

Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Bauindustrie im Kontext von Industrie 4.0 – Situationsanalyse und Zieldefinition im Zuge einer Technikfolgenabschätzung

Thuy Duong Oesterreich¹, Frank Teuteberg²

Abstract: Der Begriff Industrie 4.0 hat sich in den vergangenen Jahren auch in der Bauindustrie zum Synonym für die Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung der Produktionsprozesse entwickelt. Trotz der propagierten Vorteile, die mit der Anwendung dieses Konzeptes verbunden werden, existieren große Vorbehalte bei den Unternehmen der Bauindustrie. Dies liegt darin begründet, dass die mit der Anwendung dieses Konzeptes verbundenen Implikationen für Wirtschaft und Gesellschaft noch weitgehend unbekannt sind. Vor diesem Hintergrund ist es das primäre Ziel dieser Arbeit, im Rahmen einer Situationsanalyse die derzeit mit dem Industrie 4.0 Begriff verbundenen Erwartungen, Chancen und Risiken aus verschiedenen Perspektiven aufzuzeigen. Mithilfe einer quantitativen und qualitativen Inhaltsanalyse der aktuellen Literatur wird zunächst eine fundierte Definition des Industrie 4.0 Begriffs für die Bauindustrie aufgestellt und die Erwartungen, Chancen und Risiken aufgezeigt. Anschließend werden Ziele und konkrete Ansätze für die weitere Vorgehensweise im Rahmen einer Technikfolgenabschätzung abgeleitet.

Keywords: Industrie 4.0, Digitalisierung, Situationsanalyse, Technikfolgenabschätzung, Literaturrecherche, Inhaltsanalyse, Frequenzanalyse, Bauindustrie

1 Problemstellung und Zielsetzung

Das Schlagwort „Industrie 4.0“ wird derzeit im wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Kontext als Synonym für die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung von Produktionssystemen aus Menschen und Maschinen sowie deren Vernetzung untereinander verwendet [KWH13]. Im Fokus steht dabei die das Potenzial zur Kostensenkung und eine damit einhergehende Effizienzsteigerung. Bei näherer Betrachtung kann jedoch festgehalten werden, dass die mit der Anwendung von Industrie 4.0 Technologien verbundenen Implikationen für Menschen, Prozesse, Unternehmenskultur und Umwelt sowie deren ökonomischer Nutzen für die Unternehmen noch weitgehend unbekannt sind. Insbesondere für die Bauindustrie ist Industrie 4.0 mit heutigem Stand ein inhaltlich unklarer Begriff. Aktuelle Studien zufolge sind bspw. Unklarheit über den wirtschaftlichen Nutzen, fehlende Fachkräfte, fehlende Normen und Standards sowie mangelnde Datensicherheit

¹ Universität Osnabrück, Fachgebiet Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstraße 1 49074 Osnabrück, toesterreich@uni-osnabrueck.de

² Universität Osnabrück, Fachgebiet Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstraße 1 49074 Osnabrück, frank.teuteberg@uni-osnabrueck.de

wesentliche Gründe, weshalb die Unternehmen bei Investitionen in Industrie 4.0 Technologien immer noch zurückhaltend sind [Li15].

Auf dem Weg zur Beseitigung der Hemmnisse ist somit der erste sinnvolle Schritt der, die mit dem Industrie 4.0 Konzept verbundenen Technologien, aber auch Erwartungshaltungen, Chancen und Risiken als mögliche Folgeauswirkung im Sinne einer Technikfolgenabschätzung (TA) aufzuzeigen. Vor diesem Hintergrund stellen sich folgende Kernfragen, die im Rahmen einer Situationsanalyse zu beantworten sind:

1. Welche Technologien und Konzepte werden aktuell im spezifischen Umfeld der Bauindustrie mit dem Begriff Industrie 4.0 assoziiert?
2. Welche Erwartungshaltungen, Chancen und Risiken werden in der Bauindustrie mit dem Industrie 4.0 Begriff verbunden?
3. Kann auf Basis der Situationsanalyse die Notwendigkeit einer TA bestätigt werden? Welche Fragen und Ziele sind für die weitere Vorgehensweise relevant?

Im Abschnitt 2 gehen wir zunächst auf die Besonderheiten der Bauindustrie ein und skizzieren deren Stand der Digitalisierung. Anschließend stellen wir in Abschnitt 3 unsere methodische Vorgehensweise zur Beantwortung der Forschungsfragen vor. Auf Basis der Ergebnisse unserer qualitativen und quantitativen Inhaltsanalyse wird im Abschnitt 4 eine Definition des Industrie 4.0 Begriffs unter Berücksichtigung der Besonderheiten der Bauindustrie abgeleitet und die damit verbundenen Erwartungshaltungen, Chancen und Risiken aufgezeigt. Im Abschnitt 5 werden weiterführende Fragen, die mögliche Zielsetzung und konkrete Handlungsempfehlungen für die weitere TA erörtert.

2 Digitalisierung in der Bauindustrie

Einer Studie aus dem Jahr 2014 zufolge befindet sich die Bauindustrie im Vergleich mit anderen Wirtschaftszweigen auf einem der hinteren Plätzen [Ac14]. Diese Tatsache ist angesichts ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung als einer der Schlüsselbranchen sehr verwunderlich. Die Ursachen für diesen niedrigen Digitalisierungsgrad sind den Besonderheiten der Baubranche geschuldet und werden auch als Grund für die abnehmende Arbeitsproduktivität in den letzten Jahrzehnten gesehen, während diese sich in den anderen Industriesektoren verdoppelt hat [Te13].

Geringe Investitionen in Forschung und Entwicklung: Ein Zahlenbeispiel verdeutlicht diese Schieflage: Im Jahre 2012 wurde 37,3% der gesamten F&E-Ausgaben in der Automobilbranche investiert, aber nur 0,1% entfielen auf die Baubranche [BM15].

Komplexität und Unsicherheit: Bauprojekte gehören aufgrund ihrer äußerst differenzierten Wertschöpfungskette zu den komplexesten Wirtschaftsgegenständen. Sie sind Unikate, die in stark arbeitsteiligen „wandernden Fabriken“ in einem ortsgebundenen, spezifischen Umfeld und in einem begrenzten Zeitrahmen hergestellt werden [BR09], [DG02]. Die Tatsache, dass es sich bei Bauprojekten um stark individualisierte Einzelfertigung

handelt und sie in hohem Maße von Witterungsflüssen abhängig sind, macht zudem eine genaue Vorhersage des Produktionsverlaufs nahezu unmöglich [DG02].

Fragmentierte Wertschöpfungskette: In die stark arbeitsteiligen Prozesse und Subprozesse ist eine hohe Anzahl an kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) eingebunden, die nur begrenzt in neue Technologien investieren können [KHS14].

Fehlende Innovationskraft und konservative Branchenkultur: Die Zeitbegrenzung der Bauprojekt auf wenige Monate bis zu wenigen Jahren mit jeweils wechselnden Projektbeteiligten führt dazu, dass kurzfristige Problemlösung begünstigt und nachhaltige Innovationen erschwert werden [DG02]. Des Weiteren ist die Bauindustrie für ihre traditionelle Kultur und ihre geringe Bereitschaft für Veränderungen bekannt [SK15].

3 Methodik

Für die Untersuchung der mit dem Industrie 4.0 Konzept verbundenen Erwartungen, Chancen und Risiken eignet sich insbesondere die Methode der Technikfolgenabschätzung (TA), weshalb wir sie als methodischen Rahmen auswählen (Abb. 1). Der Vorteil dieser Methode liegt darin begründet, dass die Analyse der Auswirkungen einer neuen Technologie über die rein technische Betrachtungsweise hinausgeht und auch ökonomische, ökologische, rechtliche, soziale und ethische Fragestellungen mit einbezieht.

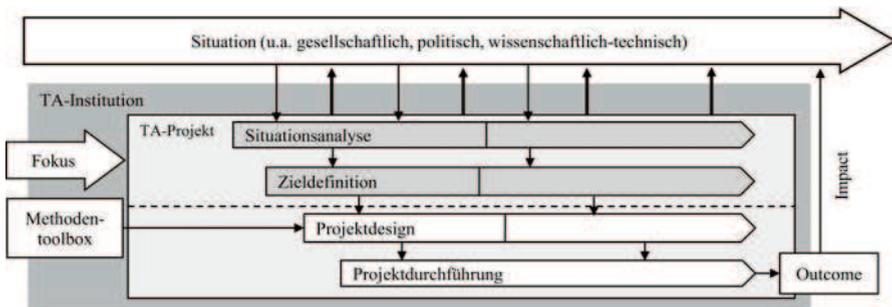


Abb. 1: Struktur einer TA (Angelehnt an [13])

Den zentralen Ausgangspunkt einer TA bildet die Situationsanalyse, in der die öffentliche Resonanz bzgl. der Technikdebatte analysiert und die Zieldefinition für das TA-Projekt festgelegt wird [DS15]. Der Fokus dieser Arbeit richtet sich auf die ersten beiden Schritte der TA und soll die Grundlage für die weitergehenden Phasen schaffen (Abb. 1).

3.1 Qualitative und quantitative Textanalyse

Zur Beantwortung der Forschungsfragen ist die Anwendung einer Kombination aus qua-

litativen und quantitativen Methoden erforderlich. Um eine fundierte Definition des Industrie 4.0 Begriffs herleiten zu können, wird zunächst im Rahmen einer Literaturrecherche nach Publikationen aus dem bauwirtschaftlichen Umfeld gesucht. Dabei orientieren wir uns methodisch an dem Vorgehensschema von [WW02]. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei Industrie 4.0 im Baubereich um ein relativ junges Forschungsgebiet handelt, existieren kaum wissenschaftliche Publikationen zu diesem Thema. Aus diesem Grund werden bei der Literaturrecherche auch nicht wissenschaftliche Publikationen wie Zeitungen, Magazine, Produktbroschüren, Positionspapiere, so genannte „graue Literatur“ berücksichtigt. Dieser Auswahlrahmen ist auch deshalb sinnvoll, weil es bei einer Situationsanalyse vor allem darum geht, die öffentliche Wahrnehmung zu einer technischen Neuentwicklung zu untersuchen [DS15].

Unsere breit gestaltete Literaturrecherche bei der Literaturdatenbank Google Scholar und der Suchmaschine Google mit den deutschen Suchwörtern „Industrie 4.0“ in Kombination mit Bauindustrie, Bauwirtschaft oder Baubranche sowie den englischen Suchwörtern „Industry 4.0“ in Kombination mit „Construction Industry“ ergeben rund 40 relevante Publikationen, die wir im Rahmen der Analyse vertiefend untersuchen. Auf eine weitere Ergebniseingrenzung (z.B. nach Datum, Suche im Titel, etc.) haben wir bewusst verzichtet, um möglichst viele Ergebnisse zu erhalten. Wesentlich für die Auswahl der Publikationen ist der klare inhaltliche Bezug zum Thema Industrie 4.0. Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu maximieren, wenden wir bei der Ergebnisanalyse sowohl die qualitative Inhaltsanalyse [Ma10] als auch die einfache Frequenzanalyse [Be52] an. Bei der Datenaufbereitung für die Frequenzanalyse folgen wir einem bewährten Ablaufschema [Si08] und verwenden des Weiteren zur technischen Unterstützung die Software QDA Miner [Pr11] sowie das integrierte Textanalysemodul WordStat [Pr14]. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden im Abschnitt 4 präsentiert und im Abschnitt 5 diskutiert.

3.2 Verwandte Arbeiten

Im Rahmen einer Literaturrecherche bei der Suchmaschine Google mit den Suchworten <intitle:Technikfolgenabschätzung "Industrie 4.0"> können wir lediglich 2 verwandte Arbeiten identifizieren. Nähere Details zu den verwandten Arbeiten können auf http://bit.ly/Info2016_Anhang eingesehen werden (Anhang 1). Es handelt sich hierbei um Publikationen zum Thema TA von Industrie 4.0 ohne spezifischen Branchenbezug. Aufgrund der im Abschnitt 2 genannten Spezifika der Bauindustrie ist es jedoch erforderlich, eine TA von Industrie 4.0 mit Bezug zur Bauindustrie zu durchleuchten, um auf diese Weise den speziellen Branchenanforderungen gerecht zu werden.

4 Situationsanalyse

In der Bauindustrie ist Industrie 4.0 inzwischen ein zwar geläufiger, aber inhaltlich unklarer Begriff. Um zu eruieren, welche Technologien und Teilkonzepte darunter subsumiert werden, untersuchen wir im nächsten Schritt die selektierten Publikationen mithilfe einer

quantitativen und qualitativen Inhaltsanalyse (Abb. 2). Bei diesen Publikationen handelt es sich größtenteils um mediale Beiträge wie Zeitungsartikel, Zeitschriftenartikel, Magazinartikel und Blog-Posts, wissenschaftliche Beiträge sind dagegen in der Unterzahl. Eine Eingruppierung der untersuchten Publikationen nach der Perspektive der Veröffentlichung bringt die interessante Erkenntnis hervor, dass das Thema Industrie 4.0 mit 67,5% derzeit eine große mediale Aufmerksamkeit erfährt, in der Wirtschaft, Politik und in der Wissenschaft dagegen ist die Resonanz geringer (Abb. 4).

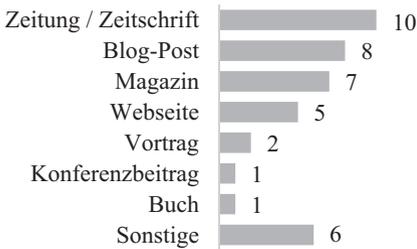


Abb. 2: Art der Publikationen

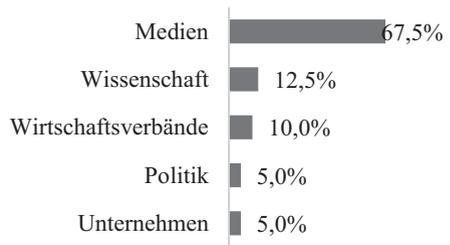


Abb. 3: Initiator der Publikationen

Diese Erkenntnis unterstützt die allgemein bekannte These, dass das Thema Industrie 4.0 in den Unternehmen der Bauindustrie noch nicht angekommen ist und auch im wissenschaftlichen Bereich in den Kinderschuhen steckt. Eine detaillierte Übersicht aller untersuchten Publikationen können dem Anhang 2 auf http://bit.ly/Info2016_Anhang entnommen werden.

4.1 Begriffsdefinition Industrie 4.0 in der Bauindustrie

Das Ergebnis unserer Textanalyse in Tab. 2 soll im nächsten Schritt Informationen darüber liefern, welche Basistechnologien und Komponenten mit dem Industrie 4.0 Begriff in Verbindung gebracht werden. Dabei gilt es zu untersuchen, in wie vielen Publikationen welche Ausprägungen genannt werden und inwiefern sich die bauspezifische Definition des Industrie 4.0 Begriffs von der „klassischen“ Definition unterscheidet (Tab. 3).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die in den bauspezifischen Publikationen und in den Top 10 meist zitierten Industrie 4.0 Publikationen genannten Technologien und Konzepte sich weitgehend decken. Die Resultate zeigen zudem, dass Building Information Modeling (BIM) als das zentrale Element des Industrie 4.0 Konzeptes in der Bauindustrie betrachtet wird. Bei BIM handelt es sich um eine Methode zur Abbildung von digitalen, parametrisierten Planungsmodellen von Bauwerken inkl. der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks und anderen relevanten Informationen wie z.B. Kosten und Zeit [Eg13]. Da BIM alle Phasen innerhalb des Produktlebenszyklus von der Planung über die Bauausführung und Wartung bis hin zur Demontage eines Bauwerkes abdeckt, ist auch die Forderung nach einem „Product Lifecycle Management“ zur nachhaltigen Produktgestaltung erfüllt. Das Konzept der Simulation und Modellierung als Me-

thode zur Beherrschung komplexer Zusammenhänge und zur Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit [KWH13] deckt BIM damit ab. In einigen Publikationen wird BIM als „eine Art Industrie 4.0 für die Bauwirtschaft“ [Ma15] bezeichnet, das die Baubranche revolutionieren kann [Bi15a]. Es gibt allerdings auch kritische Stimmen, die vor überzogenen Erwartungen an die BIM-Methode warnen, da diese keine vollständige Digitalisierung und Automatisierung der Prozesse ermöglicht, sondern nur die Komplexität innerhalb der Wertschöpfungskette reduziert [SK15].

Industrie 4.0 Komponenten und Basistechnologien	Anzahl Publikationen	Industrie 4.0 Komponenten und Basistechnologien	Anzahl Publikationen
Building Information Modelling (BIM)	28	Cyber-Physical Systems (CPS) / Eingebettete Systeme	10
Internet der Dinge (IoT) / Internet der Dienste (IoS)	12	Internet der Dinge (IoT) / Internet der Dienste (IoS)	8
Product-Lifecycle-Management (PLM)	11	Sensortechnik/ RFID	8
		Autonome Robotics	6
Cloud Computing	10	Big Data	6
Mobile Computing	10	Cloud Computing	6
Augmented Reality (AR)/Virtual Reality (VR)/ Mixed Reality (MR)	9	Simulation und Modellierung	6
		Smart Factory	6
Autonome Robotics	9	Mensch-Technik-Interaktion (MTI)	5
Sensortechnik/ RFID	8	Modularisierung	5
Big Data	7	Product-Lifecycle-Management (PLM)	5
Additive Manufacturing	5		
Smart Factory	4	Augmented Reality (AR)/Virtual Reality (VR)/ Mixed Reality (MR)	4
Mensch-Technik-Interaktion (MTI)	3	Additive Manufacturing	3
Modularisierung	3	Mobile Computing	3
Cyber-Physical Systems (CPS) / Eingebettete Systeme	2		
		Social Media	3

Tab. 2: Übersicht analysierte Publikationen (n=40)

Tab. 3: Übersicht Top 10 meist zitierte Industrie 4.0 Publikationen (n=10)

Vielmehr muss die Anwendung von BIM mit der Digitalisierung und Vernetzung relevanter Datenflüsse im Unternehmen kombiniert werden [Sc16]. Erst durch die Nutzung von Basistechnologien wie Cloud Computing und Big Data in Verbindung mit mobilen Endgeräten [Bo14], [Sc16] kann BIM dazu beitragen, eine enge Vernetzung aller am Bauprozess beteiligten Akteure zu realisieren [Do16]. Als Technologie dient die Cloud aber auch als Plattform für andere Apps und Anwendungen oder als Speicherplatz zur Archivierung digitaler Baustellendokumente [In15]. Die Nutzung mobiler Endgeräte ermöglicht dabei den zeit- und ortsunabhängigen Zugriff auf BIM-Modelle, ERP-System und digitale Baustellendokumente als Basis für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Eine weitere Komponente des Industrie 4.0 Konzeptes sind das Internet der Dinge (IoT) und das Internet der Dienste (IoS), die sowohl in den Top 10 meist zitierten Industrie 4.0 Publikationen als auch in den untersuchten bauspezifischen Publikationen die zweithäufigste Aufmerksamkeit findet (Tab. 2 und Tab. 3). Mit diesen Begriffen wird die intelligente Vernetzung von Gegenständen, Maschinen und Personen verstanden [Do16], die in

Echtzeit miteinander kommunizieren und in einen automatisierten Datenaustausch treten [Sc16]. In dieser vernetzten Umgebung besteht die große Herausforderung darin, die wachsenden Datenmengen mittels Big Data sinnvoll zusammenzuführen und zielgerichtet zu nutzen [He16], wie bspw. für Predictive Maintenance. Als weiteres wichtiges Hilfsmittel zur Verbesserung der Arbeitssicherheit und der Kommunikation werden Augmented Reality, Virtual Reality und Mixed Reality-Konzepte zur Schaffung von mobilen Assistenzsystemen vorgeschlagen, z.B. in Kombination mit mobilen Endgeräten oder Datenbrillen [Bi15a], [Si14], [Sc16]. Auch der Einsatz von autonomen Robotern und Drohnen zur Ausführung gefährlicher oder repetitiver Arbeiten wird genannt [Ri16]. Die Nutzung von RFID-Technik zur Lokalisierung und Vernetzung von Objekten, der 3D-Druck und die Modularisierung als Teil des Fertigungskonzeptes, oder auch die Smart Factory werden mehrfach genannt.

Auffällig ist, dass Cyber-Physical-Systems (CPS) als zentrales Element des klassischen Industrie 4.0 Konzeptes wenig Beachtung in den Publikationen aus dem Baubereich findet (Tab. 2 und Tab. 3). Social Media wird als weiterer Punkt in Tab. 3 genannt, in den untersuchten Publikationen findet es keine Beachtung. Viel Beachtung findet dagegen in beiden Publikationsgruppen das Thema Mensch-Technik-Interaktion (MTI), welches im Zuge der technologischen Weiterentwicklungen für die Gestaltung der Mensch-Technik-Schnittstelle von zentraler Bedeutung ist. Mit Blick auf die genannten Technologien und Konzepte kann zusätzlich festgehalten werden, dass es sich bei den meisten von ihnen um technisch ausgereifte Technologien handelt, die jederzeit einsetzbar sind (bspw. Cloud Computing, BIM, RFID, Augmented Reality, etc.).

Aufgrund der branchenspezifischen Besonderheiten müssen zwischen der Anwendung des Industrie 4.0 Konzeptes in der stationären Industrie und der Anwendung in der Bauindustrie einige Unterschiede beachtet werden. Bei Bauprojekten handelt es sich bspw. um einen arbeitsteiligen Prozess, an dem der Kunde maßgeblich beteiligt ist, während ein Automobilhersteller dem Kunden lediglich ein fertiges Produkt liefert, welches in einem strukturierten Produktionsprozess hergestellt wird [Ma15]. Die Anwendung von Industrie 4.0 muss also an die Komplexität des jeweiligen Produktionssystems angepasst werden. Die folgenden Charakteristika von Industrie 4.0 [KWH13] lassen sich dennoch auf die Anwendung in der Bauindustrie beziehen (Abb. 5).

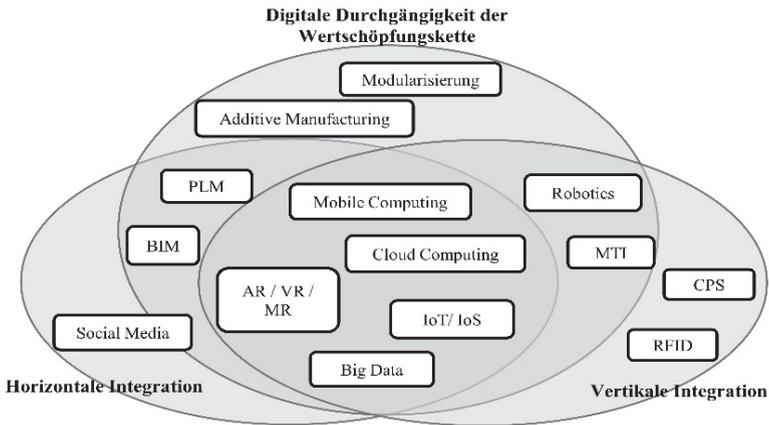


Abb. 5: Übersicht Konzeptmatrix Industrie 4.0

Um ein umfassendes Bild der bauspezifischen Definition von Industrie 4.0 zu skizzieren, haben wir die identifizierten Technologien und Konzepte in die genannten Charakteristika eingeordnet. Da viele Technologien sich zu mehreren Charakteristika zuordnen lassen, gibt es einige Schnittmengen, die sich in Abb. 5 entsprechend widerspiegeln.

Mit der *horizontalen Integration über Wertschöpfungsnetzwerke* wird eine Integration von IT-Systemen, Prozessen und Informationsflüssen zwischen den Geschäftspartnern über die Unternehmensgrenzen hinweg angestrebt. Auf die Bauindustrie bezogen wäre dies die enge Zusammenarbeit von allen Projektbeteiligten wie Bauherr, Lieferanten, Nachunternehmer etc. auf einer gemeinsamen Datenbasis. Die Schaffung einer *digitalen Wertschöpfungskette* setzt eine digitale Durchgängigkeit aller Prozessschritte voraus, bei der die Modellierung zur Beherrschung der zunehmenden Komplexität als Hilfsmittel genannt wird. In Bauprojekten müssen somit alle Prozessschritte von der Planung über die Kalkulation bis hin zur Bauausführung, Inbetriebnahme und Wartung digital vernetzt werden. Die *vertikale Integration und Vernetzung der Produktionssysteme* zielt auf eine flexible, selbststeuernde und selbstoptimierende Gestaltung der Produktionssysteme und die Integration der unternehmensinternen IT-Systemen, Prozessen und Informationsflüssen ab. Aufgrund der Komplexität der bauprojektbezogenen Produktion und der hohen Anzahl der Projektbeteiligten ist dies nur zum Teil auf die Bauindustrie übertragbar.

4.2 Erwartungen, Chancen und Risiken

Nach der Begriffsdefinition ist es ein weiteres Ziel, die mit Industrie 4.0 verbundenen Erwartungshaltungen, Chancen und Risiken aufzugreifen. Aufgrund der Tatsache, dass 67,5% aller Publikationen medialen Ursprungs sind (Abb. 4), spiegeln die Ergebnisse hauptsächlich die öffentliche Debatte um die Industrie 4.0 Thematik wieder. Zur Kategorisierung der Ausprägungen eignet sich die PESTEL-Analyse [KN08], da sich damit die verschiedenen Dimensionen der Situationsanalyse strukturiert abbilden lassen. Die Ergeb-

nisse aus den untersuchten Publikationen werden in Tab. 4 daher in 6 Dimensionen (politische, ökonomische, soziale, technologische, ökologische und rechtliche Dimension) zusammengefasst. In den Spalten E, C, R und H werden die Ausprägungen als Erwartungen (E), Chancen (C), Risiken (R) und Herausforderungen (H) kategorisiert.

Beschreibung		E	C	R	H
P	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wenig Forschung und Entwicklung im Baubereich und geringe Bereitschaft zur Anwendung von Industrie 4.0 Technologien ▪ Politik in der Rolle des Motivators und Initiators, staatliche Impulse zur Beseitigung der Adoptionsbarrieren gefordert 	x			x
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Komplexe Planungs- und Prozessabläufe, veraltete Arbeitsweisen ▪ Reduzierung der Komplexität zur Optimierung der Bauprozesse ▪ Erhöhung der Transparenz für eine bessere Entscheidungsgrundlage ▪ Fehlerreduzierung, Erhöhung der Planungs- und Ausführungsqualität ▪ Steigerung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit (Niedrigere Produktionskosten, Schnelligkeit) ▪ Erhöhung der Kosten- und Termsicherheit 		x		x
E	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung der interdisziplinären und unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit (Kollaboration, Kommunikation) ▪ Kundenindividualisierung, Verbesserung der Kundenbeziehung ▪ Schaffung neuer innovativer Geschäftsmodelle ▪ Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit ▪ Notwendigkeit zur Änderung interner Prozesse ▪ Hohe Investitionen bei unklaren Nutzen 	x			
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geringe Akzeptanz bzw. Bereitschaft für Veränderungen ▪ Vertrauen als Basis für die Zusammenarbeit ▪ Bewältigung des demographischen Wandels ▪ Erhöhung der Arbeitssicherheit ▪ Steigerung der Arbeitgeberattraktivität ▪ Verbesserung des Branchenimages ▪ Neue Arbeitsanforderungen bei Fachkräftemangel und fehlender Qualifikation des Personals ▪ Angst vor Jobverlust (Ersatz Mensch durch Technik) ▪ Erhöhung der psychischen Arbeitsbelastung (Stress, Leistungsdruck, höhere Anforderungen) 		x		x
S	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausbau der Breitbandinfrastruktur ▪ Fehlende Kompatibilität und Standardisierung ▪ Datensicherheit und Datenschutz (Angst vor Datenmissbrauch) ▪ Wachsende Datenmengen und sinnvolle Datennutzung 	x		x	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung von Energieeffizienz und Nachhaltigkeit ▪ CO²-Reduktion und Energieeinsparung (z.B. durch weniger Papierverbrauch und durch energieeffizientes Bauen) 		x		
T					x

L	▪ Unzuverlässige rechtliche Rahmenbedingungen (z.B. strikte Vorgaben bzgl. Datenschutz und Datenaustausch)				x
	▪ Fehlende Regularien, Vorschriften, Normen (BIM, VOB, HOAI, etc.)				x
	▪ Unklare Vertragsausgestaltung bzgl. Urheberrechte, Haftung, Risikoverteilung. Beispiel: Wer ist Urheber eines BIM-Modells? Wer haftet für planungsbedingte Konstruktionsfehler?				x

Tab. 4: PESTEL-Analyse der Erwartungen, Chancen, Risiken und Herausforderungen

Politische Dimension (P): Die Themen Industrie 4.0, BIM und Digitalisierung in der Bauindustrie sind derzeit Gegenstand der politischen Diskussion. Seit einigen Jahren werden von der Bundesregierung Anstrengungen unternommen, die Methode BIM bis 2020 verpflichtend für alle öffentlichen Infrastrukturprojekte einzuführen [BV15]. In den untersuchten Beiträgen ist die Grundhaltung daher klar erkennbar: Der Staat befindet sich in der Rolle des Motivators, der unter Nennung der wirtschaftlichen Vorteile die Unternehmen zur Umsetzung des Industrie 4.0 Konzeptes motiviert [Do16]. Im Gegenzug ist auch die Erwartungshaltung der Wirtschaft und Gesellschaft an die Politik deutlich. In den Beiträgen wird oft die geringe Forschung und Entwicklung bemängelt und staatliche Impulse in Form von Initiativen und Förderung gefordert [Pö14].

Ökonomische Dimension (E): Mit dem Industrie 4.0 Begriff werden in der öffentlichen Diskussion viele wirtschaftliche Nutzenerwartungen verbunden. Dazu zählen u.a. die Erhöhung der Effizienz [Si14], [SK15], der Transparenz [Pö14], [Bo14] und der Kosten- und Terminalsicherheit [Sc15]. Des Weiteren ist die Verbesserung der Kundenbeziehung [He16] sowie der interdisziplinären und unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit ein weiterer oft genannter Punkt. Die Nutzung neuer Technologien eröffnet zudem Möglichkeiten zur Schaffung neuer Geschäftsmodelle [He16], [Sc16]. Mit der Nutzenrealisierung wird auch eine höhere Wettbewerbsfähigkeit erwartet, die sich auf den internationalen Wettbewerb auswirkt. Die hohen Investitionen bei unklaren Nutzenerwartungen und die Notwendigkeit zur internen Prozessänderung werden im Gegenzug als Risiken genannt, die sich derzeit als Adoptionsbarriere erweist.

Soziale Dimension (S): Wie bereits im Abschnitt 2 dargelegt, ist die Wertschöpfungskette Bau geprägt von stark arbeitsteiligen Prozessen und einer großen Anzahl der beteiligten Akteure [BR09], [DG02]. Im Mittelpunkt jedes Bauvorhabens steht somit der Faktor Mensch und deren Interaktion untereinander. Für eine erfolgreiche Zusammenarbeit wird daher als Grundvoraussetzung „gegenseitiges Vertrauen, Fairness und Offenheit zwischen den Projektbeteiligten“ genannt [Sc15] sowie eine „Kultur der Kooperation und nicht des Gegeneinanders“ gefordert [Bi15a]. Als große Herausforderung wird in den untersuchten Beiträgen die fehlende Bereitschaft für Veränderungen bzw. fehlende Akzeptanz gegenüber neuen Technologien genannt [Bi15a], [SK15]. Die sozialen Chancen von Industrie 4.0 werden u.a. in einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen wie z.B. Arbeitssicherheit, der Verbesserung des Branchenimages und eine damit einhergehende Steigerung der Attraktivität für Fachkräfte [Ri16], [Sc15] gesehen. Als soziale Risiken eines hohen Digitalisierungsgrades werden zum einen die steigenden fachlichen Anforderungen an das Personal und eine damit verbundene Erhöhung der psychischen Arbeitsbelastung (Stress,

Leistungsdruck, höhere Anforderungen) sowie die allgemeine Angst vor Jobverlust (Ersatz Mensch durch Technik) genannt [Sc16].

Technologische Dimension (T): Grundvoraussetzung für eine durchgängige Digitalisierung und Vernetzung der Wertschöpfungskette Bau ist der Ausbau der Breitbandinfrastruktur [Sc16]. Große Risiken sind ebenfalls die fehlende Kompatibilität und Standardisierung der Systeme (z.B. BIM) [Pö14], [Sc15], [SK15] sowie das Thema Datensicherheit und Datenschutz [Ri16], [Mü15]. Vor dem Hintergrund der wachsenden Datenmengen ist zudem eine sinnvolle Datennutzung von wesentlicher Bedeutung [Mü15], [Sc15].

Ökologische Dimension (E): Mit der Anwendung von BIM sowie der durchgängigen Digitalisierung der Prozesse werden die Chancen eines energieeffizienten Bauens sowie eine CO²-Reduktion und Energieeinsparung verbunden [Si14], [Pö14], [Sc15]. Zum einen ermöglicht die umfassende Lebenszyklusbetrachtung (PLM) eines Bauwerkes eine energieoptimierte und ressourcenschonende Wiederverwendung der ursprünglich eingesetzten Materialien auch nach der Inbetriebnahme und Demontage [Sc15]. Zum anderen sind digitale Prozesse nachhaltiger, da sie zu weniger Papierverbrauch führen.

Rechtliche Dimension (L): Auf rechtlicher Ebene werden ebenfalls erhebliche Risiken gesehen, die zum einen die unzuverlässigen rechtlichen Rahmenbedingungen betreffen, wie z.B. strikte Vorgaben bzgl. Datenschutz und Datenaustausch auf nationaler Ebene [Mü15], fehlende Regularien, Vorschriften und Normen [Ri16], [Sc15] sowie unbeantwortete Fragen in Bezug auf die Vertragsausgestaltung [Ma15], [Mü15].

4.3 Ergebnisse der quantitativen Textanalyse

Ergänzend zu den qualitativen Ergebnissen möchten wir mithilfe des quantitativen textanalytischen Ansatzes eruieren, ob die aufgezeigten Technologien, Erwartungshaltungen, Chancen und Risiken sich bestätigen lassen. Zu diesem Zweck ermitteln wir mithilfe einer Frequenzanalyse die häufigsten Wortstämme (Tab. 5) sowie die häufigsten zusammenhängenden 2- und 3-Wort-Phrasen (Tab. 6).

#	Wortstamm	Häufig-
1	BIM	472
2	PLAN	287
3	INDUSTRI	251
4	TECHNI	199
5	DIGITAL	166
6	CLOUD	159
7	SYSTEM	158
8	DATEN	153
9	MODEL	147
10	UNTERNEHMEN	141
11	PROZESS	139

#	Phrasen mit 2 und 3 Wörtern	Häufig-
1	INDUSTRIE 4.0	94
2	BUILDING INFORMATION	51
3	INDUSTRY 4.0	40
4	CLOUD COMPUTING	25
5	BAUEN 4.0	14
6	WERTSCHÖPFUNGSKETTE BAU	14
7	BIG DATA	13
8	FÜR KMU	13
9	INTERNET DER DINGE	12
10	ÖFFENTLICHE HAND	11
11	EINFÜHRUNG VON BIM	10

12	ROBOT	138
13	ENTWICK	134
14	DIGITALISIER	131
15	ARBEIT	129
16	BAUEN	127
17	PROJEKT	113
18	INFORM	110
19	TECHNOLOGI	109
20	BETEILIGT	106

Tab. 5: Top 20 Worthäufigkeiten

12	GESAMTEN LEBENSZYKLUS	9
13	FÜR ALLE BETEILIGTEN	9
14	FÜR WIRTSCHAFT	9
15	INTERNET OF THINGS	8
16	SMART FACTORY	8
17	BIG BIM	8
18	FÜR DEN BETRIEB	8
19	AUSFÜHRUNG UND BEWIRTSCHAFTUNG	7
20	DIGITALES BAUEN	7

Tab. 6: Top 20 Phrasen mit 2 und 3 Wörtern

Die Ergebnisse bestätigen die hohe Bedeutung der BIM-Methode, die in vielen Wortstämmen (BIM, PLAN, MODEL) und Phrasen (BUILDING INFORMATION MODELING, EINFÜHRUNG VON BIM, BIG BIM) wiederzufinden sind. Die Tatsache, dass die Häufigkeiten der Wortstämme und Phrasen INDUSTRIE, INDUSTRIE 4.0 und INDUSTRY 4.0 ebenfalls die Ranglisten anführen ist nicht weiter verwunderlich, da es sich um das Hauptthema der untersuchten Publikationen handelt. Bei den Basistechnologien spiegelt sich die Relevanz von Cloud Computing, Big Data, PLM, Internet der Dinge, Smart Factory und Robotertechnik wieder. Auch die Bedeutung der Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette Bau werden in den Begriffen ARBEIT, PROJEKT, INFORM, PROZESS, BETEILIGT, WERTSCHÖPFUNGSKETTE BAU und FÜR ALLE BETEILIGTEN zum Ausdruck gebracht. Die politische Dimension lässt sich in den Phrasen ÖFFENTLICHE HAND, FÜR KMU, FÜR WIRTSCHAFT, FÜR DEN BETRIEB erkennen. Andere Wortstämme wie TECHNI, DIGITAL, SYSTEM, DATEN, ENTWICK, UNTERNEHMEN und TECHNOLOGI sind weitere Eigenschaften, die mit dem Industrie 4.0 in Verbindung gebracht werden. Dahinter verbergen sich Begriffe wie digitale Modelle, Datenschutz, Datensicherheit oder Digitalisierung.

5 Diskussion und Ausblick

Die Situationsanalyse auf Basis der abgeleiteten Begriffsdefinition sowie der damit verbundenen Erwartungshaltungen, Chancen und Risiken zeigt auf, dass die Bauindustrie sich auf dem Weg zur Umsetzung des Industrie 4.0 Konzeptes noch ganz am Anfang befindet. Grundsätzlich werden damit große Potenziale verbunden, die weit über die wirtschaftlichen Vorteile hinausgehen (Tab. 4). Gleichwohl existieren diverse Hemmnisse, die teilweise den Besonderheiten der Baubranche geschuldet sind (Abschnitt 2), aber auch in der „klassischen“ Industrie 4.0 Literatur genannt werden. Angesichts der vielen ungeklärten Fragen kann die Notwendigkeit einer weiterführenden TA eindeutig bejaht werden. Eine TA kann dazu beitragen, die mit dem Industrie 4.0 Begriff verbundenen Folgewirkungen zu plausibilisieren und greifbarer zu machen. Da die Bauindustrie im Vergleich mit anderen Industriezweigen zu den Nachzüglern gehört und damit erheblichen Nachholbedarf hat [Ac14], sollte es bei der TA aber nicht um die grundsätzliche Frage gehen, ob die Einführung von Industrie 4.0 für die Unternehmen sinnvoll ist, sondern eher um die Frage, wie ein gangbarer Weg zur Anwendung aussehen kann.

5.1 Offene Fragen und Handlungsempfehlungen

Mit Synonymen wie Bauen 4.0, Building 4.0 oder Handwerk 4.0 wird das Thema Industrie 4.0 in der Bauindustrie derzeit medienwirksam diskutiert und propagiert. Bei näherer Betrachtung lässt sich jedoch feststellen, dass viele unbeantwortete Fragen bleiben, wie bspw. die nach praxisnahen Anwendungsszenarien, neuen Geschäftsmodellen, Methoden zur Kosten-Nutzen-Abwägung etc. Auf dem Weg zu einer vertiefenden TA sind daher folgende weiterführenden Fragen zu beantworten:

1. Wie können mögliche Anwendungsszenarien in der Bauindustrie aussehen? Dabei können unterschiedliche Digitalisierungsgrade angenommen werden, um die Folgewirkungen in verschiedenen Abstufungen umfassend beurteilen zu können.
2. Welche strukturellen Unterschiede müssen bei den potenziellen Anwendern berücksichtigt werden? Diese Frage ist insbesondere für die stark fragmentierte Baubranche wichtig, da es sich bei den am Bauprozess beteiligten Unternehmen sowohl um große Baukonzerne als auch um kleine und mittelständische Unternehmen handelt.
3. Was sind praktikable Methoden zur Kosten-Nutzen-Quantifizierung? Dies ist insbesondere wichtig, um die im Rahmen der Situationsanalyse aufgezeigten wirtschaftlichen Chancen und Risiken objektiv beurteilen zu können.
4. Welche konkreten Geschäftsmodelle können aus der Nutzung von Industrie 4.0 Technologien abgeleitet werden? Um die Chancen aus der Entstehung neuer innovativer Geschäftsmodelle beurteilen zu können, muss im ersten Schritt zunächst einmal feststehen, um welche Geschäftsmodelle es sich handeln kann.

Basierend auf die Zieldefinition, die Folgewirkungen einer Industrie 4.0 Anwendung in der Bauindustrie und einen gangbaren Weg zur Umsetzung aufzuzeigen, ist der nächste Schritt im Rahmen einer TA die Festlegung des Projektdesigns (Abb. 4).

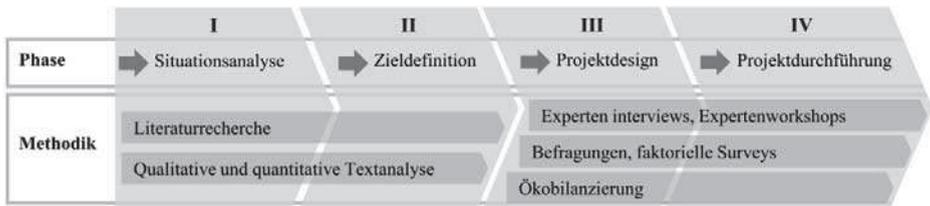


Abb. 4: Phasen und geeignete Methoden der TA

Methodisch eignet sich hierfür eine Kombination aus quantitativen und qualitativen Ansätzen sowie eine klar strukturierte Vorgehensweise [DS15]. Zur Betrachtung politischer, ökonomischer, technologischer und rechtlicher Aspekte der Fragestellung eignet sich eine expertenorientierte Vorgehensweise auf Basis von Experteninterviews und Expertenworkshops, um mittels einer Aggregation und Validierung von Expertenwissen zu fundierten Antworten zu gelangen [DS15]. Bei den sozialen Aspekten der Fragestellungen

wie bspw. Akzeptanz, Angst vor Jobverlust etc. eignen sich Befragungen wie z.B. faktorielle Surveys bzw. Vignettenanalysen, da sie eine Simulation von komplexen Beurteilungs- und Entscheidungsproblemen sozialwissenschaftlicher Natur erlauben [HAL09]. Bei ökologischen Aspekten eignet sich als ergänzende Methode die Ökobilanzierung [DS15], da sie eine genaue Quantifizierung der Umwelteffekte ermöglicht.

5.2 Limitationen und Ausblick

Die Ergebnisse unserer Untersuchung basieren auf einer beschränkten Anzahl an Publikationen, die größtenteils nicht wissenschaftlicher Natur sind. Es handelt sich hierbei um mediale Publikationen, die keinem Review-Verfahren durchlaufen sind und daher nicht dem Anspruch einer wissenschaftlichen Fundierung genügen. Dies haben wir in unserem Beitrag jedoch akzeptiert, da die aktuelle Forschung in diesem Bereich sich noch in den Anfängen befindet und somit kaum wissenschaftliche Literatur hierzu existiert. Im weiteren Schritt gilt es, diese Forschungslücke weiter zu schließen und die aufgezeigte Vorgehensweise zur vertiefenden TA aufzugreifen.

Literaturverzeichnis

Eine Übersicht aller 40 Artikel der Inhaltsanalyse sind auf http://bit.ly/Info2016_Anhang abrufbar.

- [Ac14] Accenture: Neue Geschäfte, neue Wettbewerber. Die Top500 vor der digitalen Herausforderung, 2014.
- [Be52] Berelson, B.: Content Analysis in Communication Research. Free Press, 1952.
- [BM15] BMBF: Bundesbericht Forschung und Innovation 2014. <http://www.datenportal.bmbf.de/portal/de/Tabelle-1.5.1.html>, 2015-11-24.
- [BR09] Butzin, A.; Rehfeld, D.: Innovationsbiographien in der Bauwirtschaft, Stuttgart, 2009.
- [BV15] BMVI: Building Information Modeling (BIM) wird bis 2020 stufenweise eingeführt.
- [DG02] Dubois, A.; Gadde, L.-E.: The construction industry as a loosely coupled system: implications for productivity and innovation. In *Construction Management and Economics*, 2002, 20; S. 621–631.
- [DS15] Decker, M.; Schippl, J.: Technikfolgenabschätzung. In (Kaltschmitt, M.; Schebek, L. Hrsg.): *Umweltbewertung für Ingenieure*. Springer Berlin Heidelberg, 2015; S. 403–437.
- [Eg13] Egger, M. et al.: *BIM-Leitfaden für Deutschland*, 2013.
- [HAL09] Hinz, T.; Auspurg, K.; Liebig, S.: Komplexität von Vignetten, Lerneffekte und Plausibilität im Faktoriellen Survey. In *MDA – Methoden, Daten, Analysen*, 2009, 3.
- [KHS14] Kraatz, J. A.; Hampson, K. D.; Sanchez, A. X.: *The global construction industry and R&D: R&D Investment and Impact in the global construction industry*. Routledge, 2014; S. 4–23.
- [KN08] Kaplan, R. S.; Norton, D. P.: *The Execution Premium: Linking Strategy to Operations*

for Competitive Advantage. Harvard Business Review Press, Boston, Mass, 2008.

- [KWH13] Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Frankfurt/Main, 2013.
- [Li15] Lichtblau, K. et al.: Industrie 4.0-Readiness, 2015.
- [Ma10] Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse. In (Mey, G.; Mruck, K. Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010; S. 601–613.
- [Pr11] Provalis Research: QDA Miner 4.0. <http://provalisresearch.com/Documents/QDAMiner40.pdf>, 2016-05-14.
- [Pr14] Provalis Research: WordStat 7. <http://provalisresearch.com/Documents/WordStat7.pdf>, 2016-05-14.
- [Si08] Sidorova, A. et al.: Uncovering the Intellectual Core of the Information Systems Discipline. In MIS Quarterly, 2008, 32; S. 467–482.
- [Te13] Teicholz, P. M.: Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies (a second look). In AECbytes, 2013, 1.
- [WW02] Webster, J.; Watson, R.: Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. In Management Information Systems Quarterly, 2002, 26.