

Gerrit Sames

Felix Becker

Digitalisierung in der Bauwirtschaft
Ein Reifegradmodell zur Einordnung

THM-Hochschulschriften Band 37

Gerrit Sames

Felix Becker

Digitalisierung in der Bauwirtschaft
Ein Reifegradmodell zur Einordnung

THM-Hochschulschriften Band 37

THM-Hochschulschriften Band 37

© 2025 Gerrit Sames, Felix Becker

Technische Hochschule Mittelhessen

Fachbereich Wirtschaft

Herausgeber der THM-Hochschulschriften:

Der Präsident der Technischen Hochschule Mittelhessen

Alle Rechte vorbehalten, Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung und Quellenangabe.

Die Hochschulschriften sind online abrufbar:

www.thm.de/bibliothek/thm-hochschulschriften

ISSN (Print) 2568-0846

ISSN (Online) 2568-3020

Die deutsche Wirtschaft steht vor tiefgreifenden Transformationsanforderungen, wobei insbesondere die Digitalisierung als zentraler Wettbewerbsfaktor gilt. Das Baugewerbe weist im Vergleich zu anderen Branchen erhebliche Defizite auf, obwohl es eine tragende Rolle für Beschäftigung und Wertschöpfung in Deutschland einnimmt. Der vorliegende Bericht verfolgt das Ziel, ein spezifisches Reifegradmodell zu entwickeln, das den Digitalisierungsstand von Bauunternehmen systematisch erfasst und Vergleichbarkeit innerhalb der Branche ermöglicht. Auf dieser Grundlage sollen praxisnahe Handlungsfelder identifiziert werden, um Effizienz, Innovationsfähigkeit und langfristige Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu sichern.

Über die Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Gerrit Sames ist Professor für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt ERP-Systeme am Fachbereich Wirtschaft der Technischen Hochschule Mittelhessen und Leiter des Schwerpunkts Digital Business. Zusätzlich beschäftigt er sich mit der Weiterentwicklung von Digitalisierungslösungen und ist zweiter Vorsitzender im Vorstand des Smart Electronic Factory e.V.

Felix Becker, M.Sc., absolvierte den Studiengang Master of Business Administration am Fachbereich Wirtschaft und ist heute bei einem bekannten Baukonzern beschäftigt.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	4
1 EINLEITUNG	5
1.1 HINTERGRUND UND PROBLEMSTELLUNG.....	5
1.2 ZIELSETZUNG.....	6
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND REIFEGRADMODELLE.....	7
2.1 DIGITALISIERUNG IM BAUWESEN	7
2.2 INDUSTRIE 4.0 UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE BAUWIRTSCHAFT	13
2.3 ANALYSE BESTEHENDER REIFEGRADMODELLE	17
3 ABLEITUNG DES ANPASSUNGSBEDARFS FÜR DIE BAUINDUSTRIE.....	24
3.1 GRENZEN DER ÜBERTRAGBARKEIT BESTEHENDER MODELLE AUF DIE BAUINDUSTRIE	24
3.2 HERAUSARBEITUNG BRANCHENSPEZIFISCHER ANFORDERUNGEN	26
4 ENTWICKLUNG EINES BRANCHENSPEZIFISCHEN REIFEGRADMODELLS	27
4.1 METHODIK UND INTERVIEWDESIGN	27
4.2 MODELLENTWICKLUNG UND STRUKTURIERUNG DER REIFEGRADSTUFEN	27
4.3 ANWENDUNGSMÖGLICHKEIT DES REIFEGRADMODELLS BAU	52
5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	54
LITERATURVERZEICHNIS.....	55

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands steht vor enormen Herausforderungen. Zu diesem Schluss kommt eine Studie der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (vbw) aus dem Jahr 2024. Das liegt vor allem an einem massiven Kostennachteil gegenüber der Konkurrenz sowie der hohen Transformationserfordernis in der deutschen Wirtschaft.¹ Da die politischen Handlungsnotwendigkeiten nicht unmittelbar zu beeinflussen sind, ist es umso wichtiger, einen genaueren Blick auf die Transformationsnotwendigkeiten im Bereich der Megatrends zu werfen. Dabei spielt vor allem die Digitalisierung in deutschen Unternehmen eine tragende Rolle, da diese in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Unternehmenserfolg steht. Zudem entwickelt sich der Markt für digitale Technologien rasant, wodurch es zunehmend schwieriger wird, dem Wandel zu folgen.² Dies erhöht den Druck, zeitnah zu handeln, da eine dauerhaft fehlende digitale Transformation beispielsweise zu Effizienzverlusten und Innovationshemmnissen führen kann.³ Anderenfalls droht die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands weiter zu sinken. Dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz herausgegebenen Digitalisierungsindex 2024 zufolge weist die Branchengruppe “Baugewerbe, Ver- und Entsorgung” den niedrigsten Stand der Digitalisierung auf und liegt damit deutlich unter dem Durchschnitt der deutschen Wirtschaft.⁴ Das bedeutet, das Baugewerbe hat noch einmal mehr Aufholbedarf im Bereich der digitalen Transformation als die übrigen Branchengruppen in einem Land, das ohnehin einem hohen digitalen Transformationserfordernis ausgesetzt ist. Diesen Trend bestätigt ebenfalls eine PwC-Studie zur Baubranche aus dem Jahr 2023: “Die Lücke zwischen den Potenzialen digitaler Lösungen und der Fähigkeiten der Unternehmen, diese umzusetzen, wird größer.”⁵

Mit ungefähr 2,6 Millionen Erwerbstätigen im Jahr 2024 gehört das Baugewerbe zu den wichtigsten Wirtschaftszweigen in Deutschland. Damit arbeiten etwa 5,7 Prozent aller erwerbstätigen Menschen im Baugewerbe.⁶ Außerdem lag der Anteil des

¹ vbw (2024)

² Herget (2024), S. 1-2

³ Roos (2022), S. 42-49

⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024), S. 10-12

⁵ PwC (2023)

⁶ Destatis (2025)

Baugewerbes am Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2023 bei etwa bei 12,3 Prozent.⁷ Daran ist erneut die Bedeutung des Baugewerbes für die deutsche Wirtschaft zu erkennen.

Der erste Schritt, um die Digitalisierung in einem Unternehmen voranzutreiben, ist eine sachliche und möglichst konkrete Bewertung des aktuellen Stands. Laut einer PwC-Studie aus dem Jahr 2021 schätzt knapp die Hälfte der befragten Bauunternehmen den eigenen Digitalisierungsgrad als hoch ein.⁸ Dieser Anteil erscheint jedoch hoch im Vergleich zu den zuvor aufgezeigten Lücken in der digitalen Transformation. Dies zeigt bereits ein Problem bei der Bewertung des eigenen Unternehmens auf: Es existiert kein geeignetes Modell, um den Digitalisierungsgrad von Bauunternehmen objektiv zu bewerten und somit auch vergleichbar zu machen mit anderen Unternehmen der Branche. Zwar existieren im Rahmen von Industrie 4.0 für das produzierende Gewerbe durchaus geeignete Modelle, allerdings unterscheiden sich Bauunternehmen sowohl in der Struktur als auch in den auszuführenden Leistungen enorm von Produktionsunternehmen. Dies ist unter anderem auf eine hohe Projektkomplexität und damit einhergehende geringe Standardisierung zurückzuführen. Aufgrund dessen lassen sich die bereits bestehenden Reifegradmodelle nicht ohne Weiteres auf ein Bauunternehmen anwenden.

1.2 Zielsetzung

Ziel ist die Entwicklung eines Modells zur Evaluierung des Digitalisierungsstands in Bauunternehmen. Dazu sollen bereits bestehende Reifegradmodelle aus der Industrie herangezogen werden, um anhand dieser ein abgewandeltes Modell zu entwickeln, das speziell auf Besonderheiten der Baubranche angepasst werden soll. Mithilfe dessen soll ein Bauunternehmen den eigenen Stand der Digitalisierung bewerten können, um darauf aufbauend weitere Optimierungsmöglichkeiten und Handlungsfelder zu identifizieren. Das Modell soll somit auch einen Vergleich des eigenen Unternehmens mit der gesamten Branche vereinfachen. So soll es Betrieben ermöglicht werden, die eigene digitale Transformation voranzutreiben, um unter anderem Effizienz- und Innovationssteigerungen zu erreichen. Dies soll dazu beitragen, auch nachhaltig wettbewerbsfähig zu bleiben. Außerdem soll übersichtlich aufgezeigt werden, welche digitalen Möglichkeiten in der Baubranche aktuell zur Verfügung stehen. Zur Entwicklung

⁷ Hauptverband der deutschen Bauindustrie e.V. (2023), S. 1

⁸ PwC (2021), S. 9

des Modells sollen Interviews mit Experten aus bauausführenden Unternehmen geführt sowie bestehende Literatur verwendet werden.

Für die Entwicklung des Modells sollen, ähnlich wie bei den verwandten Modellen aus Industrie 4.0, unterschiedliche Unternehmensbereiche beleuchtet werden, um so ein Gesamtbild über den aktuellen Stand des Unternehmens zu erhalten. Dazu wird eine geeignete Auswahl der zu betrachtenden Bereiche vorgenommen. Dabei gilt es vor allem, das Modell auf Bauunternehmen verschiedener Fachrichtungen anwendbar zu machen. So wird beispielsweise nicht zwischen Hoch- und Tiefbau oder verschiedenen Gewerken wie Straßen- oder Gleisbau unterschieden. Außerdem sollen Unternehmen verschiedener Größen bewertet werden können.

2 Theoretische Grundlagen und Reifegradmodelle

2.1 Digitalisierung im Bauwesen

Aufgrund des bisher wenig ausgeprägten Digitalisierungsgrads in der Bauindustrie, stellt die digitale Transformation gerade in Bauunternehmen eine große Herausforderung dar. Im vorliegenden Kapitel werden der Status Quo der Digitalisierung in der Bauwirtschaft beschrieben und ein Vergleich mit anderen Branchen vorgenommen, um somit ein genaueres Bild über den aktuellen Stand der Digitalisierung von Bauunternehmen zu erhalten.

Für den Branchenvergleich wird der Digitalisierungsindex 2024 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz zu Grunde gelegt. Zwar konnte das Baugewerbe seinen Digitalisierungsindex in den letzten 4 Jahren stets leicht steigern, dennoch bleibt die Branche weiterhin weit hinter dem Durchschnittsindex zurück. Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, ist die Baubranche somit Deutschlands am wenigsten digitalisierter Wirtschaftszweig. Vor allem im Vergleich zu den Branchengruppen-Vorreitern “Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)”, “Elektrotechnik, Maschinen- und Fahrzeugbau” und “Unternehmensnahe Dienstleister” hat das Baugewerbe noch einiges aufzuholen. Die Entwicklungen der letzten Jahre lassen also nicht darauf schließen, dass die digitale Transformation in der Bauindustrie in naher Zukunft Fahrt aufnehmen wird. Und dass, obwohl auch für das Baugewerbe bereits einige digitale Technologien existieren, die nur noch nicht oder noch nicht vollumfänglich genutzt werden.

Um bereits existierende Technologien zu betrachten, wird zunächst auf aktuelle Trends im Baugewerbe eingegangen. Das Softwareentwicklungsunternehmen d.velop AG zeigt vier aktuelle Trends im Bereich der Digitalisierung im Bauwesen 2025 auf. Dazu gehören Digitale Baustellen, Künstliche Intelligenz, Cloud-Lösungen sowie Cybersicherheit.⁹ Diese werden im Folgenden näher erläutert.

“Die Digitale Baustelle ist ein virtuelles Abbild der realen Baustelle.”¹⁰ Das Konzept der digitalen Baustelle beschreibt den Einsatz von digitalen Technologien in sämtlichen Projektphasen. Damit werden übergeordnet alle digitalen Werkzeuge angesprochen, um das Bauwerk und die auszuführenden Leistungen so realistisch wie möglich abzubilden und damit den Bauablauf so effizient wie möglich zu gestalten und Transparenz zwischen allen Projektbeteiligten zu schaffen. Zentrale Technologien der digitalen Baustelle sind unter anderem Künstliche Intelligenz (KI), Cloud-Lösungen, Building Information Modelling (BIM) und Internet of Things (IoT). Dabei stellen KI und Cloud-Lösungen nach d.velop ebenfalls jeweils einen eigenen Trend dar.

Künstliche Intelligenz kann als Unterstützung der Mitarbeiter für verschiedene Zwecke in allen Projektphasen verwendet werden. Sie kann sowohl bei der Planung, der Bauausführung sowie auch dem Betrieb des Bauwerks genutzt werden. KI wird dabei in verschiedensten Programmen, Anwendungen oder Systemen verwendet, um Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette effizienter zu gestalten.¹¹

Cloud Computing bedeutet, dass Daten nicht mehr auf örtlichen Geräten, sondern zentral in einer Cloud gespeichert werden. Somit sind Informationen für alle Projektbeteiligten schnell und einfach abrufbar und die Kommunikation innerhalb des Projekts sowie mit Lieferanten, Nachunternehmern und Auftraggebern wird vereinfacht. Die Transparenz und schnelle Verfügbarkeit von Projektdaten machen Cloud-Lösungen zu einem zentralen Baustein der digitalen Baustelle. Schließlich stellen die Daten die Grundlage für den Einsatz weiterer digitaler Technologien, wie beispielsweise BIM, dar.¹²

BIM ist eines der zentralen Werkzeuge für die digitale Baustelle. Mithilfe von BIM können digitale Zwillinge des Bauwerks erstellt werden. Dies sind 3D-Modelle, mit

⁹ d.velop (2025)

¹⁰ Günthner & Borrmann (2011), S. 2

¹¹ Hagsheno et al. (2024), S. 3-21

¹² Schweizerischer Baumeisterverband (2021)

denen die Planung deutlich verbessert werden kann. Damit steht es in direktem Zusammenhang mit der digitalen Baustelle und kann als zentraler digitaler Baustein für Planung und Ausführung verstanden werden.¹³ Zwar wird BIM oftmals als das zentrale digitale Tool für die Bauwirtschaft angesehen, dennoch gilt es festzuhalten, dass die Technologie noch nicht in vielen Bauunternehmen vollumfänglich genutzt wird. Zu diesem Schluss kommt eine Umfrage der Bundesvereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure aus dem Jahr 2022.¹⁴ Dennoch scheint BIM eine vielversprechende Methode zur digitalen Transformation im Baugewerbe zu sein, wenn die Einführung in Bauunternehmen flächendeckend umgesetzt werden kann.

Ein weiteres Werkzeug ist das Internet of Things (IoT). Dies bedeutet, dass Sensoren Echtzeitdaten auf der Baustelle sammeln und über das Internet austauschen können. Somit sind aktuelle Informationen wie Maschinen-, Wetter- oder andere Baustellen-daten stets zeitnah verfügbar und können für die weitere Planung und Steuerung des Projekts verwendet werden. Dies hilft mögliche Probleme im Bauablauf frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Damit können unter anderem eine erhöhte Effizienz, bessere Sicherheitsstandards sowie Kosteneinsparungen erreicht werden.¹⁵

Bei den zuvor genannten Neuerungen im Bereich der digitalen Technologien, gewinnt entsprechend auch das Thema der Cybersicherheit an Bedeutung. Diese stellt den letzten Digitalisierungstrend in der Baubranche dar. In der Vergangenheit kam es auch immer wieder zu Cyberangriffen, was dazu führt, dass das Cyber-Risikomanagement in Bezug auf die Digitalisierung ebenfalls immer wichtiger macht. Beim Vorantreiben der digitalen Transformation im Baugewerbe ist es somit unerlässlich, auch die Daten zu schützen und die IT-Sicherheit entsprechend aufzurüsten.¹⁶

Die zuvor beschriebenen digitalen Technologien können auf unterschiedliche Weisen eingesetzt werden und somit zur Effizienzsteigerung in verschiedenen Bauphasen wie zum Beispiel der Planung, Arbeitsvorbereitung oder der Bauausführung, mitwirken und dementsprechend zu einer Gesamtproduktivitätssteigerung führen.¹⁷ Damit einhergehend können durch die präzisere Planung auch Fehler minimiert und damit

¹³ Borrmann et al. (2021), S. 4-11

¹⁴ Paraknewitz (2022), S. 11-12

¹⁵ Hager (2024)

¹⁶ d.velop (2025)

¹⁷ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2019), S.13-14 & S. 94-96

Nacharbeiten vermieden werden. Somit kann unter anderem ein schnellerer Projektabschluss sowie eine Senkung der Kosten erreicht werden.¹⁸ Durch den Einsatz von BIM und IoT kann eine effizientere Ressourcennutzung durch die genaue Planung und Analyse des Materialbedarfs erreicht werden. Dies kann zu einer nachhaltigeren und umweltschonenderen Bauweise und damit verbundenen Reduzierung der Kosten führen.¹⁹ Ein weiterer Vorteil, der beispielsweise durch den Einsatz von cloudbasierten Plattformen entsteht, ist die Verbesserung der Kommunikation und die Erhöhung der Transparenz innerhalb des Projektteams sowie zwischen den Bauunternehmen und ihren Lieferanten und Nachunternehmern.²⁰ Diese Art der Kommunikation kann ebenfalls mit dem Bauherrn oder sonstigen externen Stellen genutzt werden. Aufgrund des höheren Augenmerks auf Nachhaltigkeitsaspekte bei zukünftigen Vergaben könnten umweltfreundliche Baumethoden Wettbewerbsvorteile mit sich bringen, was den Einsatz von BIM für die Materialplanung zunehmend relevanter machen dürfte. Die oben genannten Potenziale, die durch den Einsatz von digitalen Technologien in Bauunternehmen entstehen können, tragen zum übergeordneten Ziel der Erhaltung und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit bei, was erneut ihre Relevanz unterstreicht.

Um die Vorteile der digitalen Transformation nutzen zu können, gilt es jedoch auch einige Herausforderungen zu bewältigen. Laut der aktuellen PwC-Studie “Die Herausforderungen der deutschen Bauindustrie 2025” gehen die Potenziale der zur Verfügung stehenden digitalen Technologien und die Fähigkeiten der Bauunternehmen, diese umzusetzen, immer weiter auseinander. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht aus dieser Studie über digitale Lösungen und den jeweiligen Potenzialen und Fähigkeiten.

¹⁸ Müller (2024)

¹⁹ Akademie der Ruhr-Universität (2023)

²⁰ BuiltSmart Hub (2024)

Potenziale und Fähigkeiten

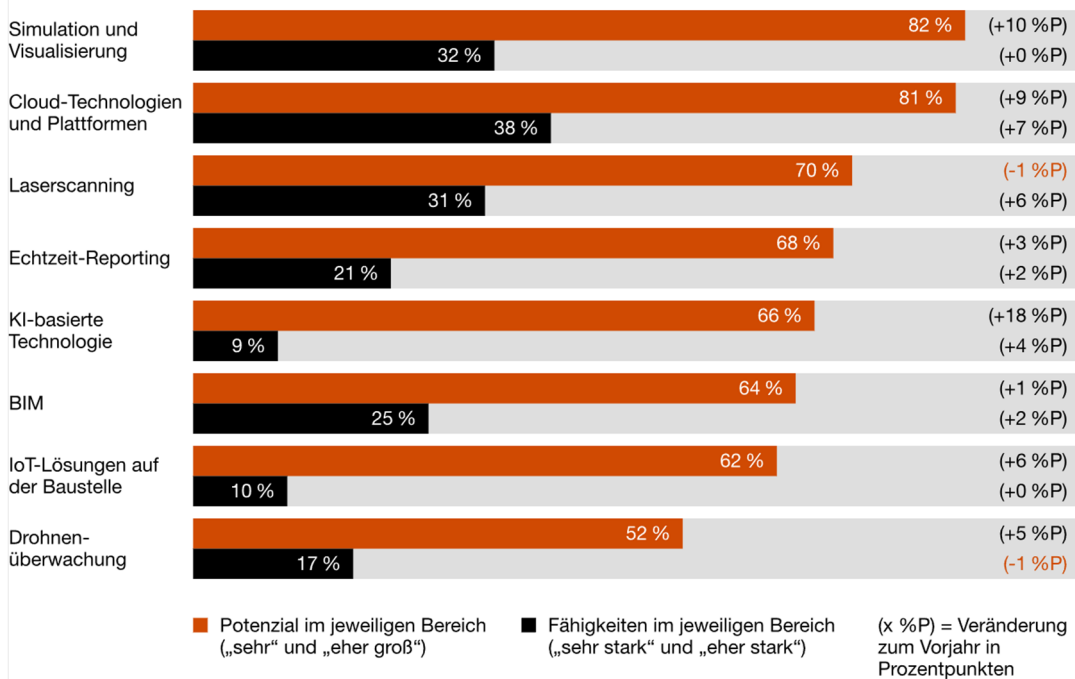


Abb. 1: Vergleich digitaler Potenziale und Fähigkeiten²¹

Daran lässt sich erkennen, dass die Bauunternehmen keine der betrachteten Technologien vollumfänglich nutzen. Als Gründe dafür nennt die Studie den Fachkräftemangel und damit verbundenes fehlendes Knowhow in Deutschland sowie fehlende Anforderungen bei Vergabeverfahren durch die Auftraggeber. Vor allem bei letzterem lässt sich aber bestreiten, ob der Druck durch den Bauherrn allein für die Umsetzung modernerer Technologien sorgen sollte, oder ob Bauunternehmen nicht auch aus Eigeninteresse eine Effizienzsteigerung mithilfe neuer Technologien anstreben sollten.

Dennoch gibt es auch weitere Herausforderungen der Digitalisierung in der Baubranche. Dazu zählt unter anderem oftmals der Projektcharakter in der Bauausführung. Dies führt dazu, dass digitale Prozesse aufgrund der geringen Standardisierung in der Regel nicht ohne Weiteres auf andere Bauprojekte übertragbar sind und somit von Projekt zu Projekt neu etabliert werden müssen. Dazu kommt, dass wechselnde Auftraggeber auch unterschiedliche Vorstellungen einer Projektabwicklung haben und kurzfristige Änderungen im Bauablauf nicht unüblich sind.²² Außerdem gibt es derzeit kaum etablierte digitale Standardsysteme bzw. -anwendungen in der Baubranche, was

²¹ PwC (2025)

²² Sack & Schrewe (2021), S. 365-370

zu fehlenden Schnittstellen und einem erschwerten Datenaustausch zwischen den oftmals vielen verschiedenen Projektbeteiligten führen kann.²³ Wie bereits angedeutet gewinnt außerdem das Thema der IT-Sicherheit an Relevanz. Aufgrund der höheren Vernetzung und einem transparenteren Umgang mit Daten, kann ein Unternehmen auch angreifbarer werden, wenn die Daten nicht entsprechend geschützt werden. Als Herausforderung können ebenfalls die hohen Kosten und der Aufwand für die Implementierung und den Betrieb der digitalen Technologien gesehen werden. Um Unternehmen dazu zu motivieren, Investitionen in ihre Digitalisierung vorzunehmen, müssen diese ausreichend hinsichtlich der Vorteile aufgeklärt sein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Bauunternehmen vor einigen Herausforderungen hinsichtlich der Durchsetzung der digitalen Transformation stehen. Gerade im Vergleich mit anderen Branchen wie dem produzierenden Gewerbe oder der Informations- und Kommunikationstechnologiebranche hinkt man deutlich hinterher. Als mögliche Gründe dafür können der Arbeitskräftemangel in Deutschland, fehlende digitale Anforderungen bei Bauherrn-Ausschreibungen oder auch der typische Projektcharakter im Baugewerbe genannt werden. Trotz oftmals hoher Implementierungskosten stehen demgegenüber auch einige Vorteile, die die Digitalisierung mit sich bringt. So kann der Einsatz digitaler Technologie unter anderem zu einer detaillierteren Planung, ressourcenschonenderen Arbeitsweise und Senkung der Kosten führen. Damit gehen eine Gesamtproduktivitätssteigerung sowie die Erhaltung und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit einher. Außerdem existieren bereits einige digitale Technologien für das Baugewerbe, die in der Praxis derzeit allerdings noch nicht flächendeckend genutzt werden. Dazu gehören unter anderem Building Information Modelling, Internet of Things, Künstliche Intelligenz sowie Cloud Computing. Die digitale Baustelle bietet dementsprechend einige Potenziale, zukünftige Bauprozesse nachhaltig zu prägen und für neuen Aufschwung in der Bauindustrie zu sorgen. Allerdings fehlt es Unternehmen derzeit noch an einer Übersicht der zur Verfügung stehenden Technologien sowie einer allgemeingültigen Methode, den eigenen Stand der Digitalisierung zu bewerten. Um ein solches zu entwickeln, sollte dabei auf das produzierende Gewerbe geschaut werden, da dafür mit Industrie 4.0 bereits einige Reifegradmodelle existieren. Daher wird als Grundlage für die Entwicklung eines bauspezifischen Reifegradmodells zunächst auf das Konzept Industrie 4.0 eingegangen.

²³ Harnisch (2023)

2.2 Industrie 4.0 und ihre Bedeutung für die Bauwirtschaft

Um die Digitalisierung in der Bauindustrie besser bewerten und gezielt weiterentwickeln zu können, lohnt sich ein Blick auf das Konzept Industrie 4.0. Dieses kann vor allem auf das produzierende Gewerbe angewendet werden und zeigt auf, wie digitale Technologien sinnvoll eingesetzt und genutzt werden können. Das folgende Kapitel behandelt daher die Grundprinzipien von Industrie 4.0 und inwiefern dieses Konzept auf das Baugewerbe übertragbar ist.

Industrie 4.0 kann als vierte industrielle Revolution verstanden werden, welche im Vergleich zu ihren Vorgängern vor allem durch eine höhere Digitalisierung und Virtualisierung sowie intelligente Technologien geprägt ist. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die vorherigen industriellen Revolutionen und deren Merkmale.²⁴

Bezeichnung	Beginn	Merkmale
1. Industrielle Revolution	1784	Nutzung von Dampfmaschinen, Eisen und Kohle; Expansion von Produktion und Transport
2. Industrielle Revolution	1870	Elektrizität, Stahl, chemische Industrie, Massenproduktion, Kommunikationstechnologien
3. Industrielle Revolution	1969	Digitalisierung, Automatisierung, flexible Produktionssysteme, Globalisierung

Tabelle 1: Industrielle Revolutionen: Überblick über Vorgänger von Industrie 4.0

Industrie 4.0 zeichnet sich vor allem durch die vier Schlüsselkomponenten Smart Factory, Cyber-Physical Systems (CPS), Internet of Things (IoT) und Internet of Services (IoS) aus, welche im Folgenden näher betrachtet werden.

Cyber-Physical Systems sind vernetzte Einheiten wie beispielsweise Geräte oder Maschinen, die über Systeme verfügen, welche Objekte kommunikationsfähig machen, sodass diese über das Internet Informationen austauschen können. Diese Technologie wird auch Internet of Things (IoT) genannt. So können CPS unter anderem Echtzeitdaten über Sensoren empfangen, analysieren und speichern. Außerdem können Sie gegebenenfalls auf Grundlage der empfangenen Daten auch auf ihre Umwelt reagieren. Die Systeme können sowohl mit Menschen interagieren als auch autonom handeln. Es zeichnet sich maßgeblich durch die Verbindung der physischen mit der digitalen Welt

²⁴ Carvalho & Cazarini (2020), S. 3-7

aus.²⁵ Ein Beispiel dafür ist ein intelligentes Förderband, welches mithilfe von Sensoren erkennt, welches Produkt es gerade transportiert und wohin es gefördert werden soll. Es kann über das Internet Statussignale wie Staus senden und mithilfe von Aktoren das Band anhalten oder umlenken. Mithilfe des IoT kann das Gerät bei auftretenden Störungen beispielsweise auch selbstständig einen Wartungsdienst abrufen. Es kann somit Entscheidungen automatisch treffen und die Produktion dadurch effizienter und störungsfreier gestalten.

CPS stellen außerdem die Grundlage für die nächste Komponente, die Smart Factory, dar. Während sich CPS auf einzelne Objekte beziehen, versteht man unter einer Smart Factory eine weitgehend digitalisierte und vernetzte Produktionsumgebung, in der unter anderem mehrere CPS miteinander kommunizieren können. Das Hauptmerkmal einer Smart Factory ist, dass nicht mehr nur Materialien fließen, sondern auch Informationen, und das in Echtzeit. Somit wird eine Grundlage für schnelle Entscheidungen und autonome Prozesse geschaffen. Neben der Optimierung interner Produktionsprozesse kann durch diese Vernetzung auch eine Verbesserung der Kommunikation entlang der gesamten Wertschöpfungskette mit Lieferanten und Kunden erreicht werden.²⁶ Dazu nutzt eine Smart Factory die zuvor beschriebenen Schlüsselkomponenten. Des Weiteren können weitere digitale Technologien wie KI oder additive Fertigung (z.B. 3D-Druck) eingesetzt werden, um die Prozesse so autonom und effizient wie möglich zu gestalten.

Industrie 4.0 definiert sich außerdem durch sechs Designprinzipien, welche nachfolgend erörtert werden. Auf diesen bauen die zuvor beschriebenen Komponenten von Industrie 4.0 auf. Zuerst kann das Prinzip der Interoperabilität genannt werden. Darunter versteht man generell die Fähigkeit unterschiedlicher Systeme, möglichst nahtlos zusammenzuarbeiten. Somit kommunizieren Menschen, Geräte und CPS über standardisierte Schnittstellen, wie zum Beispiel IoT oder IoS (Internet of Services). Beim Prinzip der Virtualisierung wird, aufbauend auf den von Sensoren übertragenen Daten des physischen Produktionsprozesses, ein digitales Abbild der Fabrik geschaffen. Dieses ermöglicht die bessere Überwachung der Produktion. Das Dezentralisierungsprinzip besagt, dass es weniger zentrale Entscheidungsprozesse geben soll, um diese für die einzelnen Produktionsbereiche zu optimieren. Dementsprechend können CPS

²⁵ Bauernhansl et al. (2014), S. 15-18

²⁶ Kletti und Rieger (2022), S. 18-19

eigene Entscheidungen treffen und damit den Ablauf der Entscheidungsfindung optimieren und beschleunigen. Das vierte Prinzip ist die Echtzeitfähigkeit. Diese ist von hoher Bedeutung, damit stets die aktuellen Informationen zur Verfügung stehen. Damit kann bei auftretenden Störungen schnellstmöglich reagiert und so größere Probleme vermieden werden. Die ersten vier Prinzipien können auch als Grundprinzipien von Industrie 4.0 verstanden werden. Im weiteren Sinne können auch noch zwei weitere Prinzipien dazu gezählt werden: Serviceorientierung und Modularität. Durch die Vernetzung können die Dienste von Unternehmen, CPS und Menschen sowohl intern als auch extern genutzt werden. Damit können beispielsweise produktspezifische Prozessabläufe basierend auf kundenspezifischen Anforderungen angepasst werden. Dies ist das Prinzip der Serviceorientierung. Zuletzt bleibt das Prinzip der Modularität. Dieses besagt, dass die Produktionsumgebung aufgrund der Standardisierung der Anlagen stets durch neue Module ergänzt oder um alte Module reduziert werden kann. Dies sorgt für die flexiblere Gestaltung des Produktionsprozesses. Diese Prinzipien helfen Unternehmen, Industrie 4.0-Projekte zu planen und umzusetzen und zeigen gleichzeitig einige Vorteile der Umstellung auf Industrie 4.0 und damit dem Vorantreiben der eigenen digitalen Transformation auf.²⁷

Zwar zielt Industrie 4.0 in erster Linie auf die Anwendung im produzierenden Gewerbe ab. Dennoch zeigt sich das Konzept durchaus auch als relevant für nicht-produzierende Branchen. So lassen sich gewisse Merkmale auf nicht-produzierende Unternehmen übertragen. Beispielsweise können echtzeitdatenbasierte Entscheidungsfindungen, Automatisierung oder Vernetzung ebenfalls zu Effizienzsteigerungen in anderen Branchen führen. Jedoch stellt sich die Frage, in welcher Form die verschiedenen digitalen Technologien in nicht-produzierenden Unternehmen genutzt werden können. Ohnehin sollte beim übergeordneten Thema der Digitalisierung nicht die Art des Gewerbes, sondern der Umgang mit Daten und Prozessen entscheidend sein. Dies bestätigt auch ein Artikel der Bundeszentrale für politische Bildung (bpb) aus dem Jahr 2020. Demnach wirken sich Aspekte von Industrie 4.0 wie Digitalisierung, Automatisierung und Robotisierung auch auf andere Branchen und Bereiche aus und beschränken sich somit nicht auf die industrielle Produktion.²⁸ Dennoch muss die Übertragbarkeit der Konzepte auf jede Branche individuell geprüft werden, da sich die

²⁷ Hermann et al. (2015), S. 11-12

²⁸ bpb (2020)

strukturellen Voraussetzungen und Anforderungen teils erheblich unterscheiden können.

Um die Übertragbarkeit von Industrie 4.0 auf die Bauwirtschaft zu prüfen, wird zunächst ein näherer Blick auf potenzielle Analogien zwischen der Fertigungsindustrie und dem Baugewerbe geworfen. Dabei fällt auf, dass die in Kapitel 2.1 genannten digitalen Technologien, die bereits heute für die Baubranche genutzt werden können, und die Technologien von Industrie 4.0 sich teilweise überschneiden oder zumindest ähneln. Allerdings muss betont werden, dass im Folgenden zunächst die theoretische Machbarkeit unabhängig von der Praxistauglichkeit analysiert wird.

Ein zentrales Element von Industrie 4.0 ist die durchgängige Nutzung und Verfügbarkeit von Daten über den gesamten Produktlebenszyklus. Auch bei Bauwerken kann von einem Lebenszyklus gesprochen werden. Dabei ist der Prozess von der Planung über die Ausführung bis hin zur Inbetriebnahme und gegebenenfalls Instandhaltung zu betrachten. Um die durchgängige Datenverfügbarkeit über alle Bauphasen hinweg garantieren zu können, gibt es mit BIM zudem bereits ein zentrales Instrument. BIM ermöglicht außerdem die Erstellung digitaler 3D-Modelle des Bauwerks. Es kann somit einen digitalen Zwilling konzipieren. In der Fertigungsindustrie wird dieser oft von Anlagen oder Produkten erstellt und für die Überwachung und Steuerung von Produktionsprozessen verwendet. Dieses Konzept wäre entsprechend auch auf die Baubranche übertragbar. Statt Produkten oder Anlagen würde dabei ein digitaler Zwilling eines Bauwerks erstellt werden, welcher sowohl zu Überwachungs- und Steuerungszwecken als auch bereits bei der Planung verschiedener Bauphasen hilfreich sein kann. Eine weitere theoretische Analogie zu Industrie 4.0 stellt die Nutzung von Sensoren zur Sammlung von Echtzeitdaten dar. Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, könnten solche Sensoren in der Bauausführung zur Sammlung und Überprüfung von Umweltbedingungen, Maschinendaten oder zur Qualitätssicherung verwendet werden. In Industrie 4.0 gilt außerdem die Vernetzung aller Beteiligten als zentrales Element. Auch in der Bauwirtschaft könnte dies zum Beispiel bei der Einbindung von Lieferanten und Nachunternehmern helfen, um die Kommunikation untereinander zu erleichtern.

Diese Analogien machen deutlich, dass zumindest ein Teil der Industrie 4.0-Technologien in der Theorie auf die Bauwirtschaft anwendbar sind. Außerdem lässt es mutmaßen, dass die Übertragbarkeit von Reifegradmodellen, die ursprünglich in

Verbindung mit Industrie 4.0 für Fertigungsbetriebe entwickelt wurden, zumindest in einem gewissen Rahmen gegeben ist. Im Folgenden wird auf spezielle Reifegradmodelle eingegangen, die auch für die Entwicklung eines solchen Modells zugrunde gelegt werden könnten. Eine kritische Analyse hinsichtlich der praktischen Übertragbarkeit auf die Bauindustrie sowie deren Grenzen erfolgt dann im weiteren Verlauf.

2.3 Analyse bestehender Reifegradmodelle

Um die digitale Transformation in einem Unternehmen vorantreiben zu können, müssen zunächst der aktuelle Stand sowie Entwicklungspotenziale erfasst und bewertet werden. In der industriellen Praxis werden dafür sogenannte Reifegradmodelle genutzt. Vor allem im Rahmen von Industrie 4.0 existieren einige solcher Modelle, die unterschiedliche Aspekte digitaler Transformation berücksichtigen. Dieses Kapitel behandelt die Struktur und Zielsetzung zentraler Reifegradmodelle aus der Industrie. Im Fokus stehen dabei das Modell von Leyh und Sames (2024) sowie der Modellvergleich von Schumacher und Gronau (2022), die einen Einblick in bestehende Ansätze der Reifegradbewertung ermöglichen. Außerdem wird eine erste Einschätzung hinsichtlich der Übertragbarkeit auf die Bauindustrie vorgenommen, um so eine Grundlage für die spätere Entwicklung eines branchenspezifischen Modells zu schaffen.

Ein Reifegradmodell hat in erster Linie das Ziel, den Status Quo der Digitalisierung in einem Unternehmen zu bewerten und damit den Einstieg in die digitale Transformation zu erleichtern. Darauf aufbauend können im Rahmen der Reifegradbewertung realistische unternehmensspezifische Zielsetzungen erarbeitet werden. Zudem wird ein Vergleich mit anderen Unternehmen der Branche vereinfacht. Ein Reifegradmodell kann sowohl auf das ganze Unternehmen als auch auf einzelne Bereiche angewendet werden.²⁹ Die genaue Funktionsweise und der Detailgrad kann von Modell zu Modell variieren. Im Folgenden werden dafür verschiedene Modelle analysiert und miteinander verglichen, um die Erkenntnisse für ein bauspezifisches Reifegradmodell zu optimieren.

Die Basis für die Auswahl der zugrunde zu legenden Reifegradmodelle soll zum einen der Vergleich von Industrie 4.0-Reifegradmodellen von Schumacher und Gronau aus dem Jahr 2022 schaffen. In diesem Rahmen wurden zehn Reifegradmodelle hinsichtlich der Industrie 4.0-Abdeckung, dem Fokus auf den Dreiklang von Mensch-

²⁹ Schuh et al. (2018), S. 33

Organisation-Technik und der praktischen Anwendbarkeit untersucht und entsprechend bewertet. Danach erfolgt für jedes Modell eine Beurteilung, ob dieses für die Anwendung empfehlenswert ist. Für den Vergleich wird eine Gesamtwertung in Prozentpunkten vorgenommen, wobei 100 Prozentpunkte den bestmöglichen Wert darstellen würden. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die verglichenen Reifegradmodelle.³⁰

Nummer	Bezeichnung	Autor	Jahr
M1	Industrie 4.0 Maturity Index	Schuh, et al.	2017
M2	Werkzeugkasten Industrie 4.0	VDMA	2017
M3	Industrie 4.0-Readiness	Lichtblau, et al.	2015
M4	Industrie 4.0 Assessment	Matt, et al.	2018
M5	Quick-Check Industrie 4.0	Pierenkemper, et al.	2019
M6	Industrie 4.0-Reifegradmodell	Schuh, et al.	2018
M7	Reifegradmodell	Appelfeller & Feldmann	2018
M8	Industrie 4.0-Reifegradmodell	Hübner	2018
M9	Industrie 4.0-Reifegradmodell	Puchan & Zeifang	2017
M10	InAsPro-Reifegradmodell	Ehemann, et al.	2021

Tabelle 2: Reifegradmodelle im Vergleich nach Schumacher & Gronau

Von den zehn Modellen wurden fünf als uneingeschränkt empfehlenswert, zwei als eingeschränkt empfehlenswert, eins als empfehlenswert und zwei Modelle als nicht empfehlenswert eingestuft. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Übersicht der Ergebnisse aus dem Vergleich der Reifegradmodelle:

³⁰ Schumacher & Gronau (2022)

	Industrie 4.0 Maturity Index (acatech)	Werkzeugkasten Industrie 4.0 (VDMA)	Industrie 4.0-Readiness (IMPULS-Stiftung)	Industrie 4.0 Assessment (Matt et al.)	Quick-Check Industrie 4.0 (IN-LUMIA)	Industrie 4.0-Reifegradmodell (WZL, RWTH Aachen)	Reifegradmodell (Appelfeller & Feldmann)	Industrie 4.0-Reifegradmodell (INTRO 4.0)	Industrie 4.0-Reifegradmodell (Puchan & Zeifang)	Reifegradmodell (In-AsPro)
Industrie 4.0 Abdeckung	63 %	37 %	57 %	55 %	31 %	40 %	51 %	43 %	55 %	60 %
1. Smart Factory	55 %	36 %	61 %	52 %	36 %	55 %	48 %	64 %	73 %	64 %
2. Smart Supply Chain	62 %	29 %	43 %	43 %	43 %	57 %	33 %	0 %	5 %	38 %
3. Produktlebenszyklus	78 %	44 %	56 %	67 %	11 %	0 %	56 %	56 %	67 %	56 %
4. Neue Geschäftsmodelle	73 %	47 %	67 %	73 %	20 %	13 %	93 %	0 %	47 %	93 %
Sozio-technischer Fokus	54 %	28 %	56 %	65 %	57 %	22 %	54 %	61 %	74 %	54 %
5. Mensch	33 %	0 %	78 %	89 %	78 %	0 %	44 %	67 %	67 %	56 %
6. Technik	72 %	50 %	56 %	67 %	44 %	39 %	72 %	67 %	72 %	50 %
7. Organisation	56 %	33 %	33 %	39 %	50 %	28 %	44 %	50 %	83 %	56 %
Anwendbarkeit des Reifegradmodells	72 %	50 %	79 %	85 %	79 %	63 %	65 %	68 %	76 %	100 %
8. Management und Unternehmenskultur	56 %	0 %	67 %	89 %	67 %	0 %	11 %	22 %	56 %	100 %
9. Anwendbarkeit des Reifegradmodells	92 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
10. Reifegradindex	50 %	0 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	100 %
GESAMT	62 %	37 %	61 %	64 %	49 %	39 %	55 %	53 %	65 %	66 %

Abb. 2: Ergebnisse des Reifegradmodell-Vergleichs nach Schumacher & Gronau

Insgesamt werden im Rahmen dieses Kapitels drei Reifegradmodelle näher betrachtet, um so eine Grundlage für das bauspezifische Modell zu schaffen. Neben dem Modell von Leyh und Sames werden somit zwei weitere Modelle aus dem Modellvergleich von Schumacher und Gronau beleuchtet. Da die praktische Anwendung des Modells im Fokus dieser Ausarbeitung steht, werden die Modelle ausgewählt, die in dieser Kategorie am besten bewertet wurden. Diese sind das InAsPro-Reifegradmodell von Ehemann et al. aus dem Jahr 2021 (M10) mit einer Bewertung von 100 Prozent sowie „Industrie 4.0 Assessment“ von Matt et al. (M4, 2018, 85 %).³¹

Nach Ehemann et al. (2021) stellt das Reifegradmodell den ersten von vier Meilensteinen in einem Konzept zur Transformation der Digitalisierung des Arbeitssystems in Industrieunternehmen dar. Bei diesem Modell entscheidet das Unternehmen zunächst, welche Produktlebenszyklusphasen für das Digitalisierungsvorhaben relevant sind. Anhand dessen werden 24 Fragen gestellt, die das Unternehmen beantworten muss. Die zur Auswahl stehenden Phasen sind Entwicklung, Fertigung, Montage sowie Aftersales. Unabhängig von der Wahl der Lebenszyklusphase sind die Fragen in drei Dimensionen untergliedert: Technologie, Organisation und Mensch. Für jede Frage können je nach dem aktuellen Stand der Digitalisierung ein bis vier Punkte erreicht werden, wobei vier Punkte den Bestwert darstellen. Anhand der durchschnittlichen

³¹ Schumacher und Gronau (2022), S. 48

Antworten errechnet das Programm anschließend die Digitalisierungsstufe. Die Einordnung erfolgt nach dem folgenden Schema:

Stufe	Punktzahl	Stufenbezeichnung
1	1 – 1,4	Erkunder
2	1,5 – 2,4	Anfänger
3	2,5 – 3,4	Fortgeschrittener
4	3,5 - 4	Experte

Tabelle 3: Einstufungsschema des InAsPro-Reifegradmodells nach Ehemann, et al.

Anschließend wird das Ergebnis in Spinnendiagrammen dargestellt und nach den einzelnen Dimensionen untergliedert. Außerdem ist eine Auswertung sowie grafische Darstellung einzelner der Lebenszyklusphasen möglich. Abbildung 3 zeigt eine beispielhafte Darstellung des Digitalisierungsgrads sowie der Lebenszyklusphasen Entwicklung und Fertigung.

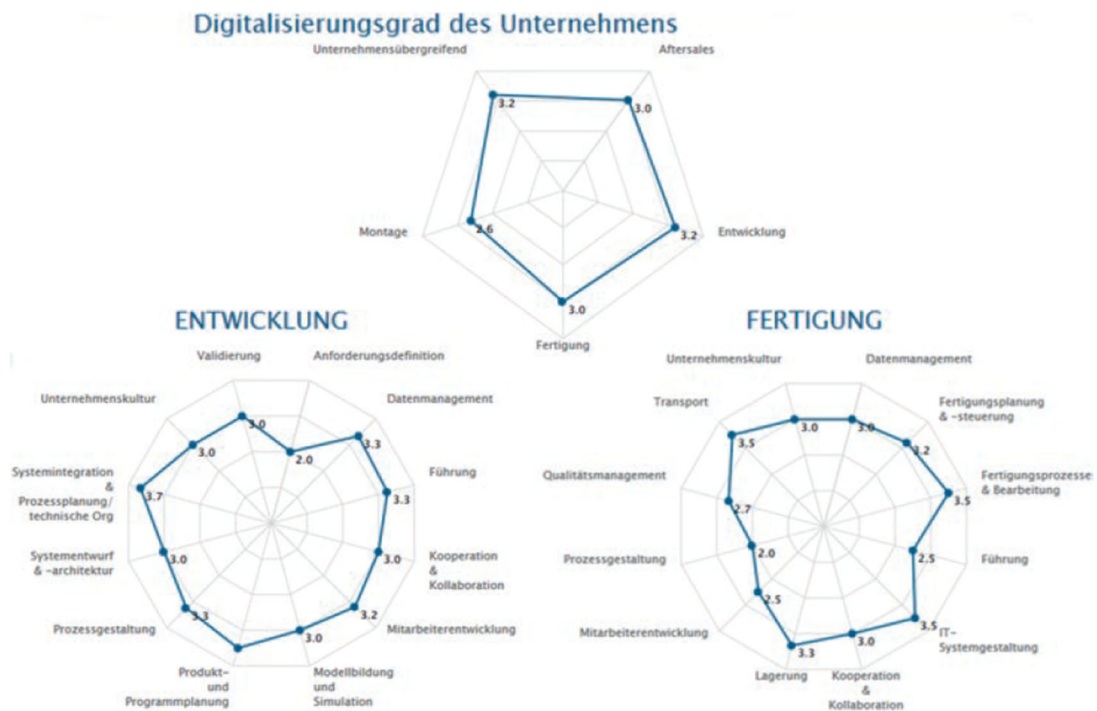


Abb. 3: Ergebnisdarstellung im InAsPro-Reifegradmodell

Auf Grundlage der Ergebnisse werden Stärken und Schwächen des Unternehmens im Bereich der Digitalisierung festgestellt. Zudem wählt das Unternehmen die Strategie, das strategische Handlungsfeld und ein strategisches Ziel aus, auf dessen Grundlage

das Modell Handlungsempfehlungen entwickelt. Somit stellt dieses Modell eine konkrete Grundlage für die Entwicklung weiterer Maßnahmen dar.³²

Im Weiteren wird das Reifegradmodell „Industrie 4.0 Assessment“ von Matt et al. aus dem Jahr 2018 betrachtet.³³ Es bezieht sich vor allem auf kleine und mittlere Unternehmen. Im Modell wird mithilfe eines Fragebogens der Reifegrad für ein Unternehmen entwickelt. Dieser behandelt dabei die vier Bereiche Operation, Organization, Socio-Culture und Technology. Aus diesen Kategorien werden Fragen aus insgesamt 22 Unterpunkten gestellt. Jede Antwort wird mit einem Maturity Level von 1 bis 5 bewertet, sodass sich aus der Gesamtheit der Antworten ein gesamter Reifegrad ergibt. Auf Basis dieser Ergebnisse werden anschließend eine Potenzialanalyse durchgeführt und Maßnahmen abgeleitet.³⁴ Somit ist die Vorgehensweise vergleichbar mit dem zuvor beschriebenen Modell von Ehemann et. al (2021).

Das Reifegradmodell „DigiTAMM“ von Leyh und Sames ist das letzte zu betrachtende Modell im Rahmen der theoretischen Grundlagen. Es stellt eine Weiterentwicklung des „Reifegradmodells zur Digitalisierung und Industrie 4.0“ von Sames (2021) dar.³⁵ Damit baut es gleichzeitig auf dem 2015 erschienenen Werkzeugkasten Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) auf.³⁶ Im Reifegradmodell „DigiTAMM“ wird der Stand der Digitalisierung anhand der fünf Kategorien Produkte, Produktion, IT-Organisation und Prozesse, Mitarbeiter und IT-Sicherheit bewertet. Für jede dieser Kategorien werden unterschiedliche Merkmale betrachtet, für die fünf Ausprägungsstufen festgelegt sind. Stufe 1 ist dabei die niedrigste Digitalisierungsausprägung, während Stufe 5 die höchste darstellt. Abbildung 4 zeigt die Kategorie Produkte als Beispiel mit ihren Merkmalen und den dazugehörigen Ausprägungsstufen.

³² Ehemann et al. (2021), S. 205 - 220

³³ Matt et al. (2018)

³⁴ Schumacher und Gronau (2022), S. 54

³⁵ Sames (2021)

³⁶ VDMA (2015)

Produkte					
Integration von Sensoren/Aktoren	 Keine Nutzung von Sensoren/Aktoren	 Sensoren/Aktoren sind eingebunden	 Sensordaten werden vom Produkt verarbeitet	 Daten werden vom Produkt für Analysen ausgewertet	 Das Produkt reagiert auf Basis der gewonnenen Daten eigenständig
Kommunikation/Connectivity	 Keine Schnittstellen am Produkt	 Das Produkt sendet bzw. empfängt I/O-Signale	 Das Produkt verfügt über Feldbus-Schnittstellen	 Das Produkt verfügt über Industrial Ethernet-Schnittstellen	 Das Produkt verfügt über einen Internetzugang
Funktionalitäten zur Datenspeicherung und Informationsaustausch	 Keine Funktionalitäten	 Möglichkeit zur eindeutigen Identifikation	 Produkt verfügt über passiven Datenspeicher	 Produkt mit Datenspeicher zum autonomen Informationsaustausch	 Daten- und Informationsaustausch als integraler Bestandteil
Überwachung (Monitoring)	 Keine Überwachung durch das Produkt	 Detektion von Ausfällen	 Erfassung des Betriebszustands zur Diagnose	 Prognose der eigenen Funktionsfähigkeit	 Selbstständige Maßnahmen zur Steuerung
Produkt-bezogene IT-Services	 Kein Service	 Service über Online-Portale	 Service-Ausführung direkt über Produkt	 Selbstständige Ausführung von Serviceleistungen	 Vollständige Eingliederung in IT-Service-Infrastruktur
Geschäftsmodell zu den Produkten	 Produktion und Verkauf von Produkten	 Zusätzliches Angebot von Wartung/ Service, ggfs. als eigene Unternehmenseinheit	 Zusätzliche Übernahme der Verantwortung der Produktionsverfügbarkeit durch Online-Monitoring	 Zusätzlich vereinzelt Verkauf der Leistung von Produkten	 In erheblichem Umfang Verkauf der Leistung von Produkten
Produktlebenszyklus-Management/ Digitaler Zwilling	 Keine Datenerfassung über den Produktlebenszyklus (PL)	 Datenerfassung bei Auftrag und Herstellung	 Zusätzlich bei Bereitstellung und Nutzung	 Zusätzlich bei Instandhaltung und ertüchtigung	 Zusätzlich bei Entsorgung/ Digitaler Zwilling in allen Phasen des PL

Abb. 4: Übersicht über die Kategorie Produkte im DigiTAMM-Reifegradmodell³⁷

Aufbauend auf dem Reifegradmodell sehen Leyh und Sames eine Anwendung des AWF-Modells vor. Dieses wird in vier Schritten angewendet. Dabei wird zunächst das zuvor beschriebene Reifegradmodell genutzt, um den Ist-Zustand zu ermitteln. Auch hier können sowohl das ganze Unternehmen als auch einzelne Unternehmensbereiche betrachtet werden. Im zweiten Schritt werden auf Basis von DigiTAMM unternehmens- bzw. bereichsspezifisch relevante Handlungsfelder festgelegt. Die Definition des Soll-Zustands, also des Ziels im jeweiligen Merkmal, stellt den dritten Schritt dar.

³⁷ Leyh und Sames (2024), S. 10

Im letzten Schritt werden auf dieser Grundlage Digitalisierungsstrategien entwickelt und in ein Aufwand-Ertrag-Portfolio eingeordnet. Somit entstehen entsprechende Prioritäten. Darauf aufbauend kann anschließend eine Digitalisierungs-Roadmap entwickelt werden. Die einzelnen Schritte des AWF-Modells sind grafisch in Abbildung 5 dargestellt.



Abb. 5: Anwendungsablauf des AWF-Modells auf Grundlage von Leyh & Sames

Tabelle 4 zeigt zusammenfassend die zentralen Merkmale der drei Reifegradmodelle im Vergleich:

Kriterium	InAsPro (Ehemann et al., 2021)	Industrie 4.0 Assessment (Matt et al., 2018)	DigiTAMM (Leyh & Sames, 2024)
Zielgruppe	Industrieunternehmen	KMU (Industrie)	Industrieunternehmen
Bewertete Dimensionen	Technologie, Organisation, Mensch	Operation, Organization, Socio-Culture, Technology	Produkte, Produktion, IT-Organisation & Prozesse, Mitarbeiter, IT-Sicherheit
Skalierung	4-stufig	5-stufig	5 Stufen je Merkmal
Methodik	Fragebogen, Selbsteinschätzung	Fragebogen, Selbsteinschätzung	Selbsteinschätzung
Besonderheit	Strategische Zieldefinition und Empfehlung konkreter Maßnahmen	Fokus auf KMU, einfache Struktur	Integration in 4-stufigen Umsetzungsprozess (AWF-Modell)

Tabelle 4: Vergleich der Industrie 4.0-Reifegradmodelle

Diese Reifegradmodelle basieren hauptsächlich auf den Anforderungen der Industrie und sind entsprechend vor allem auf die Digitalisierung von Produktionsprozessen ausgelegt. Dementsprechend können ihre Strukturen und Methodiken zwar als Grundlage dienen, die Modelle sind dennoch nur eingeschränkt auf die Bauwirtschaft übertragbar. Das liegt daran, dass die Bauwirtschaft sich in mehreren zentralen Merkmalen erheblich von der Fertigungsindustrie unterscheidet. Daher ist es notwendig, bestehende Reifegradmodelle für den Einsatz in der Baubranche entsprechend anzupassen.

3 Ableitung des Anpassungsbedarfs für die Bauindustrie

3.1 Grenzen der Übertragbarkeit bestehender Modelle auf die Bauindustrie

Wie bereits in Kapitel 2.3 beschrieben, sind bestehende Reifegradmodelle aus der Industrie nur begrenzt auf die Bauindustrie übertragbar. Grund dafür sind vor allem die Strukturen und Arbeitsweisen in den jeweiligen Branchen. Während es in Industrieunternehmen hauptsächlich standardisierte, repetitive Produktionsprozesse gibt, ist die Bauwirtschaft vor allem durch einmalige, individuell geplante Projekte geprägt. Dadurch ergeben sich spezifische Anforderungen an ein Digitalisierungsreifegradmodell für die Baubranche, die in diesem Kapitel näher beleuchtet werden.

Der zentrale Unterschied zwischen der Bauwirtschaft und der Industrie liegt im Produktionsprozess. Dieser zeichnet sich in der Baubranche oftmals durch Projektarbeit aus. Das bedeutet, dass die Arbeiten an wechselnden vom Auftraggeber bestimmten Orten durchgeführt werden müssen. Somit muss sich ein Bauunternehmen nach den wechselnden Anforderungen des jeweiligen Projektstandorts richten, während in der Industrie die Produkte oftmals an einem zentralen Ort gefertigt und dann ausgeliefert werden. Dies erschwert unter anderem die Anwendung von Reifegradmodellen wie zum Beispiel dem InAsPro-Modell, das auf definierte, wiederholbare Fertigungsprozesse und feste Lebenszyklusphasen ausgerichtet ist. Eine klare Abgrenzung solcher Phasen lässt sich in einem Bauprojekt schwieriger vornehmen, da die Prozessverläufe von Projekt zu Projekt stark variieren können.

Je nach Dauer des Projekts sind langfristige Planungen zudem schwieriger vorzunehmen als in der Fertigungsindustrie. Ein weiterer Faktor, der die Planung erschweren kann, ist die kundenorientierte Einzelfertigung. Dabei werden die auszuführenden Leistungen ausschließlich vom Auftraggeber (AG) vorgegeben. Außerdem sind kurzfristige Änderungen seitens des AG nicht unüblich.³⁸ Insgesamt werden dementsprechend sowohl Planung als auch Ausführung durch die Arbeit in individuellen Projekten erschwert. Da mit der Leistungserstellung außerdem erst begonnen werden kann, wenn der Auftrag eingegangen ist, kann im Gegensatz zur Fertigungsindustrie nicht vorproduziert werden, wodurch ein Bauunternehmen wiederum abhängiger von seinem Auftraggeber ist. Des Weiteren spielen externe Einflüsse wie

³⁸ BWI-Bau (2013), S. 17-19

Genehmigungsverfahren oder Witterung in der Bauwirtschaft eine größere Rolle.³⁹ Diese Faktoren sind in den zuvor beschriebenen Reifegradmodellen nicht berücksichtigt, da diese von relativ konstanten Bedingungen innerhalb des Unternehmens bzw. innerhalb eines Unternehmensbereichs ausgehen. Eine Messung von technologischen Reifegraden unabhängig von externen Faktoren ist daher in Industrie 4.0 nicht gegeben.

Die Arbeitsprozesse werden zudem durch das Zusammenspiel vieler verschiedener Akteure wie Nachunternehmer oder Lieferanten deutlich erschwert. Auch diese können von Projekt zu Projekt und teilweise auch innerhalb eines Projektes mehrmals wechseln. Dies kann zu einer hohen Fragmentierung innerhalb eines Projekts führen, was die Kommunikations- und Koordinationsprozesse deutlich erschweren kann. In der Industrie hingegen wird in der Regel mit bekannten Unternehmen zusammengearbeitet, was die Abstimmung der einzelnen Prozesse erleichtert. Zwar werden die organisatorischen Strukturen in den Industrie-Modellen behandelt, diese stoßen jedoch bei Bauprojekten an ihre Grenzen, da diese nicht auf kurzfristige und dynamische Änderungen ausgelegt sind. Eine Vereinheitlichung zwischen industrie- und bauspezifischen Modellen ist also auch hier nicht zielführend.

Im Hinblick auf die Ermittlung des Digitalisierungsreifegrads eines Bauunternehmens unterstreicht dies also erneut, dass die bekannten Reifegradmodelle nicht uneingeschränkt auf die Bauwirtschaft übertragbar sind, da diese sich vor allem in Bezug auf die Produkte bzw. Produktion oftmals auf standardisierte, repetitive Prozesse beziehen, die hinsichtlich des Digitalisierungsgrads einfacher zu messen und zu bewerten sind. Durch die fehlende Standardisierung wird dies in Bauunternehmen erheblich verkompliziert. Dennoch können Strukturen und einzelne Methoden der Industrie 4.0-Reifegradmodelle durchaus auch als Grundlage zur Entwicklung eines bauspezifischen Reifegradmodells dienen. Diese müssen jedoch so weiterentwickelt werden, dass sie den Anforderungen der Baubranche gerecht werden. Beispielsweise könnte die Untergliederung in verschiedene Dimensionen wie Technologie, Organisation und Mensch beibehalten werden, jedoch müssen die Bewertungsmaßstäbe und verschiedene Ausprägungsstufen an die Projektspezifikationen und hohe Fragmentierung der

³⁹ Berner (2020), S. 25-31

Bauprozesse angepasst werden. Eine genaue Prüfung der geeigneten Kriterien erfolgt im weiteren Verlauf.

3.2 Herausarbeitung branchenspezifischer Anforderungen

Aufgrund der in Kapitel 3.1 aufgezeigten Grenzen der Anwendbarkeit der Industrie 4.0-Reifegradmodelle auf die Bauindustrie ist es notwendig, die strukturellen Besonderheiten, Prozesse und Herausforderungen der Baubranche in einem weiterentwickelten Modell zu berücksichtigen. Als Basis dafür soll dennoch ein Reifegradmodell aus der Industrie herangezogen werden. Grundsätzlich liefern alle in Kapitel 2 beschriebenen Modelle gute Ansätze für die Bewertung des Reifegrads. Jedoch bieten nicht alle die gleiche Eignung bzw. Anpassungsfähigkeit für die Bauwirtschaft. So ist das Modell Industrie 4.0 Assessment vor allem auf automatisierte Fertigungsprozesse ausgelegt und berücksichtigt die projektbasierte Struktur der Bauwirtschaft nicht. Mit InAsPro hingegen ist eine detaillierte Analyse der IT-Systemintegration möglich. Allerdings ist auch dieses Modell nahezu ausschließlich auf homogene Prozesse anwendbar. DigiTAMM fokussiert sich zwar ebenfalls auf Fertigungsunternehmen, allerdings bietet es einen ganzheitlicheren Ansatz zur Reifegradermittlung. Zudem ist das Modell übersichtlich aufgebaut und die Struktur kann entsprechend flexibel angepasst werden. Aus diesem Grund dient das Modell DigiTAMM von Leyh und Sames als Basis für die Modellanpassung. Nichtsdestotrotz lassen sich einzelne Aspekte der anderen Modelle wie beispielsweise die prozessorientierte Betrachtungsweise des Industrie 4.0 Assessments oder die strukturierte Aufteilung in Handlungsfelder des InAsPro als sinnvolle Ergänzungen einbauen. Eine detailliertere Prüfung der Verwendung einzelner Bestandteile aus Industrie 4.0-Reifegradmodelle erfolgt im weiteren Verlauf. In diesem Kapitel sollen branchenspezifische Anforderungen sowie erste Umsetzungsmöglichkeiten herausgearbeitet werden.

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, steht in Bauunternehmen in der Regel die Projektarbeit im Fokus. Die einzelnen Projekte sind üblicherweise in ihrer Dauer begrenzt und zeichnen sich durch ihre dynamischen Strukturen und häufig wechselnden Projektbeteiligten aus. Aufgrund dessen ist die Reifegradbewertung der organisatorischen Struktur im Vergleich zu den Modellen aus Industrie 4.0 anzupassen. Eine Bewertung dieser Struktur kann somit in der Bauindustrie auch auf Projektebene erfolgen.

Bauprojekte zeichnen sich außerdem durch ihre Einmaligkeit aus. So unterscheidet sich jedes Projekt in Bezug auf Standort, Beteiligte, technische sowie organisatorische Anforderungen. Dies erschwert die Etablierung standardisierter, durchgängiger Prozesse, auf denen die Industrie und damit auch deren Reifegradmodelle bekanntlich aufbauen. Dies stützt die Anforderung an ein flexibel aufgebautes Modell. Um das Modell relevant für Unternehmen verschiedener Größen und Tätigkeitsfelder zu machen, bietet es sich an, die verschiedenen Bewertungsindikatoren mit einer Gewichtung nach den jeweiligen Anforderungen anpassbar zu gestalten. So kann zum Beispiel ein kleineres Unternehmen für sich unwichtige Indikatoren ausblenden oder von der Bewertung ausschließen. Dafür ist ebenfalls eine Bewertung basierend auf Selbsteinschätzungen von Vorteil.

Wie bereits angedeutet, können Struktur und Bewertungslogik durchaus aus dem Reifegradmodell DigiTAMM von Leyh und Sames übernommen werden. Vor allem die Definition der Reifegradstufen und die klaren Zielvorgaben innerhalb der jeweiligen Merkmale tragen zu einer erleichterten Orientierung und Bewertung bei.

Als nächstes stellt sich dabei die Frage, welche Kategorien, Dimensionen bzw. Handlungsfelder für das Reifegradmodell Bau relevant sind. Aus den Industrie 4.0- Reifegradmodellen extrahierte und um bauspezifische Aspekte angereicherte Vorüberlegungen dienen als Basis für strukturierte Experteninterviews zur Entwicklung des Modells.

4 Entwicklung eines branchenspezifischen Reifegradmodells

4.1 Methodik und Interviewdesign

Für die Experteninterviews werden die Erfahrungen von mehreren Fachleuten aus der Bauwirtschaft zweier renommierter Baukonzerne genutzt. So sollen mögliche Lücken dieses Ansatzes identifiziert und das Modell hinsichtlich der Praxisrelevanz weiter angepasst und konkretisiert werden. Die Ergebnisse der Experteninterviews sind in die Überarbeitung des Modells eingeflossen. Im nachfolgenden Kapitel wird es vorgestellt.

4.2 Modellentwicklung und Strukturierung der Reifegradstufen

Das Reifegradmodell für die Bauwirtschaft umfasst die vier Kategorien „Digitale Projektprozesse“ (neun Merkmale), „IT-Systeme & Dateninfrastruktur“ (fünf

Merkmale), „Mitarbeiter“ (vier Merkmale) und „Informationssicherheit“ (sieben Merkmale). Im Nachfolgenden werden alle Kategorien und ihre Merkmale erläutert.

Kategorie 1: „Digitale Projektprozesse“

Die Kategorie „Digitale Projektprozesse“ beinhaltet die wichtigsten Prozesse im Rahmen der Bauprojektentwicklung. Dazu zählen sowohl übergeordnete Themen wie beispielsweise Dokumentenmanagement als auch operative Prozesse, die direkt zur Leistungserstellung und -dokumentation beitragen. Darin enthalten sind die Merkmale „Digitale Bauakte“, „Digitales Bautagebuch“, „Digitales Nachtragsmanagement“, „Digitale Mängel- und Qualitätsdokumentation“, „Digitale Leistungsfeststellung“, „Digitale Bauzeitenplanung“, „Digitale Planprüfung“, „Digitale Rechnungsprüfung“ und „Digitalisierung der Einkaufsprozesse“.

Merkmal „Digitale Bauakte“

Das Merkmal „Digitale Bauakte“ behandelt die digitale Verwaltung projektbezogener Dokumente. Der Reifegrad reicht von einer rein physischen Dokumentenablage bis hin zu zentralen, cloudbasierten und mit anderen Programmen verknüpften Systemen (s. Tabelle 5).

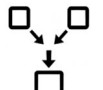
Digitale Bauakte		
Stufe 1		Keine digitale Ablage, Dokumente nur physisch vorhanden.
Stufe 2		Digitale Ablage von Dokumenten (z. B. PDF), aber unsystematisch und dezentral.
Stufe 3		Zentrale digitale Bauakte mit einheitlicher Struktur pro Projekt vorhanden.
Stufe 4		Integration mit anderen Systemen (z. B. Nachtragsmanagement, Pläne).
Stufe 5		Vollständig strukturierte, cloudbasierte Bauakte mit automatisierter Versionierung und Zugriffskontrolle. Alle Projektdaten sind im digitalen Zwilling des Bauwerks integriert, sodass sämtliche Änderungen in Echtzeit erfasst und das Modell des Bauwerks fortlaufend aktualisiert wird.

Tabelle 5: „Merkmal Digitale Bauakte“

Merkmal „Digitales Bautagebuch“

Im Bautagebuch werden der aktuelle Baufortschritt, Einsatzdaten von Personal und Geräten sowie sonstige Ereignisse auf der Baustelle dokumentiert. Es wird zudem in der Regel dem Bauherrn vorgelegt, um die Aktivitäten auf der Baustelle nachvollziehen zu können. Die Bandbreite der Reifegradstufen reicht von einer rein handschriftlichen Führung bis hin zu einer vollautomatisierten Erfassung mithilfe von Drohnen und Sensoren (s. Tabelle 6).

Digitales Bautagebuch		
Stufe 1		Bautagebuch wird handschriftlich geführt.
Stufe 2		Bautagesberichte werden als Word/PDF digitalisiert, jedoch ohne feste Struktur.
Stufe 3		Softwaregestütztes Bautagebuch mit Fotos, Wetterdaten und standardisierten Eingabemasken.
Stufe 4		Automatische Datenübernahme aus anderen Systemen (z. B. Zeiterfassung, GPS).
Stufe 5		Echtzeit-Dokumentation mit mobiler App; KI-gestützte Vorschläge für Einträge. Vollautomatisierte Erfassung mithilfe von Einsatz von Drohnen und Sensoren.

Tabelle 6: Merkmal „Digitales Bautagebuch“

Merkmal „Digitales Nachtragsmanagement“

Das Nachtragsmanagement umfasst die strukturierte Bearbeitung und Nachverfolgung von Nachträgen in einem Bauprojekt. Während in der ersten Stufe Nachträge noch manuell erfasst und kommuniziert werden, werden Nachtragsdaten im höchsten Reifegrad mithilfe von KI-basierten Assistenzfunktionen analysiert und zur Verbesserung zukünftiger Nachtragsprozesse verwendet. Tabelle 7 zeigt alle Stufen mit Erläuterung.

Digitales Nachtragsmanagement		
Stufe 1		Nachträge werden ausschließlich manuell und papierbasiert erfasst, dokumentiert und kommuniziert. Es existieren keine digitalen Prozesse.
Stufe 2		Einzelne Schritte (z. B. Erfassung im PDF oder E-Mail-Versand) erfolgen digital, aber ohne systematische Struktur oder Nachverfolgbarkeit.
Stufe 3		Nachträge werden einheitlich in einer digitalen Lösung erfasst und verwaltet. Es gibt definierte digitale Abläufe, z. B. Freigabeprozesse.
Stufe 4		Das Nachtragsmanagement ist mit anderen Systemen (z. B. Kalkulation, Bauakte) verknüpft. Beteiligte erhalten automatische Benachrichtigungen.
Stufe 5		Nachtragsdaten werden systematisch analysiert (z. B. Häufungen, Ursachen) und zur Prozessverbesserung verwendet. KI- oder regelbasierte Assistenzfunktionen sind integriert.

Tabelle 7: Merkmal „Digitales Nachtragsmanagement“

Merkmal „Digitale Mängel- und Qualitätsdokumentation“

Im Merkmal „Digitale Mängel- und Qualitätsdokumentation“ werden die Erfassung, Verwaltung und Nachverfolgung von Mängeln sowie Maßnahmen zur Qualitätssicherung aufgegriffen (s. Tabelle 8). Das Spektrum reicht hierbei von ausschließlich handschriftlichen Dokumentationen bis hin zu einer KI-gestützten Erfassung, Analyse und Prozessverbesserung. Außerdem kann die Effizienz der Prozesse in der höchsten Ausprägungsstufe durch den Einsatz von Drohnen oder Scannern verbessert werden.

Digitale Mängel- und Qualitätsdokumentation		
Stufe 1		Nur handschriftliche Dokumentation.
Stufe 2		Einzelne Schritte (z. B. Erfassung im PDF/Excel oder E-Mail-Versand mit Fotodokumentation) erfolgen digital, aber ohne systematische Struktur oder Nachverfolgbarkeit.
Stufe 3		Mängel werden einheitlich in einer digitalen Lösung erfasst und verwaltet. Es gibt definierte digitale Abläufe, z. B. Freigabeprozesse.
Stufe 4		Mangel-/Qualitätsdokumentation ist mit anderen Systemen (z. B. ERP-System, Bauakte) verknüpft. Beteiligte erhalten automatische Benachrichtigungen.
Stufe 5		Mängel-/Qualitätsdaten werden systematisch dokumentiert, analysiert (z. B. Häufungen, Ursachen, Optimierungen) und zur Prozessverbesserung verwendet. KI- oder regelbasierte Assistenzfunktionen sind integriert. Mängelerfassung durch Drohneneinsatz/Scans.

Tabelle 8: Merkmal „Digitale Mängel- und Qualitätsdokumentation“

Merkmal „Digitale Leistungsfeststellung“

Gegenstand des Merkmals ist die Erfassung, Prüfung und Freigabe von Bauleistungen als Grundlage für die Abrechnung (s. Tabelle 9). Dazu zählen unter anderem die Erstellung von Feldaufmaßen und Regieberichten. In der niedrigsten Reifegradstufe wird auch hier lediglich mit einer handschriftlichen Dokumentation und Weiterbearbeitung gearbeitet, während die höchste Stufe durch den Einsatz von Drohnen zur Erfassung der Leistungen sowie einer Integration in weitere Programme und Bauwerksmodelle geprägt ist.

Digitale Leistungsfeststellung		
Stufe 1		Nur handschriftliche Dokumentation (z.B. örtliche Aufmaße, Regieberichte).
Stufe 2		Einzelne Schritte (z. B. Erfassung im PDF/Excel oder E-Mail-Versand mit Fotodokumentation) erfolgen digital, aber ohne systematische Struktur oder Nachverfolgbarkeit.
Stufe 3		Leistungen werden einheitlich in einer digitalen Lösung erfasst und verwaltet. Es gibt definierte digitale Abläufe.
Stufe 4		Leistungen werden durch Schnittstellen in verknüpftes Abrechnungs-/Controllingprogramm erfasst; Integration in Bauwerksmodell (z.B. BIM).
Stufe 5		Leistungserfassung durch Drohneneinsatz/Scans; KI- oder regelbasierte Assistenzfunktionen sind integriert; Integration in Abrechnungs-/Controllingprogramm bzw. ERP-System.

Tabelle 9: Merkmal „Digitale Leistungsfeststellung“

Merkmal „Digitale Bauzeitenplanung“

Hierbei wird die zeitliche Planung von Bauprojekten aufgegriffen. Dazu zählt unter anderem auch die Berücksichtigung von Abhängigkeiten im Bauablauf und Pufferzeiten sowie die laufende Fortschrittsverfolgung. Die Bandbreite der Ausprägungsstufen reicht von einer manuellen und papierbasierten Bauzeitenplanung ohne digitale Prozesse bis hin zu einer Verknüpfung mit anderen Programmen und automatisierten Fortschreibungen der Pläne. Auch hier wird KI zur Identifikation von Verschiebungen im Terminplan eingesetzt (s. Tabelle 10).

Digitale Bauzeitenplanung		
Stufe 1		Bauzeitenplanung erfolgt ausschließlich manuell und papierbasiert, es existieren keine digitalen Prozesse.
Stufe 2		Einzelne Schritte (z. B. Erfassung im PDF/Excel oder E-Mail-Versand mit Fotodokumentation) erfolgen digital, aber ohne systematische Struktur oder Nachverfolgbarkeit.
Stufe 3		Pläne werden einheitlich in einer digitalen Lösung erfasst und verwaltet. Es gibt definierte digitale Abläufe.
Stufe 4		Leistungen werden durch Schnittstellen in verknüpften Bautagesberichten/Leistungsmeldungen erfasst; Integration in Bauwerksmodell (z.B. BIM).
Stufe 5		Verknüpfung in ERP-System; Zusammenspiel mit anderen Programmen, automatisierte Aktualisierung/Fortschreibung (Lean Management) - KI-Einsatz für Identifikation von Verschiebungen.

Tabelle 10: Merkmal „Digitale Bauzeitenplanung“

Merkmal „Digitale Planprüfung“

Die digitale Planprüfung beschreibt die Prüfung und Freigabe von Plänen innerhalb des Projektteams (s. Tabelle 11). Auch hier existiert anfangs nur ein handschriftlicher Prüf- und Freigabeprozess. Im höchsten Reifegrad werden alle Pläne in einer einheitlichen digitalen Lösung erfasst und es gibt Schnittstellen mit den Planmanagement-Programmen externer Prüfinstanzen. Zusätzlich werden KI-gestützte Zeichnungs- und Prüfungsprogramme verwendet.

Digitale Planprüfung		
Stufe 1		Handschriftlicher Prüf- und Freigabeprozess.
Stufe 2		Einzelne Schritte (z. B. Erfassung im PDF/Excel oder E-Mail-Versand) erfolgen digital, aber ohne systematische Struktur oder Nachverfolgbarkeit.
Stufe 3		Pläne werden einheitlich in einer digitalen Lösung erfasst und verwaltet. Es gibt definierte digitale Abläufe, z. B. EPLASS, ThinkProject.
Stufe 4		Pläne werden einheitlich in einer digitalen Lösung erfasst und verwaltet. Es gibt definierte digitale Abläufe, z. B. EPLASS, ThinkProject; Schnittstellen mit Prüfinstanzen abgestimmt und vereinheitlicht.
Stufe 5		Verwendung KI-gestützter Zeichnungs- und Prüfungsprogramme.

Tabelle 11: Merkmal „Digitale Planprüfung“

Merkmal „Digitale Rechnungsprüfung“

Das Merkmal „Digitale Rechnungsprüfung“ beschreibt den digitalen Reifegrad bei der Erfassung, Prüfung und Freigabe von Eingangsrechnungen. Während die niedrigste Ausprägungsstufe durch einen physischen Rechnungserhalt, manuelle Verteilung und handschriftliche Prüfung durch das Projektteam geprägt ist, werden in Stufe 5 die Rechnungen in Echtzeit von Kreditoren in das ERP-System hochgeladen. Darauf folgt eine automatisierte Rechnungsprüfung durch den Einsatz von KI sowie eine automatische Übertragung der Rechnung in das Cost-Control-System des Projekts (s. Tabelle 12).

Digitale Rechnungsprüfung		
Stufe 1		Physischer Rechnungserhalt; manuelle Verteilung auf Projekte; Handschriftliche Prüfung durch Projektteam.
Stufe 2		Digitaler Rechnungserhalt (z.B. PDF); manuelle Verteilung auf Projekte (z.B. per Mail); manuelle Prüfung durch Projektteam.
Stufe 3		Digitaler Rechnungserhalt (z.B. PDF); digitales Einlesen, automatisierte Speicherung & Erfassung für Workflow; Prüfung erfolgt durch Projektteam in digitalem Workflow.
Stufe 4		Massenprüfung erfolgt KI-gestützt, restliche Prüfung und Freigabe erfolgt durch das Projektteam in digitalem Workflow.
Stufe 5		Echtzeit-Rechnungserhalt in System (Schnittstelle mit Lieferanten, Nachunternehmern, etc.); automatisierte Rechnungsprüfung durch KI (Manuelle Abschlusskontrolle); automatische Übertragung in Cost-Control-System.

Tabelle 12: Merkmal „Digitale Rechnungsprüfung“

Merkmal „Digitalisierung der Einkaufsprozesse“

Darin wird die Abwicklung von Bestellvorgängen, Ausschreibungen sowie Lieferabrufen in einem Projekt behandelt. In der untersten Stufe finden lediglich mündliche Absprachen mit möglichen Auftragnehmern statt. In der höchsten Ausprägungsstufe ist der Vergabeterminplan des Einkaufs mit dem Cost-Control-System verknüpft. Bei einer Vergabe werden die verhandelten Preise automatisch in dieses System importiert. Auch die Ausschreibungen finden automatisiert auf Grundlage des Vergabeterminplans statt. Zudem werden automatisch neue Lieferabrufe versendet, sobald der Lagerbestand unter ein bestimmtes Niveau sinkt (s. Tabelle 13).

Digitalisierung der Einkaufsprozesse		
Stufe 1		Mündliche Absprachen mit Lieferanten/Nachunternehmer (NU).
Stufe 2		E-Mail-Ausschreibung (Preisanfrage), schriftliche Bestellung und Vertrag.
Stufe 3		Vergaben erfolgen über ein digitales Ausschreibungsprogramm; alle Schritte wie Angebotsauswertung und Kommunikation mit Bietern werden manuell durchgeführt. Es gibt keine automatisierten Workflows oder Systemunterstützung.
Stufe 4		Ausschreibungen und Vergaben laufen über eine gemeinsame Plattform mit automatisierten Workflows. Bieter laden Angebote selbst hoch, interne Prozesse wie Prüfung, Freigabe und Bestellung sind teilweise automatisiert.
Stufe 5		Verknüpfung von Vergabeterminplan mit Cost-Control-System. Automatisierte Ausschreibung und Vergabe; automatische Abrufe, wenn Lagerbestand sinkt und weitere Mengen benötigt werden.

Tabelle 13: Merkmal „Digitalisierung der Einkaufsprozesse“

Kategorie 2: „IT-Systeme & Dateninfrastruktur“

Diese Kategorie bewertet den Stand und die Integration zentraler IT-Systeme, die für die Durchführung digitaler Projektprozesse notwendig sind. Dazu zählen sowohl Hardware- als auch Softwarelösungen. Darin enthalten sind die Merkmale „Geräte- und Baustellenlogistik“, „Integration mobiler Endgeräte“, „Nutzung digitaler Bauwerksmodelle (BIM-Fähigkeit)“, „Intelligente Bauteile & vernetzte Objekte (IoT)“ und „Nutzung von ERP-Systemen für Bauprojekte“.

Merkmal „Geräte- und Baustellenlogistik“

Das Merkmal „Geräte- und Baustellenlogistik“ (s. Tabelle 14) beinhaltet die Organisation und Nachverfolgung von Geräten, Maschinen und Material auf der Baustelle. Die Reifegradstufen reichen von keiner oder nur teilweiser Planung und Kommunikation bis hin zum Einsatz von GPS-Tracking und Optimierungsalgorithmen für den Ressourceneinsatz. Dies schließt auch die Auswertung historischer Daten zur Verbesserung zukünftiger Prozesse ein.

Geräte- und Baustellenlogistik		
Stufe 1		Keine digitale Planung oder Nachverfolgung.
Stufe 2		Excel-Listen, teilweise digitale Kommunikation.
Stufe 3		Software zur Einsatzplanung und -verfolgung vorhanden.
Stufe 4		GPS-Tracking, Materialverfolgung in Echtzeit.
Stufe 5		Optimierungsalgorithmen für Ressourceneinsatz, Auswertung historischer Daten.

Tabelle 14: Merkmal „Geräte- und Baustellenlogistik“

Merkmal „Integration mobiler Endgeräte“

Der Fokus dieses Merkmals ist der Einsatz mobiler Endgeräte wie Smartphones oder Tablets auf der Baustelle und wie diese in die Projektprozesse eingebunden sind (s. Tabelle 15). Der niedrigste Reifegrad besteht hierbei in der Nutzung der Endgeräte ausschließlich für Telefonate. Die Einsatzfälle der Geräte steigern sich über die verschiedenen Ausprägungsstufen bis hin zu einer integrierten Datenerfassung auf vernetzten mobilen Geräten, einschließlich einer automatisierten Weiterverarbeitung. Die Erfassung der Daten kann dabei beispielweise durch den Einsatz von KI oder QR-Codes erfolgen.

Integration mobiler Endgeräte		
Stufe 1		Mobile Endgeräte werden ausschließlich für Telefonate genutzt.
Stufe 2		Einsatz mobiler Endgeräte für grundlegende digitale Kommunikation (E-Mail, Dokumentenzugriff, etc.).
Stufe 3		Integration der Geräte in IT-Infrastruktur des Unternehmens; Zugriff auf projektbezogene Daten und Dokumente möglich.
Stufe 4		Vernetzung der Geräte - Möglichkeit zur Erfassung bauwerkspezifischer Daten, Schnittstelle mit Bauherrn, Nachunternehmern, Lieferanten, etc.); Verschlüsselte Datenübermittlung, digitale Unterschriften; automatisierte Ablage in PM-System.
Stufe 5		Integrierte Datenerfassung auf mobilen Geräten und automatisierte Weiterverarbeitung, z.B. durch KI oder QR-Codes.

Tabelle 15: Merkmal „Integration mobiler Endgeräte“

Merkmal „Nutzung digitaler Bauwerksmodelle (BIM-Fähigkeit)“

Das Merkmal Nutzung digitaler Bauwerksmodelle beschreibt den Einsatz von Bauwerksmodellen im Rahmen der Planung, Koordination und Ausführung von Bauprojekten auf. In Stufe 1 erfolgen die Planungen lediglich durch 2D-Zeichnungen. Der höchstmögliche Reifegrad zeichnet sich durch kommunizierende Systeme aus. Das bedeutet, dass das Projektprozessmanagement BIM-gestützt erfolgt, wobei alle Projektbeteiligten in einem integrierten Modell arbeiten (s. Tabelle 16).

Nutzung digitaler Bauwerksmodelle (BIM-Fähigkeit)		
Stufe 1		Keine Nutzung von BIM-Modellen; Planung erfolgt nur mit 2D-CAD-Zeichnungen, -Texten & -Listen.
Stufe 2		Konventionelle Kollaboration: 2D- und 3D-Modelle zur Visualisierung & Abstimmung (Clash-Detection).
Stufe 3		Manuelle modellbasierte Kollaboration der einzelnen Gewerke: Mengen- und Massenermittlung sowie 4D + 5D Planung und Qualitätsprüfungen finden in einem Modell statt; Verknüpfung mit Leistungsverzeichnis.
Stufe 4		Integrierte, modellbasierte Kollaboration mit offenen Datenstandards für den Dateiaustausch (IFC); integrale Planung, Simulation & Optimierung erfolgt durch alle Projektbeteiligten.
Stufe 5		Kommunizierende Systeme: BIM-gestütztes Prozessmanagement (alle Projektbeteiligte arbeiten modellbasiert und integriert).

Tabelle 16: Merkmal „Nutzung digitaler Bauwerksmodelle (BIM-Fähigkeit)“

Merkmal „Intelligente Bauteile & vernetzte Objekte (IoT)“

Dieses Merkmal fokussiert sich auf den Einsatz von smarten Geräten und Sensoren zur Erfassung und Verarbeitung von Echtzeitdaten auf der Baustelle (s. Tabelle 17). In der niedrigsten Stufe findet kein Einsatz dieser Methoden statt. Der Digitalisierungsgrad steigert sich dann über Datenmessungen mithilfe von einfachen Sensoren bis hin zum Einsatz von autonomen Systemen wie Drohnen oder Robotern.

Intelligente Bauteile & vernetzte Objekte (IoT)		
Stufe 1		Kein Einsatz von intelligenten Bauteilen und vernetzten Objekten.
Stufe 2		Datenmessungen mithilfe von einfachen Sensoren (z.B. Laser, Temperaturmesser, etc.; manuelle Auswertung der Daten).
Stufe 3		Automatisiertes Messungsmonitoring, Auswertung erfolgt durch Projekt.
Stufe 4		Automatisiertes Messungsmonitoring & Auswertung.
Stufe 5		Einsatz von autonomen Systemen (z.B. Drohnen & Roboter) zur Massenermittlung, Baufortschrittskontrolle, etc.

Tabelle 17: Merkmal „Intelligente Bauteile & vernetzte Objekte (IoT)“

Merkmal „Nutzung von ERP-Systemen für Bauprojekte“

Das letzte Merkmal aus der Kategorie 2 „Nutzung von ERP-Systemen für Bauprojekte“ beschreibt den Einsatz von ERP-Systemen zur Erfassung kaufmännischer und operativer Daten und zur Steuerung der Projektprozesse (s. Tabelle 18). Auch hier findet ein solches System in der untersten Ausprägungsstufe keine Anwendung und in der folgenden Stufe nur für übergeordnete Prozesse, wie beispielsweise die Buchhaltung. Im höchsten Reifegrad kann das ERP-System Echtzeitdaten verarbeiten und mithilfe von KI Prozesse automatisiert ausführen.

Nutzung von ERP-Systemen für Bauprojekte		
Stufe 1		Keine Nutzung von ERP-Systemen.
Stufe 2		Einsatz eines ERP-Systems nur für zentrale Prozesse (z.B. Buchhaltung).
Stufe 3		Teilweise Verwendung für projektbezogene Prozesse (z.B. Einkaufsprozesse, Massenermittlungen, Budgetverfolgung, etc.).
Stufe 4		Durchgängige Nutzung eines ERP-Systems für zentrale sowie projektbezogene Prozesse; alle projektrelevanten Daten sind im ERP-System integriert.
Stufe 5		ERP-System verarbeitet Echtzeitdaten und kann Prozesse automatisiert ausführen (KI-gestützt.)

Tabelle 18: Merkmal „Nutzung von ERP-Systemen für Bauprojekte“

Kategorie 3: „Mitarbeiter“

Diese Kategorie fokussiert sich auf die Kompetenz der Mitarbeiter hinsichtlich digitaler Systeme und Prozesse sowie die Einbindung der Mitarbeiter in die Weiterentwicklung digitaler Themen. Sie beinhaltet die Merkmale „Digitale Grundkompetenz & Weiterbildung“, „Feedbackkultur zu digitalen Prozessen“, „Digitale Bauanleitungen & Unterstützung für gewerbliche Mitarbeiter“ und „Rollen & Verantwortlichkeiten für Digitalisierung“.

Merkmal „Digitale Grundkompetenzen & Weiterbildung“

Das erste Merkmal aus der Kategorie 3 ist „Digitale Grundkompetenz & Weiterbildung“. Es behandelt allgemein das digitale Wissen und die Fähigkeiten der Mitarbeiter im Umgang mit digitalen Systemen, Software oder Ähnlichem. Während in Stufe 1 noch große Wissenslücken bei digitalen Anwendungen herrschen, gibt es in Stufe 5 ein sogenanntes internes „Digitalteam“, dass für eine proaktive Entwicklung der digitalen Kompetenzen sorgen soll. In den Stufen 3 und 4 wird die Weiterbildung adressiert. Das beginnt über Lernen durch Wissenstransfer von erfahrenen Mitarbeitern bis hin einem vollumfänglichen Weiterbildungsangebot, das sich an den jeweiligen Funktionen der Mitarbeiter orientiert und in regelmäßigen Abständen verpflichtend ist.

Digitale Kompetenzen & Weiterbildung		
Stufe 1		Große Wissenslücken bei digitalen Anwendungen; keine Weiterbildungsangebote vorhanden.
Stufe 2		Einzelne Mitarbeiter mit Basiswissen; Lernen erfolgt überwiegend durch Ausprobieren (Learning by Doing).
Stufe 3		Grundwissen ist durch regelmäßige Schulungen und Wissenstransfer durch erfahrene Mitarbeiter breit vorhanden.
Stufe 4		Breites Schulungsangebot mit gezielter Weiterbildung in Fachanwendungen; dazu zählen individuelle sowie Team-Schulungen.
Stufe 5		Proaktive Entwicklung digitaler Kompetenzen durch interne "Digitalteams". Weiterbildungen finden funktionsbezogen und regelmäßig statt und sind verpflichtend für alle Mitarbeiter.

Tabelle 19: Merkmal „Digitale Kompetenzen & Weiterbildung“

Merkmal „Feedbackkultur zu digitalen Prozessen“

Digitale Prozesse sind über die Zeit nicht statisch, sondern unterliegen einem Wandel und Optimierungen. In diesem Merkmal wird aufgezeigt, in welchem Rahmen Rückmeldungen der Mitarbeiter zu Optimierung digitaler Prozesse genutzt werden. Anfangs herrscht keine Feedbackkultur. Diese verbessert sich über vereinzelte Rückmeldungen und sporadische Umsetzungen bis hin zu einer laufenden digitalen Prozessoptimierung in enger Abstimmung mit den Mitarbeitern (s. Tabelle 20).

Feedbackkultur zu digitalen Prozessen		
Stufe 1		keine Feedbackkultur zu digitalen Prozessen vorhanden.
Stufe 2		Mitarbeiter werden regelmäßig zu Feedback aufgefordert, Umsetzung erfolgt jedoch selten.
Stufe 3		Vereinzelte Rückmeldungen werden aufgenommen, jedoch nur sporadisch zur Prozessoptimierung genutzt.
Stufe 4		Aktive Feedbackkultur durch die Mitarbeiter; ausgewählte Rückmeldungen werden bei Prozessoptimierungen berücksichtigt.
Stufe 5		Digitale Prozessoptimierung erfolgt laufend in enger Abstimmung mit operativen Mitarbeitenden.

Tabelle 20: Merkmal „Feedbackkultur zu digitalen Prozessen“

Merkmal „Digitale Bauanleitungen & Unterstützung für gewerbliche Mitarbeiter“

Bei diesem Merkmal steht die Unterstützung für gewerbliche Mitarbeiter durch digitale Hilfsmittel im Fokus. Auch hier gibt es in der untersten Stufe keine digitalen Hilfsmittel. Der Reifegrad erhöht sich Schritt für Schritt durch die Einführung von PDF-Bauanleitungen oder Videos bis hin zu multilingualen und symbolbasierten Anleitungen und der Nutzung intelligenter Assistenzsysteme, wie beispielsweise Augmented-Reality (AR)-Brillen (s. Tabelle 21).

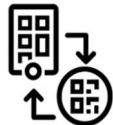
Digitale Bauanleitungen & Unterstützung für gewerbliche Mitarbeiter		
Stufe 1		Keine digitalen Anleitungen oder Hilfen.
Stufe 2		Schriftliche Anleitungen als PDF vorhanden.
Stufe 3		Videos oder visuelle Schritt-für-Schritt-Guides werden bereitgestellt.
Stufe 4		Multilinguale, symbolbasierte Anleitungen mit einfacher Navigation (z. B. via QR-Code am Bauteil).
Stufe 5		Nutzung intelligenter Assistenzsysteme (z. B. AR-Brille, Tablet oder Smart Device), die kontextbezogen Informationen bereitstellen.

Tabelle 21: Merkmal „Digitale Bauanleitungen & Unterstützung für gewerbliche Mitarbeiter“

Merkmal „Rollen & Verantwortlichkeiten für Digitalisierung“

Das letzte Merkmal aus der Kategorie 3 ist „Rollen & Verantwortlichkeiten für Digitalisierung“. Darin wird geklärt, wie klar Zuständigkeiten für digitale Themen im Unternehmen geregelt sind. In den niedrigeren Stufen gibt es keine Definition von Verantwortlichkeiten für digitale Themen. Eigenwissen der Mitarbeiter wird vorausgesetzt. Im höchsten Reifegrad gibt es IT-Verantwortliche auf Führungsebene und zusätzlich wird die Digitalisierung im Unternehmen durch einen dafür vorgesehenen Arbeitskreis vorangetrieben (s. Tabelle 22).

Rollen & Verantwortlichkeiten für Digitalisierung		
Stufe 1		keine Definition von Verantwortlichkeiten für digitale Themen.
Stufe 2		Eigenwissen der Mitarbeiter wird vorausgesetzt; keine zusätzlichen Verantwortlichen.
Stufe 3		Benennung von Ansprechpartnern für ausgewählte Anwendungen oder digitale Prozesse.
Stufe 4		Übergeordneter Ansprechpartner steht zur Verfügung; zusätzlich werden Berechtigungen unter den Mitarbeitern zugeordnet.
Stufe 5		Es gibt IT-Verantwortliche auf Führungsebene; Digitalisierung wird übergeordnet durch einen Arbeitskreis vorangetrieben.

Tabelle 22: Merkmal „Rollen & Verantwortlichkeiten für Digitalisierung“

Kategorie 4: „Informationssicherheit“

Die letzte Kategorie des Reifegradmodells zielt auf Maßnahmen zum Schutz digitaler Daten, Systeme und Geräte ab. Das Ziel ist es, besonders bei zunehmender Digitalisierung der Prozesse, die Vertraulichkeit von Informationen zu gewährleisten. Darin enthalten sind die Merkmale „Datensicherung“, „Rechtevergabe/Rollenkonzept“, „Schutz von Endgeräten“, „Maßnahmen zum Informationsschutz bei Cloud-Nutzung“, „Awareness & Schulungen zur Informationssicherheit“, „Notfallmanagement & Risikovorsorge“ und „Passwortsicherheit/Zugangsschutz“.

Merkmals „Datensicherung“

Das Merkmal beschreibt die Maßnahmen zur Vermeidung von Datenverlust im Unternehmen. Die Bandbreite reicht dabei von keinen oder unregelmäßigen Datensicherungen durch einzelne Mitarbeiter in den untersten Stufen bis hin zur Erstellung einer hochsicheren, auditierten Backupstrategie in der höchsten Digitalisierungsstufe (s. Tabelle 23).

Datensicherung		
Stufe 1		Keine geregelte Datensicherung vorhanden.
Stufe 2		Unregelmäßige, manuelle Sicherung durch einzelne Mitarbeiter.
Stufe 3		Regelmäßige, automatisierte Backups.
Stufe 4		Redundante Sicherungen auf externen Speicherorten.
Stufe 5		Hochsichere, auditierte Backupstrategie.

Tabelle 23: Merkmal „Datensicherung“

Merkmal „Rechtevergabe/Rollenkonzept“

Die Möglichkeiten von Rollen- und Berechtigungskonzepten eines Unternehmens bewertet und ordnet dieses Merkmal (s. Tabelle 24). Damit soll der Zugriff auf Systeme und Daten kontrolliert und gesteuert werden. In niedrigeren Stufen liegt dabei kein Rollenkonzept vor oder mehrere Nutzer greifen über ein einziges Konto auf die Daten zu. In den höheren Stufen liegt eine Rechteverwaltung mit Protokollierung oder eine dynamische, projektbezogene Rechtevergabe vor.

Rechtevergabe/Rollenkonzept		
Stufe 1		Kein Berechtigungskonzept.
Stufe 2		gleiche Nutzerkonten (Sammel-User).
Stufe 3		Personalisierte Zugänge mit festen Rollen.
Stufe 4		Rechteverwaltung mit Protokollierung.
Stufe 5		Dynamische, projektbezogene Rechtevergabe.

Tabelle 24: Merkmal „Rechtevergabe/Rollenkonzept“

Merkmal „Schutz von Endgeräten“

Dieses Merkmal konzentriert sich auf Maßnahmen zum Schutz von Endgeräten vor unbefugtem Zugriff und Datenverlust. Während Stufe 1 für keine definierte Schutzmaßnahmen steht, existiert im höchsten Reifegrad ein Mobile Device Management mit zentraler Verwaltung und der Möglichkeit zur Fernlöschung der Gerätedaten (s. Tabelle 25).

Schutz von Endgeräten		
Stufe 1		Keine Definition von Schutzmaßnahmen.
Stufe 2		Physischer Schutz (z.B. Schlosssicherung, abschließbare Räume).
Stufe 3		Verschlüsselung der Festplatte (Bitlocker).
Stufe 4		Login-Sicherung (z. B. Passwort, Face-ID).
Stufe 5		Mobile Device Management (MDM) mit zentraler Verwaltung und Fernlöschung.

Tabelle 25: Merkmal „Schutz von Endgeräten“

Merkmal „Maßnahmen zum Informationsschutz bei Cloud-Nutzung“

Bei der Nutzung externer Cloud-Dienste ergeben sich zusätzliche Anforderungen für den Schutz der unternehmensbezogenen Daten und Informationen. Darauf fokussiert sich dieses Merkmal. Der Reifegrad reicht von einer fehlenden Prüfung der Anbieter bis hin zum Abschluss von zusätzlichen Datenschutzvereinbarungen mit ausschließlich zertifizierten Cloud-Anbietern (s. Tabelle 26).

Maßnahmen zum Informationsschutz bei Cloud-Nutzung		
Stufe 1		keine Prüfung der Cloud-Anbieter.
Stufe 2		Allgemeine Nutzungsbedingungen werden akzeptiert.
Stufe 3		Prüfung der Anbieter auf Vertrauenswürdigkeit.
Stufe 4		Auswahl nur zwischen zertifizierten Cloud-Anbietern.
Stufe 5		Abschluss von zusätzlichen Datenschutzvereinbarungen mit Cloud-Anbietern.

Tabelle 26: Merkmal „Maßnahmen zum Informationsschutz bei Cloud-Nutzung“

Merkmal „Awareness & Schulungen zur Informationssicherheit“

Das Merkmal „Awareness & Schulungen zur Informationssicherheit“ bewertet die Sensibilisierung der Mitarbeiter für Risiken im Umgang mit digitalen Informationen und Systemen. In den unteren Stufen werden keine Maßnahmen zur Sensibilisierung der Mitarbeiter vorgenommen, während in höheren Stufen regelmäßige Schulungen und Phishing-Tests zum Maßnahmenkatalog hinzugefügt werden. Im höchsten Reifegrad können Mitarbeiter erst nach der erfolgreichen Absolvierung einer entsprechenden Schulung auf die Daten und Programme zugreifen (s. Tabelle 27).

Awareness & Schulungen zur Informationssicherheit		
Stufe 1		Keine Sensibilisierung.
Stufe 2		Ausgedrucktes Regelwerk/Broschüre vorhanden.
Stufe 3		Regelmäßige Schulungen.
Stufe 4		Durchführung von Phishing-Tests.
Stufe 5		Zugang zu Daten/Programmen erst nach erfolgreicher absolvierter Schulung.

Tabelle 27: Merkmal „Awareness & Schulungen zur Informationssicherheit“

Merkmal „Notfallmanagement & IT-Risikovorsorge“

Dieses Merkmal fokussiert sich auf die Vorbereitung auf IT-Ausfälle und Sicherheitsvorfälle. Dabei sind in der ersten Stufe keine Notfallpläne vorhanden. Dies steigert sich dann über eine Erstellung und Priorisierung von Notfallplänen bis hin zur regelmäßigen Durchführung von theoretischen sowie praktischen Tests und einer anschließenden Aktualisierung der Pläne (s. Tabelle 28).

Notfallmanagement & IT-Risikovorsorge		
Stufe 1		Keine Notfallpläne vorhanden.
Stufe 2		Erstellung von Notfallplänen (z.B. Business Continuity Management).
Stufe 3		Priorisierung der Notfallpläne erfolgt.
Stufe 4		Regelmäßige theoretische Tests und Aktualisierungen der Pläne.
Stufe 5		Regelmäßige praktische Tests und Aktualisierungen der Pläne.

Tabelle 28: Merkmal „Notfallmanagement & IT-Risikovorsorge“

Merkmal „Passwortsicherheit/Zugangsschutz“

Das letzte Merkmal aus dieser Kategorie bewertet die Maßnahmen zum Schutz von Benutzerkonten (s. Tabelle 29). Der Reifegrad reicht hierbei von einem einfachen Schutz durch die Verwendung von Usernamen und Passwörtern bis hin zu automatisierten Zugangskontrollen mit integrierter Verhaltensanalyse. Somit können bei ungewöhnlichem Anmeldeverhalten automatisch Zugänge gesperrt werden.

Passwortsicherheit/Zugangsschutz		
Stufe 1		Verwendung von Username und Passwort.
Stufe 2		Technisch integrierte Passwort-Policies (Passwortlänge, Komplexität, Fehlversuche, ...).
Stufe 3		Zentrale Verwaltung von Zugängen durch Passwortmanager.
Stufe 4		Verwendung von MFA (Multi-Faktor-Authentifizierung) / PassKeys / Single Sign On (SSO).
Stufe 5		Automatisierte Zugangskontrollen mit integrierter Verhaltensanalyse (z.B. Risk-based Authentication.)

Tabelle 29: Merkmal „Passwortsicherheit/Zugangsschutz“

4.3 Anwendungsmöglichkeit des Reifegradmodells Bau

Die Anwendung des Modells erfolgt wie bei dem Ausgangsmodell aus der Industrie von Leyh und Sames zunächst durch eine Bewertung des Ist-Zustands anhand der einzelnen Kategorien und Merkmale. Anschließend sollen entsprechende Handlungsfelder identifiziert werden. Die Bewertung des Ist-Zustands erfolgt hierbei mit einem Punktesystem. Dabei wird jede Stufe jedes Merkmals mit einer Punktezahl bewertet. So gibt es für die Stufe 1 einen Punkt, während Stufe 5 mit fünf Punkten bewertet wird. Da nicht immer eine genaue Zuordnung getroffen werden kann, ist es auch möglich die Bewertung zwischen zwei Stufen anzusiedeln. Wenn zum Beispiel sowohl

Elemente aus Stufe 3 als auch aus Stufe 4 zutreffen, so gibt es für dieses Merkmal eine Punktzahl von 3,5 Punkten. Die Bewertung der einzelnen Merkmale wird anschließend in eine zusätzliche Auswertungsmatrix eingetragen. Auf Basis dieser Matrix wird dann ein Netzdiagramm erstellt, um die Ergebnisse grafisch übersichtlich darstellen zu können. Tabelle 30 zeigt beispielhaft eine Auswertung für die Kategorie 1 „Digitale Projektprozesse“.

Kategorie 1: Digitale Projektprozesse		
Merkmal	Max. Reifegrad	Reifegrad
Digitale Bauakte	5,0	3,0
Digitales Bautagebuch	5,0	4,0
Digitales Nachtragsmanagement	5,0	3,0
Digitale Mängel- und Qualitätsdokumentation	5,0	3,5
Digitale Leistungsfeststellung	5,0	4,0
Digitale Bauzeitenplanung	5,0	2,0
Digitale Planprüfung	5,0	2,5
Digitale Rechnungsprüfung	5,0	4,0
Digitalisierung der Einkaufsprozesse	5,0	3,0

Tabelle 30: Beispiel Auswertungsmatrix

Auf Grundlage dieser Matrix wird nun das Netzdiagramm erstellt (Abb. 6), mit dem die Ergebnisse aufgrund der grafischen Darstellung besser nachvollziehbar sind:

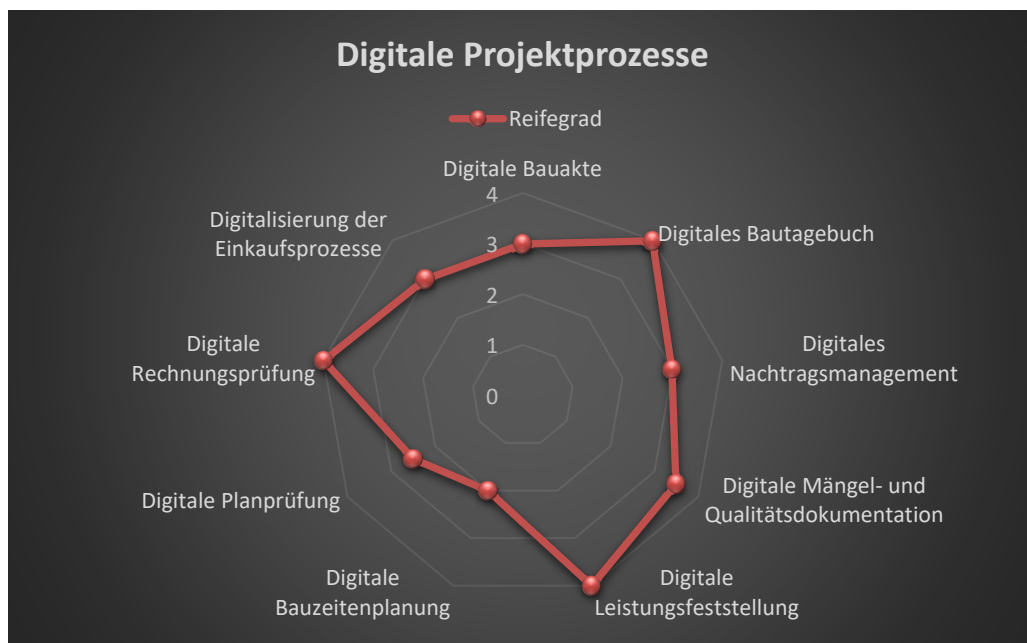


Abb. 6: Beispiel Modellauswertung – Netzdiagramm

Nach der Anwendung des Modells können mithilfe der zuvor beschriebenen Methoden die Ergebnisse übersichtlich ausgewertet werden. Dies schafft eine Grundlage für die weitere Identifikation von Handlungsfeldern für das Unternehmen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem abschließenden Kapitel werden die zentralen Erkenntnisse des Beitrags zusammengefasst. Ausgangspunkt ist die Feststellung, dass die deutsche Bauwirtschaft im Vergleich zu anderen Branchen einen geringen Digitalisierungsgrad aufweist und daher einem hohen Transformationsdruck unterliegt. Zur systematischen Bewertung des digitalen Entwicklungsstands wurde ein spezifisches Reifegradmodell entwickelt, das auf dem Industrie-4.0-Reifegradmodell DigiTAMM von Leyh und Sames (2024) basiert und in enger Zusammenarbeit mit Experten der Bauwirtschaft an die branchenspezifischen Anforderungen angepasst wurde.

Der besondere Mehrwert des Beitrags liegt in der praktischen Anwendbarkeit dieses Modells: Bauunternehmen erhalten ein Instrument, mit dem sie ihre digitalen Prozesse strukturiert erfassen, bewerten und miteinander vergleichen können. Dadurch lassen sich Schwachstellen klar identifizieren und gezielte Maßnahmen zur Verbesserung ableiten. Gleichzeitig ermöglicht das Modell, vorhandene Stärken sichtbar zu machen und strategisch auszubauen. Somit unterstützt es Unternehmen nicht nur bei der Entwicklung eines realistischen Selbstbildes, sondern liefert auch konkrete Ansatzpunkte für die Planung und Umsetzung digitaler Transformationsstrategien.

Darüber hinaus erweitert der Beitrag die bestehende Forschung um eine bauspezifische Perspektive auf die Messung von Digitalisierungsständen und liefert praxisorientierte Handlungsempfehlungen, die die Wettbewerbsfähigkeit von Bauunternehmen nachhaltig stärken können.

Literaturverzeichnis

- Akademie der Ruhr-Universität (2023). *BIM und Nachhaltigkeit: Ressourcenschonendes Bauen dank digitaler Planung*. <https://akademie.rub.de/bim-und-nachhaltigkeit-ressourcenschonendes-bauen-dank-digitaler-planung/>
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, S. 15-17
- Berner, F. (2020). *Strukturen der Bauwirtschaft*, S. 25-31
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (2021). *Building Information Modelling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis – 2. Auflage*, S. 4-11
- BWI-Bau (2013). *Ökonomie des Baumarktes. Grundlagen und Handlungsoptionen: Zwischen Leistungsversprecher und Produktanbieter*, S. 17-19
- bpb (2020). *Technischer Fortschritt und Industrie 4.0*. <https://www.bpb.de/themen/arbeit/arbeitsmarktpolitik/315869/technischer-fortschritt-und-industrie-4-0/>
- BuiltSmart Hub (2024). *“Digital Collaboration” im Bauwesen: Wie Technologie die Planung und Ausführung von Bauprojekten revolutioniert*. <https://www.built-smart-hub.com/post/digital-collaboration-im-bauwesen-wie-technologie-die-planung-und-ausf%C3%BChrung-von-bauprojekten-rev?>
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2019). *Beitrag der Digitalisierung zur Produktivität in der Baubranche*, S. 13-14 & S. 94-96
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024). *Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland: Digitalisierungsindex 2024*, S. 10-12
- Carvalho, N., Cazarini, E. (2020). *Industry 4.0: Current Status and Future Trends. Chapter 1: Industry 4.0 – What is it?*, S. 3-7
- Destatis (2025). *Erwerbstätige und Arbeitnehmer nach Wirtschaftsbereichen (Inlands-konzept)*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/Tabellen/arbeitnehmer-wirtschaftsbereiche.html>
- d.velop (2025). *Digitalisierung im Bauwesen: Digitale Trends, die Bauwesen 2025 antreiben*. <https://www.d-velop.de/blog/branchenprozesse/digitalisierung-im-bauwesen/>
- Ehemann, T., Zavareh, M., Göbel, J., Dupont, S., Zink, K., Siedler, C., Aurich, J. (2021). *Mit dem InAsPro-Transformationskonzept die Digitalisierung planen*, S. 205-220
- Günthner, W., Borrmann, A. (2011). *Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Baue nim 21. Jahrhundert*, S. 2
- Hager, T. (2024). *Effizientere Baustellen durch IoT: Wie das Internet der Dinge die Bauprozesse optimiert*. <https://www.baumeister.de/effizientere-baustellen-iot/>

- Haghsheno, S., Satzger, G., Lauble, S., Vössing, M. (2024). *Künstliche Intelligenz im Bauwesen: Grundlagen und Anwendungsfälle*, S. 3-21
- Harnisch, M. (2023). *Die Digitalisierung der Baubranche: Chancen und Herausforderungen*. https://www.digitalwerk.io/hot-topics/hot-topics-post/die-digitalisierung-der-baubranche-chancen-und-herausforderungen?utm_source=chat-gpt.com
- Hauptverband der deutschen Bauindustrie e.V. (2023). *Bauwirtschaft im Zahlenbild*, S. 1
- Herget, J. (2024). *Digitalisierung und Kulturwandel: Strategien für die modern Arbeitswelt – Ein Wegweiser*, S. 1-2.
- Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2015). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*, S. 11-12
- Kletti, J., Rieger, J. (2022). *Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence in der Smart Factory*. – 3. Auflage, S. 18-19
- Leyh, C.; Sames, G. (2024). DigiTAMM- Digital Transformation Assessment Maturity Model: Ein Reifegradmodell zur Einschätzung des Digitalisierungsstands in Industrieunternehmen, S. 10.
- Matt, D., Unterhofer, M., Rauch, E., Riedl, M., Brozzi, R. (2018). *Industrie 4.0 Assessment – Bewertungsmodell zur Identifikation und Priorisierung von Industrie 4.0. Umsetzungsmaßnahmen in KMUs*.
- Müller, B. (2024). *Digitalisierung und Nachhaltigkeit im Bauwesen: Ein Erfolgsmodell*. <https://techtage.de/it-und-digitalisierung/digitalisierung-und-nachhaltigkeit-im-bauwesen-ein-erfolgsmodell/>
- Paraknewitz, M. (2022). *BIM im Spannungsfeld zwischen Theorie und Praxis – Ein Stimmungsbild der Branchen*, S. 11-12
- PwC (2021). *Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Corona in der Bauindustrie. Eine PwC-Studie zum Umgang der Branche mit den drei aktuellen Herausforderungen*, S. 9
- PwC (2023). *Die Digitalisierung stockt, in Sachen Nachhaltigkeit geht es voran*. <https://www.pwc.de/de/pressemitteilungen/2023/pwc-studie-zur-baubranche-2023-die-digitalisierung-stockt-in-sachen-nachhaltigkeit-geht-es-voran.html>
- PwC (2025). *Die Bauindustrie weiter im Umbruch: Fehlendes Know-How und Bürokratie bremsen*. <https://www.pwc.de/de/risk-regulatory/risk/capital-projects-and-infrastructure/bauindustrie-unter-druck.html>
- Roos, M. (2022). *Wirtschaft in der Transformation: Von der Effizienz- zur Resilienzordnung?*, S. 42-49
- Sack, C., Schrewe, H. (2021). *Digitale Transformation im Bereich Ingenieurbau*, S. 365-370
- Sames, G. (2021). *Reifegradmodell zur Digitalisierung und Industrie 4.0*.

Schuh, G., Boos, W., Kelzenberg, C., de Lange, J., Stracke, F., Helbig, J., Boshof, J., Ebbecke, C. (2018). *Industrie 4.0: Implement it! Ein Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen*. S. 33

Schumacher, J., Gronau, N. (2022). *Im Vergleich: Industrie 4.0-Reifegradmodelle*

Schweizerischer Baumeisterverband (2021). *Cloud Computing in der Baubranche – wie Teamarbeit vereinfacht und Produktivität gesteigert wird*. <https://baumeister.swiss/cloud-computing-in-der-baubranche-wie-teamarbeit-vereinfacht-und-produktivitaet-gesteigert-wird/>

vbw – Verband der bayerischen Wirtschaft (2024). *Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands*.

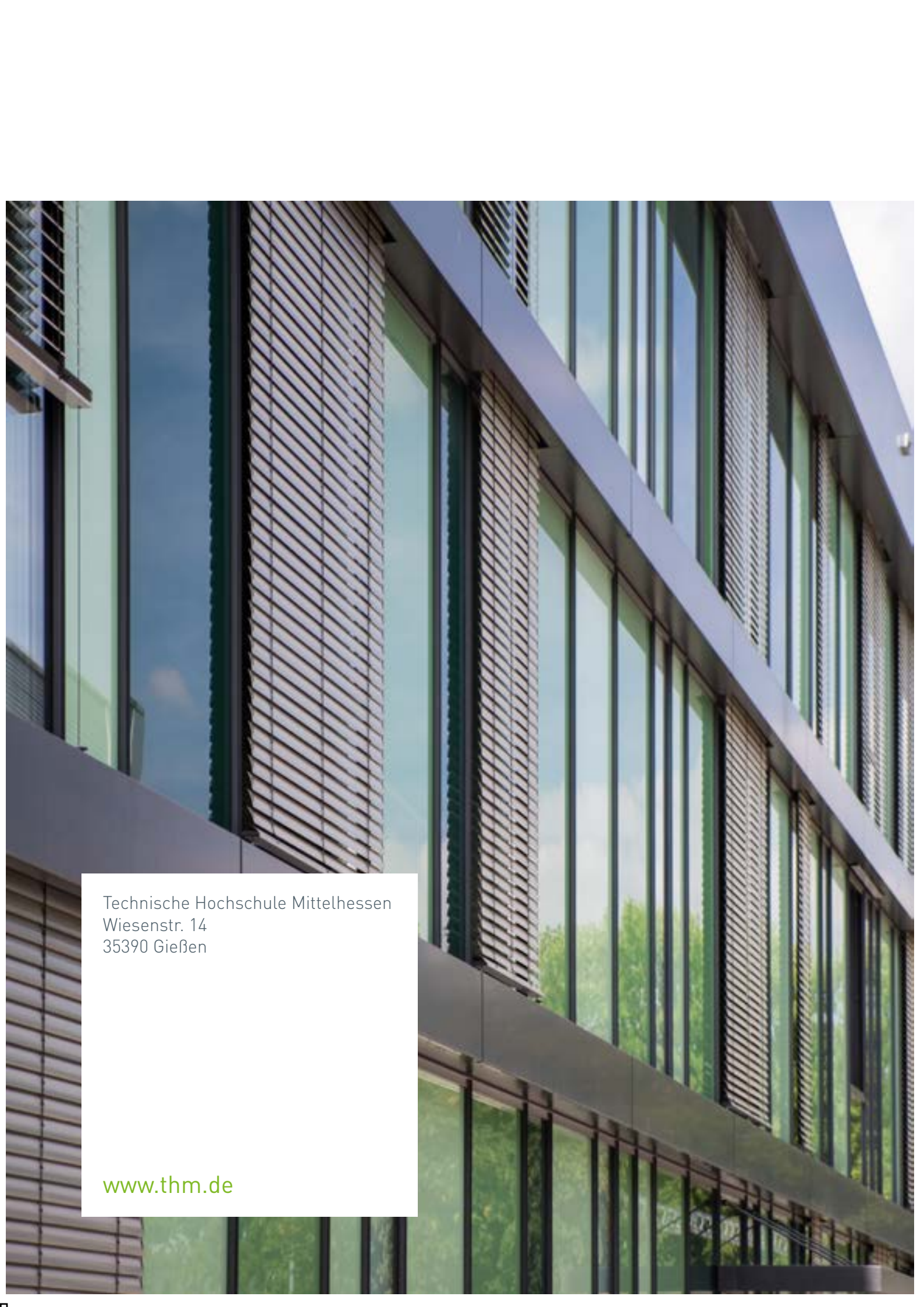
VDMA (2015). *Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand*.

Verzeichnis verwendeter KI-Anwendungen

ChatGPT 1 (GPT-4), Output vom 11.05.2025 betreffend ENTWICKLUNG EINES REIFEGRADMODELLS FÜR BAUAUSFÜHRENDE UNTERNEHMEN (Relevantester Prompt: „Erstelle geeignete Bewertungsmerkmale für die Kategorien Digitale Projektprozesse, IT-Systeme & Dateninfrastruktur, Mitarbeiter, Organisation und IT-Sicherheit.“)

ChatGPT 2 (GPT-4), Output vom 11.05.2025 betreffend ENTWICKLUNG EINES REIFEGRADMODELLS FÜR BAUAUSFÜHRENDE UNTERNEHMEN (Relevantester Prompt: „Erstelle für die folgenden Merkmale aus jeder Kategorie fünf Reifegradstufen für die Bewertung des Digitalisierungsstands in einem Bauunternehmen: Digitale Bauakte, Digitales Bautagebuch, Digitales Nachtragsmanagement, Geräte- und Baustellenlogistik, Plattformnutzung für Projektdaten, Digitale Grundkompetenz, Digitale Bauanleitungen & Unterstützung für gewerbliche Mitarbeitende, Projektbezogene Digitalisierung, Einbindung digitaler Partnerprozesse, Datensicherung und Zugangskontrollen und Rechtevergabe“)

Chat GPT 3 (GPT-4), Output vom 05.07.2025 betreffend ERSTELLUNG VON SYMBOLEN ZUR VERANSCHAULICHUNG VON REIFEGRADSTUFEN (Relevantester Prompt: „Erstelle schwarz/weiße Symbole zur Veranschaulichung der folgenden Reifegradstufen...“)

The image shows a modern building with a facade of large glass windows and brickwork. The windows reflect the sky and surrounding greenery. The brickwork is a light color, and the building has a clean, architectural design.

Technische Hochschule Mittelhessen
Wiesenstr. 14
35390 Gießen

www.thm.de