

Industrie 4.0 in der Zementindustrie – Status quo und Perspektiven

Eine Studie im Auftrag der Initiative für Nachhaltigkeit
in der deutschen Zementindustrie



Aachen, Januar 2019

Diese Studie ist ein Beitrag der Sozialpartner zur Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie

Auftraggeber:

Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Zementindustrie
in Zusammenarbeit mit
Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt
Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie

Herausgeber:

Construction Robotics GmbH, Aachen

Bearbeitung:

RWTH Aachen University
Daniel Haarhoff, Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion
Elisa Lublasser, Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion
Steffen Overmann, Institut für Baustoffforschung, Lehrstuhl für Baustoffkunde
Hannes Elser, Werkzeugmaschinenlabor WZL, Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement
Henning Voet, Werkzeugmaschinenlabor WZL, Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement

Gestaltung:

www.servicedesign.eu

Bildnachweis:

Seite 1: HeidelbergCement AG/Steffen Fuchs, Seite 3: HeidelbergCement AG/Steffen Fuchs, Seite 7: Spenner Zementwerk Berlin GmbH & Co. KG, Seite 9: thyssenkrupp Industrial Solutions AG, Seite 18: HeidelbergCement AG/Steffen Fuchs, Seite 19: VDZ/CEMEX Deutschland AG/Nikolaus Karlinsky, Seite 20: HeidelbergCement AG/Steffen Fuchs, Seite 21: thyssenkrupp Industrial Solutions AG, Seite 22: HeidelbergCement AG/Steffen Fuchs, Seite 23: VDZ/Dyckerhoff GmbH/Nikolaus Karlinsky, Seite 24: HeidelbergCement AG/Steffen Fuchs, Seite 25: VDZ/SCHWENK Zement KG/Nikolaus Karlinsky, Seite 35: VDZ/SCHWENK Zement KG/Nikolaus Karlinsky, Seite 37: Schema der BIM.5D®-Arbeitsweise: Geometrisches Modell, verknüpft mit der Terminplanung und Informationen zu Kosten und Mengen (Quelle: STRABAG/ZÜBLIN), Seite 40: VDZ/CEMEX Deutschland AG/Nikolaus Karlinsky, Seite 46: gettyimages, Seite 48: Druckobjekte der Firma Xtree

Druck:

www.abcdruck.de



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	6
----------	------------------------	----------

2	Einführung und Ziele der Studie	8
----------	--	----------

3	Methodisches Vorgehen	10
3.1	Herangehensweise und Methodik	10
3.2	Abstrahierter Herstellungsprozess und Unterstützungsprozesse	11
3.3	Industrie-4.0-Reifegradmodell	12
3.4	Durchführung der Umfrage	13
3.5	Betrachtung der nachfolgenden Wertschöpfungskette	13

4	Ergebnisse der Umfrage	14
4.1	Themenübergreifende Fragen	14
4.1.1	Selbsteinschätzung der Unternehmen zur Erfüllung der Voraussetzungen für Industrie 4.0	14
4.1.2	Internetverbindung	14
4.1.3	Mobilfunkverbindung	15
4.1.4	Datenspeicherung	15
4.1.5	Bereitschaft zur Datenspeicherung in der Cloud	16
4.1.6	Bedarf und Verfügbarkeit von Mitarbeitern mit informationstechnischem Hintergrund	16
4.1.7	Zwischenfazit zu den themenübergreifenden Fragen	17
4.2	Herstellungsprozess und Unterstützungsprozesse	17
4.2.1	Rohmaterial gewinnen	18
4.2.2	Rohmaterial aufbereiten	19
4.2.3	Rohmehl herstellen	20
4.2.4	Klinker herstellen	21
4.2.5	Zement herstellen	22
4.2.6	Zement verpacken und versenden	23
4.2.7	Instandhaltung	24
4.2.8	Labor	25
4.2.9	Zwischenfazit zu den Herstellungs- und Unterstützungsprozessen	26

5	Perspektiven für Industrie 4.0 in der Zementindustrie	28
5.1	Perspektiven für den Herstellungsprozess	32
5.2	Perspektiven für die Unterstützungsprozesse	32
5.3	Bedeutung von Industrie 4.0 für den Mitarbeiter	33

6	Nachgelagerte Wertschöpfungskette	36
6.1	Building Information Modeling – BIM	37
6.1.1	Allgemeine Einführung	37
6.1.2	Mehrwert von neuen Digitalisierungsmethoden allgemein	39
6.1.3	Mehrwert von BIM als Digitalisierungsmethode für die Zementindustrie	39
6.2	Umfrageauswertung Wertschöpfungskette	41
6.2.1	Nachfolgende Wertschöpfungskette	41
6.2.2	Building Information Modeling und einheitliche Datenformate	41
6.2.3	Anlagenplanung und Dokumentation	41
6.2.4	Behördliche Richtlinien und Fristen	42
6.3	Digitalisierungsanforderungen der nachgelagerten Industrien	45
6.3.1	Verbraucheranforderungen	46
6.3.2	Optimierung von Bauteilen und Bauprozessen	46
6.3.3	Angepasste und transparente Betonmischung	49
6.4	Zwischenfazit: Auswirkungen der Digitalisierung auf die Zementindustrie	50
<hr/>		
7	Fazit	51
<hr/>		
8	Institutsporträts	54
<hr/>		
9	Literaturverzeichnis	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1	Prozesskette der Zementherstellung und abstrahierter Herstellungsprozess	11
Abbildung 3.2	Industrie-4.0-Reifegradmodell	12
Abbildung 4.1	Upload-Geschwindigkeit	15
Abbildung 4.2	Vergleich der Mobilfunkqualität auf dem Werksgelände und im Steinbruch	15
Abbildung 4.3	Aktuelle Praxis bei der Speicherung von Daten	15
Abbildung 4.4	Bereitschaft zur zukünftigen Datenspeicherung in der Cloud	16
Abbildung 4.5	Beurteilung des aktuellen und zukünftigen Fachkräftebedarfs	16
Abbildung 4.6	Abdeckung des Bedarfs an Fachkräften mit informationstechnischem Hintergrund	17
Abbildung 4.7	Abstrahierter Herstellungsprozess und Unterstützungsprozesse in der Übersicht	26
Abbildung 5.1	Industrie-4.0-Roadmap	28
Abbildung 5.2	Internet of Production (IoP)	30
Abbildung 5.3	Treiber der Arbeit 4.0	33
Abbildung 5.4	Handlungsfelder der Arbeit 4.0	34
Abbildung 6.1	Nachgelagerte Wertschöpfungskette	36
Abbildung 6.2	Umfrageauswertung Wertschöpfungskette	43
Abbildung 6.3	Einflussfaktoren und aktuelle Entwicklungen entlang der Wertschöpfungskette	45
Abbildung 6.4	Druckfestigkeit von Normmörteln eines Referenzzements (CEM I 42,5 R) im Alter von 28 Tagen	48
Abbildung 6.5	Ausbreitmaß von Normmörteln eines Referenzzements (CEM I 42,5 R)	48

1

Zusammenfassung

Der Zementherstellungsprozess ist nahezu vollständig digitalisiert und Industrie 4.0 teilweise umgesetzt. Weiteres Potenzial besteht entlang des Gesamtprozesses und bei den Unterstützungsprozessen.

Ziel dieser Studie ist die Erfassung des Status quo und der Perspektiven von Industrie 4.0 für die deutsche Zementindustrie. Hierzu wurden im Auftrag der Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie ein Forschungsauftrag an ausgewählte Forschungsinstitute der RWTH Aachen mit entsprechender Expertise im Bereich Industrie 4.0 vergeben. Die Basis für die Studie bilden ein abstrahierter Herstellungsprozess und ausgewählte Unterstützungsprozesse sowie ein Industrie-4.0-Reifegradschema. Diese Grundlagen wurden im Rahmen von Vor-Ort-Prozessaufnahmen in ausgewählten Zementwerken sowie einem Workshop gemeinsam mit Unternehmensvertretern aus der Zementindustrie erarbeitet. Basierend darauf wurde eine umfangreiche schriftliche Befragung zum Status quo sowie der Entwicklungsperspektive über die nächsten fünf Jahre von Industrie 4.0 in den Werken durchgeführt. Neben allgemeinen Fragestellungen zur Internet- und Mobilfunkinfrastruktur, Datenspeicherung und Fachkräftebedarf wurden in der Umfrage schwerpunktmäßig der abstrahierte Herstellungsprozess und die ausgewählten Unterstützungsprozesse sowie die nachgelagerte Wertschöpfungskette betrachtet.

Im Rahmen der Umfrage konnte gezeigt werden, dass sich alle befragten Unternehmen bereits mit dem Thema Industrie 4.0 in ihren Werken beschäftigen, aber auch noch ungenutzte Potenziale sehen. Im Hinblick auf eine werksübergreifende Vernetzung über Internet oder Mobilfunk mangelt es häufig noch an der zu geringen Bandbreite für den flächendeckenden Einsatz von webbasierten Lösungen, wie z.B. einer Speicherung von Produktionsdaten in der Cloud. Es wird zudem deutlich, dass die Bereitschaft, stärker auf Cloudlösungen zu setzen, recht schwach ausgeprägt ist. Neben technologischen Hürden sind die Unternehmen meistens um die Sicherheit ihrer Daten besorgt. Eine weitere Herausforderung stellt die Verfügbarkeit von Fachkräften mit informationstechnischem Hintergrund dar. Bereits heute besteht hier bei vielen Unternehmen ein Defizit. Der Bedarf an entsprechendem Fachpersonal in den Werken wird nach Einschätzung der befragten Unternehmen in Zukunft weiter steigen und schwer zu decken sein.

Die einzelnen Schritte des Herstellungsprozesses (vgl. Abbildung 3.1, S. 11) sind in den Werken bereits nahezu durchgängig digitalisiert, wodurch die Voraussetzungen für Industrie 4.0 flächendeckend gegeben sind. Damit liegen die zur Steuerung des Herstellungsprozesses benötigten Informationen fast durchgängig digital vor und können übertragen werden. Betrachtet man die einzelnen Schritte des Herstellungsprozesses hinsichtlich der Reifegradstufen von Industrie 4.0 (vgl. Abbildung 3.2, S. 12), so zeigen sich zum Teil deutliche Unterschiede zwischen diesen. Während die vollständig automatisierten Prozessschritte, wie das Mahlen des Rohmehls, zum Teil bereits das volle Potenzial von Industrie 4.0 ausschöpfen, so weisen die weniger automatisierten Schritte, wie die Gewinnung des Rohmaterials im Steinbruch oder der Zementversand, noch Entwicklungspotenziale auf. Darüber hinaus besteht vor allem in der Prozessschritt übergreifenden Optimierung des Herstellungsprozesses noch großes Potenzial. Durch



eine effiziente Überwachung und Abstimmung der Zwischenprodukte eines jeden Prozessschritts vom Steinbruch bis zur Zementmühle könnten beispielsweise die Zugabe von Zusatzstoffen und damit Kosten reduziert werden.

Im Bereich der Unterstützungsprozesse zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. So besitzen die Laboranalysen für den Herstellungsprozess bereits einen sehr hohen Automatisierungs- bzw. Reifegrad, wohingegen bei der Qualitätssicherung noch Potenzial in Bezug auf die digitale Ermittlung und Übertragung von Analyseergebnissen besteht. Der ebenfalls betrachtete Instandhaltungsprozess weist noch große Potenziale über alle Reifegradstufen auf. So werden beispielsweise Störungen in den meisten Fällen noch manuell erfasst und übermittelt. Positiv ist, dass die Produktionsanlagen sensorgestützt überwacht werden.

Die Analyse der nachgelagerten Wertschöpfungskette zeigt vor allem den erhöhten Bedarf nach digitaler chargengetreuer Produktinformation zum Produkt Zement auf. Dieser wird anhand ausgewählter Trends in Bau- und Betonbranche sowie neuen Bautechnologien wie dem Beton-3D-Druck erläutert. Obwohl die technischen Grundlagen gegeben sind, entsprechende Informationen mit dem Kunden auszutauschen, ist dies in der Praxis heute noch sehr schwach ausgeprägt. Ein Grund ist hier, ähnlich wie beim Umgang mit Cloudlösungen, die Sorge um Datensicherheit.

Darüber hinaus wird der mögliche Einfluss von Building Information Modeling (BIM) als eine Digitalisierungsmethode aus dem Bauwesen erläutert. Besonders für die Werksplanung und -instandhaltung könnte der Einsatz von BIM Arbeitsabläufe z.B. im Reparaturfall durch visuelle Unterstützung vereinfachen. Im Bereich der Planung könnte es dazu beitragen, die Vernetzung von Beteiligten und die Verknüpfung mit relevanten Dokumenten über ein gemeinsames Modell zu stärken. Bisher sind Methoden von BIM jedoch in den Werken noch nicht integriert, da Geometrien der Werke und Anlagen nur teilweise digitalisiert sind und zusätzliche Planungsinformationen und Datenblätter nur in geringem Maße digital vorliegen.

Zusammenfassend zeigt die Studie auf, dass die einzelnen Schritte des Zementherstellungsprozesses nahezu durchgängig digitalisiert und die Voraussetzungen für Industrie 4.0 somit gegeben sind. Darüber hinaus wird Industrie 4.0 in ausgewählten Prozessschritten bereits heute umgesetzt. Optimierungspotenzial weisen hingegen die übergeordnete Verknüpfung der Prozessschritte sowie unterstützende Arbeitsabläufe wie die Instandhaltung auf. Hier kann sich die Zementindustrie nicht nur an Technologien aus Industrie 4.0 bedienen, sondern sich auch Digitalisierungsansätze der Bauindustrie wie BIM zunutze machen.

2

Einführung und Ziele der Studie

Ziel ist es, den Status quo und Zukunftsperspektiven für Industrie 4.0 in der Zementindustrie darzustellen.

Der Einsatz von Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien bewegt unsere Gesellschaft. Viele fundamentale technische Fähigkeiten wie die Rechenleistung von Computern und deren Speicherkapazitäten, Bandbreiten für die Datenübertragung sowie die Miniaturisierung der Hardware, beispielsweise für den Einsatz in Smartphones, erleben seit Jahren ein exponentielles Wachstum. Es sind genau diese Entwicklungen, welche bereits heute teils massive Veränderungen von Produkten, Produktionsprozessen und Arbeitsweisen ermöglichen.

In Deutschland werden in Bezug auf die Industrie sowohl die beschriebenen technologischen Entwicklungen als auch die aus ihr resultierenden Veränderungen unter dem Begriff Industrie 4.0 zusammengefasst. Der Begriff spielt auf die vierte industrielle Revolution an, welche zum übergreifenden Zukunftsprojekt der deutschen Bundesregierung ausgerufen wurde. Nach Mechanisierung, Elektrifizierung und Automatisierung unserer Industrien wird nun die Verknüpfung von digitaler und realer Welt als nächster Entwicklungsschritt angesehen. Die verlustfreie Duplikation von digitalen Daten und universell einsetzbare Rechenleistung ermöglicht hierbei immense Skaleneffekte. Die Antwort darauf, wie etablierte Industrien und Märkte damit umgehen können, steht noch aus.

Vor diesem Hintergrund hat die Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie einen Forschungsauftrag vergeben. In Anbetracht der bereits umfangreichen elektronischen Prozesssteuerung in der Zementindustrie in Deutschland soll die Studie dabei den Status quo, aber auch derzeitige Perspektiven in den Zementwerken erfassen. Dieser Blick „von innen“ soll durch eine Betrachtung „von außen“ durch die RWTH Aachen ergänzt werden. So kann eine Verortung der Branche im Kontext von Industrie 4.0 vorgenommen werden. Die Studie wurde in einem fakultätsübergreifenden Konsortium von Forschern der RWTH Aachen durchgeführt. Gemeinsam bringen die drei Forschungsinstitute – Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion IP, Institut für Baustoffforschung ibac und Werkzeugmaschinenlabor WZL – ihre Expertise zum Einsatz von Industrie-4.0-Technologien in der Produktion und im Bauwesen sowie zum Einsatz von Zement in der nachgelagerten Wertschöpfungskette ein.

Aus diesem interdisziplinären Konsortium heraus verfolgt die Studie das Ziel, den Status quo und mögliche Zukunftsperspektiven für Industrie 4.0 bezogen auf die Zementindustrie zu erfassen und darzustellen. Dabei stehen folgende Fragestellungen im Mittelpunkt: Wo steht die deutsche Zementindustrie heute in puncto Digitalisierung und Industrie 4.0? Welche Entwicklungen werden in den kommenden fünf Jahren in diesem Bereich von den Unternehmen erwartet? Welche übergeordneten Technologietrends könnten für die Zementindustrie langfristig von Bedeutung sein und welche Prozessschritte sind von diesen betroffen? Wie könnten sich hierdurch Arbeitsbedingungen und Qualifikationsanforderungen ändern? Zudem soll betrachtet werden,

welche Trends entlang der nachgelagerten Wertschöpfungskette der Bauwirtschaft erkennbar sind und einen Einfluss auf die Digitalisierung der Zementindustrie sowie ggf. auf neue Geschäftsmodelle haben könnten.

Die Studie ist folgendermaßen aufgebaut: In Kapitel 3 wird zunächst das methodische Vorgehen erläutert. Anschließend werden in Kapitel 4 die Ergebnisse der schriftlichen Umfrage unter den Mitgliedsunternehmen des VDZ zum Status quo und Perspektiven für Industrie-4.0 dargestellt. Auf dieser Grundlage wird schließlich der branchenspezifische Industrie-4.0-Reifegrad bestimmt. Daraus sowie aus den Ergebnissen eines Expertenworkshops vom Februar 2018 werden in Kapitel 5 mögliche Zukunftstrends abgeleitet, die von den Unternehmen als relevant eingeschätzt werden. Die Analyse wird abgerundet durch einen Blick auf Digitalisierungstrends entlang der Wertschöpfungskette Bau unter besonderer Berücksichtigung von Anforderungen, die sich hieraus für die Zementherstellung ergeben könnten.

Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Teilnehmern der Umfrage, des Workshops und insbesondere bei den Kollegen der Unternehmen bedanken, die wir im Rahmen der Prozessaufnahmen besuchen durften, und freuen uns die Ergebnisse des Forschungsvorhabens in diesem Bericht vorstellen zu können.



3 Methodisches Vorgehen

Der Zementherstellungsprozess wird anhand eines Industrie-4.0-Reifegradmodells untersucht. Grundlage bildet der Praxisinput der beteiligten Unternehmen.

● 3.1 Herangehensweise und Methodik

Zur Erfassung von Status quo und Perspektiven im Hinblick auf Industrie 4.0 in der Zementindustrie wurde für den Prozess der Zementherstellung zunächst ein abstrahierter Herstellungsprozess und dazugehörige Unterstützungsprozesse definiert (Abbildung 3.1). In Anlehnung an diese übergeordneten Prozessschritte wurden stellvertretend für die Branche in zwei Zementwerken Prozessaufnahmen durchgeführt. Im Fokus der Prozessaufnahmen standen die Erfassung des Status quo und die Diskussion von Entwicklungsperspektiven der einzelnen Prozessschritte in den Werken.

Die im Rahmen der Prozessaufnahmen gesammelten Ergebnisse wurden anschließend in einem Workshop mit weiteren Unternehmensvertretern aus der Zementindustrie diskutiert und entsprechend erweitert. Hierbei wurden sowohl der erfasste Status quo und die Entwicklungsperspektive betrachtet als auch örtliche Gegebenheiten sowie technologische und gesetzliche Randbedingungen in den Blick genommen. Darüber hinaus wurden gemeinsam mit den Unternehmensvertretern Konzepte zur Weiterentwicklung der Prozesse unter Berücksichtigung neuer Technologien – wie z.B. Smart Glasses in der Instandhaltung – erarbeitet.

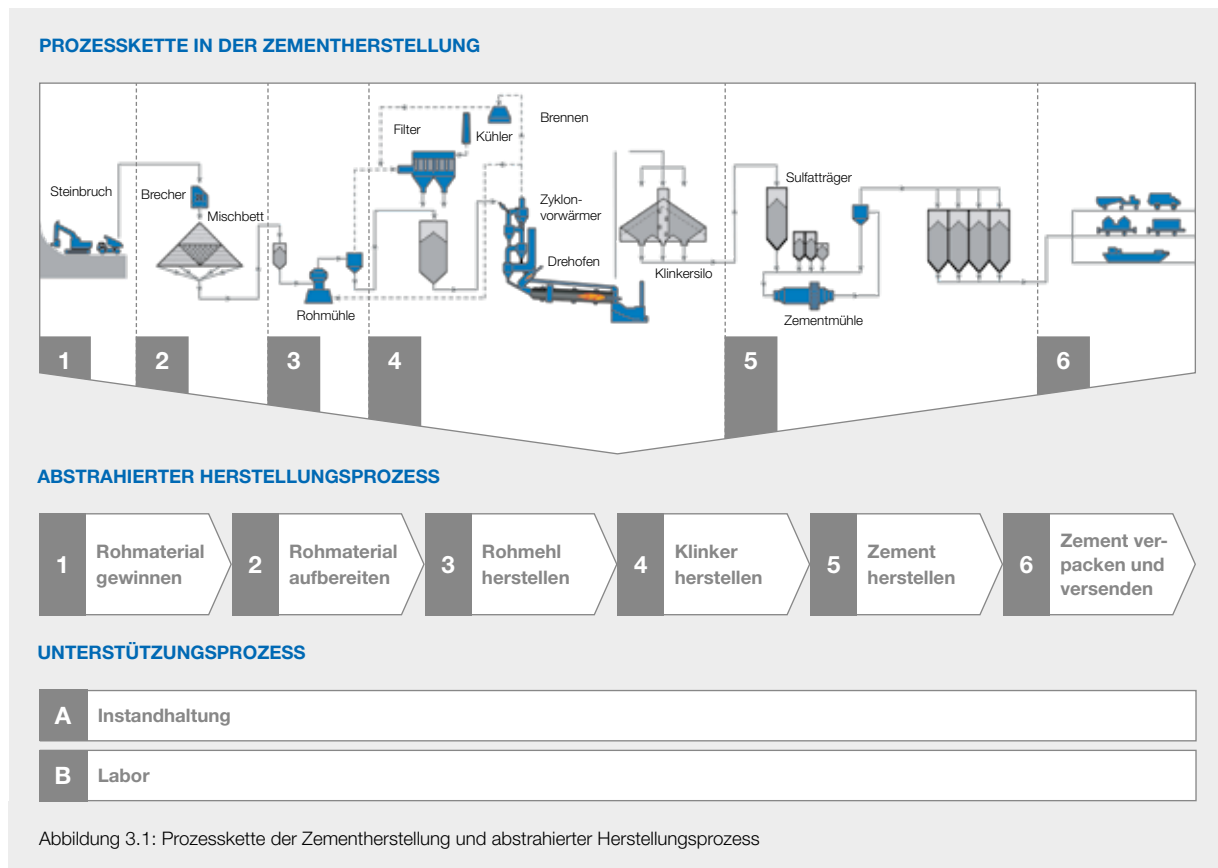
Um eine objektive Einstufung der Zementindustrie im Hinblick auf Industrie 4.0 vornehmen zu können, wurde aufbauend auf der Prozessaufnahme in den Werken und dem Expertenworkshop ein Fragebogen zur Erfassung des Status quo und perspektivischen Entwicklungen konzipiert und an die Mitglieder des VDZ versendet. Grundlage für den Fragebogen bildeten der abstrahierte Herstellungsprozess und die dazugehörigen Unterstützungsprozesse (Abbildung 3.1) sowie ein etabliertes Industrie-4.0-Reifegradmodell (Abbildung 3.2).

In die finale Erstellung der Studie sind neben den Erkenntnissen aus den Prozessaufnahmen, dem Workshop und der Umfrage auch die Expertise der beteiligten Institute und Erkenntnisse aus Literaturrecherchen eingeflossen, um die Entwicklungsperspektive der nachgelagerten Wertschöpfungskette zumindest qualitativ darzustellen.

Nachfolgend werden die der Studie zugrundeliegenden Prozesse und das Industrie-4.0-Reifegradmodell vorgestellt. Darüber hinaus wird das Vorgehen im Rahmen der Umfrage sowie bei der Untersuchung der nachgelagerten Wertschöpfungskette erläutert.

3.2 Abstrahierter Herstellungsprozess und Unterstützungsprozesse

Für diese Studie wurde der schematische Verfahrensablauf im Zementwerk in einen abstrahierten Herstellungsprozess mit sechs Prozessschritten unterteilt. In Ergänzung dazu wurden ausgewählte Unterstützungsprozesse in die Betrachtung mit aufgenommen.



Nachfolgend werden die sechs Schritte des abstrahierten Herstellungsprozesses und deren Besonderheiten kurz beschrieben:

- Der Prozessschritt „Rohmaterial gewinnen“ vereint alle Tätigkeiten zur Gewinnung des Rohmaterials im Steinbruch.
- Der Prozessschritt „Rohmaterial aufbereiten“ umfasst die Homogenisierung des Rohmaterials im Mischbett. Hierbei ist zu erwähnen, dass nicht alle Zementwerke über ein Mischbett verfügen.
- Der Prozessschritt „Rohmehl herstellen“ besteht im Wesentlichen aus der Herstellung des Rohmehls in der Rohmühle.
- Der Prozessschritt „Klinker herstellen“ umfasst alle Vorgänge zum Brennen und Abkühlen des Klinkers sowie die anschließende Zwischenlagerung. Im Mittelpunkt des Prozessschrittes steht der Drehofen und die dazugehörige Anlagentechnik.
- Der Prozessschritt „Zement herstellen“ besteht im Wesentlichen aus der Herstellung des Zements in der Zementmühle sowie der anschließenden Zwischenlagerung.
- Der Prozessschritt „Zement verpacken und versenden“ umfasst alle Tätigkeiten zur Abfüllung und dem Versand des Zements per LKW, Zug oder Schiff. Der Betrachtungsschwerpunkt in der Studie liegt hierbei auf der Auftragsabwicklung im Zusammenhang mit der Produktionsplanung und -steuerung.

Nachfolgend werden die beiden in der Studie betrachteten Unterstützungsprozesse kurz beschrieben:

- Der Unterstützungsprozess „Instandhaltung“ umfasst alle Tätigkeiten zur Sicherstellung der Verfügbarkeit der Produktionsanlagen bzw. zur Aufrechterhaltung des Herstellungsprozesses.
- Der Unterstützungsprozess „Labor“ umfasst alle Labortätigkeiten zur Unterstützung des Herstellungsprozesses und zur Durchführung der Qualitätssicherung.

3.3 Industrie-4.0-Reifegradmodell

Zur Bewertung der Herstellungs- und Unterstützungsprozesse in der Zementindustrie wird in dieser Studie auf das Industrie-4.0-Reifegradmodell der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften [1] zurückgegriffen. Das unten dargestellte Reifegradmodell differenziert zwischen Digitalisierung und Industrie 4.0 und besitzt insgesamt sechs Reifegradstufen.

Nachfolgend werden die sechs Reifegradstufen im Detail erläutert. Die Bedeutung und Zusammenhänge der Reifegradstufen werden exemplarisch anhand der Datenerfassung, -übertragung, -analyse und -visualisierung in einem Auto erläutert.

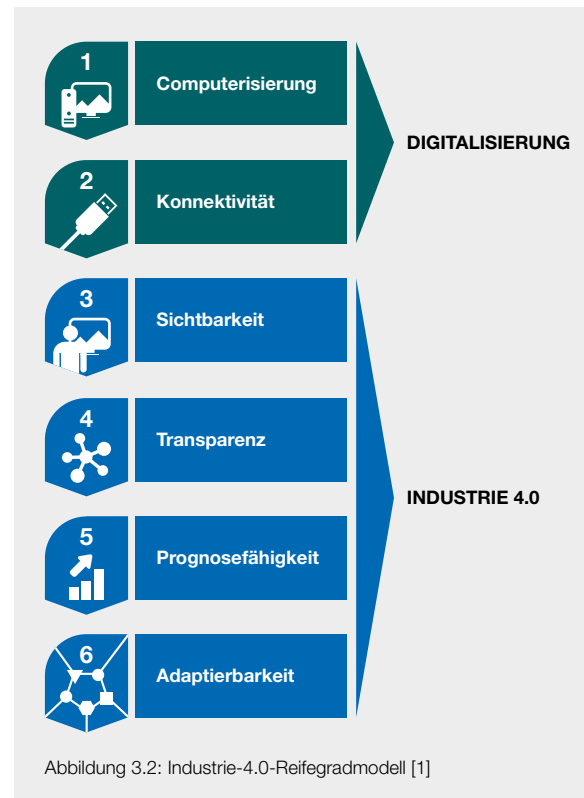
Die erste Reifegradstufe umfasst die Computerisierung des Unternehmens. Ziel des ersten Grads der Digitalisierung ist die digitale Bereitstellung von Informationen. Dies wird über weitestgehend isolierte Informationstechnologien – wie beispielsweise Sensorik in Verbindung mit einer digitalen Steuerung einer Anlage – realisiert. Für ein Automobil bedeutet Computerisierung beispielsweise die sensorgestützte Erfassung und digitale Bereitstellung der Drehzahlen von Motor und Rädern oder der Distanz zum vorausfahrenden Auto.

Die zweite Reifegradstufe der Konnektivität enthält die vernetzte Nutzung der bereits implementierten Informationstechnologien, wie beispielsweise der Anlagensteuerung mit einem Leitstand. Transaktionen zwischen den Systemen finden hierbei ausschließlich in digitaler Form statt. Am Beispiel des Autos werden die sensorgestützt erfassten Drehzahlwerte und die Distanz digital an ein zentrales Steuergerät übertragen.

Durch das Erreichen der vorgelagerten Digitalisierungsstufen wird eine umfassende Datenbasis gebildet. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass die zum Teil über mehrere Datenbanken verteilten Daten keine voneinander abweichenden Informationsstände aufweisen – „Single Source of truth“¹⁾ – und den Mitarbeitern für die Ausführung ihrer Arbeit in Echtzeit zur Verfügung stehen. Die auf dieser Datenbasis erzeugten digitalen Abbilder des Unternehmensprozesses werden auch als „digitaler Schatten“²⁾ bezeichnet. Durch die Erfüllung dieser Voraussetzungen, wird die Reifegradstufe der Sichtbarkeit im Unternehmen erreicht. Am Beispiel des Autos folgt der digitalen Übertragung der Motordrehzahl beispielsweise die direkte Visualisierung auf dem Armaturenbrett, wo sie dem Fahrer als Kontrollgröße zur Verfügung steht.

Die Reifegradstufe der Transparenz setzt voraus, dass Unternehmen softwaregestützte Analyseverfahren implementiert haben, um Wirkzusammenhänge aus den verfügbaren Prozessdaten abzuleiten. Hierbei werden komplexe Zusammenhänge auf Basis verschiedener Sensorwerte und mathematischer Modelle auf eine übergeordnete Kennzahl – zur vereinfachten Steuerung des Prozesses durch den Mitarbeiter – verdichtet. Bei einem Auto werden beispielsweise die Drehzahlen aller Räder unter Berücksichtigung des Raddurchmessers zur aktuellen Geschwindigkeit verrechnet und dem Fahrer auf der Tachoanzeige visualisiert. Hierdurch kann dieser über das Gaspedal die Geschwindigkeit des Fahrzeugs entsprechend der geforderten Geschwindigkeitsbegrenzungen anpassen.

Wenn die Datenbasis in Kombination mit den implementierten Analyseverfahren genutzt wird, um wahrscheinliche Zukunftsszenarien des zu erwartenden Prozesszustands abzuleiten und Handlungsempfehlungen für die Mitarbeiter zu generieren, wurde die Reifegradstufe der Prognosefähigkeit erreicht. Zwar erfolgt die Einleitung entsprechender Maßnahmen weiterhin manuell durch den Mitarbeiter – durch die frühzeitige Erkennung einer



1) „Single Source of truth“ beschreibt einen allgemeingültigen Datenbestand, in welchem jedes Element in seiner aktuell gültigen Form vorliegt.

2) Der Begriff „digitaler Schatten“ steht für ein ausreichend genaues, digitales Abbild der Prozesse, Betriebsmittel und Informationen eines Unternehmens [2].

potenziellen Prozessabweichung oder -störung kann dieser jedoch präventiv entgegengewirkt werden. Zur Veranschaulichung des Zusammenhangs sei auf ein Abstandswarnsystem beim Auto verwiesen. Dem Fahrer wird visuell bzw. akustisch signalisiert, dass der Abstand zum vor ihm fahrenden Fahrzeug nicht dem geforderten Sicherheitsabstand entspricht und einen potenziellen Auffahrunfall nach sich ziehen kann. Das Warnsignal basiert dabei auf der gegenwärtigen Fahrzeuggeschwindigkeit im Bezug zur Distanz zum vorausfahrenden Auto. Die Entscheidung zu bremsen und den Sicherheitsabstand zu vergrößern liegt jedoch weiterhin beim Fahrer.

Die finale Stufe des zugrundeliegenden Reifegradmodells stellt die Adaptierbarkeit dar. Der zuvor erreichte Grad der Prognostizierbarkeit wird um die Systemautonomie ergänzt. Softwaregestützte Analysesysteme dienen nicht mehr nur der Entscheidungsunterstützung, sondern werden befähigt, auf Basis einer fortlaufenden Bewertung des Prozessgeschehens eigenständig Maßnahmen abzuleiten und auszuführen. Der Grad der Systemautonomie muss hierbei situationsbedingt festgelegt werden. Am Beispiel des Autos bedeutet dies, dass bei Unterschreitung des Sicherheitsabstands das Fahrzeug selbstständig abbremst.

● 3.4 Durchführung der Umfrage

Aufbauend auf der Prozessaufnahme in zwei Werken und dem Expertenworkshop war es das Ziel der Umfrage, eine breite empirische Grundlage für die Bewertung des aktuellen Industrie-4.0-Reifegrads und möglicher Zukunftsperspektiven zu schaffen. Dazu wurden die befragten Unternehmen einerseits um eine Beurteilung des Status quo bei der Durchdringung von Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 in den Produktions- und Unterstützungsprozessen gebeten. Zusätzlich wurde erfragt, welche Entwicklung bzw. welcher potenzielle Zustand in fünf Jahren erwartet wird. Die Befragungsteilnehmer sollten dabei ihr jeweiliges „Best-Practice“-Werk beurteilen. Darüber hinaus stand es den Unternehmen frei, auch weitere Werke anhand des Fragebogens zu betrachten.

Der Fragebogen gliederte sich in zwölf Themenblöcke. Neben allgemeinen Fragen zu Internet und Mobilfunk, Datenspeicherung, Mitarbeiterentwicklung und der nachgelagerten Wertschöpfungskette wurde schwerpunktmäßig der Zementherstellungsprozess adressiert. Hierbei wurde für jeden Schritt des abstrahierten Herstellungsprozesses ein Fragenschema entwickelt, das der Stufenstruktur des zuvor erläuterten Industrie-4.0-Reifegradmodells folgt. Hierdurch konnte eine gesonderte Bewertung der Entwicklungsstufe des jeweiligen Prozessschrittes erfolgen. In diesem Zusammenhang gilt ein Reifegrad als erreicht, wenn die Fragen mehrheitlich positiv beantwortet wurden. Darüber hinaus wurde den Befragungsteilnehmern die Möglichkeit gegeben, im Zweifelsfall Anmerkungen zu machen, die bei der Auswertung entsprechend berücksichtigt wurden.

Die in dieser Umfrage adressierte Grundgesamtheit sind die Mitgliedsunternehmen des VDZ. Da um die Teilnahme eines Best-Practice-Werks je Unternehmensgruppe gebeten wurde, umfasst die Grundgesamtheit 15 verbundene Unternehmen. Davon haben sich 10 Unternehmen an der Umfrage beteiligt. Acht Unternehmen mit je einem Werk, zwei Unternehmen mit je zwei Werken.

● 3.5 Betrachtung der nachfolgenden Wertschöpfungskette

Der Fokus der vorliegenden Studie liegt zunächst auf der Zementherstellung. Darüber hinaus wird jedoch auch die nachgelagerte Wertschöpfungskette des Zements im Bauwesen qualitativ betrachtet. Die Identifikation von Potenzialen und Trends in diesem Bereich fußt auf der Expertise der Lehrstühle für Baustoffkunde und Individualisierte Bauproduktion der RWTH Aachen sowie auf Literaturrecherchen. Es wurden dabei solche Trends herausgearbeitet, die über kurz oder lang einen Einfluss auf die Digitalisierung in der Zementindustrie haben könnten. Zudem wurde die Digitalisierungsmethode Building Information Modeling (BIM) der Bauindustrie betrachtet und analysiert, inwiefern diese für die Zementindustrie nutzbar gemacht werden kann oder Anforderungen an die Zementindustrie stellt. Die Erkenntnisse aus der Prozessaufnahme in den Werken und dem Expertenworkshop sind dabei in die Recherche und die Gestaltung der Umfrage zum Thema Wertschöpfungskette eingeflossen.

4

Ergebnisse der Umfrage

Der Zementherstellungsprozess ist nahezu vollständig digitalisiert. Weiteres Industrie-4.0-Potenzial besteht vor allem bei der Rohmaterialgewinnung, beim Zementversand sowie bei der Instandhaltung.

● 4.1 Themenübergreifende Fragen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse zu den allgemeinen Fragen rund um Industrie 4.0 betrachtet. Nachfolgend wird im Wesentlichen auf die Selbsteinschätzung zur Erfüllung der Voraussetzungen für Industrie 4.0, die vorhandene Internet- und Mobilfunkverbindung, die Art der Datenspeicherung in den Werken sowie den aktuellen Bedarf und die Verfügbarkeit von Mitarbeitern mit informationstechnischem Hintergrund eingegangen.

4.1.1 Selbsteinschätzung der Unternehmen zur Erfüllung der Voraussetzungen für Industrie 4.0

Die Befragungsteilnehmer wurden zum Einstieg gebeten, folgende Aussage zu beurteilen: „Unser Werk ist auf Industrie 4.0 gut vorbereitet“.

Die Antworten reichten von teilweiser Verneinung bis teilweiser Zustimmung. Dies zeigt, dass sich alle Unternehmen in ihren Werken bereits mit dem Thema Industrie 4.0 auseinandergesetzt haben. Darüber hinaus hat gut die Hälfte aller Unternehmen erste Vorbereitungsmaßnahmen umgesetzt. Ein Viertel der Unternehmen ist bereits mehrheitlich auf Industrie 4.0 vorbereitet. Andererseits zeigt es aber auch, dass immer noch Entwicklungspotenzial in allen Unternehmen besteht.

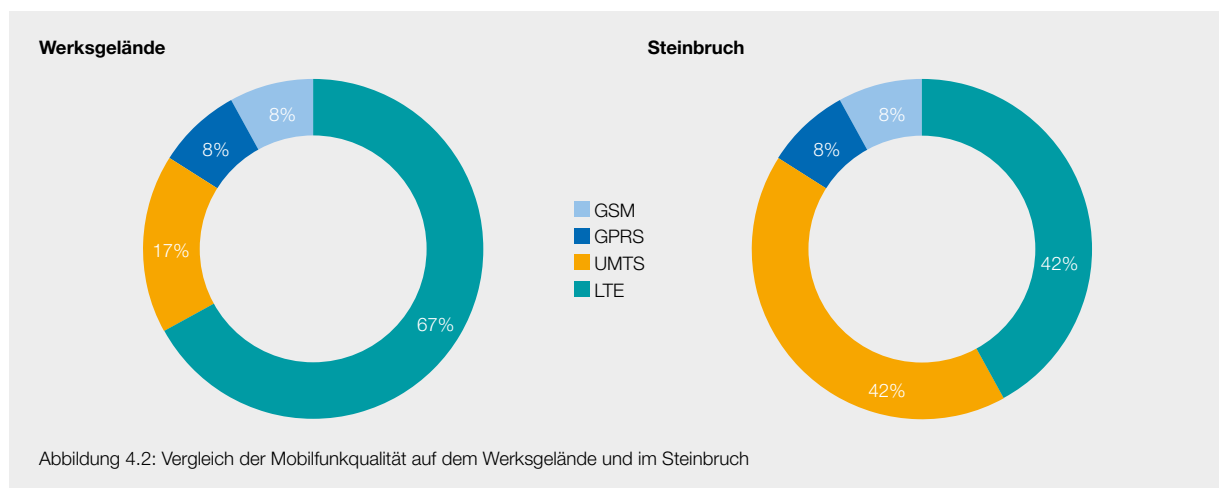
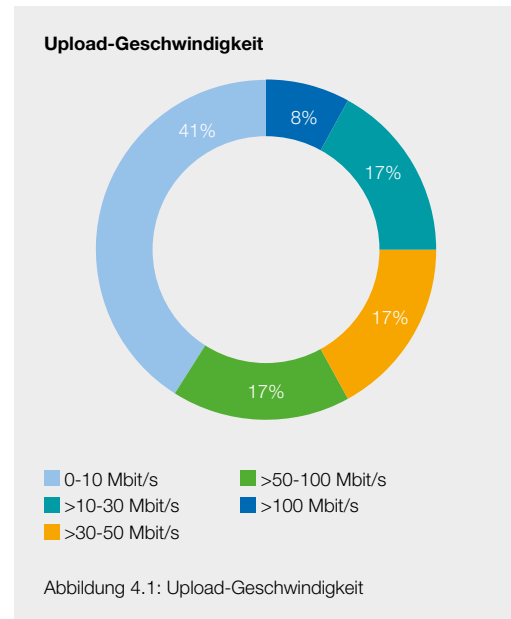
4.1.2 Internetverbindung

Die Internetverbindung eines Werkes bildet die Grundlage für die Vernetzung mit der Außenwelt. Limitierender Faktor für die Datenübertragung bzw. Nutzung webbasierter Produkte ist die häufig geringe Upload-Geschwindigkeit, die daher nachfolgend betrachtet wird. Zur Ermittlung der dem Mitarbeiter zur Verfügung stehenden Bandbreite wurde in der Umfrage auf den „DSL-Speedtest“ der Deutschen Telekom zurückgegriffen. Die gemessenen Werte zeigen, dass der oft diskutierte Breitbandausbau bisher nur zum Teil in den Zementwerken angekommen ist. Hierbei wirkt sich die Lage der Zementwerke in eher dünn besiedelten Gebieten oft negativ auf den Ausbaustatus aus. Knapp der Hälfte der betrachteten Werke stehen nicht mehr als 10 Mbit/s Upload-Geschwindigkeit

zur Verfügung. Diese Verbindungsgeschwindigkeit reicht für ca. 6 Videokonferenzen in HD oder ca. 60 VoIP Gespräche. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass durch sonstige Tätigkeiten wie z.B. das Abrufen von E-Mails die volle Bandbreite nur selten zur Verfügung steht. Bei einem vorhandenen Glasfaseranschluss können im gewerblichen Bereich je nach Anbieter bereits über 1000 Mbit/s Upload-Geschwindigkeit erreicht werden.

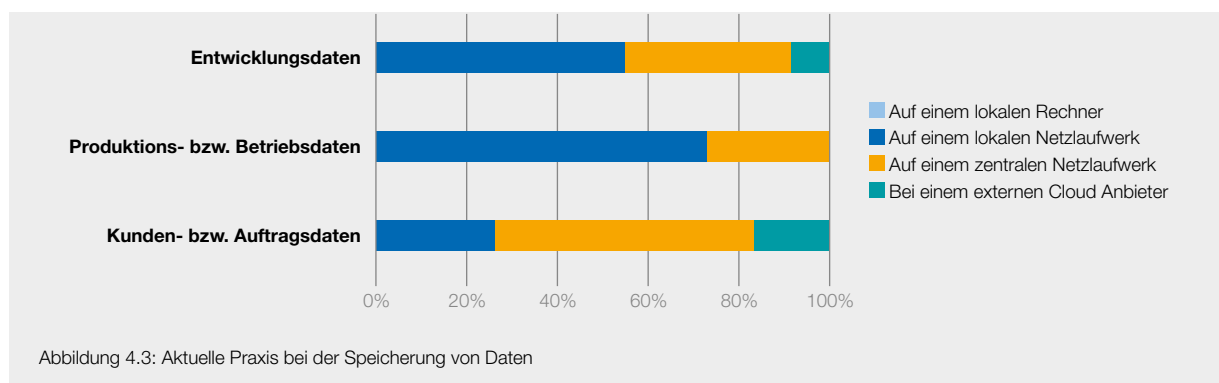
4.1.3 Mobilfunkverbindung

Standortübergreifend betrachtet verfügen sowohl das Werksgelände als auch der Steinbruch über eine flächendeckende Mobilfunknetzabdeckung. Bei einzelnen Werken ist das Mobilfunknetz jedoch immer noch unzureichend ausgebaut. In beiden Fällen ist schnelle Mobilfunktechnologie in Form von LTE oder UMTS nicht durchgängig verfügbar.



4.1.4 Datenspeicherung

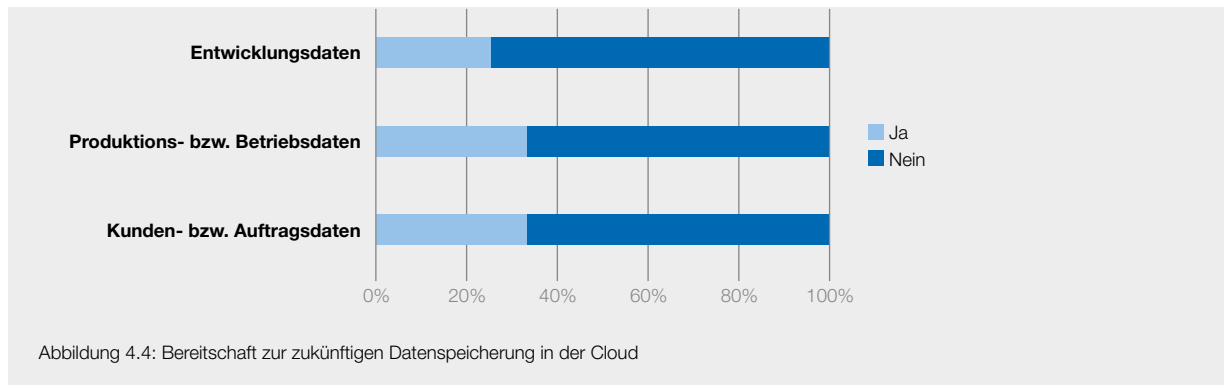
Bei der Speicherung von Daten wird bisher nur vereinzelt auf Cloudanbieter zurückgegriffen. Als häufigster Hinderungsgrund hierfür wird meist die Ungewissheit über den eventuellen Verbleib der Unternehmensdaten bzw. Abfluss von Know-how angeführt. Aus technologischer Sicht steht einer reinen Cloudlösung auch die zum Teil zu geringe Bandbreite der Internetverbindung einzelner Werke im Weg.



Aktuell werden Entwicklungsdaten sowie Produktions- und Betriebsdaten überwiegend auf einem lokalen, werks-internen Netzlaufwerk und Kunden- und Auftragsdaten mehrheitlich auf einem zentralen, werksübergreifenden Netzlaufwerk gespeichert. Die Unterschiede lassen sich zum Teil auf die unterschiedliche IT-Infrastruktur bzw. Softwarelösungen zur Datenverwaltung in Produktion und Verwaltung zurückführen. Während in der Produktion die Daten meist in lokalen Leitständen zusammenlaufen, wird zur Verwaltung von Kunden- und Auftragsdaten schon seit längerem auf unternehmensübergreifende CRM- und ERP-Systeme zurückgegriffen. Von den aktuell gespeicherten Daten der Unternehmen werden durchschnittlich mehr als 90 % für eine spätere Verwendung dauerhaft digital archiviert.

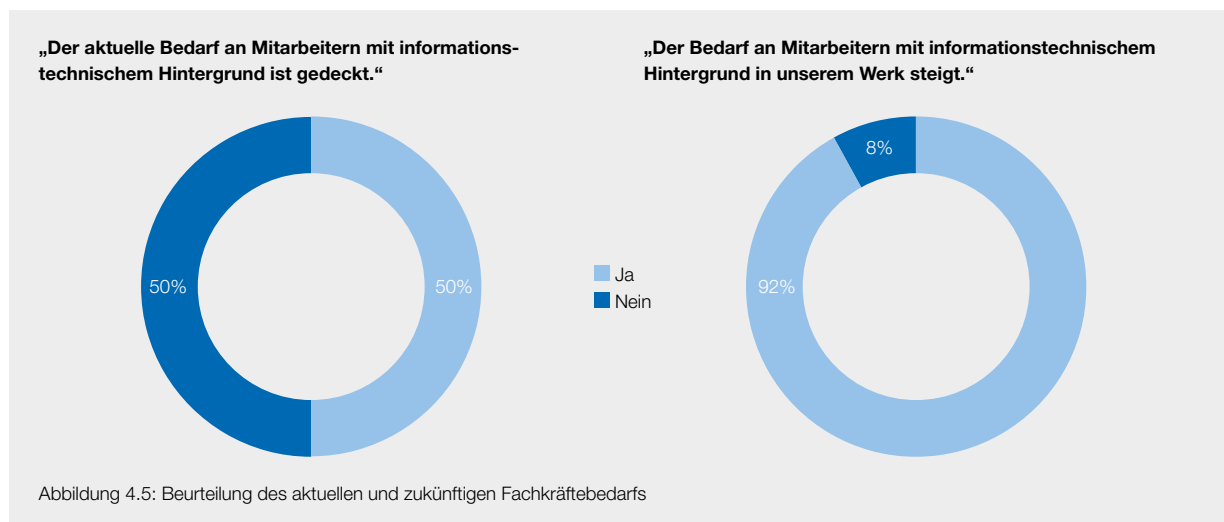
4.1.5 Bereitschaft zur Datenspeicherung in der Cloud

Betrachtet man die Bereitschaft der befragten Unternehmen zur cloudbasierten Datenspeicherung in Deutschland innerhalb der nächsten fünf Jahre, so ist die Einschätzung eher verhalten. Lediglich im Bereich der Produktions- bzw. Betriebsdaten wird ein deutlicher Zuwachs der Bereitschaft erwartet. Mehrheitlich ist die Branche jedoch noch nicht bereit, ihre Daten externen Anbietern anzuvertrauen.



4.1.6 Bedarf und Verfügbarkeit von Mitarbeitern mit informationstechnischem Hintergrund

Aktuell sehen nur die Hälfte der befragten Unternehmen den Bedarf an Mitarbeitern mit informationstechnischem Hintergrund als gedeckt an. Hinzu kommt, dass fast alle Unternehmen einen steigenden Bedarf in den nächsten fünf Jahren vorhersagen. Bei der Umsetzung von Industrie 4.0 spielen jedoch gerade diese Mitarbeiter eine entscheidende Rolle.



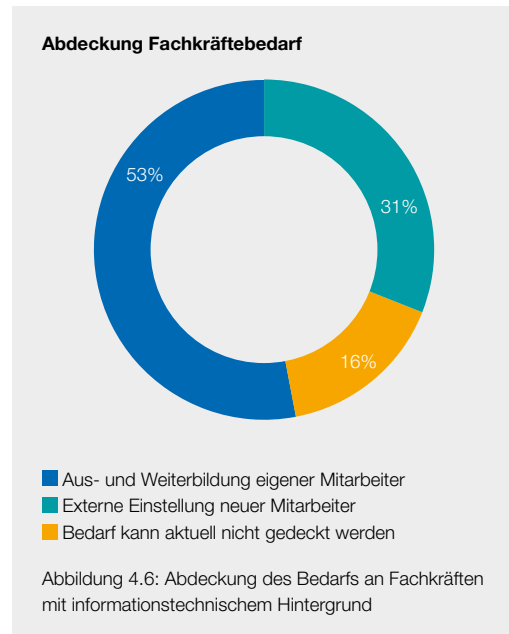
Um den steigenden Bedarf an entsprechend qualifizierten Mitarbeitern zu decken, greifen Unternehmen mehrheitlich auf die eigene Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitern zurück. Hierbei werden beispielsweise gezielt Mitarbeiter mit tiefergehendem Verständnis für den Produktionsprozess weitergebildet. Darüber hinaus werden auch externe Mitarbeiter mit entsprechender Qualifikation eingestellt. Jedoch zeigt sich auch, dass der aktuelle Bedarf an Mitarbeitern mit informationstechnischem Hintergrund durch diese Maßnahmen nicht vollständig abgedeckt werden kann.

4.1.7 Zwischenfazit zu den themenübergreifenden Fragen

Die Auswertung zeigt, dass sich alle befragten Unternehmen bereits mit dem Thema Industrie 4.0 beschäftigen und teilweise schon konkrete Schritte zur Vorbereitung ihrer Werke auf Industrie 4.0 unternommen haben. Die für eine Vernetzung der Werke notwendige Verfügbarkeit von Internet und Mobilfunk ist prinzipiell gegeben. Jedoch ist die Bandbreite der Internetverbindung meistens noch zu gering für die Nutzung webbasierter Lösungen, wie z.B. Cloudspeicherung. Ebenso ist die Mobilfunkverbindung noch nicht flächendeckend nach aktuellen Standards ausgebaut. Hierdurch können beispielsweise die aktuellen Arbeitsaufträge für die Lkw-Fahrer im Steinbruch nicht direkt mobil auf ein Tablet übertragen werden, vielmehr müssen sie weiterhin per Funk kommuniziert werden. Die Datenspeicherung in den Werken erfolgt bisher überwiegend auf lokalen oder zentralen Netzlaufwerken. Es wird zudem deutlich, dass die aktuelle und auch zukünftige Bereitschaft, stärker auf Cloudlösungen zu setzen, recht schwach ausgeprägt ist. Neben technologischen Hürden in Form einer zu geringen Bandbreite der Internetverbindung sind die Unternehmen um die Sicherheit ihrer Daten besorgt. Hinsichtlich qualifiziertem Personal mit dem für Industrie 4.0 benötigten informationstechnischen Hintergrund besteht bereits heute ein Defizit in den befragten Unternehmen. Der Bedarf an entsprechendem Fachpersonal in den Werken wird nach Einschätzung der befragten Unternehmen in Zukunft weiter steigen und demzufolge auch in Zukunft schwer zu decken sein.

4.2 Herstellungsprozess und Unterstützungsprozesse

In diesem Teilkapitel werden die Umfrageergebnisse zum Herstellungsprozess und den Unterstützungsprozessen dargestellt. Nachfolgend wird für jeden einzelnen Prozessschritt der Erfüllungsgrad der sechs Stufen des Industrie-4.0-Reifegradmodells – in Bezug auf alle befragten Werke – anhand von Balkendiagrammen dargestellt. Hierbei wird für jede Stufe zwischen Status quo und Perspektive – d.h. dem voraussichtlichen Zustand der Werke in fünf Jahren – unterschieden. Das gerade beschriebene Bewertungsschema ist exemplarisch auf der rechten Seite dargestellt. Eine Zusammenfassung aller Umfrageergebnisse zum Herstellungsprozess befindet sich auf S. 26.



4.2.1 Rohmaterial gewinnen

In diesem Abschnitt werden die Umfrageergebnisse zur Gewinnung des Rohmaterials im Steinbruch zusammengefasst. Die Details zur Bewertung von Status quo und Perspektive für die rechts dargestellten Reifegradstufen des Prozessschrittes werden nachfolgend erläutert.

Stufe 1: Heutzutage werden die Position von Probebohrungen und Abbaugrenzen mehrheitlich mit GPS- und Lasermessgeräten erfasst. Perspektivisch sollen hierfür verstärkt Drohnen zum Einsatz kommen. Bei allen Verfahren liegen die Vermessungsdaten bereits in digitaler Form vor und können prinzipiell digital übertragen werden.

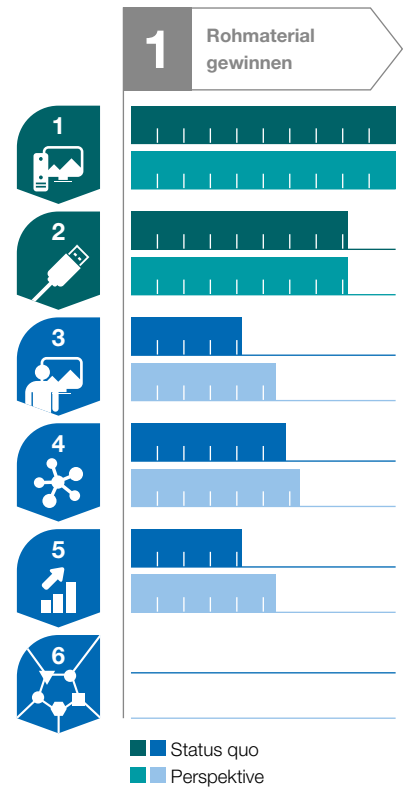
Stufe 2: Mehrheitlich werden die Vermessungsdaten bereits in digitaler Form per Speichermedium – beispielsweise über die SD-Speicherkarte des Lasermessgeräts – übertragen. Vereinzelt wird die Übertragung jedoch auch noch händisch durch einen Mitarbeiter durchgeführt. In Zukunft soll die Übertragung per Speichermedium durch eine direkte Netzwerkverbindung abgelöst werden. Hierfür muss die Mobilfunkverbindung im Steinbruch entsprechend ausgebaut sein.

Stufe 3: Die Vermessungsdaten liegen heutzutage mehrheitlich dezentral verstreut in digitaler Form vor. Jedoch ist die Bereitstellung der Daten für die Mitarbeiter meist noch unzureichend gegeben, weshalb diese Stufe aktuell nur bedingt erfüllt wird. Perspektivisch sollen die Daten den Mitarbeitern durch eine zentrale Datenablage schneller zugänglich gemacht werden.

Stufe 4: Aus den Positions- und Labordaten der Probebohrungen wird bereits mehrheitlich ein virtuelles Abbild des Rohstoffvorkommens erstellt. Für die Zukunft wird hier nur bedingt weiteres Potenzial gesehen. Dies kann zum Teil darauf zurückgeführt werden, dass bei den befragten Werken mit sehr inhomogenen Gesteinsvorkommen kein zuverlässiges Modell mit vertretbarem Aufwand erstellt werden kann.

Stufe 5: Aktuell werden nur bedingt Abbauempfehlungen basierend auf dem virtuellen Abbild des Rohstoffvorkommens erstellt. Dies soll künftig ausgebaut werden.

Stufe 6: Weder heute noch in den nächsten fünf Jahren wird der Abbau im Steinbruch aus Sicht der befragten Unternehmen autonom gesteuert und durchgeführt werden.



4.2.2 Rohmaterial aufbereiten

In diesem Abschnitt werden die Umfrageergebnisse zur Homogenisierung des Rohmaterials im Mischbett zusammengefasst. Hierbei ist zu erwähnen, dass nicht alle der befragten Werke über ein Mischbett verfügen und dies im Rahmen der Auswertung dementsprechend berücksichtigt wurde. Die Details zur Bewertung von Status quo und Perspektive für die rechts dargestellten Reifegradstufen des Prozessschrittes werden nachfolgend erläutert.

Stufe 1: Teilweise wird die Materialzusammensetzung des Gesteins beim Mischbettaufbau bereits kontinuierlich über ein digitales Messsystem analysiert. Entsprechende Systeme sollen auch in weiteren Werken zum Einsatz kommen. Bei einem sehr homogenen Rohstoffvorkommen bieten diese Systeme jedoch nur einen begrenzten Mehrwert für die Unternehmen, weshalb es auch in Zukunft zu keinem flächendeckenden Einsatz kommen wird.

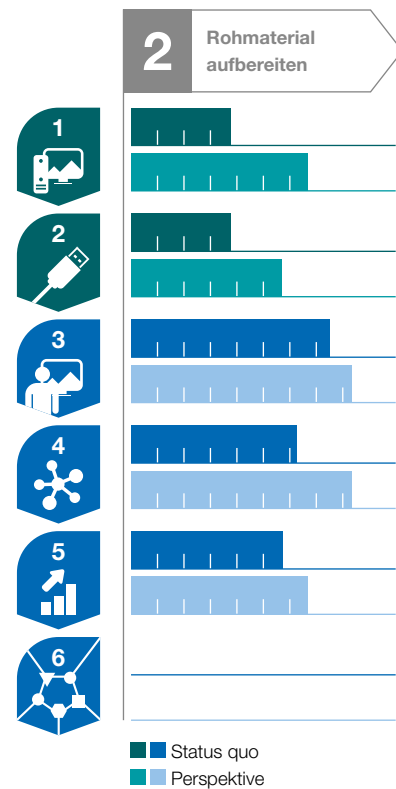
Stufe 2: Teilweise werden die Analysedaten bereits netzwerkbasierend übermittelt. Mehrheitlich findet jedoch noch eine handschriftliche Übertragung statt, welche sich auch in den nächsten fünf Jahren nur bedingt reduzieren wird. Zum Teil ist diese Form der Datenübertragung von den Unternehmen auch gewollt, damit die Mitarbeiter die gemessenen Werte im Rahmen der Übertragung bewusst hinterfragen.

Stufe 3: Die übertragenen Analysedaten werden aktuell mehrheitlich redundanzfrei in Datenbanken gespeichert. Hierbei ist eine Entwicklung von dezentralen hin zu zentralen Datenbanken erkennbar.

Stufe 4: Die zur Verfügung stehenden Analysedaten werden bereits größtenteils zur Steuerung des Mischbettaufbaus herangezogen. In Zukunft soll der Anteil der hierfür betrachteten Daten weiter steigen.

Stufe 5: Bereits heute werden basierend auf den Analysedaten Handlungsempfehlungen für den Mitarbeiter generiert und diesem für den Mischbettaufbau zur Verfügung gestellt. Perspektivisch ist hier eine leichte Zunahme zu erwarten.

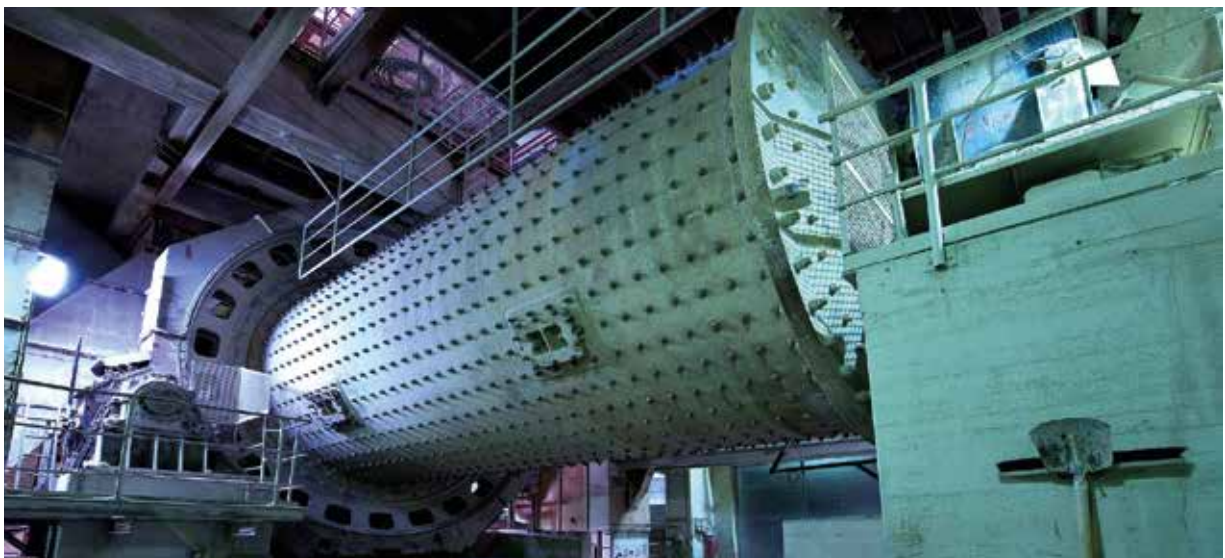
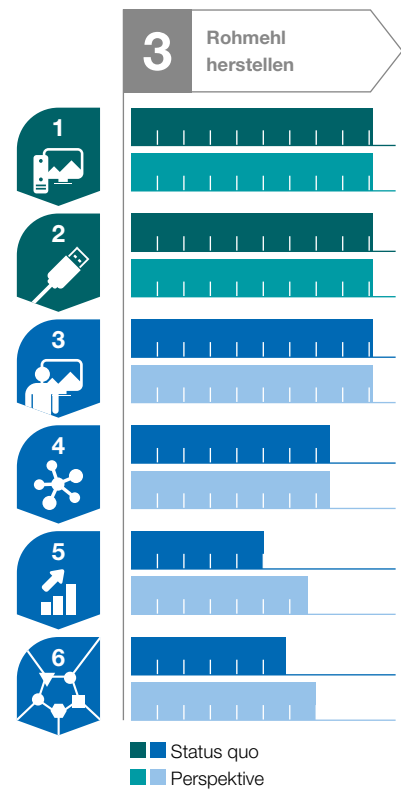
Stufe 6: Weder heute noch in fünf Jahren ist ein autonomer Mischbettaufbau aus Sicht der befragten Unternehmen absehbar.



4.2.3 Rohmehl herstellen

In diesem Abschnitt werden die Umfrageergebnisse zur Herstellung des Rohmehls in der Rohmühle zusammengefasst. Die Details zur Bewertung von Status quo und Perspektive für die rechts dargestellten Reifegradstufen des Prozessschrittes werden nachfolgend erläutert.

- Stufe 1:** Der Betriebszustand der Rohmühle in den betrachteten Werken wird bereits heute nahezu vollständig sensorgestützt erfasst. Lediglich in einem Einzelfall wird auf Grund des technischen Zustands der Anlage der Betriebszustand aktuell und auch zukünftig noch manuell ermittelt. Eine Nachrüstung ist aber letztlich nur in Form einer Neuanlage möglich, die sich bezogen auf die Sensoren wirtschaftlich in der Regel nicht darstellen lässt.
- Stufe 2:** Die erfassten Sensordaten werden bereits flächendeckend per Netzwerk an einen Leitstand bzw. eine zentrale Datenbank übertragen. Nur in einem Fall findet heute und auch in fünf Jahren noch eine manuelle Datenübertragung statt.
- Stufe 3:** Sowohl aktuell als auch perspektivisch stehen die erhobenen Betriebsdaten den Mitarbeitern flächendeckend über ein zentrales Terminal bzw. einen Desktop-PC zur Verfügung.
- Stufe 4:** Die verfügbaren Messwerte werden bereits heute mehrheitlich zur Steuerung des Prozesses herangezogen. In Zukunft ist jedoch keine Zunahme zu verzeichnen, da die aktuell betrachteten Messwerte aus Sicht der befragten Unternehmen oft als ausreichend für die Prozesssteuerung erachtet werden.
- Stufe 5:** Heutzutage werden den Mitarbeitern schon mehrheitlich Handlungsempfehlungen – basierend auf der Analyse der Betriebsdaten – zur Steuerung der Rohmühle zur Verfügung gestellt, was in Zukunft noch zunehmen wird.
- Stufe 6:** Die Rohmühle wird bereits heute überwiegend autonom gesteuert, was perspektivisch noch stärker eine Rolle spielen wird. Der Mitarbeiter nimmt entsprechend eine überwachende Rolle ein.



4.2.4 Klinker herstellen

In diesem Abschnitt werden die Umfrageergebnisse zur Herstellung des Klinkers im Drehofen zusammengefasst. Die Details zur Bewertung von Status quo und Perspektive für die rechts dargestellten Reifegradstufen des Prozessschrittes werden nachfolgend erläutert.

Stufe 1: Der Betriebszustand des Drehofens wird bereits heute flächendeckend sensorgestützt erfasst.

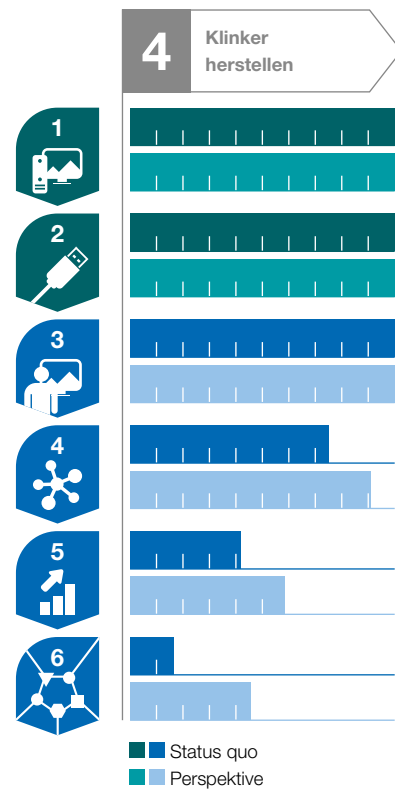
Stufe 2: Die Sensordaten werden bereits aktuell per Netzwerk übertragen und in einer zentralen Datenbank gespeichert.

Stufe 3: Die erfassten Betriebsdaten stehen den Mitarbeitern über ein zentrales Terminal oder einen Desktop-PC zur Verfügung.

Stufe 4: Die aktuell erhobenen Messwerte werden mehrheitlich für die Steuerung des Drehofens genutzt. In Zukunft sollen weitere Messwerte berücksichtigt werden.

Stufe 5: Rund die Hälfte der befragten Unternehmen unterstützt seine Mitarbeiter bereits durch die Bereitstellung von Handlungsempfehlungen für die Steuerung des Drehofens. Dieser Anteil soll sich weiter positiv entwickeln.

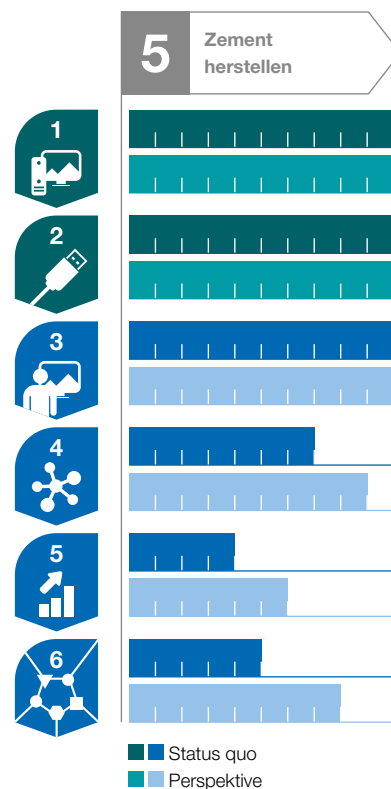
Stufe 6: Bereits heute werden Drehöfen in einzelnen Werken autonom gesteuert und vom Leitstand aus überwacht. In diesen Fällen wird der Betriebszustand komplett durch das System gesteuert. Der Mitarbeiter greift lediglich im Notfall entsprechend ein. Diese Form der Ofensteuerung soll künftig verstärkt genutzt werden.



4.2.5 Zement herstellen

In diesem Abschnitt werden die Umfrageergebnisse zur Herstellung des Zements in der Zementmühle zusammengefasst. Die Details zur Bewertung von Status quo und Perspektive für die rechts dargestellten Reifegradstufen des Prozessschrittes werden nachfolgend erläutert.

- Stufe 1:** Der Betriebszustand der Zementmühlen in den betrachteten Werken wird bereits heute flächendeckend sensorgestützt erfasst.
- Stufe 2:** Die erfassten Sensordaten werden flächendeckend per Netzwerk an eine zentrale Datenbank – beispielsweise in einem Leitstand – übertragen.
- Stufe 3:** Die erfassten Betriebsdaten der Zementmühlen stehen den Mitarbeitern flächendeckend über ein zentrales Terminal oder einen Desktop-PC zur Verfügung.
- Stufe 4:** Die aktuell erhobenen Betriebsdaten werden mehrheitlich für die Steuerung der Zementmühlen genutzt. In Zukunft sollen weitere Daten berücksichtigt werden.
- Stufe 5:** Gut ein Drittel der befragten Unternehmen unterstützt seine Mitarbeiter bereits durch die Bereitstellung von aus den Daten abgeleiteten Handlungsempfehlungen für die Steuerung der Zementmühlen. Dieser Anteil soll in Zukunft weiter ansteigen.
- Stufe 6:** Bereits heute wird die Hälfte der Zementmühlen in den Werken autonom gesteuert und durch den Mitarbeiter lediglich überwacht. Dieser Anteil soll über die nächsten fünf Jahre weiter steigen.



4.2.6 Zement verpacken und versenden

In diesem Abschnitt werden die Umfrageergebnisse zur Auftragsabwicklung zum Verpacken und Versenden des Zements zusammengefasst. Die Details zur Bewertung von Status quo und Perspektive für die rechts dargestellten Reifegradstufen des Prozessschrittes werden nachfolgend erläutert.

Stufe 1: Die Auftragsinformationen des Kunden werden bereits flächendeckend digital – beispielsweise über ein Kundenportal oder eine Eingabemaske im ERP-System – erfasst. Nur in Einzelfällen findet noch eine manuelle Erfassung auf Papier statt, was in Zukunft jedoch wegfallen soll.

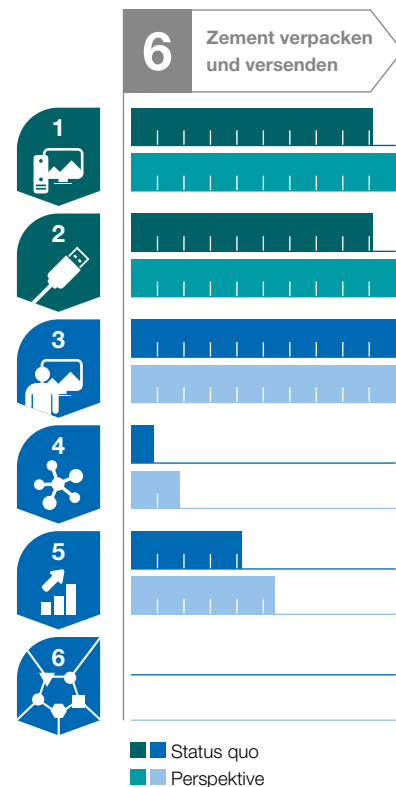
Stufe 2: Die erfassten Auftragsinformationen vom Kunden werden aktuell flächendeckend per Netzwerk an eine zentrale Datenbank übertragen. Vereinzelt findet noch ein Übertrag per Hand statt, welcher perspektivisch wegfallen soll.

Stufe 3: Die Auftragsinformationen stehen den Mitarbeitern bereits heute flächendeckend über ihren persönlichen Desktop-PC zur Verfügung.

Stufe 4: Bislang wird der Auftragsbestand zur Steuerung der Silofüllstände nur in seltenen Fällen herangezogen. Prinzipiell wird in Werken meist eine ausreichend große Menge der unterschiedlichen Zementsorten vorgehalten, wodurch diese Betrachtung nur bedingt notwendig ist. Perspektivisch gesehen ist hier eine leichte Zunahme zu erwarten. Insbesondere bei neuen Silos für spezielle Zementsorten mit geringerem Lagervolumen gewinnt diese Betrachtung an Bedeutung.

Stufe 5: Teilweise werden Prognosen für den zukünftigen Kundenbedarf, z.B. basierend auf historischen Daten, zum Bestellverhalten generiert und den Mitarbeitern als Planungsgrundlage zur Verfügung gestellt. Dies soll in Zukunft weiter gesteigert werden.

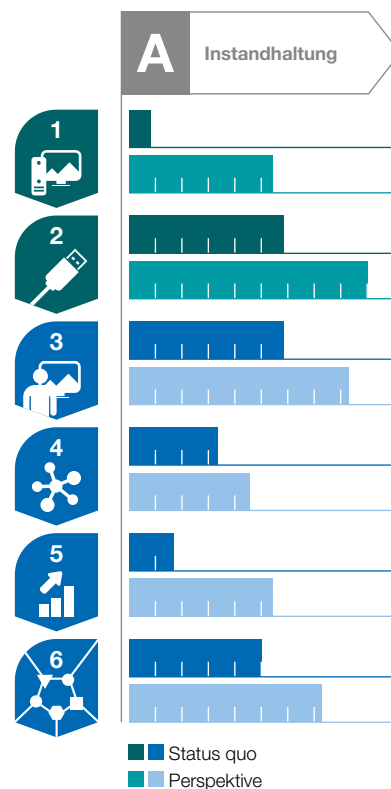
Stufe 6: Eine autonome Steuerung des Versandprozesses auf Grundlage des Auftragsbestandes wurde von den Unternehmen aufgrund der zu geringen Vorlaufzeiten der Kundenbestellungen aktuell und auch in den nächsten fünf Jahren ausgeschlossen.



4.2.7 Instandhaltung

In diesem Abschnitt werden die Umfrageergebnisse zur Instandhaltung der Produktionsanlagen bzw. Aufrechterhaltung des Herstellungsprozesses zusammengefasst. Die Details zur Bewertung von Status quo und Perspektive für die rechts dargestellten Reifegradstufen des Prozessschrittes werden nachfolgend erläutert.

- Stufe 1:** Störungen der Produktionsanlagen werden zwar überwiegend sensorgestützt erfasst, jedoch wird nur selten unmittelbar vor Ort von einem Mitarbeiter die dazugehörige Störungsmeldung – z.B. über eine entsprechende webbasierte Eingabemaske oder App – erstellt. Perspektivisch möchte die Mehrheit der Unternehmen diese Art der Störungsmeldungserstellung zukünftig umsetzen.
- Stufe 2:** Mehrheitlich werden Störungen nach der Erfassung netzwerkbasierend übertragen. Teilweise findet jedoch auch noch eine händische Übertragung in die entsprechende Datenbank oder Ablage in Papierform statt.
- Stufe 3:** Aktuell erfolgt der Zugriff auf die Störungsmeldungen mehrheitlich über ein zentrales Terminal bzw. einen Desktop-PC. In Zukunft soll insbesondere der Zugriff über mobile Endgeräte ermöglicht bzw. ausgebaut werden. Teilweise liegen aktuell noch unterschiedliche Informationsstände zu einzelnen Störungen in den Datenbanken vor, was entsprechend behoben werden soll.
- Stufe 4:** Zum Teil werden bereits Kennzahlen für die Anpassung der Lagerbestände von Ersatzteilen, basierend auf den Störungs- bzw. Schadensmeldungen, generiert und den Mitarbeitern zur besseren Planung zur Verfügung gestellt. Dies soll perspektivisch leicht ansteigen.
- Stufe 5:** Vereinzelt werden potenzielle Störungen bzw. Schäden an Produktionsanlagen systemseitig bereits vorhergesagt (Predictive Maintenance) und die verantwortlichen Mitarbeiter aus der Instandhaltung entsprechend informiert. Dies soll in den nächsten fünf Jahren deutlich gesteigert werden.
- Stufe 6:** Potenzielle Störungen bzw. Schäden an Produktionsanlagen werden bereits heute, teilweise basierend auf den Sensordaten, durch ein automatisches Eingreifen des Systems verhindert. Dies soll in Zukunft entsprechend ausgebaut werden.

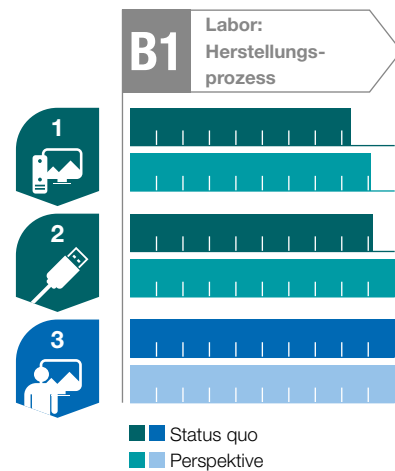


4.2.8 Labor

In diesem Abschnitt werden die Umfrageergebnisse zu Tätigkeiten im Labor – zur Unterstützung des Herstellungsprozesses und der Qualitätssicherung – zusammengefasst. Die Details zur Bewertung von Status quo und Perspektive für die rechts dargestellten Reifegradstufen des Prozessschrittes werden nachfolgend erläutert. Da die Analyseergebnisse aus dem Labor an den Herstellungsprozess übergeben werden, findet hier nur eine Betrachtung der ersten drei Reifegradstufen statt.

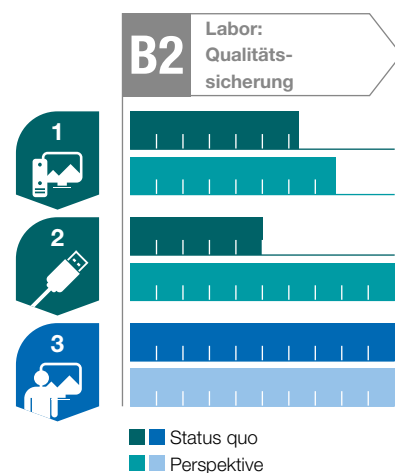
Laboranalysen für den Herstellungsprozess

- Stufe 1:** Die Analysedaten für die Produktionsüberwachung werden aktuell schon nahezu ausschließlich digital ermittelt. Dies soll in Zukunft tendenziell weiter gesteigert werden. Hierbei kommen bereits überwiegend automatisierte Systeme zur Probeentnahme und Analyse zum Einsatz.
- Stufe 2:** Aktuell werden die Analysedaten bereits flächendeckend in eine zentrale Datenbank übertragen. Dies geschieht meist direkt durch das automatisierte Analysesystem. Nur vereinzelt findet noch eine Übertragung per Hand statt, was perspektivisch nahezu vollständig wegfallen soll.
- Stufe 3:** Die Analysedaten stehen den Mitarbeitern schon heute über einen Desktop-PC oder ein zentrales Terminal flächendeckend zur Verfügung.



Laboranalysen für die Qualitätssicherung

- Stufe 1:** Die Analysedaten für die Qualitätssicherung werden bereits mehrheitlich digital ermittelt. Dies soll in den nächsten fünf Jahren weiter gesteigert werden. Jedoch kommen immer noch verschiedene manuelle Analyseverfahren zum Einsatz, die zum Teil durch geltende Richtlinien so vorgeschrieben sind.
- Stufe 2:** Aktuell werden die Analysedaten teilweise digital und teilweise per Hand in die entsprechende Datenbank übertragen. Perspektivisch soll die Datenübertragung ausschließlich netzwerkbasierend erfolgen.
- Stufe 3:** Die Analysedaten stehen den Mitarbeitern schon heute über einen Desktop-PC oder ein zentrales Terminal flächendeckend zur Verfügung.



4.2.9 Zwischenfazit zu den Herstellungs- und Unterstützungsprozessen

Der Herstellungsprozess in den befragten Werken ist nahezu durchgängig digitalisiert, wodurch die Voraussetzungen für Industrie 4.0 flächendeckend vorhanden sind. Dies bedeutet, dass die zur Steuerung des Herstellungsprozesses benötigten Informationen fast durchgängig digital vorliegen und übertragen werden. Hinsichtlich der Industrie-4.0-Reifegradskala sind die ersten beiden Stufen – Computerisierung und Konnektivität – daher fast ausnahmslos erfüllt. Vergleicht man die einzelnen Schritte des Herstellungsprozesses miteinander (Abbildung 4.7), so fällt auf, dass die Aufbereitung des Rohmaterials im Mischbett mit Abstand das noch größte Entwicklungspotenzial aufweist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den befragten Werken mit Mischbett bisher nur ein Teil der Werke über ein digitales Messsystem zur kontinuierlichen Analyse und Steuerung der Materialzusammensetzung beim Mischbettaufbau verfügt. Bisher kommt dieses System meistens nur in Werken mit einem besonders inhomogenen Gesteinsvorkommen zum Einsatz. Solange noch ausreichend homogenes Gestein vorhanden ist, hält sich der Mehrwert eines solchen Messsystems im Vergleich zu einer regulären Laboranalyse in Grenzen. Insofern wird die Anschaffung solcher Systeme nur in Einzelfällen realisiert werden.

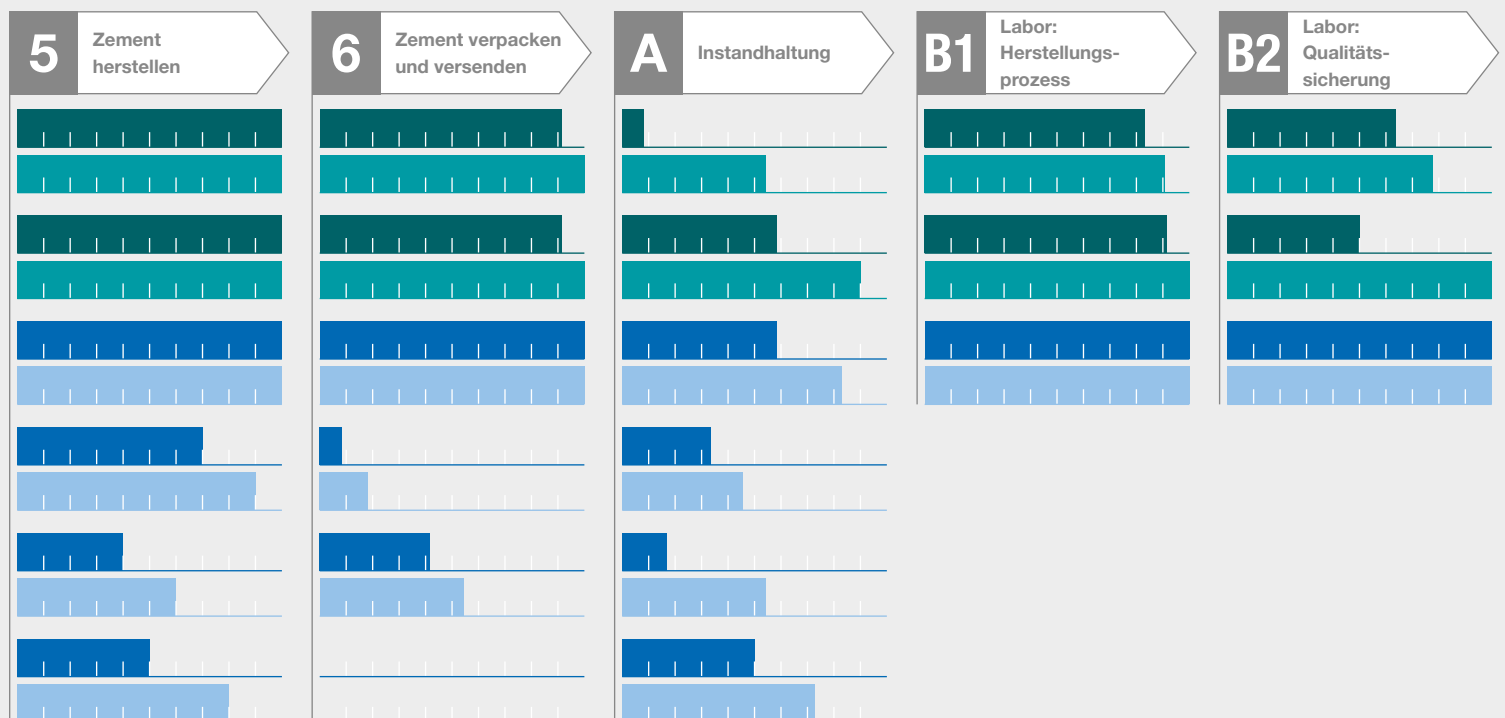
Die Umsetzung von Industrie 4.0 im Herstellungsprozess im Sinne der 3. bis 6. Stufe des Reifegradmodells ist in Teilen ebenfalls bereits erfolgt. Im Gegensatz zur Digitalisierung (1. und 2. Stufe) besteht hier jedoch noch durchgängig Verbesserungspotenzial. Erwartungsgemäß positiv schneiden die bereits zum Großteil automatisierten Herstellungsschritte drei bis fünf ab. Bei der Herstellung von Rohmehl, Klinker und Zement stehen den Mitarbeitern prinzipiell alle erfassten Betriebsdaten über einen Leitstand zur Verfügung (3. Reifegradstufe) und werden bereits größtenteils zur Steuerung des Prozesses genutzt (4. Reifegradstufe). Darüber hinaus werden den Mitarbeitern basierend auf der Analyse der Betriebsdaten, Handlungsempfehlungen zur Steuerung der Prozesse zur Verfügung gestellt (5. Reifegradstufe) oder die Prozesssteuerung wird durch das System übernommen und durch den Mitarbeiter entsprechend überwacht (6. Reifegradstufe).



Abbildung 4.7: Abstrahierter Herstellungsprozess und Unterstützungsprozesse in der Übersicht

Die Herstellungsschritte eins, zwei und sechs haben im Vergleich dazu noch weiteres Potenzial. Bei der Gewinnung des Rohmaterials im Steinbruch ist insbesondere die Verfügbarkeit von Vermessungsdaten und die Nutzung der Positions- und Labordaten von Probebohrungen zur Optimierung des Gesteinsabbaus ausbaufähig (3. bis 5. Reifegradstufe). Ein autonomer Gesteinsabbau ist aus Sicht der befragten Werke auch in den nächsten fünf Jahren nicht zu erwarten (6. Reifegradstufe). Bei der Aufbereitung des Rohmaterials im Mischbett besteht ebenfalls noch Handlungsbedarf hinsichtlich der Verwertung der ermittelten Analysedaten der Gesteinszusammensetzung (3. bis 5. Reifegradstufe). Die Materialzuführung in den Brecher wird auch in den nächsten fünf Jahren voraussichtlich nicht per autonom fahrendem LKW erfolgen (6. Reifegradstufe). Die Auftragsdaten zum Verpacken und Versenden des Zements stehen zwar flächendeckend zur Verfügung (3. Reifegradstufe), jedoch werden diese nur vereinzelt zur Steuerung der Silofüllstände genutzt (4. Reifegradstufe). Die fehlende Nutzung der Daten zur Füllstandsteuerung der Silos ist auf die meist sehr kurzfristigen Vorlaufzeiten der Bestellungen zurückzuführen, welche die Dauer des Herstellungsprozesses deutlich unterschreiten. Positiv zu vermerken ist, dass bereits vermehrt historische Auftragsdaten als Entscheidungsgrundlage für eine vorausschauende Produktionsplanung herangezogen werden (5. Reifegradstufe). Aufgrund der oben erwähnten geringen Vorlaufzeiten der Kundenbestellungen wurde eine autonome Produktionsplanung und -steuerung aktuell und in den nächsten fünf Jahren kategorisch ausgeschlossen (6. Reifegradstufe).

Im Gegensatz zu den Herstellungsprozessen weisen die Unterstützungsprozesse gerade im Bereich der Digitalisierung noch Nachholbedarf auf. So werden beispielsweise im Bereich der Instandhaltung Störmeldungen durch Mitarbeiter nur vereinzelt unmittelbar vor Ort in digitaler Form erstellt, sondern meistens noch auf Papier erfasst und nachträglich in eine Datenbank übertragen. Die nachgelagerte Bereitstellung, Auswertung und Nutzung der Störungsmeldungen weist ebenfalls noch Verbesserungspotenzial auf. Positiv hervorzuheben ist, dass große Teile der Anlagen im Notfall automatisch agieren, um größere Schäden zu verhindern. Im Hinblick auf den Laborprozess besteht insbesondere bei der Qualitätssicherung noch Potenzial im Bereich der digitalen Ermittlung und Übertragung von Analyseergebnissen. Hingegen weisen Laboranalysen für den Herstellungsprozess einen sehr hohen Automatisierungs- bzw. Reifegrad auf.



■ Status quo
■ Perspektive

5 Perspektiven für Industrie 4.0 in der Zementindustrie

Großes Entwicklungspotenzial steckt in der Prozessschritt übergreifenden Analyse und Nutzung von Daten.

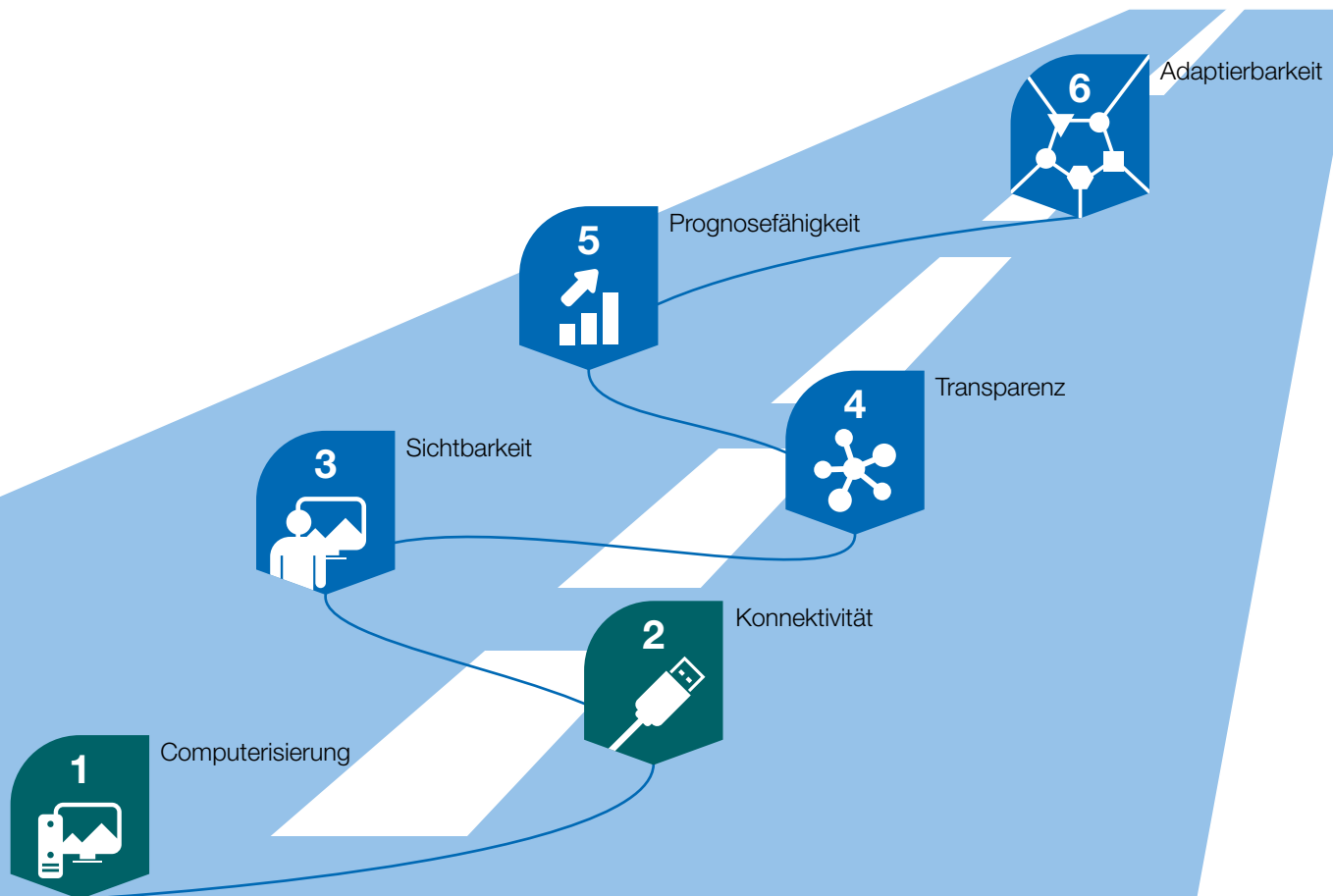


Abbildung 5.1: Industrie-4.0-Roadmap

Ausgehend von den Ergebnissen der Prozessaufnahmen, des Workshops und der Umfrage werden in diesem Kapitel aktuelle und zukünftige Anwendungsmöglichkeiten von Digitalisierung und Industrie 4.0 in der Zementindustrie aus Sicht der Produktionstechnik skizziert. Die Betrachtung orientiert sich hierbei an den sechs Industrie-4.0-Reifegradstufen und fokussiert schwerpunktmäßig den Herstellungsprozess und die Unterstützungsprozesse. Als Konzept zur Veranschaulichung der Verknüpfung von realer und digitaler Welt im Sinne von Industrie 4.0 dient das „Internet of Production“ (IoP), das später ausführlich erläutert wird (vgl. Abbildung 5.2).

Nachfolgend werden zunächst die ersten beiden Reifegradstufen der Digitalisierung betrachtet. Hierbei wird auf aktuelle sowie zukünftige Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Zementindustrie eingegangen.



1 Computerisierung

Da bereits heute sehr umfassend Daten im Zementherstellungsprozess erfasst werden, besteht nur noch ein geringes Potenzial für die weitere Computerisierung. Einen möglichen Anwendungsfall könnten ältere Anlagen darstellen, die bislang noch nicht oder noch unzureichend, beispielsweise in einen zentralen Leitstand im Werk, eingebunden sind. Diese könnten mit entsprechenden „Konverter-Boxen“ nachgerüstet werden, die Sensordaten bzw. Sendeprotokolle auf den aktuellen Standard im Werk übersetzen. Im Falle von Analoganzeigen kann prinzipiell ein „digitales Ablesen“ durch eine Kamera mit entsprechender Bilderkennungssoftware – wie beispielsweise bei der Erkennung von Nummernschildern von Fahrzeugen – realisiert werden. Zur Überwachung von einfachen Anlagenbestandteilen ohne bestehende Sensorik, wie beispielsweise eines Lüfters, kann auf unterschiedliche kabellose Sensoren mit eigener Energieversorgung zurückgegriffen werden. Ein Beispiel hierfür sind sogenannte Bluetooth Low Energy Beacons, die aufgrund eines sehr energiesparsamen Bluetooth Standards Sensorwerte – wie Beschleunigung und Temperatur – über einen Zeitraum von mehreren Jahren mit einer Batteriefüllung übertragen können. Die gesamte Baugröße der Sensoreinheit mit Batterie ist hierbei nicht größer als ein Hühnerei. Ein potenzielles Anwendungsfeld hierfür bietet insbesondere die Instandhaltung, in welcher ein Ausfall unmittelbar erkannt und das Eintreten von Folgeschäden verhindert werden kann. Eine der wichtigsten „Informationsquellen“ sind jedoch nach wie vor die Mitarbeiter. Um diese besser mit einzubeziehen, stehen heute eine Vielzahl an mobilen Endgeräten – wie beispielsweise Smart Glasses – zur Verfügung. So können über entsprechende „Werk-Apps“ sämtliche Funktionen eines Smartphones, so wie es aus dem Alltag bekannt ist, auch sinnvoll im Werk genutzt werden. Beispielsweise kann eine Störung direkt vor Ort mit einem Foto oder Video erfasst werden und durch eine entsprechende Klassifizierung über beispielsweise Hashtags – #Störung#Rohmühle#Lüfter – genau zugeordnet werden. Um dies weiter zu vereinfachen, können alle Anlagenteile mit entsprechenden QR-Codes versehen werden, über welche man im Störfall eine eindeutige Zuordnung per Scan mit der Kamera sicherstellen kann. Ebenso können Sprachassistenten wie z.B. Alexa und Siri in den Arbeitsalltag mit eingebunden werden, um Informationen auch beim Tragen von Schutzausrüstung weitergeben oder erhalten zu können. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Sprachdaten zur Analyse meistens an die Server der Anbieter gesendet werden müssen. Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit können dabei eine wichtige Rolle spielen.



2 Konnektivität

Bei der Vernetzung von Produktionsanlagen hat Industrial Ethernet³⁾ begonnen, die meist noch vorherrschenden Feldbussysteme abzulösen. Die Vorteile von Industrial Ethernet liegen beispielsweise in einer vereinfachten Kommunikation von der Produktionsanlage bis ins Büro sowie der Ferndiagnose und Überwachung über das Internet. Als standardisiertes Protokoll für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation hat sich im Rahmen von Industrie 4.0 insbesondere OPC-UA (Unified Architecture) etabliert. Dieses Protokoll unterstützt verschiedene Programmiersprachen und Betriebssysteme, wodurch es plattform- und herstellerunabhängig eingesetzt werden kann. Im Bereich der mobilen Datenübertragung wird 5G zukünftig eine bedeutende Rolle im Bereich der Anlagentechnik spielen, da es technologisch alle notwendigen Voraussetzungen für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation im Hinblick auf Übertragungsgeschwindigkeit und Bandbreite mitschlingt. Neben der Bereitstellung von 5G durch die üblichen Mobilfunkprovider besteht für Unternehmen auch die Möglichkeit, sich eigene lokale 5G-Netze auf gesonderten Funkfrequenzen aufzubauen. Entsprechende Anwendungsszenarien und die hierfür notwendigen Hard- und Softwarelösungen befinden sich aktuell noch in der Entwicklung.

3) Industrial Ethernet ist der Oberbegriff für alle Bestrebungen, den Ethernet-Standard für die Vernetzung von Geräten, die in der industriellen Fertigung eingesetzt werden, nutzbar zu machen.

Die Betrachtung der nächsten vier Reifegradstufen für Industrie 4.0 erfolgt in Anlehnung an das Internet of Production (Abbildung 5.2), welches die Perspektive der RWTH Aachen für die Umsetzung von Industrie 4.0 in der Produktion darstellt.

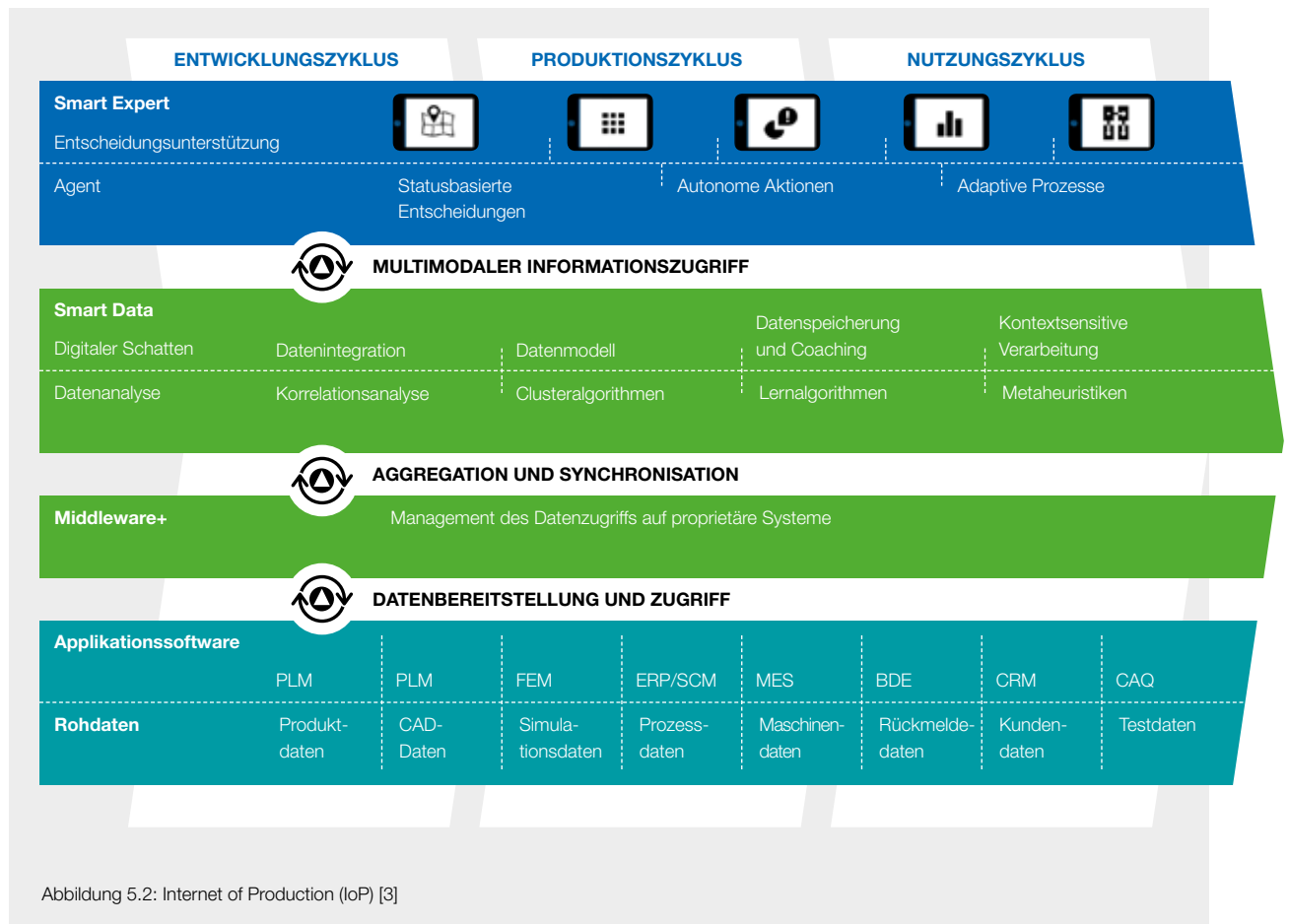


Abbildung 5.2 stellt die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus im Internet of Production, von der Produkt- bzw. Prozessentwicklung über die Produktion bis hin zum Einsatz des Produktes beim Kunden, von links nach rechts dar. In den Ebenen von unten nach oben werden die Bereitstellung, Analyse, Aufbereitung und Nutzung der Daten über den Produktlebenszyklus dargestellt. Die zuvor beschriebenen Stufen der Digitalisierung – Computerisierung und Konnektivität – bilden die Voraussetzung zur Bereitstellung von Rohdaten über den Zugriff auf die entsprechende Datenbank. Die Datenbanken sind im Regelfall Bestandteil verschiedener Applikationssoftwares, die in verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus zum Einsatz kommen.



Sichtbarkeit

Zur Analyse der Daten müssen diese den Mitarbeitern bzw. den entsprechenden Softwarelösungen zur Verfügung gestellt werden. Dies geschieht im IoP über eine „Middleware+“, welche als Schnittstelle zwischen den „Applikationssoftwares“ wie z.B. dem ERP-System und Softwarelösungen zur Datenanalyse agiert. Trotz der Bemühungen zur Standardisierung von Datenformaten wird es auch in Zukunft weiterhin herstellerspezifische Datenformate geben, welche für die weitere Analyse erst entsprechend übersetzt werden müssen. Zur weiterführenden Analyse der Daten ist hierbei entscheidend, dass diese mit entsprechenden Metadaten – wie z.B. einem Zeitstempel – versehen werden. Zur Aggregation und Bereitstellung von Daten gibt es bereits verschiedene Software- und Plattformlösungen, die darüber hinaus auch Funktionalitäten zur Analyse und Visualisierung von Daten beinhalten. Im Hinblick auf die Zementindustrie fließen der Großteil der Daten des Herstellungsprozesses sowie Daten aus Unterstützungsprozessen – wie Laborergebnisse – hierzu bereits im Leitstand zusammen. Soweit möglich bietet sich die Erweiterung dieser Datenbasis oder alternativ die Einführung eines übergreifenden Systems im Sinne einer Middleware+ an.



4 **Transparenz**

Zur Herstellung von Wirkzusammenhängen kommen im IoP Methoden aus dem Bereich der Datenanalysen z.B. in Form von Korrelationsanalysen, Clusteralgorithmen, Lernalgorithmen oder Metatheuristiken, zum Einsatz. Die Ergebnisse der Datenanalyse bilden den digitalen Schatten, welcher das relevante Abbild der Realität in Echtzeit beschreibt. Hierzu werden nur anwendungsfallbezogene Daten im digitalen Schatten dargestellt, wodurch die Menge an Rohdaten deutlich reduziert werden kann. Durch die verringerte Datenmenge des digitalen Schattens wird die situationsgerechte Aufbereitung und Visualisierung deutlich vereinfacht. Mit entsprechenden Softwarelösungen und dem Know-how der Mitarbeiter können diese Ansätze flächendeckend zur Optimierung der Prozesssteuerung in den Zementwerken angewendet werden. Entscheidend ist hierbei neben dem Fachwissen zur Datenanalyse vor allem das Prozessverständnis. Bei vergleichbaren Produktionsanlagen innerhalb des Unternehmens können die Erkenntnisse aus einem Werk auch auf andere Werke übertragen werden. Alternativ kann das Know-how zur Datenanalyse auch von spezialisierten Dienstleistern oder den Anlagenherstellern selbst „eingekauft“ werden. Viele Hersteller sind aktuell bemüht, ihre Produkte durch zusätzliche Softwaredienstleistungen entsprechend aufzuwerten. Zum Aufbau einer umfassenden Datenbasis und Entwicklung der Softwaredienstleistungen kooperieren die Hersteller oft gezielt mit den Anwendern. Abhängig von der Bereitschaft, Daten mit Dritten zu teilen, sind verschiedene Kooperationsmöglichkeiten mit Herstellern und anderen Unternehmen oder ein „Alleingang“ mit eigenen Experten denkbar.



5 **Prognosefähigkeit**

Im IoP werden die Ergebnisse der Datenanalyse den Smart Experts zur Entscheidungsfindung zur Verfügung gestellt. Die Aufgabe des Mitarbeiters, in der Rolle des „Smart Experts“ (vgl. Abbildung 5.2), liegt hierbei im Treffen von Entscheidungen. Hierfür werden die Daten situationsgerecht aufbereitet und entsprechend visualisiert, was in Form von Assistenzsystemen in unterschiedlichen Ausprägungsstufen erfolgen kann. In der ersten Ausprägungsstufe werden dem Mitarbeiter lediglich die Prozesszustände ohne Wertung dargestellt. Der Mitarbeiter agiert anschließend auf Basis seines Prozesswissens sowie seiner Erfahrung. In der zweiten Ausprägungsstufe werden relevante Prozesszustände kontinuierlich analysiert und der Mitarbeiter wird bei Abweichungen vom Sollzustand oder Verletzung vorgegebener Toleranzschwellen gewarnt. Die Datenanalyse erfolgt hierbei jedoch ausschließlich reaktiv. In der dritten Ausprägungsstufe werden sowohl direkte als auch indirekte Prozessdaten – wie z.B. Analyseergebnisse der verwendeten alternativen Brennstoffe für den Drehofen – kontinuierlich analysiert und Ursache-Wirkung-Zusammenhänge vom System modelliert. Anhand dieser Informationen kann der Mitarbeiter basierend auf seinem Prozesswissen und seiner Erfahrungen vorausschauend agieren. In der vierten Ausprägungsstufe werden neben direkten und indirekten Prozessdaten auch alle weiteren verfügbaren Informationen, wie z.B. historische Prozessdaten, betrachtet. Durch geeignete Algorithmen wird das zukünftige Prozessverhalten prognostiziert und entsprechende Handlungsempfehlungen für den Mitarbeiter formuliert. Im Zementwerk wird die Rolle des Smart Experts meistens durch den Leitstandsfahrer ausgeführt. Aktuell stehen diesem Mitarbeiter häufig Assistenzsysteme der ersten und zweiten Ausprägungsstufe zur Verfügung. Perspektivisch könnten diese zu Assistenzsystemen der dritten und vierten Stufe weiterentwickelt werden.



6 **Adaptierbarkeit**

Alternativ werden die Entscheidungen im IoP direkt von sogenannten „Agenten“ – meist einer Steuerungssoftware – getroffen. Die so genannten „Agenten“ im IoP lernen aus der Analyse historischer Daten und können bei vergleichbaren Entscheidungssituationen ohne menschliches Eingreifen agieren. Die systemseitig getroffenen Entscheidungen werden entsprechend in die Ebene der Smart Data zurückgespielt und über die Middleware+ mit den Rohdaten in den Datenbanken der Applikationssoftware synchronisiert (vgl. Abbildung 5.2). Durch die kontinuierliche Synchronisation wird eine konsistente Datenbasis geschaffen bzw. das Auftreten von widersprüchlichen Datensätzen verhindert. Die Schaffung von Agenten in der Zementindustrie erfordert ein hinreichendes Systemverständnis sowie eine ausreichend große Datenmenge zum „Anlernen“ des Systems. In der Vergangenheit waren solche Systeme, insbesondere zur autonomen Steuerung des Drehofens, meist bei geringen Abweichungen vom normalen Betriebszustand „überfordert“. In der Zwischenzeit gibt es jedoch auch erfolgreiche Anwendungsbeispiele, welche meist durch die Anlagenhersteller in Kooperation mit den Anwendern entwickelt wurden. Durch das eigenständige „Lernen“ der Systeme werden diese perspektivisch immer leistungsfähiger und werden den Menschen früher oder später überholen.

● 5.1 Perspektiven für den Herstellungsprozess

Unabhängig voneinander betrachtet besitzen die einzelnen Prozessschritte bereits einen sehr hohen Reifegrad bzw. nur bedingt weiteres Optimierungspotenzial. Die größte Chance zur Verbesserung des Herstellungsprozesses verbirgt sich in der prozessschrittübergreifenden Betrachtung bzw. Analyse und Nutzung von Daten, welche bisher nur selten erfolgt. Mögliche Potenziale werden nachfolgend am Beispiels des Drehofens dargestellt.

Für einen optimalen Betrieb des Drehofens bzw. die optimale Herstellung von Klinker mit der geforderten Qualität werden bereits Informationen aus den vor- und nachgelagerten Prozessschritten analysiert. Hierzu gehören beispielsweise Analysen des Rohmehls, des Klinkers und des gemahlten Zements. Während, basierend auf der Analyse des Rohmehls, meist schon steuernd in den Prozess eingegriffen werden kann, fehlt spätestens beim in der Zementmühle hergestellten Zement die Verknüpfung zu den Betriebsdaten des Ofens. Aufgrund der Zwischenlagerung und entsprechenden Vermischung des Klinkers ist diese Verknüpfung auch nur schwer herzustellen. Es gibt jedoch Potenziale, welche sich einfacher heben lassen. So kann beispielsweise durch eine konsequente Optimierung der Zusammensetzung des Rohmehls über alle vorgelagerten Prozessschritte die Qualität des Klinkers gesteigert bzw. die notwendige Zugabe von Zusatzstoffen reduziert werden.

Ein weiteres Potenzial verbirgt sich im Bereich der alternativen Brennstoffe. Hier wird der Brennwert bereits stichprobenartig ermittelt, was jedoch nicht immer dem realen Brennwert einer Brennstoffcharge entspricht. Ebenso ist der Brennwert nicht zwingend allein ausschlaggebend für die Qualität des Klinkers. Ein möglicher Ansatz zur Herstellung einer Korrelation zwischen den Eigenschaften des alternativen Brennstoffs und der Qualität des Klinkers liegt in der Erzeugung eines entsprechenden digitalen Schattens. Dieser enthält beispielsweise für jede Brennstoffcharge eine genaue Aufschlüsselung der Inhaltsstoffe hinsichtlich Menge, chemischer Zusammensetzung und individuellem Brennwert. Ein Großteil dieser Informationen liegt bei der Aufbereitung des Materials bereits vor, wird jedoch aktuell nicht weitergegeben. Möglicherweise könnten diese Informationen zukünftig vertraglich festgeschrieben mitgeliefert werden.

● 5.2 Perspektiven für die Unterstützungsprozesse

Anhand der Instandhaltung in der Zementindustrie sollen aktuelle und zukünftige Anwendungsmöglichkeiten von Digitalisierung und Industrie 4.0 exemplarisch veranschaulicht werden. Dieses Beispiel wurde gewählt, da diesem Unterstützungsprozess sowohl im Workshop als auch in der Umfrage ein sehr großes Entwicklungspotenzial zugesprochen wurde.

Perspektivisch können alle Anlagenbestandteile über bestehende oder nachgerüstete Sensorik direkt oder indirekt überwacht werden. Indirekt bedeutet in diesem Zusammenhang, dass beispielsweise der Ausfall eines Lüfters auch über die fehlende oder veränderte Energieaufnahme erfasst werden kann. Liegt eine Störungsmeldung im System vor, wird der nächstgelegene Mitarbeiter informiert, welcher mit Hilfe eines mobilen Endgeräts direkt vor Ort eine Begutachtung des Schadens durchführt. Hierzu identifiziert er beispielsweise den defekten Lüfter über einen entsprechend angebrachten QR-Code oder NFC-Chip über eine Werks-App mit seinem Smartphone. Über eine Eingabemaske erstellt der Mitarbeiter die entsprechende Schadensmeldung, die zur detaillierten Untersuchung des Schadens mobil an die Instandhaltung übermittelt wird. Die Schadensmeldungen werden, vom System entsprechend vorpriorisiert, dem zuständigen Schlosser zur Abarbeitung zur Verfügung gestellt. Über die Schadensmeldung seines Kollegen sowie weiterführende Informationen im System – z.B. das entsprechende Reparaturhandbuch – weiß der Schlosser genau, welches Werkzeug er zur weiteren Untersuchung des Schadens benötigt. Bei seiner Beurteilung des Schadens vor Ort stellt er letztendlich einen Lagerschaden fest. Über die Werks-App fügt er diese Informationen direkt dem digitalen Schatten des Lüfters im System hinzu. Der digitale Schatten des Lüfters gibt Auskunft über bisherige Ausfälle und die dazugehörigen Ursachen. Darüber hinaus überprüft er über die Werks-App auch die Verfügbarkeit des notwendigen Ersatzteils im Magazin und fordert unmittelbar die Bereitstellung in der Warenausgabe an, welche ihm kurz danach über die App bestätigt wird. Nach Abholung und Einbau des Ersatzteils schließt er den Auftrag in der Werks-App entsprechend ab.

Neben der Unterstützung des Mitarbeiters bei der Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen existieren noch weitere Potenziale für die Zementindustrie. Durch die Analyse von Ausfällen und der dazugehörigen Ursachen kann beispielsweise ein vermehrter Ausfall von Lüftern festgestellt und den Mitarbeitern aus der Instandhaltung die Erhöhung des Ersatzteilbestands für Lüfter empfohlen werden. Darüber hinaus können durch die kontinuierliche Analyse der Sensordaten eines Lüfters die Vorzeichen eines bevorstehenden Ausfalls entsprechend erkannt und der Lüfter präventiv gewartet werden.

● 5.3 Bedeutung von Industrie 4.0 für den Mitarbeiter

Auch im Zeitalter von Industrie 4.0 ist der Mitarbeiter nach wie vor in den Herstellungsprozess integriert. Durch neue Interaktionstechnologien kann er sich einerseits aktiver in den Herstellungsprozess einbringen und sich andererseits durch die gezielte Bereitstellung von Informationen auf seine Kerntätigkeiten konzentrieren. Im Zentrum der informationstechnologisch orientierten Entwicklung steht die Digitalisierung als wesentlicher Treiber. Bereits heute geben 80 % der Beschäftigten in Deutschland an, digitale Technologien in ihrem beruflichen Alltag zu nutzen. [4] Clouds, additive Fertigungsverfahren, robotergestützte Fertigungslinien und die Anwendung digitaler Kommunikationsmöglichkeiten lassen sich als Beispiele nennen. Immer leistungsstärkere Prozessoren und sinkende Kosten für Robotik und Sensorik sowie Fortschritte im Bereich der künstlichen Intelligenz treiben den Nutzen dieser Systeme weiter voran. [5, 6] Angestrebt wird, die zum Teil bereits implementierten Systeme vermehrt miteinander zu verknüpfen, um ein Netzwerk aus Produkten, Maschinen, Prozessen oder ganzen Lieferketten zu schaffen (Bildung cyberphysischer Systeme). [6–8] Der Fortschritt macht deutlich, dass direkte Effekte für die Arbeitswelt zu erwarten sind, die unter dem Begriff „Arbeit 4.0“ zusammengefasst werden. Weitere Entwicklungen wie die Globalisierung, der demografische und kulturelle Wandel können diese Veränderungsprozesse verstärken. Auswirkungen sind schon heute anhand des in vielen Bereichen vorherrschenden Fachkräftemangels und gesellschaftlicher Debatten zu einem späteren Renteneintrittsalter zu spüren. Der Zuwachs digitaler Datenströme lässt die Welt, aus kommunikations- und transaktionstechnischer Sicht, enger zusammenrücken und eröffnet die Möglichkeit von zeit- und ortsflexiblem Arbeiten. Weiterhin wandelt sich die Einstellung zum Umgang mit Technologien und Daten.

Zunehmende Automatisierungsbestrebungen auf dem Weg zur „Smart Factory“ [9] können Arbeitsplatz- und Qualifikationsverlustängste bei den Beschäftigten auslösen sowie daraus resultierend zu Hemmnissen gegenüber der Einführung digitaler Systemtechnologien führen. Ein weiteres Spannungsfeld entsteht durch die mögliche vollständige Überwachung des Arbeitsverhaltens, die sich aus einer kontinuierlichen Datenverarbeitung ergeben kann. [7, 10] Es wird angenommen, dass Tätigkeiten mit vergleichsweise niedrigem Qualifikationsniveau und hohem Routineanteil durch Automatisierung grundsätzlich gefährdet sein können. [11] Wie Kapitel 4 veranschaulicht, dürfte dieser Effekt in der Zementindustrie allerdings keine große Rolle spielen, da der Automatisierungsgrad im Herstellungsprozess bereits heute sehr hoch und der Anteil gering qualifizierter Arbeitskräfte außerordentlich niedrig ist. [12] Insofern darf erwartet werden, dass primär Arbeitsinhalte durch die Digitalisierung stark verändert werden und der Mensch weiterhin den wesentlichen Produktionsfaktor bildet.



Bereits zum jetzigen Zeitpunkt ist abzusehen, dass ein ansteigender Fachkräftebedarf für IT-basierte Tätigkeiten zu erwarten ist. Abseits reiner Ausführungstätigkeiten werden sich ein fundiertes Verständnis für IT- und Netzwerkzusammenhänge sowie mathematische und analytische Fähigkeiten als Schlüsselkompetenzen herauskristallisieren. Zur Ausschöpfung des vollen Potenzials von Industrie 4.0 in der Zementindustrie sind entsprechende Qualifizierungsansätze im Bereich der Informationstechnik zu initiieren. [7, 9] Neben der Bereitschaft zum Umgang mit neuen Technologien – welche gerade bei den jüngeren Mitarbeitern meist schon vorhanden ist – sind entsprechende Kompetenzen im Bereich der Datenanalyse und Interpretation der Analyseergebnisse für ein tiefergehendes Systemverständnis wichtig. Die Basis hierfür ist in vielen Unternehmen bereits geschaffen, muss jedoch weiter ausgebaut werden. Ein offener Umgang mit den individuellen Wertesystemen und Ansprüchen sowie der gezielte Einsatz von Methoden ermöglichen die Erzeugung eines tiefen Verständnisses für Potenziale und Chancen des digitalen Wandels und sind unabdingbar, um die Bereitschaft zur Bildung einer digitalen Unternehmenskultur sowie einer ebenfalls an dieser ausgerichteten Führung zu erzeugen. [13, 14] Neben dem reinen Fachverständnis für die neuen Technologien gewinnen Methoden-, Systemlösungs-, Sozial- und Lernkompetenzen an Bedeutung. Ein an die neuen Herausforderungen angepasstes Kompetenzmanagement muss die Qualifikationen der Beschäftigten in den Blick nehmen und ggf. geeignete Lernprozesse implementieren, um die Faktoren Mensch, Technik und Organisation in Einklang zu bringen. [15–17] Nach wie vor wird seitens des Mitarbeiters als Basis jedoch ein tiefergehendes Verständnis für den Herstellungsprozess und die Unterstützungsprozesse benötigt. In gewisser Weise können hier Parallelen vom Wandel des Automechanikers hin zum Automechatroniker gezogen werden.

Neben dem Aufbau einer notwendigen Kompetenzbasis müssen Richtlinien des Datenschutzes und der Datensicherheit unternehmensbezogen wie gesamtgesellschaftlich gelöst werden. [7] Generell ist bei jeder Systemeinführung und -nutzung ein Kompromiss zwischen optimaler Prozesssteuerung auf der einen und dem Schutz der Mitarbeiter auf der anderen Seite zu finden. [18] Grundsätzlich ermöglichen die vorherig genannten Entwick-

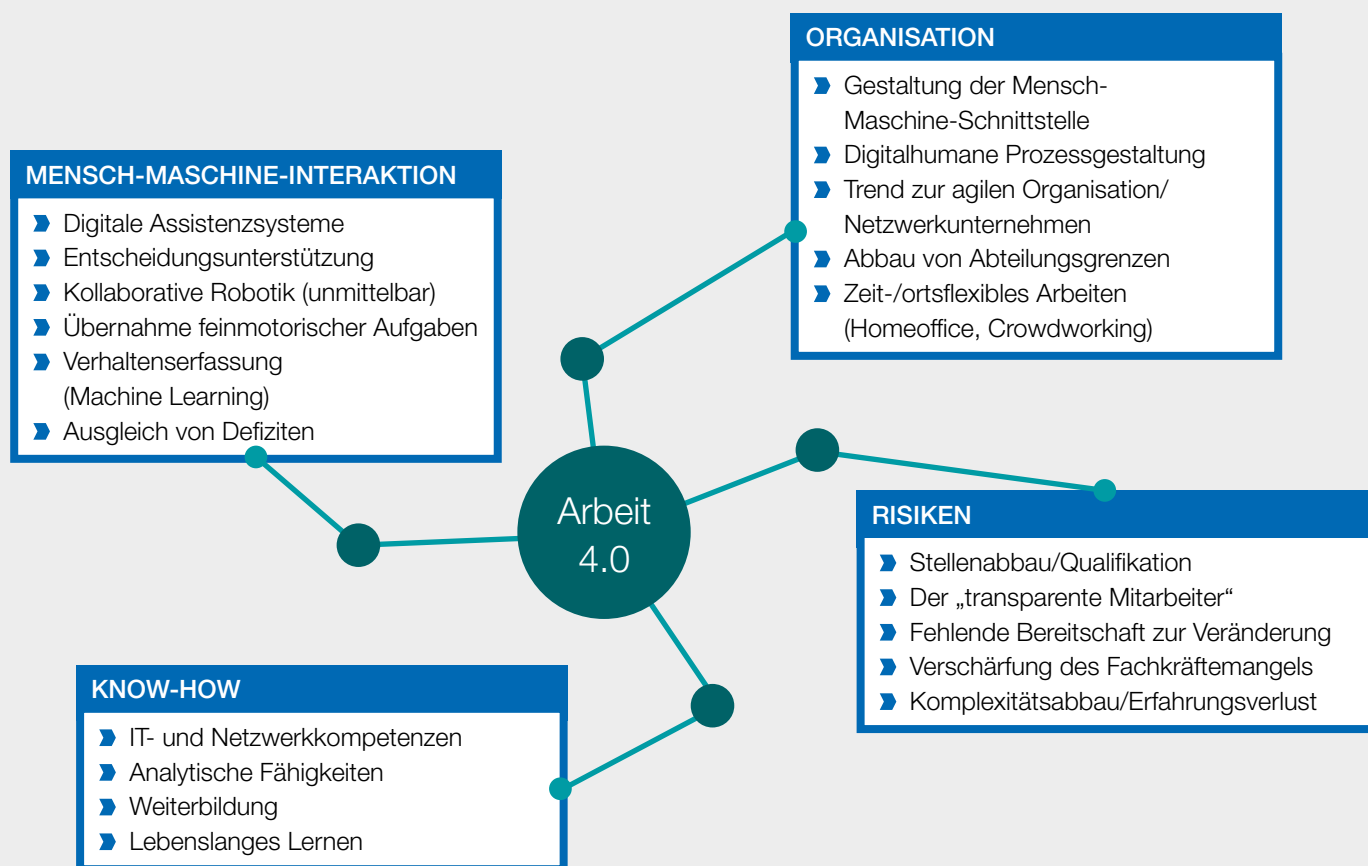


Abbildung 5.4: Handlungsfelder der Arbeit 4.0

lungen eine neue Stufe der Mensch-Maschine-Interaktion. Das Verhalten der Anwender kann immer genauer registriert und in maschinelle Ausführungen übersetzt werden. Roboter werden dazu befähigt, bei unmittelbarer Zusammenarbeit mit den „menschlichen Kollegen“ auch feinmotorische Aufgaben zu übernehmen. [19] Neben der Entscheidungsunterstützung bei komplexen Aufgaben liegt ein großes Potenzial folglich in der Unterstützung oder Ausübung von Tätigkeiten, zu denen der menschliche Körper nicht in gleicher Weise in der Lage ist. Digitale Assistenzsysteme könnten künftig fähig sein, sich auf besondere Bedürfnisse einzustellen (Machine Learning) und beispielsweise älteren Beschäftigten und Menschen mit Behinderung die Übernahme körperlich anstrengender Tätigkeiten ermöglichen. [18, 20] Andererseits kann sich durch Automatisierung von Tätigkeiten das Anforderungsprofil von Mitarbeitern auch dergestalt verändern, dass die Komplexität reduziert wird und dadurch andere Arten von Arbeitsplätzen (z.B. für gering Qualifizierte) entstehen. Diese neuen Anforderungsprofile können den Aufbau des eigenen Erfahrungswissens des Mitarbeiters erschweren. Insofern ist es zu jeder Zeit wichtig, die Gestaltung von Arbeitsplätzen an hohen ethischen Maßstäben auszurichten. [6, 7, 21, 22]

Die veränderten Aufgabenbereiche der Mitarbeiter, innovative Geschäftsmodelle und Prozesse, beschleunigte Innovations- und Produktzyklen und die Vernetzung über Unternehmensgrenzen hinweg stellen neue Ansprüche an die Arbeitsorganisation. Trends hin zum Netzwerkunternehmen und zur agilen Organisationsstruktur finden bereits heute Anwendung. Ansätze für eine agile Arbeitsweise wie SCRUM⁴⁾ und Design Thinking⁵⁾ lösen die Abteilungsgrenzen immer mehr auf und führen zur Bildung von Teams mit höherer Eigenverantwortung und Verantwortung, wodurch Mitarbeiter zunehmend auf sich verändernde Rahmenbedingungen und Aufgabenfelder reagieren müssen. [23–25] Diese Entwicklung stellt Ansprüche an die bestehende Organisationsstruktur im Unternehmen und regt ein Hinterfragen der herrschenden Führungs- und Unternehmenskultur an. Ebenfalls muss der Umgang mit dieser neuen Flexibilität erst erlernt und eine Risikoverlagerung auf die Beschäftigten vermieden werden. [7, 18]



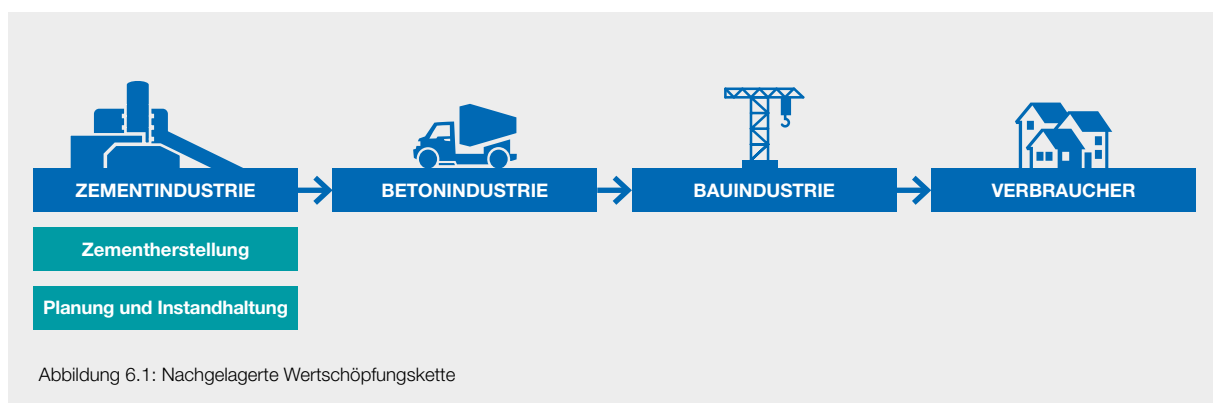
4) SCRUM – Aus der Softwareentwicklung stammendes iteratives Konzept der Produktentwicklung bzw. des Projektmanagements zur teaminternen Anwendung.

5) Design Thinking – Systematischer, auf den (End-)Nutzer ausgerichteter Problemlösungsansatz zur Förderung kreativer Ideen in multidisziplinärer Teamzusammensetzung.

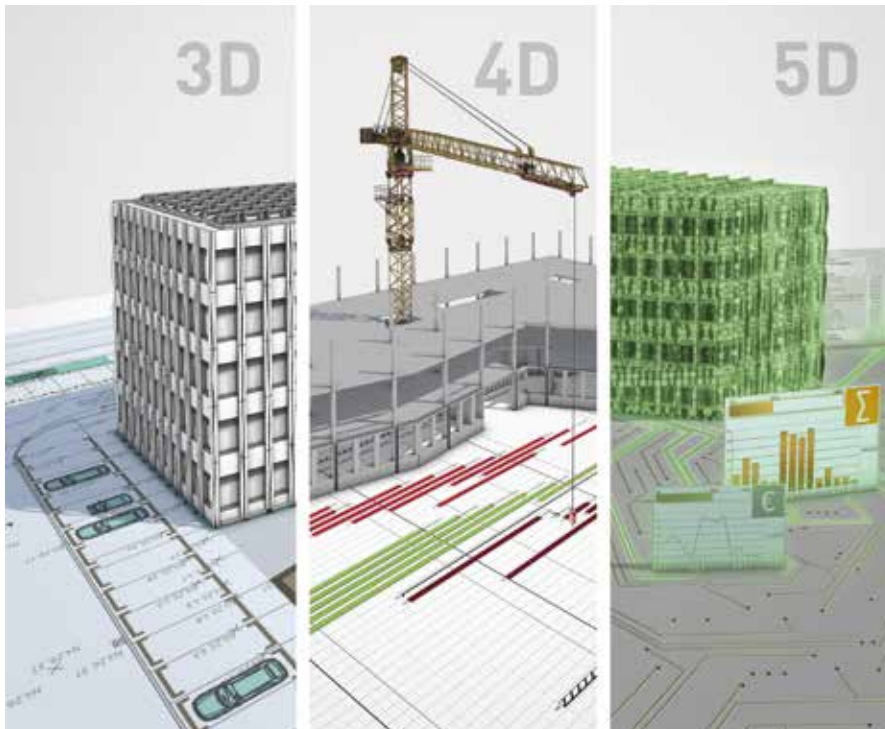
6 Nachgelagerte Wertschöpfungskette

Die Digitalisierung des Bauens wird neue Informationsanforderungen an die Zementindustrie stellen. Zudem kann die Branche BIM selbst als Planungswerkzeug nutzen.

Die Zementindustrie ist ein wichtiger Bestandteil der Wertschöpfungskette Bau, für die sie mit dem Bindemittel Zement einen wichtigen Ausgangsstoff zur Herstellung von Beton, Mörtel und anderen zementgebundenen Baustoffen liefert. Neben der Betonherstellung als unmittelbar nachgelagertem Wertschöpfungsschritt wird im Sinne einer umfassenderen Perspektive auch die bauausführende Industrie in Form von Bauunternehmen im Hoch- und Tiefbau sowie die dazugehörige Bauplanung aus Ingenieuren und Architekten betrachtet, die wiederum als Abnehmer des Ortbetons oder der Beton-Bauteile in Frage kommen. Am Ende der Wertschöpfungskette steht der Verbraucher, der entweder als öffentlicher oder privater Auftraggeber bzw. Nutzer des Bauwerks auftreten kann. [25]



Der nachfolgende Abschnitt betrachtet die nachgelagerte Wertschöpfungskette und ihre Rolle bei der Digitalisierung der Zementindustrie. Zum einen können Industrie-4.0-Ansätze die Werke dabei unterstützen, sich auf neue oder veränderte Anforderungen bezüglich des Bindemittels Zement aus den nachgelagerten Märkten einzustellen. Zum anderen bietet die Baubranche ergänzende Perspektiven zur Digitalisierung, die beispielsweise für die Planung und Aufrechterhaltung der Werksstruktur, inklusive Steinbruch, relevant sein können. Beide Aspekte hängen eng mit dem Konzept des Building Information Modelling zusammen und spielen im Folgenden eine Rolle.



Für die weitere Betrachtung werden die Ergebnisse der Umfrage zur nachgelagerten Wertschöpfungskette, zu Building Information Modeling, zur Anlagenplanung und zu behördlichen Richtlinien behandelt. Anschließend werden ausgewählte Trends in der Wertschöpfungskette Bau mit Relevanz für die Digitalisierung der Zementbranche beschrieben.

Als wesentlicher Treiber für die Digitalisierung im Bauwesen kann die Entwicklung des Building Information Modeling angesehen werden, das im Folgenden einführend erläutert wird.

● 6.1 Building Information Modeling – BIM

6.1.1 Allgemeine Einführung

Das Pendant zum Schlagwort Industrie 4.0 ist für die Baubranche Building Information Modeling oder kurz BIM. Darunter begreift man nicht nur ein digitales Gebäudeinformationsmodell, vielmehr soll dieser Begriff für eine durchgängige digitale Kette über den gesamten Lebenszyklus und eine Methode der optimierten Zusammenarbeit durch Software und gemeinsame Datenmodelle stehen. [26]

Die Chancen von BIM aus der gemeinsamen Nutzung von semantischen Informationen und parametrisch angelegter geometrischer Repräsentation von Bauwerken schlagen sich vor allem in einer vereinfachten Kommunikation und Koordination zwischen Planungsbeteiligten nieder. Daraus generierte kürzere Reaktionszeiten und die Abschaffung von papierbasierten Übergabeabläufen erhöht die generelle Qualität von Arbeitsabläufen und Produkten. Die anvisierte frühzeitige Integration von wesentlichen Aspekten aus Ausführungsplanung und Nutzungsphase während des Entwurfs erlaubt eine frühzeitige automatisierte Machbarkeitsprüfung. Diese wiederum vereinfacht Entscheidungsprozesse und führt vor allem zu einer Minimierung von Bau- und Planungsfehlern z.B. durch Kollisionsprüfung. [27]

Alles in allem können hierdurch Planungs- und Bauzeiten und damit einhergehende Kosten reduziert werden. Sind die Grundlagen der Digitalisierung in der Baubranche durch BIM geschaffen, erlaubt dies die nächsten Schritte in Hinblick auf Vernetzung und Automatisierung, wie z.B. die Integration von Lean Production Methoden inklusive der Vorbereitung für eine automatisierte Fertigung. [26] All diese Schritte generieren eine Flexibilität bis zur letzten Minute vor der Realisierung, was Planern und Kunden neue Freiräume schafft.

Ein weiterer Vorteil ist, dass nach der Projektplanung und Bauüberwachung mit Hilfe von BIM eine vollumfänglich digitale Datengrundlage besteht, die dann für eine fundierte Planung und Durchführung der Nutzungsphase herangezogen werden kann. Dies birgt Optimierungspotenzial für Monitoring, Instandhaltung und Facilitymanagement. Eine Verbesserung dieser Arbeitsabläufe während der Nutzungsphase ist von besonderer Bedeutung, da diese Phase meist den kostenintensivsten Teil des Gebäudelebenszyklus ausmacht.

Obwohl ein optimierter Datenaustausch das größte Potenzial aufweist, ist dieser zugleich das größte Hemmnis in der Verbreitung von BIM. Denn es fehlen immer noch einheitliche Standards für Datenformate und Austauschprotokolle. Zwar liefert IFC⁶⁾ eine bereits anerkannte Datenstruktur, doch die unterschiedlichen Beteiligten haben abweichende Anforderungen an Benennung und Detaillierung sowie softwareseitige Benutzung, Darstellung und Veränderung der darin gespeicherten Daten. Darüber hinaus müssen sich alle Akteure der Baubranche neu abstimmen, um die Anforderungen an die Datenübermittlung, z.B. mithilfe der Definition von Level of Development, Geometry und Information⁷⁾, neu zu setzen. Diese neuen Definitionsschemata müssen erst etabliert werden, da bisher hauptsächlich mit der Festlegung von Planmaßstäben für verschiedene Planungsphasen gearbeitet wird.

Hinzu kommt, dass sich durch die überwiegend kleinteilige Unternehmensstruktur der Baubranche die Anforderungen an diesen Abstimmungsprozess multiplizieren. Eine Zusammenführung in einem Modell erscheint vor diesem Hintergrund kaum möglich.

Es lassen sich zwei Aspekte feststellen, die eine Etablierung von BIM trotz unterschiedlicher Anforderungen der Beteiligten stark beschleunigen könnten: die Möglichkeit durch offene oder kostengünstige Viewer statt eines gemeinsamen Arbeitsmodells für alle Parteien zumindest die gleiche Modellrepräsentanz zu haben und domänenspezifische Programmierumgebungen zu erhalten, welche es Planern erlauben, ihre Expertise in automatisierte Assistenzsysteme und Prüfungen zu überführen (beispielsweise Grasshopper und Dynamo).

Die Baubranche ist aufgrund ihrer Struktur außerdem durch vergleichsweise geringe Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen geprägt. Hierdurch wird eine kurzfristige Umsetzung von Schlüsselentwicklungen wie z.B. Software, Schnittstellen und automatisierte Herstellungsprozesse, erschwert. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Einführung von BIM maßgeblich auch durch Vorschriften oder Vorgaben in Ausschreibungen großer Stakeholder wie Staat oder Großkonzerne getrieben wird. Einen ersten Vorstoß in Deutschland hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gemacht. Es beabsichtigt, ab 2020 bei Ausschreibungen zumindest im öffentlichen Tiefbau BIM für die Planung einzufordern. Anders als in anderen europäischen Ländern gibt es in Deutschland jedoch keine Verbindlichkeit durch Richtlinien. Die Entwürfe zur Richtlinienreihe VDI 2552 „Building Information Modeling (BIM)“ bündeln aber bereits die Diskussion.

Des Weiteren ergeben sich aus der verfolgten offenen Zusammenarbeit verschiedener Baubeteiligter über BIM Probleme hinsichtlich des Datenschutzes und rechtlicher Verantwortlichkeiten bei der Erstellung und Nutzung der BIM-Modelle. Auch hier müssen verbindliche Richtlinien und technische Grundlagen neu entwickelt, verhandelt und etabliert werden. Zudem bedeutet BIM ein Umdenken des gesamten Planungs- und Ausführungsprozesses und der Einbindung neuer personalbezogener Rollen wie z.B. einem BIM-Manager. Dies kann jedoch erst flächendeckend umgesetzt werden, wenn geeignetes Personal und entsprechende Schulungsmethoden aufgebaut worden sind. Wichtig bei der Anpassung von Arbeitsabläufen ist, dass diese von den Mitarbeitern mitgestaltet werden können, um nicht nur bedarfsgerecht zu sein, sondern auch um akzeptiert zu werden. Solange noch keine Standards für Datenformate, Normen und neue Prozessabläufe festgelegt sind, können alle Baubranchen und angelegten Industrien wie die Zementindustrie noch ihre eigenen Maßstäbe und Bedürfnisse einbringen.

6) Die Industry Foundation Classes (IFC) sind ein offener Standard im Bauwesen zur digitalen Beschreibung von Gebäudemodellen.

7) Level of Development (LOD) bezeichnet den Fertigstellungs- bzw. Detaillierungsgrad von digitalen Gebäudemodellen. Das LOD setzt sich wiederum aus Level of Geometry (LOG) und Level of Information (LOI) zusammen, welche im Einzelnen Aufschluss über die Detaillierung von Gebäudegeometrien und Gebäudeinformationen geben. LOD, LOG und LOI wurden in BIM-Richtlinien anderer Länder bereits aufgenommen, aber dabei unterschiedlich spezifiziert bzw. ausformuliert.

Bei der Einführung neuer technischer und digitaler Methoden wie BIM steht neben der Entwicklung der dafür notwendigen Werkzeuge, Verfahren und Standards jedoch insbesondere die Frage nach dem Mehrwert eine große Herausforderung dar.

6.1.2 Mehrwert von neuen Digitalisierungsmethoden allgemein

Unabhängig von der jeweiligen Branche ist der Mehrwert durch die Einführung neuer Werkzeuge und Prozesse im Rahmen der Digitalisierung häufig schwer abbildbar und wird von Nutzern und Nichtnutzern der notwendigen Technologien deswegen sehr unterschiedlich gesehen. So stimmen Nutzer von Digitalisierungstechnologien zu, dass deren Einsatz die Arbeitsproduktivität steigert und es ermöglicht, neue Produkte bzw. Dienstleistungen anzubieten, während Nichtnutzer sich hierzu neutral äußern. Dies gilt sowohl für alle Industriezweige übergeordnet [28] als auch für die Baubranche und die Anwendung von BIM im Speziellen [27]. Der Vergleich über alle Branchen sowie Nutzer und Nichtnutzer hinweg offenbart eine klare Übereinstimmung, dass neue Technologien den Weiterbildungsbedarf und die Aufwendungen für Datenschutz und Cybersicherheit steigern.

6.1.3 Mehrwert von BIM als Digitalisierungsmethode für die Zementindustrie

Bisher können Bauherren und Betreiber von den oben aufgeführten Vorzügen durch BIM am meisten von den entstehenden Daten und Prozessen profitieren. Es sind jedoch die Bauteil- und Baustoffhersteller, die zunächst den Großteil der BIM-Daten produzieren und zur Verfügung stellen. Der aktuell erhöhte Mehraufwand für die Bereitstellung der Daten sowie die Erarbeitung eigener BIM-Konzepte kann für die Hersteller jedoch mittel- bis langfristig zu einem klaren Marktvorteil führen. Schon jetzt lässt sich ein Trend erkennen, dass sich Planer langfristig an Hersteller binden, wenn diese kostenfreien Zugriff auf 3D-Objektinformationen und damit verknüpfte technische Daten zulassen.

Die Zementindustrie nimmt in diesem Zusammenspiel eine doppelte Rolle ein, da sie als Baustoffhersteller BIM-Daten liefern kann und gleichzeitig als Betreiber von Produktionsstandorten eine interne Werks- und Anlagenplanung aufweist, die den Strukturen von klassischer Bauplanung, Instandhaltung und Facility Management entspricht. Anforderungen und Potenziale für beide Rollen werden im Folgenden einzeln erläutert.

BIM aus Sicht von Baustoffherstellern

Betrachtet man die Zementindustrie aus der Perspektive des Baustoffherstellers und -lieferanten, fungieren Zementwerke als Informationslieferant für die Bereitstellung semantischer Informationen zu geplanten Bauteilgeometrien. Denn um den vollen Umfang von BIM im Planungsprozess nutzbar zu machen, ist es notwendig, überhaupt und früher als bisher in der Bauplanung Daten von Herstellern und Baustofflieferanten zu erhalten, um damit diverse Simulationen und automatisierte Berechnungen, z.B. bezüglich Kosten, Energieverbrauch und Produktionsplanung, durchführen zu können. Erst wenn detaillierte Informationen vorliegen, lässt sich die Komplexität von Bauwerken und der Bauplanung so koordinieren, dass eine Abwägung von Planungsvarianten auf belastbaren Daten erfolgen kann und eine anschließende fehlerfreie Umsetzung möglich ist.

Was also von den Herstellern von Bauteilen und Baustoffen erwartet wird, ist laut Studien der BauInfoConsult und dem BIM-Monitor 2017 neben 3D-Objektinformationen, die eher durch Bauteilhersteller erfolgt, auch die Bereitstellung BIM-kompatibler technischer Produktinformationen. Viele Länder wünschen sich laut der Umfragenreihe Arch-Vision des Marktforschungsunternehmens USP Marketing Consultancy diese Informationen vor allem für den Planungsbereich Rohbau [27], für den auch die Zementindustrie innerhalb der Wertschöpfungskette Beton ein Informationslieferant sein wird. Im Allgemeinen können Daten aus der Zementindustrie dann für die Beschreibung von Herstellungsprozessen herangezogen werden, was eine Spezifizierung von Bauteilen und Bauabläufen erlaubt.



In Abschnitt 6.3 wird skizziert, welche Anforderungen an die Informationsbereitstellung durch die Zementindustrie im Detail von den nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette in Zukunft gefordert werden könnte.

BIM für die Planung und Instandhaltung von Zementwerken

Betrachtet man jedoch die Zementwerke selbst als Nutzer von BIM, entfaltet sich das volle Potenzial von BIM für die firmeninterne Werks- und Anlagenplanung, vor allem bezogen auf die Instandhaltungsplanung und -abwicklung.

Besonders hier lohnt sich die Hinterlegung von Geometrien mit zusätzlichen Daten, denn diese sind umfangreich in Form von Dokumenten und Kennzahlen wie gesetzlichen Normen, Handbüchern und Datenblättern von Bauteilen vorhanden. Außerdem handelt es sich bei der Instandhaltung von Werken um andauernde Planungsprozesse, in denen die Abstimmung von Gewährleistungs- und Reparaturzyklen mit Kosten- und Personalplanung, Beschaffungsmanagement, Monitoring und Bauteilzugänglichkeit eine Komplexität erreicht, die in jeglicher Hinsicht von Assistenzsystemen wie BIM profitieren können.

Aus der im Folgenden beschriebenen Umfrage geht hervor, dass die Grundlagen für die Nutzung von BIM in Form von digitalen 3D-Abbildungen der Werksanlagen in der Zementindustrie bereits bestehen oder dies mit hoher Priorität geplant ist. Diese perspektivische Tendenz ist auch bei der Bereitstellung digitalisierter Datenblätter etc. oder der maschinenlesbaren Abbildung von Richtlinien zu sehen. Eine Verknüpfung von bisher reinen CAD-Repräsentationen der Anlagen mit anderweitigen digitalen Informationen gemäß BIM ist aktuell bei der deutlichen Mehrheit der Werke noch nicht gegeben. Das Potenzial, welches BIM für den Anlagenbau und -betrieb birgt, ist jedoch bereits erkannt worden und wird beispielsweise für die Petrochemie durch Initiativen wie DEXPI verfolgt.

● 6.2 Umfrageauswertung Wertschöpfungskette

Dieser Abschnitt knüpft an die Auswertung der schriftlichen Befragung in Kapitel 4 an. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Umfrage zu den Themen „Digitalisierung entlang der Wertschöpfungskette“, „Building Information Modeling“ und „BIM bei der Anlagenplanung und Dokumentation“ im Zementwerk dargestellt. Die grafische Darstellung aller Umfrageergebnisse finden Sie gebündelt auf den Seiten 43 und 44.

6.2.1 Nachfolgende Wertschöpfungskette

Die Verknüpfung von Zementindustrie und nachfolgender Betonproduktion erfolgt im Wesentlichen über einen Austausch von Lagerbeständen, Lieferstatus und Laborwerten zu den gelieferten Bestellungen.

Während eine **digitale Übermittlung** des Lieferstatus zwar heute noch kaum stattfindet, aber perspektivisch angestrebt wird, ergibt sich für die digitale Übermittlung von Lagerbeständen und Laborwerten ein deutlich anderes Bild. Hier wird aktuell hauptsächlich auf Nachfrage reagiert und kein automatisierter Datenaustausch angeboten. Auch perspektivisch ist hier eine große Divergenz unter den befragten Unternehmen zu beobachten. Aus den Diskussionen im Workshop wurde dieser Umstand auch im Kontext der grundlegenden Bedenken hinsichtlich einer Datenspeicherung durch Cloudlösungen sowie des Datenschutzes und der Gewährleistung der Datenaktualität eingeordnet (siehe themenübergreifende Fragen der Umfrage in 4.1.)

6.2.2 Building Information Modeling und einheitliche Datenformate

BIM ist eine mögliche Methode, um die Grundlage für Digitalisierung und Industrie 4.0 in diversen Branchen zu schaffen. Voraussetzung für die digitale Datenvermittlung durch BIM stellt die Standardisierung von Datenformaten dar.

Diesbezüglich ergibt die Umfrage, dass **einheitliche Datenformate** sowohl für interne als auch externe Arbeitsabläufe über alle Werke hinweg bislang noch schwach ausgeprägt vorhanden sind. Dies betrifft sowohl den Umgang mit Planungsunterlagen zum Werk sowie Daten zu Produktionsanlagen und bestehenden 2D- und 3D-Dokumentationen. Die perspektivische Bedeutung einheitlicher Datenformate wird von den befragten Unternehmen unterschiedlich bewertet.

Ein genannter Vorzug von BIM ist das gemeinsame Arbeiten an einem **digitalen Modell** oder Teilen eines Modells in Form von verknüpften digitalen Plänen oder voreingestellten Ansichten statt mit papierbasierten Plänen. Hier ist die Grundlage in den Zementwerken auf sehr unterschiedlichen Levels. Denn ein automatisiertes Aktualisieren zwischen Gesamtmodell und Teilbereichen bzw. Teilansichten ist laut den Befragten in den Werken entweder ganz oder gar nicht etabliert und wird perspektivisch ebenso kontrovers betrachtet.

6.2.3 Anlagenplanung und Dokumentation

Ein anderer Vorteil von BIM entsteht dann, wenn z.B. ein digitales Geometriemodell von Werken oder Anlagen und weitere Informationen sowie Dokumentationen innerhalb eines Systems verknüpft sind und eine parallele Betrachtung bzw. Nutzung sowohl von Geometrie als auch zusätzlichen Informationen jederzeit möglich ist. Hierfür wurden in der Umfrage die für BIM relevanten Aspekte von geometrischer Abbildung über Integration von Informationen bis hin zur gemeinsamen Nutzung abgefragt:

Digitale Geometrie: Die Anlagentechnik liegt teilweise als CAD-Modell vor und bietet so die geometrische Grundlage für digitale Anlagenplanung. Dies soll zukünftig deutlich ausgebaut werden. Aus begleitenden Gesprächen ist zu entnehmen, dass digitale Modelle sich hauptsächlich auf Neu-, Um- oder Anbau der Anlagen beziehen. Auch macht sich die allgemeine Unsicherheit bezüglich des Mehrwertes neuer Technologien bemerkbar, da der Vorteil der Digitalisierung von Altbeständen schwer abschätzbar ist und der hohe Aufwand der Modellierung möglicherweise deswegen gescheut wird.

Zusätzliche digitale Informationen: Weitere Möglichkeiten der digitalen Anlagenplanung, wie z.B. Verknüpfung von Anlageninformationen und Datenblättern, werden bislang weitestgehend nicht genutzt. Betrachtet man den Zusammenhang zu der vorangegangenen Fragestellung, ist zu erkennen, dass eine Verknüpfung auch durch die fehlende digitale Geometrie allein technisch noch nicht bewerkstelligt werden kann. Darüber hinaus sind die vorliegenden Dokumente so unterschiedlicher Natur, dass auch hier erst interne Standards ausgearbeitet werden müssten, um einen einheitlichen, aber flexiblen Umgang mit digitalen Dokumenten zu ermöglichen.

Gemeinsame Nutzung: Die Speicherung von Anmerkungen und Korrekturen sowie die automatische Kollisionsprüfung im 3D-Modell oder -Plan werden bislang in den befragten Unternehmen kaum genutzt. Eine verstärkte Nutzung wird jedoch kaum erwartet oder sehr unterschiedlich bewertet.

Die Integration der digitalen Anlagendokumentation in den weiteren Planungsablauf kann u.a. auf zwei Wegen erfolgen. Und zwar in Form von **visueller Unterstützung von Planungsprozessen** durch zu Rate ziehen von 3D-Modellen oder Teilansichten davon durch Mitarbeiter ohne CAD-Arbeitsplatz. Dies ist über Viewer mit eingeschränkten Bearbeitungsmöglichkeiten realisierbar. Oder es können Verknüpfungen der digitalen Dokumentation zum Projektmanagement hergestellt werden. Beides wird heute eher nicht bis gar nicht umgesetzt. Auch hier wird eine perspektivische Ausweitung unterschiedlich oder gar nicht erwartet.

Ein Erklärungsansatz für die eher skeptische Einschätzung der beschriebenen Anwendung neuer Technologien bei der Anlagenplanung und -dokumentation liegt möglicherweise in einem klassischen Dilemma begründet. Denn sowohl für die Verknüpfung von Informationen als auch für die gemeinsame Arbeit müssen die technischen Grundlagen in Form von Software und Hardware vorhanden sein. Deren Anschaffung wird jedoch oft erst getätigt, wenn sich neue digitale Arbeitsmethoden bereits etabliert haben und der Vorteil abschätzbar ist. Die Methoden wiederum kommen aber nicht ohne die nötige Hard- und Software aus. So fehlt es in vielen Fällen an Computerarbeitsplätzen mit ausreichend Rechnerkapazität, um angereicherte 3D-Modelle oder 3D-PDFs anzusehen oder zu bearbeiten. Ebenso fehlen derzeit mobile Endgeräte wie Tablets, die es erlauben, Reparaturen oder Prüfungen an den Anlagen direkt vor Ort digital zu dokumentieren.

6.2.4 Behördliche Richtlinien und Fristen

Ebenso wie die Integration von Anlageninformationen und -dokumentationen können behördliche Richtlinien und sich daraus ergebende Fristen mit geometrischen Informationen sinnvoll gekoppelt werden.

Die Umfrage ergibt hier, dass die Verwaltung von Richtlinien und Fristen heute weitgehend über interne Datenbanken stattfinden und mit Verantwortlichkeiten verknüpft wird. Dies stellt einen ersten Schritt im Rahmen der Digitalisierung dar. Ein Austausch von maschinenlesbaren Versionen der Richtlinien und Fristen findet jedoch nur teilweise statt, was die Vernetzung der Informationen erschwert. In den kommenden fünf Jahren und darüber hinaus wird von den befragten Unternehmen ein vollständig maschinenlesbarer Austausch angestrebt.

Grafische Darstellung der Ergebnisse der Umfrage zu den Themen „Digitalisierung entlang der Wertschöpfungskette“, „Building Information Modeling“ und „BIM bei der Anlagenplanung und Dokumentation“ im Zementwerk.

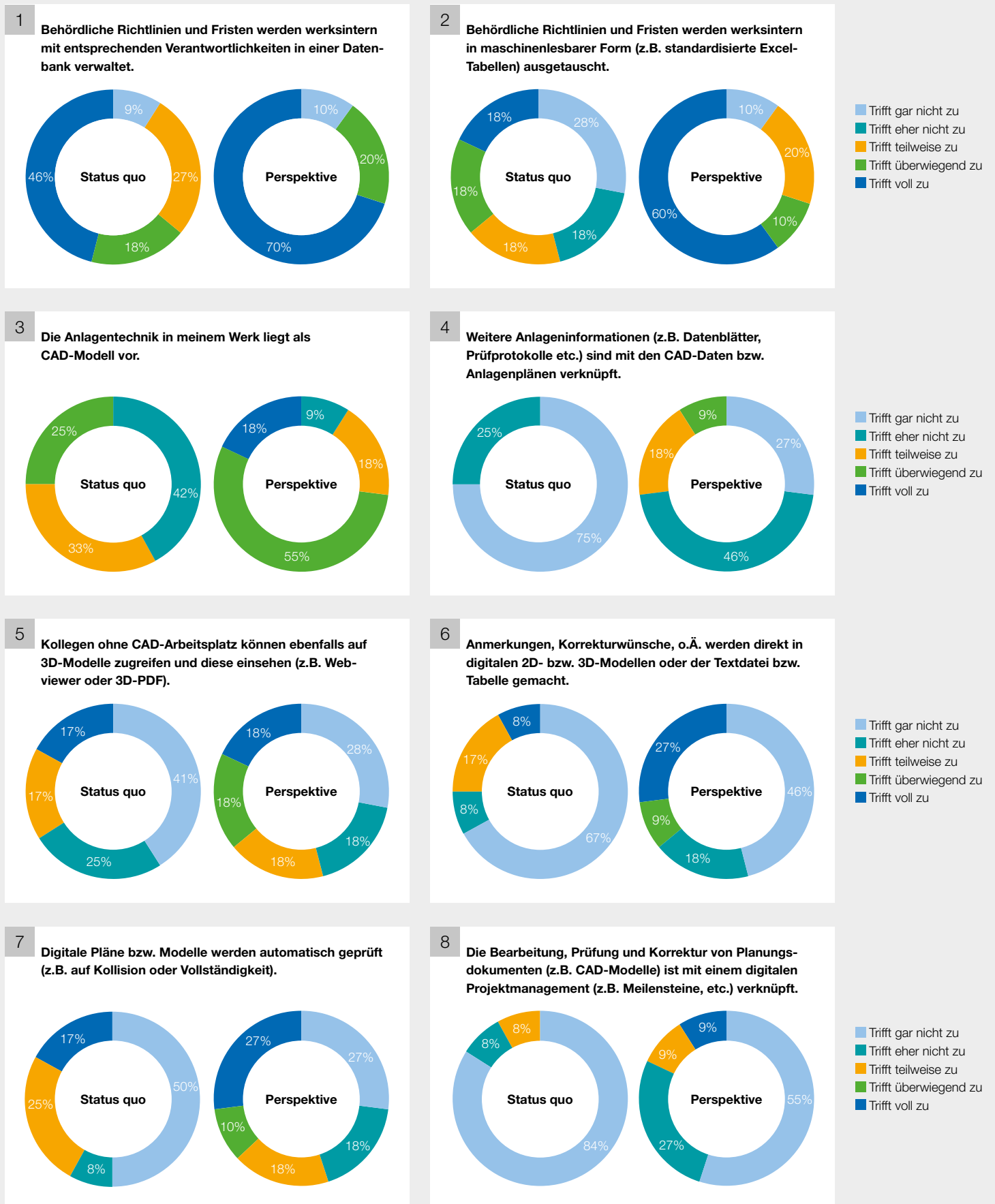
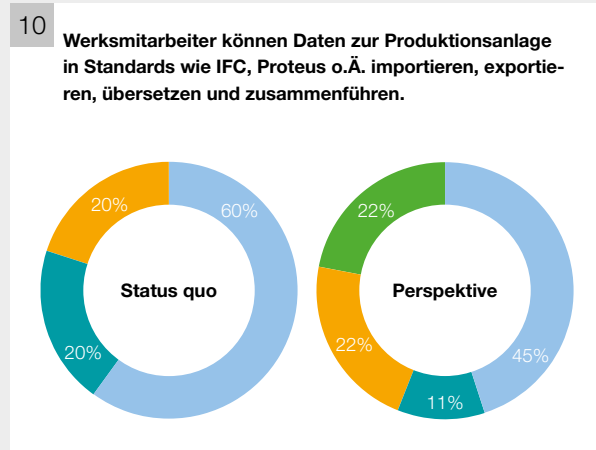
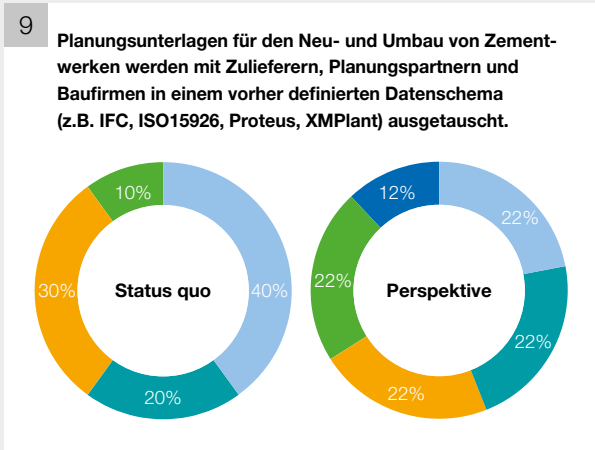
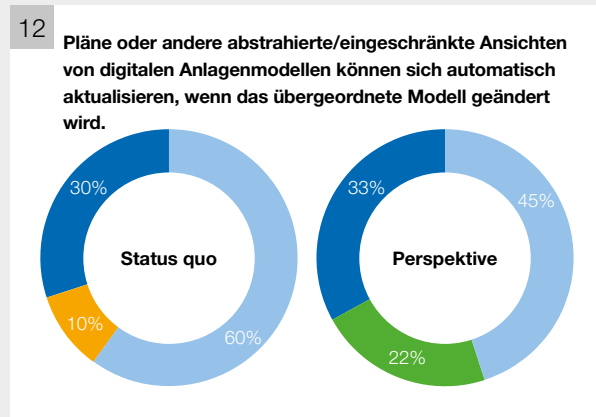
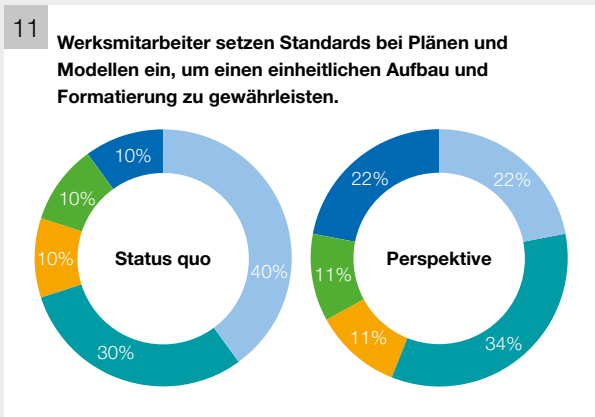


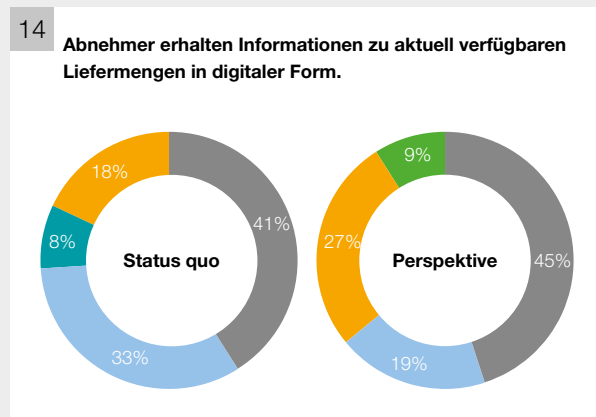
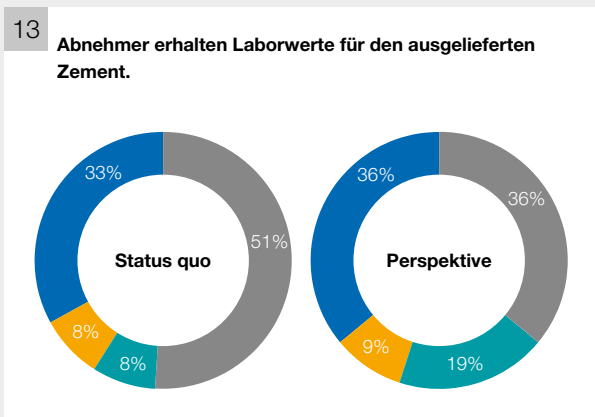
Abbildung 6.2 Umfrageauswertung Wertschöpfungskette



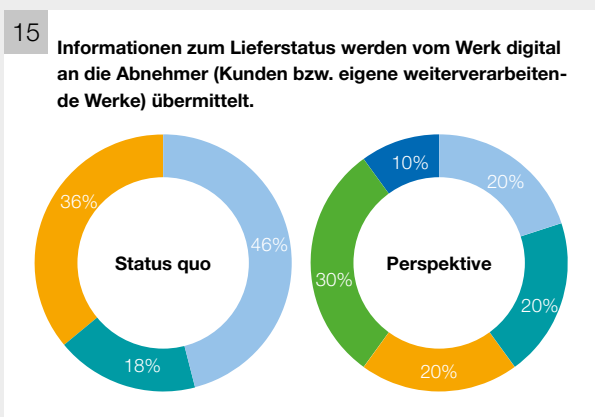
- Trifft gar nicht zu
- Trifft eher nicht zu
- Trifft teilweise zu
- Trifft überwiegend zu
- Trifft voll zu



- Trifft gar nicht zu
- Trifft eher nicht zu
- Trifft teilweise zu
- Trifft überwiegend zu
- Trifft voll zu



- Nur auf Anfrage
- Trifft gar nicht zu
- Trifft eher nicht zu
- Trifft teilweise zu
- Trifft überwiegend zu
- Trifft voll zu



- Trifft gar nicht zu
- Trifft eher nicht zu
- Trifft teilweise zu
- Trifft überwiegend zu
- Trifft voll zu

Abbildung 6.2 Umfrageauswertung Wertschöpfungskette

6.3 Digitalisierungsanforderungen der nachgelagerten Industrien

Während die Automatisierung und Digitalisierung auch in den Laboren der Zementwerke weit vorangeschritten ist, zeigt die Umfrage, dass die Weitergabe von Materialkennwerten und Lagerbeständen an die Abnehmer keinesfalls unumstritten ist. In Anbetracht der (nicht nur in der Zementindustrie) herrschenden Unsicherheit bezüglich des Wertes von Daten und des Risikos der Weitergabe ist dieses Ergebnis nicht überraschend. Im Bauen beobachtet man, dass sich aufgrund dieser Unsicherheit neue Firmenformate ergeben, die intern längere Abschnitte der Wertschöpfungskette abbilden statt auf Partnerschaften mit diversen, zum Teil kleineren Unternehmen aufzubauen. Ein Austausch zwischen vielen Beteiligten fällt damit aus und umgeht so die Hürden der Datenweitergabe.

Nichtsdestotrotz wird die Bedeutung der Datenweitergabe zwischen Baustofflieferant und Kunde in den nächsten Jahren wahrscheinlich weiter steigen. Denn die nachgelagerten Industrien der Wertschöpfungskette erfahren eine zunehmende Digitalisierung sowie Automatisierung. Der sich ergebende Bedarf an fundierten Informationen und digitaler Datengrundlage wird zunächst in der Bauindustrie aufkommen. Diese wiederum wird von der Betonindustrie umfängliche Daten zu den Materialeigenschaften der Betonbauteile einfordern. Letztendlich wird dann die Betonindustrie vermehrt Informationsanfragen an die Zementindustrie bzgl. Materialzusammensetzung der Zemente weitergeben.

Die Entwicklung von Digitalisierungsansätzen in der Bauindustrie findet jedoch derzeit häufig isoliert statt. Bemühungen um ein vernetztes Arbeiten und die Entwicklung offener Standards stoßen bspw. durch Initiativen wie buildingSMART zunehmend auf Resonanz. Inwieweit die digitale, automatisierte Übertragung von Informationen zu verfügbaren Liefermengen oder Laborwerten durch Nachweispflichten oder Marktanforderungen in Zukunft für Zementwerke unumgänglich wird, ist aus heutiger Sicht noch nicht einschätzbar.

Das bereits heute hohe Digitalisierungsniveau der einzelnen Herstellungsschritte zeigt, dass die Zementindustrie den Mehrwert der Digitalisierung früh erkannt hat. Es ist deshalb zu erwarten, dass Zementwerke auf künftige Veränderungen in den Informationsanforderungen aus der nachgelagerten Wertschöpfungskette entsprechend reagieren werden.

Wie und wo der Informationsbedarf anfallen könnte, wird im Folgenden durch einen Überblick zu wichtigen Einflussfaktoren und aktuellen Entwicklungen in Betonherstellung und Bauindustrie sowie der Vorgaben aus Verbrauchersicht erläutert. Die Erläuterung folgt dabei der Systematik der Wertschöpfungskette vom Verbraucher, über die Bauindustrie bis zur Betonproduktion.

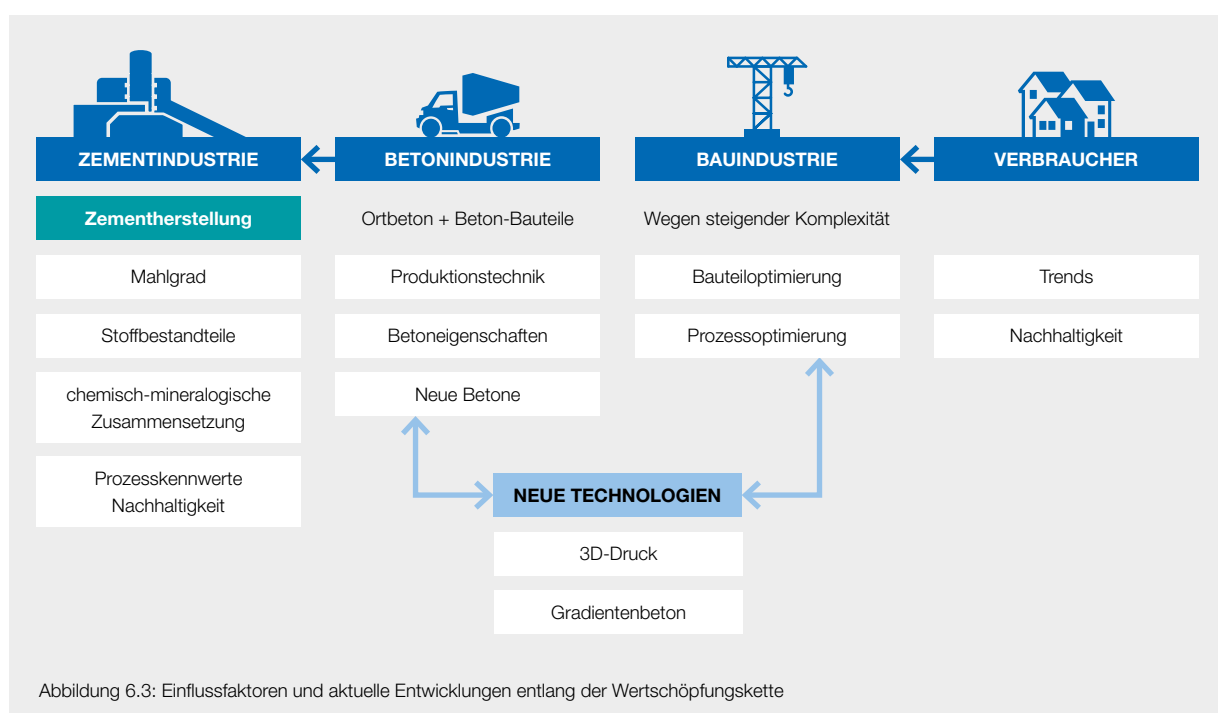


Abbildung 6.3: Einflussfaktoren und aktuelle Entwicklungen entlang der Wertschöpfungskette

6.3.1 Verbraucheranforderungen

Die Anforderungen an die Baubranche werden in Anbetracht von Megatrends wie der Urbanisierung und dem klimatischen sowie demografischen Wandel immer höher und führen zu einer gesteigerten Komplexität von Bauvorhaben, die sich sowohl in der Planung als auch in der Gestaltung der (Beton-)Bauteile widerspiegeln. Geänderte Anforderungen an das Betonbauteil werden dann auf verschiedene Art und Weise durch die Wertschöpfungskette weitergereicht. Beispielsweise steigen die Anforderungen an Gebäude und Bauteile durch Reformen zum Thema Nachhaltigkeit. Diese bringen einen ganzen Zyklus an Nachweispflichten mit sich, der sich nicht nur in neuen Zertifizierungssystemen von Gebäuden niederschlägt, sondern auch hier die Nachweispflicht über angemessene Nachhaltigkeit bis an den Rohstoff weitergibt. So werden in der Zementindustrie seit vielen Jahren diverse Schritte zur Minderung von CO₂-Emissionen umgesetzt und vorangetrieben (u.a. Einsatz von biomassehaltigen alternativen Brennstoffen, Reduzierung des Klinkergehalts im Zement). Die digitale Weitergabe dieser Information bis zum Endverbraucher sowie die Vorabinformation während der Bauphase steht aber noch aus.

6.3.2 Optimierung von Bauteilen und Bauprozessen

Die Kombination aus steigenden Nachhaltigkeits- und Wirtschaftlichkeitsanforderungen (Fachkräfte- und gleichzeitig Wohnungsmangel) stellt die Bauindustrie vor die Herausforderung, ihre Bauteile sowie Bauprozesse grundlegend zu optimieren. Dies betrifft zum einen die Automatisierung von Vorfertigungs- und Baustellenprozessen mit Hilfe zunehmend digitalisierter Maschinen. Zum anderen betrifft dies die zunehmende Funktions- und Leistungsorientierung von Bauelementen, die weg von einfachen geometrischen Baukörpern aus Massenproduktion hin zu individuellen, geometrisch komplexen und materialsparenden Bauteilen aus Mass-Customization-Prozessen⁸⁾ führen.

Digitale Baustelle und Baumaschinen

Die technologischen Fähigkeiten, welche eine Automatisierung in Prozess- und Produktionsindustrien ermöglichen, haben unter anderem aufgrund der dynamischen Verhältnisse und insbesondere der vielen Umwelteinflüsse auf der Baustelle nur in sehr geringem Maße Einzug gehalten. Die rasanten Fortschritte beim autonomen Fahren im letzten Jahrzehnt machen jedoch deutlich, dass sich dies ändert.



8) Mass Customization beschreibt eine Methode für Produktionsprozesse, die es erlaubt, bis zu einem gewissen Grad individuelle Kundenwünsche (Customization) durch Massenproduktion (Mass production) kosteneffizient umzusetzen.

Analog zum Automobil erleben wir nun eine Entwicklung und Ausbreitung von immer leistungsfähigeren **Assistenzsystemen** bei den Baumaschinen. Als in sich geschlossene aber mobile Einheiten sind Baumaschinen als Träger von Industrie-4.0-Technologien ideal. Während es im Berg- und Tagebau weltweit bereits einige Beispiele für autonome Schwerkraftwagen (SKW) gibt, z.B. in der Erzgewinnung, sind die Maschinen auf der Baustelle noch weit davon entfernt. Dies liegt sicherlich an der größeren Anzahl von Mitarbeitern im Umfeld der Maschinen, aber auch an unzureichender Netzabdeckung insbesondere bei Infrastrukturprojekten und vergleichsweise niedrigen Arbeitslöhnen im Baugewerbe.

Die Schwierigkeit des Datentransfers auf den Baustellen hält auch die Verwendung von digitalen Bauinformationen auf der Baustelle zurück. Jedoch gibt es hier auch in Deutschland dedizierte, staatlich geförderte Bemühungen, den Engpass zu beseitigen (DigitalTWIN, BMWi), da durch die zunehmende Verknüpfung von Bauplanung und Produktion auch die Möglichkeit besteht, Bauteile maschinenlesbar zu kennzeichnen. So werden teilweise Lüftungsschächte oder Schalungsteile mit **QR-Codes** versehen, welche direkt auf ein Gebäudeinformationsmodell verweisen. Die Entwicklungen zu Datenverknüpfung und baustellengerechten Bauteilmarkierungen sowie Endnutzengeräten (Tablets, Augmented Reality Bauhelme) sollten vor dem Hintergrund der Instandhaltung auch von Zementwerken aufmerksam verfolgt werden.

Eine derzeit fundamentale technologische Hürde für die Digitalisierung der Baustelle ist die Aufnahme der Realität und die Verknüpfung mit digitalen Modellen. Während die übergreifenden Trends der Miniaturisierung und steigenden Rechenleistung es inzwischen erlauben, auch mobil umfangreiche Punkt- oder Bildwolken zu erzeugen, ist die Übertragung bzw. Verknüpfung mit CAD-Geometriedaten bis dato nicht gelöst.

Durch umfassende **digitale Bauplanung**, aber insbesondere durch eine umfassendere Digitalisierung in Produktion und Baustelle erhofft man sich unter anderem auch kürzere und besser planbare Bauzyklen vor Ort. Eine solche Just-in-time-Vorfertigung ist erst durchführbar, wenn belastbare Daten zu Verfügbarkeiten von Bauteilen und Baustoffen gegeben werden können.

Neue Bautechnologien

Sowohl neue Bauteilformen als auch Bauprozesse generieren einen Entwicklungsbedarf an Technologien und Baumaterialien. Beispiele für den Betonbau und der potenzielle Einfluss auf die Anforderungen an die Ausgangsmaterialien sind im Folgenden dargestellt. Der **Beton-3D-Druck** könnte bei optimierter Umsetzung die Baubranche revolutionieren. Hier wird zwischen zwei Methoden unterschieden. Beim Extrusionsverfahren werden Mörtelschichten übereinander angeordnet. Der Auftrag der Mörtelschichten erfolgt über eine roboterarmgeführte Extrusionseinheit. Ein anderes Beton-3D-Druckverfahren ist das Pulverbettverfahren. Hier wird Zementsuspension in ein Pulverbett oder Wasser in ein Zementpulverbett gespritzt und ein Bauteil schichtweise aufgebaut.

Der Beton-3D-Druck hat nicht nur das Potenzial, komplexe Fertigteile zu drucken, sondern auch ganze Bauwerke vor Ort herzustellen. Neben Herausforderungen in der Maschinenteknik bestehen auch besondere Anforderungen an das Baumaterial, die teilweise widersprüchlich zu sein scheinen. Beim Extrusionsverfahren werden besondere Fließeigenschaften benötigt, die das Material zunächst pumpbar machen. Direkt nach der Extrusion und Positionierung muss der Beton jedoch formstabil und steif genug sein, um die darüberliegenden Schichten zu tragen. Dabei darf der Beton nicht zu schnell erstarren, um einen effektiven Schichtenverbund zu ermöglichen. Für einen reibungslosen Prozessablauf ist es daher zwingend erforderlich, das Fließverhalten des Betons einstellen zu können. Dies erfordert neben der Berücksichtigung von Bindemittelanteil und der technisch abgestimmten Zugabe von Zusatzmitteln (Fließmittel, Verzögerer, Beschleuniger) eine optimierte Abstimmung der trockenen Komponenten (Zement, Gesteinskörnung, Zusatzstoffe). Belastbare Daten aus den Laboren der Zementwerke können hier zur Prozessoptimierung und der Möglichkeit, hoch komplexe Bauteile herzustellen, beitragen.



Der Bedarf nach genauen Spezifikationen der Zementeigenschaft ist auch bei **Gradientenbeton** gegeben. Diese Leichtbauvariante besitzt aufgrund ihrer Materialeinsparung großes Zukunftspotenzial. Der Gradientenbeton zeichnet sich durch gezielte Variation der Materialeigenschaften – vor allem der Festigkeit – aus. Dabei wird die Variation durch schrittweise Änderung der Porosität bzw. der Betonzusammensetzung entlang mindestens einer Richtung des Betonkörpers erzielt. Dadurch lässt sich für inhomogen belastete Bauteile die Effizienz der Materialausnutzung steigern und verschiedene Funktionen, wie Wärmedämmung und Tragfähigkeit, in einem Bauteil erfüllen. Der Gradient kann beispielsweise mit Hilfe von Sprühverfahren durch Kombination zweier Betone in variierenden Mengenverhältnissen oder das Zuführen bestimmter Komponenten in variierender Menge zu einer Basismischung erzeugt werden. Unter Anwendung der Gradientenbeton-Technologie lassen sich mittels Sprühverfahren Bauteile mit komplexen Geometrien herstellen, wie beispielsweise Schalentragwerke. Eine rechnergesteuerte Führung des Sprühkopfes ermöglicht die Herstellung effizienter Betonleichtbautragwerke, die eine funktionale Gradierung hinsichtlich ihrer Tragwirkung oder anderer Funktionalitäten aufweisen. [30]

Druckfestigkeit des Referenzmörtels in N/mm²

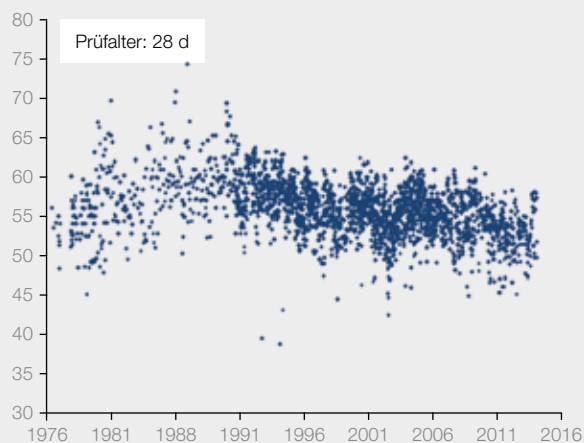


Abbildung 6.4: Druckfestigkeit von Normmörteln eines Referenzzements (CEM I 42,5 R) im Alter von 28 Tagen
(Quelle: ibac RWTH Aachen)

Ausbreitmaß des Referenzmörtels in mm



Abbildung 6.5: Ausbreitmaß von Normmörteln eines Referenzzements (CEM I 42,5 R)
(Quelle: ibac RWTH Aachen)

Ein Management der unterschiedlichen Betonbestandteile wird neben der Herstellung auch für Simulationen zum Verhalten im Hinblick auf Formänderungen und Belastbarkeit der Bauteile benötigt. 3D-Druck und Gradientenverfahren sind daher fundamental digital getrieben und stark von den Materialeigenschaften abhängig. Digital abrufbare, exakte **Materialkennwerte des Zements** könnten daher einen großen Wert haben. Die Digitalisierung solcher Prozesse befindet sich jedoch teilweise noch in der Erforschung (e.g. DFG-Schwerpunktprogramm „Adaptive Modulbauweisen mit Fließfertigungsverfahren – Präzisionsschnellbau der Zukunft“).

Die Beispiele zeigen, dass in der Zukunft voraussichtlich präzise definierte Materialeigenschaften eine immer größere Rolle spielen werden. Da der Ausgangsstoff Zement sowohl die Frisch- als auch die Festbetoneigenschaften maßgeblich bestimmt, könnte hier zukünftig die **Anforderung an die Gleichmäßigkeit** steigen. Die Anforderungen und die Prüfverfahren für relevante Zementeigenschaften wie die chemische Zusammensetzung, Mahlfineinheit und Wasseranspruch, Erstarrungszeiten, Hydratationswärme, Raumbeständigkeit und Festigkeit sind in den Normenreihen DIN EN 197 und DIN EN 196 festgelegt. Die Vorgaben beispielsweise für die Festigkeit sind in den Normen allerdings relativ weit gefasst, so dass auch innerhalb einer Zementart desselben Zementwerks Streuungen im Bereich von ca. 10 N/mm² in der Festigkeit von Normmörteln entstehen (Abbildung 6.3). Auch in der Mahlfineinheit ergeben sich Varianzen, die sich in der Verarbeitbarkeit bemerkbar machen, wie in Abbildung 6.4 anhand des Ausbreitmaßes von Normmörteln zu sehen ist.

6.3.3 Angepasste und transparente Betonmischung

Die zuvor beschriebenen Entwicklungen zeigen, dass die Digitalisierung im Bauen zunehmend eine engere Vernetzung mit der Produktion und damit auch höhere Automatisierungsgrade in der Fertigung anstrebt. Letzteres erfordert abgestimmte Betonmischungen mit klar zuordenbaren Eigenschaften. In welchem Hinblick eine Automatisierung in der Betonindustrie mit Mitteln der Digitalisierung und Industrie 4.0 erreicht wird oder werden kann, soll folgend am Beispiel der Fertigteilproduktion aufgezeigt werden.

Digitalisierung im Fertigteilwerk

Laut Angaben von Herstellern für Automatisierungslösungen und Anlagen-/Robotertechnik sind moderne Betonfertigteilwerke heutzutage bereits hoch automatisiert. Nachdem sich bis etwa zur Jahrtausendwende ein gewisser Automatisierungsgrad in den deutschen Fertigteilwerken etabliert hatte, rüstet die Fertigteilindustrie in den letzten Jahren wieder verstärkt technisch auf. Nach dem neuesten Stand der Technik können die Fertigteile über computergestütztes Modellieren (CAD) entworfen werden. Es gibt hoch automatisierte Umlaufanlagen sowie geeignete Softwarelösungen, welche die Produktion auf Basis der individuellen CAD-Daten koordinieren und alle Informationen an das ERP-System weiterleiten. Arbeitsstationen wie beispielsweise Reinigen, Schalen, Bewehren, Isolieren, Betonieren, Verdichten, Härten, Glätten und Abheben können vollautomatisch mittels Robotertechnik betrieben werden. Mit Hilfe eines Laserprojektionssystems werden alle Ausführungen millimetergenau koordiniert und es kann entsprechend einer Qualitätssicherung vor dem Betonieren überprüft werden, ob die Maße mit den CAD-Daten übereinstimmen. Logistikmanagementsysteme kontrollieren und dokumentieren alle wesentlichen Vorgänge im Rahmen der Produktion und Lagerung der Betonfertigteile. Für Bauprojekte können neben allen Produktionsdaten auch Positions- und Einbaudaten der Fertigteile spezifisch erfasst werden. Über Lasertracker-Systeme ist es möglich, die Fertigteile genauestens zu vermessen und das Bauwerk virtuell zu erstellen. Die Systeme können über passende Schnittstellen mit BIM verknüpft werden.

Somit ergibt sich im Rahmen von BIM-Entwicklungen auch für die produzierenden Unternehmen ein Mehrwert aus den erzeugten Daten. Beispielsweise soll der Aufbau von herstellerunabhängigen Schnittstellen eine Generierung von Maschinencodes aus Bauplanungsdaten erlauben (z.B. IFC4precast). Hier wird das Baugewerbe im Gegensatz zur Zementbranche noch durch den niedrigen Anteil an digitalen Produktionsanlagen zurückgehalten. Im Jahr 2016 machten im Baugewerbe Industrie-1.0-2.0-Technologien knapp 80 % aus, ein Anteil, der sonst nur in der Landwirtschaft vorzufinden ist. [29]

Neue Betone und Simulation zementärer Systeme

Den vielfältigen Wirkungen von Zusatzmitteln und Zement auf die Betoneigenschaften liegen die unterschiedlichsten chemischen Verbindungen und Wirkmechanismen zu Grunde. Molekulares Modellieren, das sich bereits in anderen Fachrichtungen wie beispielsweise der Medizinischen Chemie etabliert hat, bietet das Potenzial für fortschrittliche Entwicklungen zur Abschätzung von Wechselwirkungen. Für die effektive Anwendung in der Zement- bzw. Zusatzmittelchemie ist jedoch ein besseres Verständnis der Interaktionen von Zement und Zusätzen notwendig. Limitierungen bestehen aktuell auch, weil die Mechanismen der Hydratation und die Struktur der resultierenden Phasen nicht vollständig geklärt sind. [31]

Im Zuge der Digitalisierung könnte zunächst durch effektive Datengenerierung und Erhöhung der Rechenleistung die Aufklärung der chemischen Vorgänge im zementären System vorangetrieben werden. Mit Hilfe dieser Datenbasis ließe sich über computergestützte Modellierungsmethoden auf molekularer Ebene eine fortschrittliche Entwicklung neuer Zusatzmittel ermöglichen. Der dadurch zunehmende Bedarf an detaillierten aufgeschlüsselten Daten zum ausgelieferten Zement könnte ein Umdenken bezüglich der Weitergabe von Laborwerten aus den Werken erfordern.

6.4 Zwischenfazit: Auswirkungen der Digitalisierung auf die Zementindustrie

Es lassen sich somit zwei Trends mit großer Relevanz für die Zementindustrie in der nachgelagerten Wertschöpfungskette identifizieren:

- ▶ Zunehmende Automatisierung bei Herstellung und Einsatz von Betonen durch neue Technologien in der Bau- und Betonindustrie
- ▶ Migration der Baubranche zu ganzheitlicher digitaler Modellierung (BIM)

Der erste Trend erzeugt eine zunehmende Forderung nach Weitergabe von Materialwerten des Zementes an Abnehmer. Durch digital verfügbare, chargengenaue, detaillierte Materialwerte können Abnehmer nicht nur eine höhere Prozesssicherheit, sondern auch ein tieferes Materialverständnis gewinnen und umfassendere Simulationen durchführen. Die gewünschten Daten werden dann in Systemen wie BIM digital hinterlegt. Hier kommt der zweite Trend der Umstellung zu BIM zum Tragen. Neben einer gesteigerten Informationsforderung an alle Parteien der Wertschöpfungskette kann BIM dazu beitragen, unterstützende Prozesse wie die Werksplanung und -instandhaltung zu digitalisieren und zu optimieren. Dies hat primär Auswirkungen auf die digitale Anlagendokumentation. Die Baubranche steht hier vor ähnlichen Herausforderungen bezüglich der Digitalisierung von bestehenden Bauten und dem Aufbau einer digitalen Zusammenarbeit. Hier können Zementwerke daher von den Erfahrungen, Werkzeugen und Strategien der Baubranche profitieren.

Um hierfür die Grundlagen in der Zementindustrie zu schaffen, müssen zwei Merkmale der Digitalisierung gezielt in den Werken behandelt werden:

- ▶ Umfang und Umgang mit der Weitergabe von Daten
- ▶ Aufbau von digitalen Kompetenzen

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen eine stark divergierende Perspektive hinsichtlich der Datenweitergabe. Die Aussicht auf umfassende digitale Anlagenmodelle steht im Gegensatz zur Ambivalenz, mit der auf den digitalen Austausch im Werk und mit Dritten geschaut wird. Dies bestärkt die Relevanz des zweiten Punktes, da mit einer wachsenden digitalen Kompetenz nicht nur die Flexibilität der Prozesse, sondern auch das Verständnis für mögliche Mehrwerte gesteigert wird. Beide Punkte spiegeln hierbei die branchenübergreifenden Trends und Herausforderungen bei der Digitalisierung wider.

7

Fazit

Der Zementherstellungsprozess ist nahezu vollständig digitalisiert und Industrie 4.0 teilweise umgesetzt. Weiteres Potenzial besteht entlang des Gesamtprozesses und bei den Unterstützungsprozessen.

In dieser Studie wurden der Status quo und die Perspektiven von Industrie 4.0 für die deutsche Zementindustrie untersucht. Neben themenübergreifenden Fragestellungen zu Industrie 4.0 wurden insbesondere die Herstellungs- und Unterstützungsprozesse in den Zementwerken sowie die nachgelagerte Wertschöpfungskette betrachtet. Darüber hinaus wurden mögliche Zukunftstrends skizziert. Grundlage für die Analyse bildeten Prozessaufnahmen in zwei Zementwerken, ein Expertenworkshop sowie eine schriftliche Umfrage unter den Mitgliedern des VDZ. Zur Bewertung des Status quo und möglicher Zukunftsperspektiven von Industrie 4.0 in der Zementindustrie wurde auf ein sechsstufiges Industrie-4.0-Reifegradmodell zurückgegriffen.

Themenübergreifende Fragestellungen

Alle im Rahmen der Studie befragten Unternehmen beschäftigen sich bereits mit dem Thema Industrie 4.0 bzw. haben ihre Werke zum Teil schon auf Industrie 4.0 vorbereitet. Die für eine werksübergreifende Vernetzung notwendige Verfügbarkeit von Internet und Mobilfunk ist prinzipiell gegeben, jedoch ist in beiden Fällen die Bandbreite häufig noch zu gering für den flächendeckenden Einsatz von webbasierten Lösungen. Bei der Datenspeicherung nutzen die Werke bisher überwiegend lokale oder zentrale Netzlaufwerke. Die Umfrage zeigt, dass die aktuelle und zukünftige Bereitschaft in den Unternehmen, stärker auf Cloudlösungen zu setzen, recht schwach ausgeprägt ist (technologische Hürden, Sorgen um die Datensicherheit). Eine weitere Herausforderung stellt die Verfügbarkeit von Fachkräften mit informationstechnischem Hintergrund dar. Das bereits heute bei vielen Unternehmen bestehende Defizit wird in Zukunft weiter steigen und schwer zu decken sein.

Herstellungsprozess und Unterstützungsprozesse

In den befragten Werken sind die einzelnen Schritte des Herstellungsprozesses bereits nahezu durchgängig digitalisiert (1. und 2. Reifegradstufe), wodurch die Voraussetzungen für Industrie 4.0 flächendeckend gegeben sind. Dies bedeutet, dass die zur Steuerung des Herstellungsprozesses benötigten Informationen fast durchgängig digital vorliegen und übertragen werden können. Betrachtet man die einzelnen Schritte des Herstellungsprozesses hinsichtlich der Reifegradstufen von Industrie 4.0 (3. bis 6. Reifegradstufe), so zeigen sich zum Teil deutliche Unterschiede bei den Prozessschritten.

Erwartungsgemäß positiv schneiden die zum Großteil automatisierten Schritte „Herstellung von Rohmehl“, „Herstellung von Klinker“ und „Herstellung von Zement“ ab, in denen Industrie 4.0 bereits teilweise umgesetzt ist. Hier stehen den Mitarbeitern prinzipiell alle erfassten Betriebsdaten über einen Leitstand zur Verfügung (3. Reifegradstufe) und werden bereits größtenteils zur Steuerung des Prozesses genutzt (4. Reifegradstufe). Darüber hinaus werden den Mitarbeitern, basierend auf der Analyse der Betriebsdaten, Handlungsempfehlungen zur Prozesssteuerung zur Verfügung gestellt (5. Reifegradstufe) oder diese werden bereits durch das System übernommen und durch den Mitarbeiter entsprechend überwacht (6. Reifegradstufe).

Demgegenüber weisen z.B. die Schritte „Gewinnung des Rohmaterials“ im Steinbruch sowie der „Zementversand“ noch signifikante Entwicklungspotenziale auf. Bei der Rohmaterialgewinnung ist insbesondere die Verfügbarkeit von Vermessungsdaten und die Nutzung der Positions- und Labordaten von Probebohrungen zur Optimierung des Gesteinsabbaus ausbaufähig (3. bis 5. Reifegradstufe), auch wenn ein autonomer Gesteinsabbau aus Sicht der befragten Unternehmen in den nächsten fünf Jahren nicht zu erwarten ist (6. Reifegradstufe). Beim Zementversand stehen zwar die Auftragsdaten zum Verpacken und Versenden des Zements flächendeckend zur Verfügung (3. Reifegradstufe), jedoch werden diese aufgrund der kurzen Vorlaufzeiten der Bestellungen bislang nur vereinzelt zur Steuerung der Silofüllstände genutzt (4. Reifegradstufe). Positiv ist, dass aktuell bereits vermehrt historische Auftragsdaten als Entscheidungsgrundlage für eine vorausschauende Produktionsplanung herangezogen werden (5. Reifegradstufe). Aufgrund der oben erwähnten geringen Vorlaufzeiten der Kundenbestellungen wurde eine autonome Produktionsplanung und -steuerung aktuell und in den nächsten fünf Jahren von den Befragungsteilnehmern ausgeschlossen (6. Reifegradstufe).

Im Gegensatz zu den Herstellungsprozessen besteht bei den Unterstützungsprozessen bei der Digitalisierung noch Nachholbedarf. So werden beispielsweise im Bereich der Instandhaltung Störmeldungen durch Mitarbeiter nur vereinzelt unmittelbar vor Ort in digitaler Form erstellt, sondern meistens noch auf Papier erfasst und in eine Datenbank übertragen. Die nachgelagerte Bereitstellung, Auswertung und Nutzung der Störungsmeldungen weist ebenfalls noch Verbesserungspotenzial auf. Positiv ist, dass große Teile der Anlagen im Notfall automatisch agieren, um größere Schäden zu verhindern. Im Hinblick auf den Laborprozess besteht insbesondere bei der Qualitätssicherung noch Potenzial im Bereich der digitalen Ermittlung und Übertragung von Analyseergebnissen. Hingegen weisen Laboranalysen für den Herstellungsprozess einen sehr hohen Automatisierungs- bzw. Reifegrad auf.

Mögliche Zukunftstrends

Die verschiedenen Schritte des Herstellungsprozesses besitzen einzeln betrachtet zum Teil bereits einen sehr hohen Reifegrad bzw. nur bedingt weiteres Optimierungspotenzial. Insofern verbirgt sich die größte Chance zur weiteren Verbesserung des Herstellungsprozesses in der Prozessschritt übergreifenden Betrachtung bzw. Analyse und Nutzung von Daten.

Für einen optimalen Betrieb des Drehofens bzw. die optimale Herstellung von Klinker mit der geforderten Qualität werden heute bereits Informationen aus den vor- und nachgelagerten Prozessschritten analysiert. Während im Drehofen, basierend auf der Analyse des Rohmehls, meist schon steuernd in den Prozess eingegriffen werden kann, fehlt in der Regel in der Zementmühle die Verknüpfung zu den Ofenbetriebsdaten. Durch eine effiziente Überwachung und Abstimmung der Zwischenprodukte eines jeden Prozessschritts, vom Steinbruch bis zur Zementmühle, könnte z.B. die Produktqualität präziser gesteuert sowie die Zugabe von Zusatzstoffen und damit Kosten reduziert werden.

Ebenso könnte durch eine bessere Kenntnis der Zusammensetzung von alternativen Brennstoffen der Brennstoffverbrauch bzw. die Steuerung des Drehofens optimiert werden. Der Brennwert eines alternativen Brennstoffs wird heute bereits stichprobenartig ermittelt. Dies entspricht jedoch nicht immer dem realen Brennwert einer Brennstoffcharge. Ebenso ist der Brennwert nicht zwingend allein ausschlaggebend für die Qualität des Klinkers. Ein möglicher Ansatz zur Herstellung einer Korrelation zwischen den Eigenschaften des alternativen Brennstoffs und der Qualität des Klinkers besteht in der Erzeugung eines digitalen Schattens für den alternativen Brennstoff. Dieser könnte beispielsweise für jede Brennstoffcharge eine genaue Aufschlüsselung der Inhaltsstoffe hinsichtlich Menge, chemischer Zusammensetzung und individuellem Brennwert enthalten.

Im Bereich der Unterstützungsprozesse lassen sich durch eine konsequente Fortführung der Digitalisierung teilweise ebenfalls noch große Potenziale heben. So könnten beispielsweise durch eine Werks-App Störungen bei der Entdeckung durch einen Mitarbeiter direkt vor Ort gemeldet und mit Zusatzinformationen wie einem Video oder Bild versehen werden. Ebenso könnte die Werks-App den Mitarbeiter aus der Instandhaltung durch entsprechende Zusatzinformationen – wie eine Montageanleitung – unterstützen. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine ausreichende Netzabdeckung auf dem Werksgelände.

Von großer Bedeutung bleibt auch im Zeitalter der Industrie 4.0 die Integration des Mitarbeiters in den Wertschöpfungsprozess. Trotz erweiterter digitaler Unterstützung bildet der Mensch auch künftig den wesentlichen Produktionsfaktor. Die zunehmende Verknüpfung aus Produkten, Maschinen, Prozessen oder ganzen Lieferketten zu cyber-physischen Systemen führt zu einer neuen Stufe der Mensch-Maschine-Interaktion, was eine Veränderung der Arbeitsinhalte mit sich bringt. Ein ansteigender Bedarf IT-basierter Fähigkeiten und Lernkompetenzen lässt sich bereits heute voraussagen. Beachtet werden müssen in diesem Zusammenhang ebenfalls die Auswirkungen auf das zukünftige Arbeitsumfeld sowie die Schaffung entsprechender Arbeitsbedingungen, um die Faktoren Mensch, Technik und Organisation in Einklang zu bringen.

Nachgelagerte Wertschöpfungskette

Mit Blick auf Digitalisierungsanforderungen der nachgelagerten Wertschöpfungskette lassen sich zwei Trends mit großer Relevanz für die Zementindustrie identifizieren. Einerseits die zunehmende Automatisierung bei Herstellung und Einsatz von Betonen durch neue Technologien in der Bau- und Betonindustrie, andererseits die Migration der Baubranche zu einer ganzheitlichen digitalen Modellierung (Building Information Modeling, BIM).

Der erste Trend verdeutlicht, dass die nachgelagerte Wertschöpfungskette aufgrund wachsender Anforderungen an (Beton-)Bauteile und damit einhergehender höherer Komplexität zunehmend digitale Planungs- und Produktionsmethoden einsetzt. Dadurch steigen auch die Informationsanforderungen an die vorgelagerte Industrie. Ein Beispiel hierfür ist z.B. die neue Bautechnologie Beton-3D-Druck. Um allen Anforderungen des komplexen Herstellungsprozesses gerecht zu werden, wie z.B. guter Pumpbarkeit trotz schneller Erhärtungszeit, bedarf es einer genauen, wiederholbaren Steuerung der Beton- und Zementeigenschaften. Fazit ist, dass auch an die Zementindustrie zunehmend höhere Informationsanforderungen in Form von detaillierten Produktinformationen gestellt werden, wie z.B. Angaben über Stoffbestandteile und Mahlgrad – und dies in möglichst chagentreuer, digitaler, austauschbarer und verknüpfbarer Form. Die Möglichkeiten dazu bestehen bereits, da die Labore ausreichend digitalisiert sind. Dennoch herrscht eine gewisse Zurückhaltung vor. Größtenteils werden die Daten nur auf Nachfrage weitergegeben. Wie bei der Cloudspeicherung spielt die Frage der Datensicherheit eine Rolle.

Erhalten die nachgelagerten Industrien die gewünschten Stoffdaten, werden diese in Systemen wie Building Information Modeling (BIM) digital hinterlegt. Hier kommt der zweite Trend der Umstellung zu BIM zum Tragen. Neben gesteigerten Informationsforderungen an alle Beteiligten in der Wertschöpfungskette Bau kann BIM auch als Planungswerkzeug in der Zementindustrie genutzt werden und dazu beitragen, unterstützende Prozesse wie die Werksplanung und -instandhaltung zu digitalisieren und zu optimieren. So könnte der Einsatz von BIM Arbeitsabläufe z.B. im Reparaturfall durch visuelle Unterstützung vereinfachen. Im Bereich der Planung könnte es dazu beitragen, die Vernetzung von Beteiligten und die Verknüpfung mit relevanten Dokumenten über ein gemeinsames Modell zu stärken. Auch bekannte BIM-Vorteile wie Kollisionsprüfung, automatisierte Variantenprüfung sowie die direkte Verknüpfung von Bauteilgeometrien zu Fertigungsprozessen für Ersatzteile und Anlagenerweiterungen können genutzt werden. Bisher sind Methoden von BIM jedoch in den Werken noch nicht integriert, da Geometrien der Werke und Anlagen nicht durchgängig digitalisiert sind und Planungsinformationen und Datenblätter nur in geringem Umfang digital vorliegen.

Zusammenfassend zeigt die Studie auf, dass die einzelnen Schritte des Zementherstellungsprozesses nahezu durchgängig digitalisiert und die Voraussetzungen für Industrie 4.0 somit gegeben sind. Darüber hinaus wird Industrie 4.0 in ausgewählten Prozessschritten bereits heute umgesetzt. Optimierungspotenzial weisen hingegen die übergeordnete Verknüpfung der Prozessschritte sowie unterstützende Arbeitsabläufe wie die Instandhaltung auf. Hier kann sich die Zementindustrie nicht nur an Technologien aus Industrie 4.0 bedienen, sondern sich auch Digitalisierungsansätze der Bauindustrie wie BIM zu Nutze machen.



Institutsporträts

● Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University

Das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen steht weltweit seit mehr als 100 Jahren für zukunftsweisende Forschung und erfolgreiche Innovationen auf dem Gebiet der Produktionstechnik. Unter der Leitung der vier Professoren Christian Brecher, Thomas Bergs, Robert Schmitt und Günther Schuh forscht das WZL in sechs Bereichen – Fertigungstechnik, Werkzeugmaschinen, Produktionssystematik, Getriebetechnik, Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement – an der zukunftsgerichteten Gestaltung der Produktion in Hochlohnländern. Zusammen mit Industriepartnern verschiedener Branchen erarbeitet das WZL in öffentlich geförderten wie auch bilateralen Projekten Lösungen für vielfältige Themenstellungen aus der Produktion. Diese Aktivitäten werden auf dem RWTH Aachen Campus im Cluster Produktionstechnik verstetigt.

www.wzl.rwth-aachen.de

● Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion der RWTH Aachen University

Der Lehrstuhl Individualisierte Bauproduktion (IP) ist Teil der Fakultät für Architektur und versteht sich als ein neu zu entwickelndes Forschungsgebiet für individuelle Produktionsprozesse im Spannungsfeld von Kreativindustrie, Bauindustrie sowie Design und dem noch jungen Forschungsgebiet der „kreativen“ Robotik. Als Systempartner eines der international führenden Roboterhersteller verfolgt der neue Lehrstuhl als oberstes Ziel, Robotik und weitere numerische Fertigungsmethoden als Entwurfswerkzeuge neuen Nutzern der Bauindustrie möglichst einfach zugänglich zu machen. Der zweite Schwerpunkt ist Entwurfs- und Produktionsstrategien und -prozesse aus dem kreativen Umfeld der Architektur und des Designs für Industrie und individuelle Industrieprozesse zu erschließen. Das junge und motivierte Team setzt sich interdisziplinär aus Mitarbeitern unterschiedlicher Fachrichtungen zusammen, um die Komplexität von Bauprozessen, Programmierung und Hardware gemeinsam zu lösen.

www.ip.rwth-aachen.de

● Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University

Das Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen (ibac) hat sich seit seiner Gründung im Jahre 1948 im Gebiet der Baustoffforschung zu einer international führenden Plattform entwickelt. Das Institut gliedert sich in den Lehrstuhl für Baustoffkunde sowie den Lehrstuhl für Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite und beschäftigt ein interdisziplinäres Team von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern. Das Spektrum reicht von angewandter Forschung und Entwicklung, häufig in Kooperation mit Industriepartnern, bis hin zur wissenschaftlichen Grundlagenforschung. Zudem ist das ibac eine Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle nach Landesbauordnung sowie eine Zertifizierungsstelle nach Bauproduktenverordnung und bietet ein umfangreiches Angebot an Materialprüfungen und Dienstleistungen für die Baubranche.

www.ibac.rwth-aachen.de



Literaturverzeichnis

- [1] G. Schuh, R. Anderl, J. Gausemeier, M. ten Hompel, and W. Wahlster, *Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten*: Herbert Utz Verlag, 2017.
- [2] G. Schuh et al., „Keine Industrie 4.0 ohne den Digitalen Schatten,“ *ZWF*, vol. 111, no. 11, pp. 745–748, 2016.
- [3] C. Brecher, F. Klocke, R. Schmitt, and G. Schuh, Eds., *Internet of production für agile Unternehmen: AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 18. bis 19. Mai 2017, 1st ed.* Aachen: Apprimus Verlag, 2017.
- [4] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, *Monitor Digitalisierung am Arbeitsplatz*. Berlin, 2016.
- [5] Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer-Verl., 2013.
- [6] W. Apt, M. Bovenschulte, E. A. Hartmann, and S. Wischmann, *Fore-sight-Studie „Digitale Arbeitswelt,“*. Berlin, 2016.
- [7] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, *Weissbuch Arbeiten 4.0*. Berlin, 2017.
- [8] A. Botthof, „Zukunft der Arbeit im Kontext von Autonomik und Industrie 4.0,“ in *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, A. Botthof and E. Hartmann, Eds., Berlin: Springer Vieweg, 2015, pp. 3–8.
- [9] K.-D. Becker, „Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V,“ in *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, A. Botthof and E. Hartmann, Eds., Berlin: Springer Vieweg, 2015, pp. 23–29.
- [10] M. Ford, *Aufstieg der Roboter: Wie unsere Arbeitswelt gerade auf den Kopf gestellt wird – und wie wir darauf reagieren müssen*. Kulmbach: Plassen Verlag, 2016.
- [11] M. Reinecke, „Gute Arbeit in der Industrie 4.0 – aus Sicht der Landtechnik,“ in *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, A. Botthof and E. Hartmann, Eds., Berlin: Springer Vieweg, 2015, pp. 65–68.
- [12] A. Speck, „Digitalisierung kratzt an der Unternehmenskultur,“ www.springerprofessional.de, 2018, 2018.
- [13] E. Kern, „Digitale Transformation: Unternehmenskultur bleibt „größte Herausforderung“,“ www.t3n.de, 2017, 2017.
- [14] R. Schmitt and T. Pfeifer, *Qualitätsmanagement: Strategien – Methoden – Techniken*, 5th ed. München: Hanser, 2015.
- [15] S. Pitsch and B. Sommerhoff, „Erstellung einer unternehmensindividuellen Roadmap für die Industrie 4.0 in KMU,“
- [16] B. Jokovic and C. Stockinger, „Kompetenzmanagement in der Arbeit 4.0,“ *Mittelstand-Digital*, no. Ausgabe 5, pp. 48–53, 2016.
- [17] W. Bauer, „Digitalisierung und Arbeiten 4.0: Digital Transformation als Treiber der Veränderung der Arbeit,“ 2017, <https://prozesstechnik.industrie.de/>.
- [18] M. Haag, „Kollaboratives Arbeiten mit Robotern – Vision und realistische Perspektive,“ in *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, A. Botthof and E. Hartmann, Eds., Berlin: Springer Vieweg, 2015, pp. 59–64.
- [19] acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, *Innovationspotenziale der Mensch-Maschine-Interaktion*. München: Herbert Utz Verlag GmbH, 2016.
- [20] E. Hartmann, „Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen,“ in *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, A. Botthof and E. Hartmann, Eds., Berlin: Springer Vieweg, 2015, pp. 9–22.
- [21] H. Hirsch-Kreinsen, „Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit,“ in *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, A. Botthof and E. Hartmann, Eds., Berlin: Springer Vieweg, 2015, pp. 89–98.
- [22] B. Sommerhoff, „Agiles QM & virtuelle Qualitätssicherung: Denksätze der DGQ für die Vierte Industrielle Revolution,“ 2017.
- [23] B. Gloger, „Das Scrum-Prinzip.: Agile Organisationen aufbauen und gestalten,“ in *Wirtschaft und Management*, vol. 19, *Projektmanagement, Innovationsmanagement*, Wien: Fachhochsch. des BFI Wien, 2013, pp. 7–26.
- [24] M. Stoffel, „Mitarbeiter führen Unternehmen: Demokratie und Agilität bei der Haufeumatis AG,“ in *Das demokratische Unternehmen: Neue Arbeits- und Führungskulturen im Zeitalter digitaler Wirtschaft*, A. Boes, I. Welpel, and T. Sattelberger, Eds., 1st ed., Freiburg: Haufe-Lexware GmbH & Co. KG, 2015, pp. 263–283.
- [25] Verein Deutscher Zementwerke e.V., Ed., *Zementindustrie im Überblick 2017/2018*, 2017.
- [26] A. Bormann et al., „Building Information Modeling,“ Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015
- [27] R. Sacks et al., „BIM Handbook,“, 3. Aufl., Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2018
- [28] Internetauftritt Bau Info Consult: <http://www.bauinfoconsult.de/presse/pressemitteilungen>, Stand September 2018
- [29] M. Arntz, T. Gregory, U. Zierahn, F. Lehmer, and B. Matthes, „Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen,“ *ZEW-Gutachten und Forschungsberichte*, 2018.
- [30] Heinz, P., Herrmann, M., Sobek, W., „Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche für funktional gradierte Bauteile im Bauwesen,“ *Abschlussbericht Forschungsinitiative Zukunft Bau, ILEK, Universität Stuttgart* 2011.
- [31] J. J. Biernacki et al., „Cements in the 21st Century: Challenges, Perspectives, and Opportunities,“ (eng), *Journal of the American Ceramic Society. American Ceramic Society*, vol. 100, no. 7, pp. 2746–2773, 2017.

