sich die Qualitätsbewertung durch das Building Information Modeling signifikant unterstützen?

Teilfragen:

- Welche Randbedingungen sind für eine autarke Methode, deren allgemeingültige Ergebnisse QM-Aktivitäten zur Verbesserung der Bauausführungsqualität dienen sollen, relevant?
- Wie kann die Bauausführungsqualität unter Berücksichtigung der bauprojektspezifischen Randbedingungen gemessen, bewertet und quantitativ abgebildet werden?
- Wie lässt sich eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse von bewerteten Bauprojekten der QBM gewährleisten?
- Unter welchen Voraussetzungen und mit welchen Anwendungsrichtlinien ist die neue QBM einsetzbar?
- Welche effektiven Möglichkeiten zur Digitalisierung der QBM bestehen und wie sind diese hinsichtlich des Implementierungs- und Anwendungsaufwands zu bewerten?
- Welche Elemente und Prozesse der QBM können in einem BIM-basierten Bauprojekt digital abgebildet werden?
- Welche aufwandsbezogenen Mehrwerte generiert die BIM-gestützte Umsetzung der QBM gegenüber einer technisch einfacheren Umsetzung?

[15] Definition und Einteilung gem. Statistisches Bundesamt; Vgl. BWI-Bau 2013

1.3 Stand der Forschung und inhaltliche Abgrenzung

Die Entwicklung einer Methode zur quantitativen Bewertung der Bauausführungsqualität unter Einsatz des Building Information Modeling ist in ihrem Ansatz und ihrer Umsetzung neuartig. Die hiermit verbundenen Aufgabenstellungen lassen sich den Wissenschaftsbereichen des „Qualitätsmanagements“, im Speziellen der „quantitativen Qualitätsbewertung“ und in der „Bauinformatik“, im Speziellen dem „Building Information Modeling“ zuordnen. Nachfolgend wird der wissenschaftliche Kontext der vorliegenden Arbeit in Bezug auf die relevanten Fachthemen vorgestellt.

Qualitätsmanagement: Methoden und Ansätze zur quantitativen Bewertung der Bauausführungsqualität

In Bezug auf das Qualitätsmanagement ist die vorliegende Arbeit dem Forschungsbereich der Messung und der quantitativen Bewertung der Bauausführungsqualität einzugliedern.

Im Kontext zum Qualitätsmanagement wird die Messung und Bewertung von Qualitäten als Teil eines QM-Systems erörtert. In diesem Zusammenhang werden Methoden zur Qualitätsbewertung in vielen Branchen untersucht. Häufig ist das Total Quality Management (TQM)[16] die übergeordnete Qualitätsmanagementphilosophie, die Verfahren zur Quantifizierung von Qualitäten einbindet. Dabei werden qualitative Mängel einer Leistung oder eines Produkts erfasst. Die Auswirkung der Mängel auf Eigenschaften der Leistung oder des Produkts ermöglicht die Fehlerbewertung. Die Betrachtung aller bewerteten Mängel ermöglicht eine Interpretation der Leistungs- oder Produktqualität. In der vorliegenden Arbeit wird dieses allgemeine Verfahren zur quantitativen Abbildung von Qualitäten verwendet.
In Bezug auf das Bauwesen hat Weyhe[17] in seiner Dissertation zum Thema „Bauschadensprophylaxe als Beitrag zur Qualitätssicherung während der Bauausführung“ eine Zusammenstellung existierender QM-Maßnahmen erarbeitet. Diese Sammlung zeigt, dass die Methoden und Maßnahmen lediglich teilweise ein quantitatives Mess- bzw. Bewertungsverfahren beinhalten.[18] In der Arbeit von Weyhe werden planungsbezogene Ansätze zur Sicherstellung oder Verbesserung der Qualität behandelt. Auch andere qualitätsbezogene Abhandlungen entwickeln meistens vorbeugend ausgerichtete Methoden, um mangelnde Qualität in der Planungs- oder ausführungsvorbereitenden Phase entgegenzuwirken.[19] In diesem Zusammenhang ist die Dissertation von Hassoun „Entwicklung eines Fehlermanagement-Systems zum sicheren Umgang mit menschlichen Ausführungsfehlern im Hochbau“ [20] zu nennen. Der Fokus der vorliegenden Arbeit besteht entgegen den aufgeführten Arbeiten auf einer quantitativen Bewertung der Bauausführungsqualität. Der neue Ansatz, eine bauleistungsbezogene QBM mit projektübergreifend vergleichbaren Ergebnissen und unter Berücksichtigung der besonderen Randbedingungen einer Bauausführung zu entwickeln, grenzt die Arbeit hinsichtlich der Ziele und der Ausrichtung ab.

Eine Dissertation mit dem Schwerpunkt der Qualitätsdefinition und Identifikation qualitätsrelevanter Aspekte wurde von Terhechte[21] in seiner Arbeit „Nutzenstiftung von Qualitätsmanagement-Systemen im Bauwesen“ untersucht. Hinsichtlich der Bewertung von qualitätsrelevanten Aspekten ist seine Arbeit dem Themenkomplex der vorliegenden Arbeit zuzuordnen. Terhechte entwickelte ein Modell zur Ermittlung und Bewertung relevanter qualitätsbezogener Kosten für das Bauwesen.

[16] Vgl. Niemeyer 2004, S. 19ff
[17] Vgl. Weyhe 2005, S. 44ff
[18] Bspw. die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA; englisch Failure Mode and Effects Analysis)
[19] Bspw. die Dissertation von Ehlers 2006
[20] Vgl. Hassoun 2016
[21] Vgl. Terhechte 2000

Des Weiteren wird der monetäre und nicht monetäre bewertbare Nutzenaspekt von QM-Systemen untersucht. Dabei werden bedeutsame Einsparpotenziale anhand eines Pilotprojekts identifiziert. Fehlleistungsaufwand und unproduktive Lohnstunden bilden dafür die Grundlage. Die vorliegende Arbeit unterscheidet sich in Bezug auf die zu bewertende Thematik grundsätzlich vom primär monetären Ansatz, den Terhechte gewählt hat. In der Methode dieser Arbeit werden Baufehler zunächst quantitativ erfasst und infolge einer bauwerksfunktionsorientierten Bewertung qualitativ abgebildet. Die Entwicklung der QBM berücksichtigt monetäre Faktoren nicht als Entscheidungskriterium für die Erfassung eines Fehlers. Gleichermaßen werden terminliche Aspekte nicht explizit als bewertungsrelevantes Kriterium erfasst. Dadurch wird eine qualitative Ausrichtung der QBM verfolgt.

Die quantitative Bewertung von Leistungserbringungsprozessen in der Bauausführung ist Gegenstand der Arbeit von Schwerdtner[22]. Er behandelt die konkrete Verwendung für ein Anreizsystem zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Die Bewertung erfolgt individuell und differenziert für jeden Auftragnehmer. Ein Vergleich zwischen Bewertungen ist von Schwerdtner nicht berücksichtigt. Das Verfahren ist primär auf die vertragsgemäße Erfüllung der Leistungen und die Kooperation der Vertragspartner bei auftretenden Mängeln ausgerichtet. Die vorliegende Arbeit thematisiert dagegen eine vergleichbare und anwendungsneutrale Ausrichtung der quantitativen Qualitätsbewertung. Weiche Faktoren, wie bspw. der Kooperationswille der Projektbeteiligten, werden im System nicht bewertet. Zudem wird die Praktikabilität der QBM untersucht. Für eine praxisorientierte Umsetzung wird der Aufwand für die Anwendung steuerbar gestaltet. Eine prinzipielle Übereinstimmung der Arbeit von Schwerdtner und der vorliegenden besteht daher lediglich in der Systematik der Methode und dem quantifizierten Ergebnis.

Im Kontext der transparenten und qualitätsbezogenen Leistungsstandermittlung können die baubegleitend und abschließend ermittelten Ergebnisse der QBM als Kommunikationsbasis für die Projektbeteiligten genutzt werden. Die quantitative Bewertung der Ausführungsqualität verbessert die qualitätsbezogene Transparenz eines laufenden Projekts. Das in diesem Zusammenhang tangierte Thema der Informations- und Kommunikationssysteme entspricht nicht dem Fokus der vorliegenden Arbeit und wird nicht weiter behandelt.[23]

In dieser Arbeit wird der Qualitätsbegriff auf das Baugewerbe bezogen. Qualitative Merkmale sind im Rahmen der Entwicklung der QBM ausschließlich im Kontext zu Bauteilen, Bau- und Planungsprozessen oder Baudienstleistungen zu verstehen.

Themen der Produktionslehre, Bauverfahrenstechnik und Bauorganisation, die für die Organisation und Durchführung der Qualitätsbewertung relevant sind, werden in dieser Abhandlung nicht vertieft.

[22] Vgl. Schwerdtner 2005

[23] Einen umfassenden Einblick in das Thema der I&K-Systeme bietet bspw. die Dissertation von Knorz 2013.

Bauinformatik: Building Information Modeling

Das Building Information Modeling ist eine Methode für das Bauprojektmanagement und in Bezug auf die digitale Umsetzung in technischer Hinsicht ein Teilgebiet der Bauinformatik. Als neuer methodischer Ansatz verändert BIM die Strukturen, Abläufe und insbesondere die Zusammenarbeit in einer Bauprojektabwicklung. BIM-basierte Projekte unterscheiden sich bzgl. der genutzten Technologie grundsätzlich von konventionellen Projekten. In den vergangenen Jahren hat sich gezeigt, dass BIM die Realisierung von Bauprojekten besonders hinsichtlich Planungsqualitäten und der Kollaboration der Projektbeteiligten verbessert. BIM wird als Methode der Zukunft bei der Projektabwicklung angesehen.[24] Das gestiegene Interesse[25] von Wissenschaft und Praxis hat dazu geführt, dass sich die Zahl der Publikationen in den letzten Jahren stark erhöht hat.
Häufig behandeln wissenschaftliche Abhandlungen der Bauinformatik und Bauorganisation zum Themenkomplex BIM die Möglichkeiten, Anforderungen und Probleme der Programmtechnik und Arbeitsweise.[26] Die Bauwirtschaft arbeitet an der Implementierung der Methode in die bestehenden Unternehmens- und Projektstrukturen.[27] Der Fokus der Abhandlungen liegt hier auf planerischen Aufgaben[28], im Bereich der Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA)[29] und der Arbeitsvorbereitung (AVOR)[30].
Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die gezielte Nutzung digital abgebildeter Bauwerksinformationen in der Ausführungsphase untersucht. Die QBM stellt dabei eine spezielle Anforderung an das Informationsmanagement eines BIM-basierten Projekts. In diesem Kontext soll die Arbeit aufzeigen, ob ein modellbasierter Workflow zu einem Mehrwert gegenüber einer konventionellen Umsetzung führt.

Bei BIM wird unter dem Begriff Qualitätsmanagement i. d. R. die Sicherstellung der Planungsqualität verstanden. Im Vordergrund steht dabei die Modell- bzw. Datenqualität und die Qualität des Informationsaustausches.[31]
Das Thema der vorliegenden Arbeit bezieht sich dagegen auf den Bereich der BIM-gestützten und ausführungsorientierten Qualitätsbewertung. Vor diesem Hintergrund sind bisher keine wissenschaftlichen Untersuchungen der modellbasierten Arbeitsweise publiziert worden. Das gezielte Datenmanagement zur Lösung oder Unterstützung spezieller Projektaufgaben wird zukünftig voraussichtlich eine höhere Aufmerksamkeit erlangen. Der fortschreitende wissenschaftliche und wirtschaftliche Entwicklungs- und Implementierungsstand der BIM-Methode und die Verfügbarkeit entsprechender Technologien beeinflusst und forciert diese Entwicklung.

Die digitale Umsetzung der QBM kann in den Bereich der CAQ-Systeme[32] eingeordnet werden. Bisher existieren keine Publikationen, die ein BIM-basiertes CAQ-System untersuchen. Die vorliegende Arbeit untersucht die computergestützte Erfassung und Bewertung der Ausführungsqualität mit BIM. Daher wird ein Beitrag zum übergeordneten Forschungsbereich des CAQ geleistet.

---

[24] Vgl. Borrmann et al. 2015, S. 1ff
[25] Vgl. conject 2015
[26] Bspw. Both et al. 2013
[27] Vgl. Egger et al. 2013, S. 33ff
[28] Bspw. Albrecht 2015, S. 30ff
[29] Bspw. Elixmann 2016, S. 100ff
[30] Bspw. Tulke 2010, S. 43ff oder Astour 2015, S. 38ff
[31] Vgl. Viega GmbH & Co. KG Attendorn 2016, S. 27, S. 29, S. 36 und S. 38
[32] CAQ (computer-aided quality assurance; deutsch: rechnerunterstützte Qualitätssicherung) umfasst die ganzheitliche EDV-basierte digitale Abbildung des Qualitätsmanagements.
von Mühlendahl 2000 beschreibt in seiner Dissertation eine entsprechende Integration in einen Projektablauf.

Weitere informationstechnologische und BIM-Themen, die nicht im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung stehen, werden nicht tiefergehend erörtert.

Die Kombination aus bauausführungsorientierter Qualitätsbewertung und der Verwendung der BIM-Methode für deren Umsetzung wurde bisher in keiner wissenschaftlichen Abhandlung untersucht. Daher stellen die Kernfragen der Zielsetzung dieser Arbeit einen neuen Forschungskomplex dar.

1.4 Vorgehensweise – Aufbau der Dissertation

Die Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Ausführungsqualität eines Bauvorhabens unter Einsatz des Building Information Modeling wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit in folgenden Kapiteln behandelt.

Nach dem einführenden **Kapitel 1** zum Anlass, der Zielsetzung und dem Stand der Forschung werden in **Kapitel 2** grundlegende Qualitätsbegriffe und die Besonderheiten der Bauprojektqualität erläutert. Weiterhin werden qualitätsbezogene Bewertungsfaktoren für die QBM identifiziert.

In **Kapitel 3** wird gemäß der Zielsetzung der Arbeit eine Methode zur quantitativen Bewertung von Bauausführungsqualitäten erarbeitet. Dabei werden besonders die bauprojektspezifischen Randbedingungen berücksichtigt.

Kapitel 4 behandelt die Anwendungsrichtlinie der QBM. Die Richtlinie wird in die Bereiche Grundlagenermittlung, Planung, Durchführung und Analyse unterteilt. Im Rahmen von Kapitel 4 werden noch keine Umsetzungen in ein praktikables System erläutert.

Kapitel 5 beschreibt die Umsetzung der QBM in ein funktionales System. Nach einer Gegenüberstellung möglicher Umsetzungsvarianten wird die Methode unter Verwendung des BIM und Nutzung entsprechender Softwarelösungen digital abgebildet.

Im Anschluss an die digitale Umsetzung der QBM wird diese in **Kapitel 6** an einem BIM-Beispielprojekt angewendet. Dabei werden alle Schritte der Methode gemäß den Anwendungsrichtlinien aus Kapitel 4 und der BIM-basierten Umsetzungsvariante aus Kapitel 5 erläutert.

Kapitel 7 enthält die Bewertung der Umsetzungsvarianten aus Kapitel 5 nach anwendungsrelevanten Kriterien. Im Besonderen wird die BIM-basierte Umsetzung unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus Kapitel 6 untersucht. Es werden Empfehlungen zur Anwendung der QBM aufgestellt.

In **Kapitel 8** werden exemplarisch Anwendungsfälle der QBM aufgezeigt und erläutert.

Die Arbeit schließt mit der Beantwortung der Forschungsfragen in einem Fazit und einer Zusammenfassung der Entwicklungen und Ergebnisse in **Kapitel 9** ab. In diesem Zusammenhang werden weitere Forschungsansätze im Ausblick aufgezeigt.

Abbildung 1.1 gibt einen Überblick der Kapitel mit den darin zu behandelten Themen und stellt den inhaltlichen Aufbau der Arbeit dar.

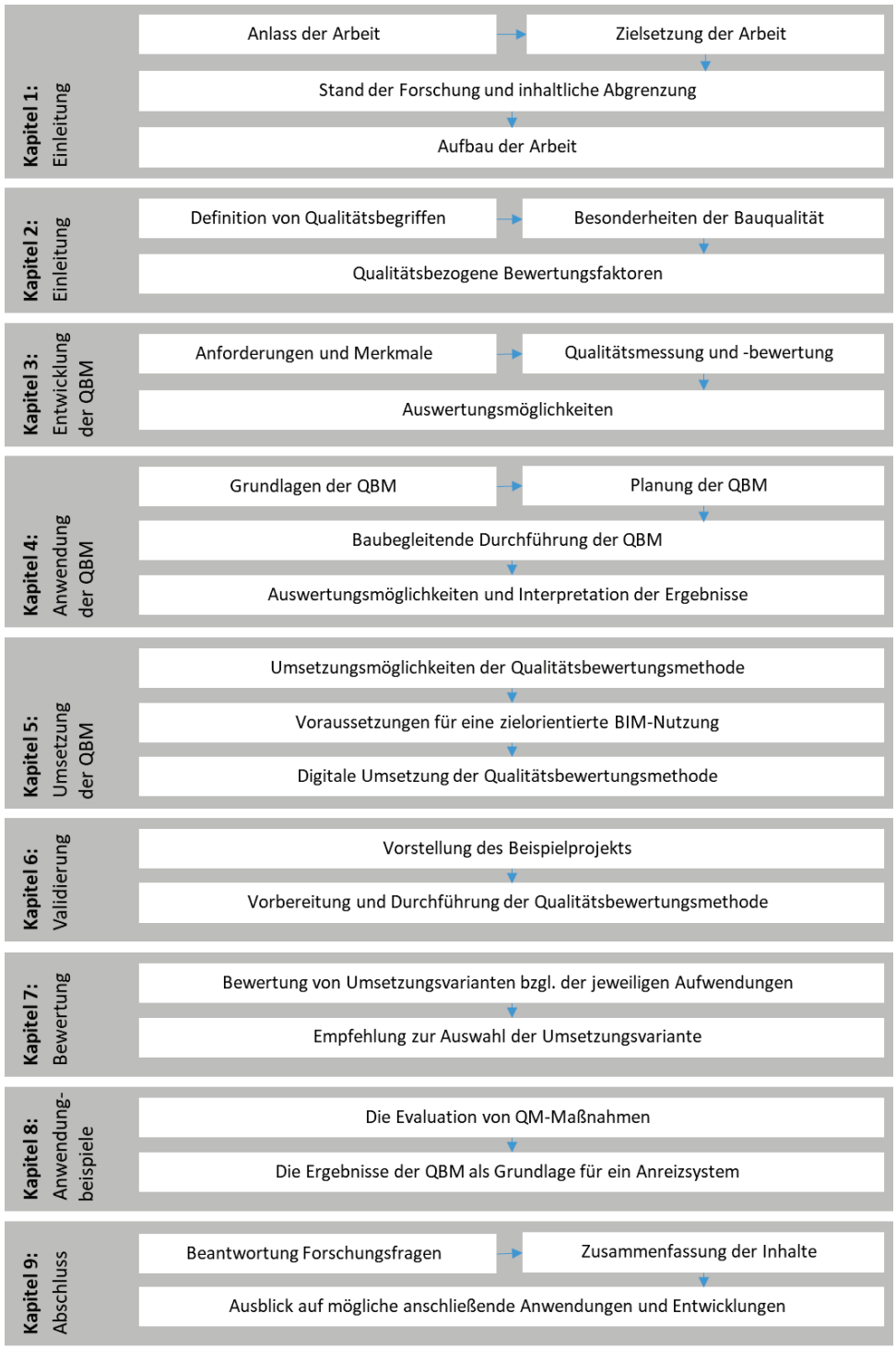

Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit