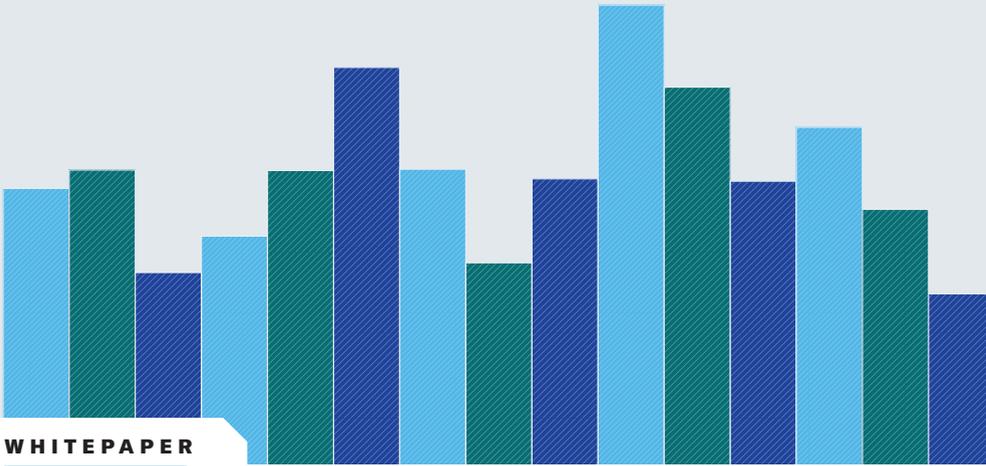




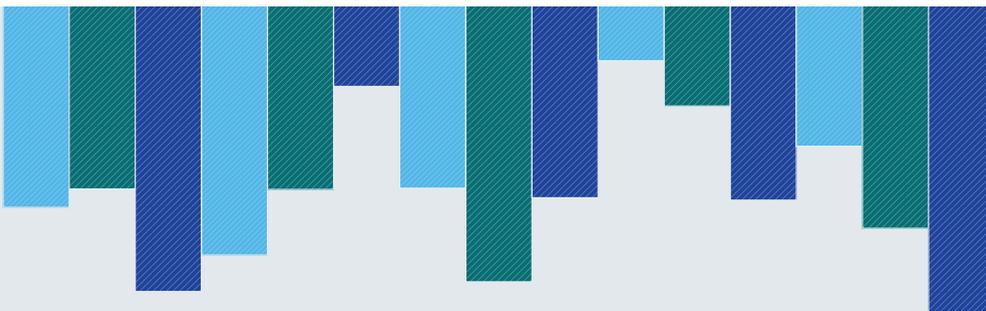
**Harvard  
Business  
Review**

ANALYTIC SERVICES



WHITEPAPER

# Überwindung der Barrieren für kollaborativere Fabrikprojekte



Gesponsert von

 **AUTODESK**

## SPONSOREN-PERSPEKTIVE

Egal ob Business-to-Business- oder Business-to-Consumer-Branchen, die Kundenerwartungen hinsichtlich Individualisierung, Funktionalität und Nachhaltigkeit von Produkten und Dienstleistungen steigen enorm.

Um mit der zunehmenden Geschwindigkeit und zusätzlichen Komplexität fertig zu werden, haben viele Unternehmen bereits die Art und Weise angepasst, wie sie ihre Produkte entwerfen, entwickeln und konstruieren, indem sie sie in Lebenszyklen betrachten und häufig agile Entwicklungsmethoden, Concurrent Engineering und Systems Engineering anwenden.

Überraschenderweise werden Fabriken oft noch sehr traditionell geplant und gebaut, ebenso wie der Umgang mit Daten während des Betriebs und der Wartung – Bereich für Bereich, Disziplin für Disziplin, Datensilo für Datensilo.

Steigende Kundenerwartungen führen zwangsläufig zu kleineren Losgrößen und häufigen Umrüstungen, sodass adaptive und elastische Fertigungsabläufe wichtiger denn je sind.

Wir glauben, dass die Schritte, die bereits in der Produktentwicklung und im Bereich Engineering in Bezug auf Integration und Zusammenarbeit unternommen werden, auch für den Fertigungsbetrieb richtungsweisend sind. Bereiche wie Fabrikinfrastruktur und Gebäudeinformationen müssen in die Daten des Produktionssystems integriert werden, um das volle Potenzial eines umfassenden digitalen Fabrikzwillings auszuschöpfen. Darüber hinaus ist die Wiederverwendung von Daten über den gesamten Produktionslebenszyklus erforderlich, auch wenn – oder gerade weil – unterschiedliche Stakeholder an unterschiedlichen Stellen involviert sind, um Redundanzen und nicht wertschöpfende Aufgaben zu vermeiden.

Die Digitalisierung ermöglicht es Herstellern, ihre Fabriken in diese neue Ära zu führen. Diese Studie von Harvard Business Review Analytic Services bietet einige nützliche Einblicke in den aktuellen Stand der Branche sowie einige Hinweise zur Vorbereitung auf eine erfolgreiche Zukunft für Ihre bestehenden oder geplanten Fertigungsbetriebe mit integrierten Fabrikmodellen. Ich ermutige die Leser, die Beispiele der in diesem Bericht vorgestellten Branchenführer zu berücksichtigen, wenn sie auf sich ändernde Marktumgebungen reagieren.



**Srinath Jonnalagadda**  
**Vice President, Industry Strategy,**  
**Design & Manufacturing**  
**Autodesk**

# Überwindung der Barrieren für kollaborativere Fabrikprojekte

Fabriken unterliegen ständigen Veränderungen, da neue Produkte, Kundenerwartungen und Wettbewerbsdruck Hersteller dazu zwingen, ihre aktuellen Abläufe durch Nachrüstungen oder Greenfield-Konstruktionen immer wieder zu überarbeiten. Bei der Durchführung dieser Projekte werden traditionellen Zielen wie der Einhaltung von Zeit- und Budgetrahmen zunehmend neue Ziele hinzugefügt. Diese reichen von Nachhaltigkeitszielen über einen effizienteren Einsatz von Arbeitskräften bis hin zu Anforderungen der Industrie 4.0.

Die Komplexität dieser Projekte nimmt zu, aber die Prozesse zur Planung und Verwaltung von Fabrikprojekten haben sich nicht schnell genug an diese Entwicklung angepasst. Fabrikprojekte umfassen eine Vielzahl von Teams, beim Hersteller selbst als auch bei seinen diversen Design- und Konstruktionspartnern, die sich alle auf die Gebäudeplanung, Produktionstechnik und den laufenden Betrieb konzentrieren. Allzu oft arbeiten diese Teams – und die Tools und Daten, die sie zur Erledigung ihrer Arbeit verwenden – eher unabhängig als gemeinsam, was zu Kostensteigerungen, Budgetüberschreitungen und Zeitverzögerungen führt.

„Bauwesen und Anlagenbau sind zwei getrennte Welten, die bisher nicht wirklich aufeinander abgestimmt werden mussten“, sagt Frank Breitenbach, Senior Technical Expert für Planungsmethodik, Smart Factory, bei EDAG Production Solutions, ein in Fulda, Deutschland, ansässiger Engineering-Dienstleister für die Automobilindustrie. „Damit diese Welten effizient zusammenwachsen, bedarf es in den meisten Unternehmen geradezu eines Paradigmenwechsels.“

Es bedarf eines gut koordinierten, multidisziplinären Fabrikplanungs- und Bauprojektansatzes, um diese Lücken zu schließen und sicherzustellen, dass Bau-, Betriebs- und Projektteams für Mechanik, Elektrik und Sanitär eng zusammenarbeiten, um Verzögerungen, Kosten und Fehlkommunikation zu minimieren und gleichzeitig projektbezogene, betriebliche und langfristige Geschäftsziele zu maximieren. Um dieses Ziel zu erreichen, arbeiten Hersteller und industrielle Bauunternehmen daran, neue Planungs- und Arbeitsablaufparadigmen einzuführen, Daten intelligenter zu nutzen und mehr kollaborative

## HIGHLIGHTS

Immer mehr Ausschreibungen für Fabrikbauprojekte **beinhalten Erwartungen in Bezug auf Nachhaltigkeit, Digitalisierung und den Wunsch nach intelligenten Fabriken**, die Industrie 4.0-Konzepte unterstützen.

Trotz dieser sich wandelnden Anforderungen **haben die Prozesse und Arbeitsabläufe zur Planung und Umsetzung eines Fabrikneubaus** oder einer Nachrüstung nicht immer Schritt gehalten.

Technologie erweist sich als Schlüsselfaktor, wenn es darum geht, Herstellern und ihren Planungs- und Produktionspartnern dabei zu helfen, **Silos im Bereich Werkzeuge, Daten und Zusammenarbeit aufzubrechen**, um eine immer nahtlosere und effektivere Art der Planung und Konstruktion einer Fabrik zu erreichen.

Arbeitsablauftechnologien zu erschließen, die sich noch lange nach Abschluss der Bauarbeiten auf das Gebäude auswirken werden. Wenn ihre Vision umgesetzt wird, werden zukünftige Fabriken weitaus wandelbarer und widerstandsfähiger sein, sich schnell an Marktveränderungen anpassen und gleichzeitig ihre eigenen Wartungskosten minimieren und ihren Nutzen optimieren.

„Für hocheffiziente Fabriken bedarf es Echtzeitdaten, um die richtigen Entscheidungen im richtigen Kontext zu treffen“, sagt Maximilian Viessmann, CEO der Viessmann Group, einem in Allendorf, Deutschland, ansässigen Hersteller von Heiz-, Kühl- und Klimälösungen. „Wir können unsere Marktposition ausbauen, wenn wir schnell handeln können – für unsere Partner und Anwender. Industrie 4.0 ist der Wegbereiter dieser Geschwindigkeit und damit der Wegbereiter unserer Zukunft.“

## Neue Welt, neue Herausforderungen

Fabriken mussten sich schon immer weiterentwickeln und Anlagen, Produktionslinien, Entwicklungsprozesse und Abläufe an die jeweiligen Anforderungen anpassen. Typische Gründe für diese Neubauten oder Nachrüstungen sind neue Produktversionen, die Notwendigkeit, die Produktqualität oder Produktionseffizienz zu verbessern, Nachfrageänderungen, kontinuierliche Verbesserungen oder der Austausch von Geräten. Branchenspezifische Trends können weitere Faktoren darstellen, wie z. B. die Notwendigkeit kleinerer Losgrößen oder Derivate eines Basisprodukts, eine zunehmende Massenpersonalisierung,

eine Umstellung von fossilen Brennstoffen auf nachhaltigere Energiequellen oder die Notwendigkeit, Materialknappheit auszugleichen, näher am Markt zu produzieren oder den Arbeitskräftebedarf angesichts von Engpässen zu minimieren. Laut der Studie „The Next Normal in Construction“ von McKinsey & Co. vom Juni 2020 geben 87 % der Befragten an, dass der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften die größten Auswirkungen auf die Branche hat. Aber mehr als 75 % glauben, dass innerhalb von 10 Jahren Nachhaltigkeit, Vorschriften zur Sicherheit am Arbeitsplatz und flexiblere und digital effizientere Strukturen die Branche in großem Umfang beeinflussen werden. **ABBILDUNG 1**

Aber neben diesen Faktoren gibt es noch eine Reihe weiterer Anforderungen, die zusätzliche Ansprüche an die Designteam stellen. Immer mehr Ausschreibungen (Requests for Proposals, RFPs) für Fabrikbauprojekte beinhalten Erwartungen in Bezug auf Nachhaltigkeit, Digitalisierung und den Wunsch nach intelligenten Fabriken, die Industrie 4.0-Konzepte unterstützen. Darüber hinaus wollen Hersteller Projekte schneller als je zuvor abschließen, insbesondere bei Nachrüstungen. Die Minimierung von Ausfallzeiten und die Beschleunigung der Markteinführungszeit sind notwendig, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

„Nachhaltigkeit steht viel mehr im Mittelpunkt als früher“, sagt Rupert Hoecherl, Geschäftsführer und Partner bei io-consultants, einer Unternehmensberatung in Bethlehem, Palestina, deren Projekte integrierte Beratungs-, Design- und Planungsleistungen für die Produktion umfassen. „Das war in den vergangenen Jahren eher ein freiwilliger Ansatz. Heutzutage wird das viel

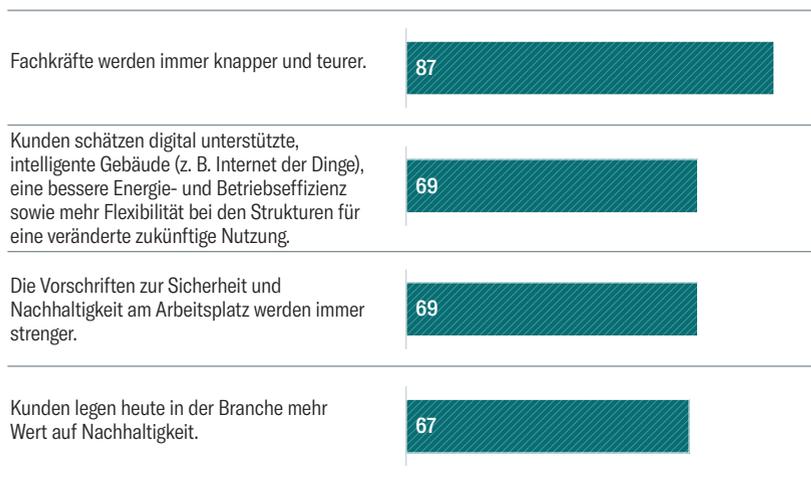
ABBILDUNG 1

## Marktfaktoren erschweren Bauprojekte.

Knappe Arbeitskräfte, intelligente Gebäude sowie Sicherheits- und Nachhaltigkeitsvorschriften sind Top-Themen.

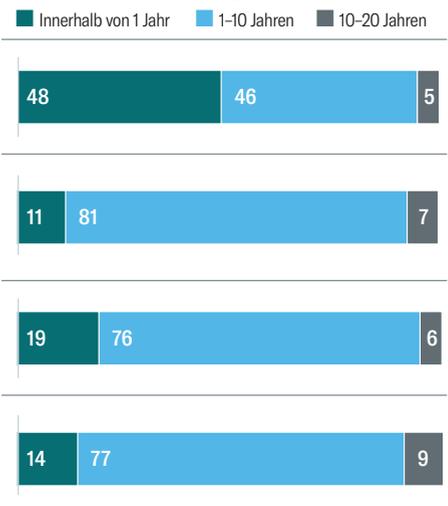
### Größter Einfluss auf die Baubranche

Prozentsatz der Befragten



### Wenn sich diese Änderung der Marktmerkmale auf den prozentualen Anteil der Befragten auswirkt

Prozentsatz der Befragten



Quelle: McKinsey & Co., Juni 2020

klarer definiert und institutionalisiert, und in einigen Bereichen ist es eine regulatorische Anforderung.“

Darüber hinaus nennen auch immer mehr produzierende Unternehmen den Bedarf an Digitalisierung, Smart Factories oder Industrie 4.0-Konzepten. Kunden kommen mit unterschiedlichen Definitionen dieser Begriffe, die in den ersten Projektphasen geklärt werden müssen, sagt Breitenbach von EDAG. Diese Industrie 4.0-Anforderungen beinhalten zunehmend Nachhaltigkeitsbelange, fügt er hinzu.

„Industrie 4.0 schafft letztlich eine durchgängige horizontale und vertikale Vernetzung innerhalb meines Produktionssystems und weit darüber hinaus. Dazu gehört – und das ist aus meiner Sicht neu – seit kurzem auch das Gebäude. Schließlich ist es das Gebäude, das meinem Betrieb Raum bietet und Betriebsmittel bereitstellt. Das Gebäude muss meine Emissionen abfangen und hat wiederum auch Umwelteinflüsse auf meine Maschinen.“

Unerwartete Herausforderungen wie zuletzt die Pandemie haben auf dem Markt und entlang der Lieferkette den Zeitdruck noch verstärkt. „Wir haben während der Pandemie extreme Schwankungen in Verbindung mit regionalen oder internationalen Einschränkungen erlebt. Diese [Fluktuationen] haben es besonders schwierig gemacht, das richtige Zeitfenster für Produktionspausen für Retrofit-Projekte zu identifizieren“, so Viessmann von der Viessmann Group.

## Lücken im Fabrikplanungsprozess

Trotz dieser sich wandelnden Anforderungen haben die Prozesse und Arbeitsabläufe zur Planung und Umsetzung eines Fabrikneubaus oder einer Nachrüstung nicht immer Schritt gehalten. Tatsache ist, dass eine Fabrik per Definition ein komplexes System ist, das dank Fortschritten bei Automatisierung und Technologie tagtäglich komplexer wird. Das Zusammentreffen von steigender Komplexität und unzusammenhängenden Arbeitsabläufen erschwert auch die Baukoordination immer mehr.

„Die Fabrik besteht nicht nur aus einem Gebäude“, sagt Robert Ostermann, Fabrikdesigner bei Magna Steyr, einem Automobilhersteller mit Sitz in Graz, Österreich. „Es gibt viele Fördersysteme, viele Stahlkonstruktionen, Maschinenausrüstung und so weiter. Eine Fabrik ist also mehr als ein BIM-Prozess [Building Information Modeling], und die Koordination oder Wartung dieses gesamten digitalen Spektrums ist noch kein gängiger Prozess.“

Herkömmliche Ansätze sind oft weitgehend sequenziell, wobei ein Team die Arbeit abschließt, bevor es das Arbeitsergebnis an das nächste Team übergibt. Die von ihnen verwendeten Daten und Tools sind oft auch voneinander getrennt, was kostspielige Formatkonvertierungen und eine Flut von E-Mails erfordert, um Änderungen und Nachverfolgungen zu verwalten. Insbesondere bei der Übergabe von einem Schritt zum nächsten werden Kommunikationslücken unvermeidlich.

Die Gründe für die Kommunikationslücken sind unterschiedlich. Bei kleinen und mittelständischen Unternehmen vergehen oft 10 bis 15 Jahre zwischen neuen Fabrikprojekten, sodass ihre Planungsprozesse möglicherweise veraltet oder nicht vorhanden sind, sagt Matthias Dannapfel, Cheffingenieur, Fabrikplanung, an der RWTH Aachen University in Aachen,



„Die digitale Entwicklung hat es den Menschen ermöglicht, Informationen zu replizieren, aber es ist eine Replikation ohne Verwaltung, was bedeutet, dass sie das Vertrauen in die Informationen verlieren“, sagt Brian Glancy, Leiter der BIM-Strategie der Kingspan Group.

Deutschland. Unternehmen haben oft ein bisschen damit zu kämpfen, wie sie die langfristigen Anforderungen einbringen und diese in Fabrikstrukturen umsetzen können. Aufgrund des dynamischen Marktumfelds müssen sie alte Annahmen über Bord werfen. Sie müssen ihre Denkweise und ihre Vorstellung von den Fabriken hinterfragen.“

Die Probleme sind nicht nur intern. Fabrikprojekte erfordern die Koordination zwischen internen und externen Teams, die oft zwischen denjenigen aufgeteilt sind, die am Gebäude selbst arbeiten, und denjenigen, die sich auf die Prozesse und Ausrüstung konzentrieren, die in das Gebäude eingebaut werden. Jeder bringt in der Regel seine eigenen Tools und Datenspeicher für die Aufgabe mit.

„Jeder nutzt andere Software-Tools, zu denen wir keine klaren Schnittstellen haben, um Informationen zu liefern oder untereinander austauschen zu können“, sagt Dannapfel. „Deshalb gehen viele Informationen verloren, wenn wir manuelle Nacharbeiten oder manuelle Kommunikation weitergeben, um sicherzustellen, dass alle Informationen, die wir übertragen möchten, an das nächste Team und die folgenden Teams übermittelt werden. Das ist ein höchst ineffizienter Prozess.“

„Was wir besser machen können, ist die prozessbegleitende Kommunikation, die Modellabstimmung und die Entwicklung des Fabrikdesigns“, ergänzt Ostermann von Magna Steyr. „Die Kommunikation muss direkt am Modell stattfinden, nicht getrennt in verschiedenen Systemen, die nicht gut miteinander kommunizieren.“

Ein Ansatz zur Überwindung von Kommunikationshürden bestand darin, unterschiedliche Daten zu konvertieren, damit sie in einer einzigen CAD-Umgebung (Computer Aided Design) gesammelt werden können, aber dieser Schritt ist kostspielig. Die Kommunikation und Änderungsanforderungen erfolgen in der Regel außerhalb dieser Umgebung, was zu Verzögerungen und Fehlern führt, und Änderungen an einem System stehen anderen nicht automatisch zur Verfügung. Selbst Bemühungen, simultan unterschiedliche Planungsprozesse zu kreieren, scheitern, wenn die Kommunikation zusammenbricht.

Während die meisten Fabriken seit den 1990er Jahren weitgehend digitalisiert wurden, blieb ein Großteil der Daten ungenutzt, und Versuche, einen einzigen Datenstandard für die



„Nur interdisziplinäre Teams können die Komplexität und Herausforderung bewältigen, alle betrieblichen Prozesse nahtlos zusammenzuführen. Regelmäßige Überprüfungen der Kennzahlen für die gesamte Wertschöpfungskette und häufige Simulationen der Prozesse stellen sicher, dass wir die geforderten Kennzahlen und unsere Projektziele erreichen“, sagt Maximilian Viessmann, CEO der Viessmann Group.

Tools zu schaffen, die zu Planung, Bau und Wartung verwendet werden, sind nur langsam vorangekommen.

„Die Digitalisierung hat es den Menschen ermöglicht, Informationen zu replizieren, aber es ist eine Replikation ohne Verwaltung. Das bedeutet, dass sie das Vertrauen in die Informationen verlieren“, sagt Brian Glancy, Leiter der BIM-Strategie der Kingspan Group, einem Baustoffhersteller in Kingscourt, Irland. „Deshalb versuchen wir, Governance-Verfahren rund um Informationen sicherzustellen.“

Nach einem bekannten Muster haben sich einige Technologieunternehmen, die Designdaten als Teil ihrer Toolsets generieren, den Versuchen widersetzt, offene Standards zu erstellen, die andere Entwickler unterstützen. „Ich denke, das ist eines der größten Probleme. Und das müssen wir lösen, wenn wir von einer ganzheitlichen Betrachtung der Fabrik selbst sprechen und alle Vorteile nutzen wollen, die BIM und die digitale Fabrik bieten“, sagt Breitenbach.

Laut einer wissenschaftlichen Arbeit der RWTH Aachen mit dem Titel „Ein Ansatz zur Analyse von Verzögerungsursachen bei Industriebauprojekten durch Planung und statistische Berechnung (An Approach to the Analysis of Causes of Delays in Industrial Construction Projects through Planning and Statistical Computing)“ ist BIM speziell darauf ausgelegt, die Diskrepanzen zwischen der Gebäudeplanung und den Bauplanungsprozessen zu beheben und wird weit mehr im Wohnungs- und öffentlichen Hochbau als in der Fabrikplanung eingesetzt. Die Arbeit unterstützende Studien ergaben „kaum Implementierung in Fabrikplanungsprojekten aufgrund (1) fehlender Reifegradspezifikationen und (2) fehlender Datenmanagementstandards“.

Nicht alle Herausforderungen seien technischer Natur, sagt Breitenbach. Neben der Umstellung auf mehr Datenaustausch und die dadurch ermöglichte Zusammenarbeit müssen sich die unterschiedlichen Teams auch auf neue Arbeitsweisen festlegen. „Wir brauchen bei unseren Projekten eine Meeting-Kultur und -Struktur sowie regelmäßige Meetings, damit die Personen motiviert sind, miteinander zu reden und Informationen auszutauschen.“

## Die Kosten von Planungslücken

Fehler bei der Fabrikplanung und im Bauprozess verursachen mehrdimensionale Kosten für Hersteller, die sich nicht nur auf das Projekt selbst, sondern auch auf den Fabrikbetrieb und die Wartung langfristig auswirken können.

„Letztendlich liegen die Auswirkungen immer irgendwo zwischen Umfang, Zeit und Budget“, sagt Hoecherl von

io-consultants. „Wenn etwas übersehen wird und Sie später im Projekt Anpassungen vornehmen müssen, wirkt sich das auf den Zeitplan und höchstwahrscheinlich auch auf das Budget aus. Eine Reaktion kann darin bestehen, den Umfang zu überdenken, um die Auswirkungen zu mildern. Erhebliche Versäumnisse oder Konstruktionsfehler können die installierte Kapazität unbeabsichtigt reduzieren und möglicherweise die Nutzbarkeit und Langlebigkeit des Gebäudes einschränken.“

Kompromisse bei der Menge oder Art der Ausrüstung oder Technologie eines Projekts können bedeuten, dass mehr Arbeitskräfte eingestellt werden müssen oder technische Vorteile verloren gehen, fügt er hinzu, aber glücklicherweise bleibt die Qualität des Produkts selbst normalerweise unberührt.

Andere Auswirkungen können das Scheitern der Lieferantenintegration, die Notwendigkeit häufigerer Reengineerings und Effizienzverluste umfassen.

Selbst ein erfolgreich abgeschlossenes, traditionell konzipiertes Bauprojekt kann in Bezug auf das Fabrikdesign zu kurz kommen, was Auswirkungen auf die weitere Lebensdauer des Gebäudes haben kann. Ohne die Vorteile neuerer Konzepte wie Modellierung, die Erstellung eines visuellen Plans für den Bau einer Fabrik und ihrer Produktionsanlagen sowie die Erstellung digitaler Zwillinge, die eine exakte digitale Nachbildung eines physischen Vermögenswerts darstellen, ist es schwieriger, digitale Aufzeichnungen der Entscheidungen und Details zu führen, die in Designentscheidungen einfließen. Der Mangel an Daten macht zukünftige Änderungen kostspieliger und schwieriger.

## Die integrierte Fabrikvision

Das Konzept eines vollständig integrierten Fabrikdesignprozesses basiert auf der zukünftigen Fabrikvision selbst. Die Art und Weise, wie Fabriken erstellt werden, spielt eine immer größere Rolle für ihre Fähigkeit, Ziele zu erreichen, einschließlich in Bezug auf Flexibilität, Nachhaltigkeit und Intelligenz.

„Wir brauchen unbedingt hocheffiziente und flexible Fabriken in allen Aspekten: Nachhaltigkeit, Produktivität und globale Infrastruktur. Diese Effizienz und Flexibilität ist die Basis unserer Widerstandsfähigkeit“, sagt Viessmann. Das Erreichen dieser Aspekte schließt direkt an den Planungsprozess an.

„Die Wirkung einer integrierten und kollaborativen Fabrikplanung ist immens“, so Viessmann weiter. „Nur interdisziplinäre Teams können die Komplexität und Herausforderung bewältigen, alle betrieblichen Prozesse nahtlos zusammenzuführen. Regelmäßige Überprüfungen der Kennzahlen für die gesamte Wertschöpfungskette und häufige

Simulationen der Prozesse stellen sicher, dass wir die geforderten Kennzahlen und unsere Projektziele erreichen.“

Eine digitale Darstellung der Fabrik verringert auch das Risiko potenzieller Planungsprobleme, wie z. B. zwei Rohre, die sich gegenseitig stören, oder falsche geometrische Daten einer Maschine, die für die korrekte Gestaltung des Platzes, den sie einnehmen, entscheidend sind. Solche Probleme durch teamübergreifende Zusammenarbeit in einem frühen Stadium abzuwenden, spart Tausende von Dollar an Schadensminderung vor Ort, die anfallen würden, wenn das Problem erst in der Bauphase auftritt. Über den eigentlichen Bauprozess hinaus kann die nahtlose Integration und Digitalisierung integrierter Konstruktionsprozesse auch die Inbetriebnahme des Fabrikbetriebs und die laufende Nutzung der Fabrik verbessern.

„Wir fangen an, die Idee zu erforschen, alles digital zu erstellen, bevor das physische Gegenstück erstellt wird“, sagt Kingspans Glancy. „Wenn eine digitale Abbildung existiert, können wir mit der Weiterentwicklung von Augmented Reality, Virtual Reality und dergleichen beginnen, diese Gebäude begehen und sogar Anwender an Geräten schulen, bevor diese am physischen Standort installiert werden. Diese [Fähigkeit] wäre eine enorme Steigerung in Bezug auf die Verbesserung der Inbetriebsetzung, der Schulungen und der Qualität.“

Diese Vorteile bleiben bestehen, solange ein digitales Modell aktualisiert wird, wenn sich die Fabrik im Laufe der Zeit verändert, und zu einem lebendigen Logbuch der Anlagengeschichte wird. Ein vollständig realisiertes Modell wie ein digitaler Zwilling kann das alles vorantreiben, von der vorausschauenden Wartung über die Beschleunigung von Nachrüstungen bis hin zur Simulation der Auswirkungen vorgeschlagener Modifikationen und der Analyse der Leistung von Materialien und des Designs selbst.

„Ich denke, die Menschen werden in Zukunft mehr Wert darauf legen, mehr Aspekte eines Gebäudes zu verstehen, als sie es heute tun“, sagt Glancy.

## Optimierung des Fabrik-Designprozesses

Auch wenn sich die Vision der Fabrik der Zukunft weiterentwickelt hat, bleibt die Kluft zwischen diesem Endzustand und den heutigen Prozessen für die Planung und Ausführung von Fabrikdesign und -bau bestehen. Hersteller haben im Laufe der Jahre eine Vielzahl von Lösungen entwickelt, um den Prozess zu integrieren und zu rationalisieren, sodass heute viele Schritte des Planungsprozesses automatisiert, computergestützt, digitalisiert und auf Bedingungen geprüft werden. Diese Fortschritte dienen als Grundlage für die heutigen Innovationen, auch wenn sie zum Zeitpunkt ihrer Einführung den technischen Möglichkeiten zu weit voraus waren, um effektiv zu funktionieren.

„In den 90er-Jahren sprach man von computerintegrierter Fertigung (Computer-Integrated Manufacturing, CIM). Die Idee bestand darin, ein 3D-Modell, ein CAD-Modell, zu haben und es direkt auf die Maschine zu übertragen, die die Teile produzieren sollte – eine sehr gute Idee. Aber in den 90er Jahren war diese Software noch nicht so ausgereift“, erklärt Breitenbach. „Wir haben in den 1990er Jahren mit der digitalen Fabrik begonnen. Eine digitale Fabrik ist eine ganzheitliche Sicht auf die Fabrik, die Produkte, Herstellungsprozesse und die Menschen, Maschinen,

Roboter und andere Ressourcen, die ihren Betrieb ermöglichen, kombiniert.“

Heute haben Software, Daten- und Kommunikationstechnologie die Konzepte eingeholt. Experten erwarten, dass Gebäudeinformationsmodellierungsprozesse, digitale Zwillinge, Kameras und Sensoren, künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen (ML) und sogar erweiterte und virtuelle Realität einen integrierten, kollaborativen Fabrikdesignprozess zukünftig unterstützen. Unternehmen werden zunehmend in der Lage sein, Designaktivitäten in Echtzeit zu koordinieren.

Die Arbeit der Universität Aachen definiert BIM als eine Methodik, die alle Beteiligten eines Bauprojekts integriert, indem sie eine gemeinsame gebäudebezogene Datenbank verwaltet, um die Planung, den Bau und das Gebäudemanagement im Betrieb zu erleichtern.

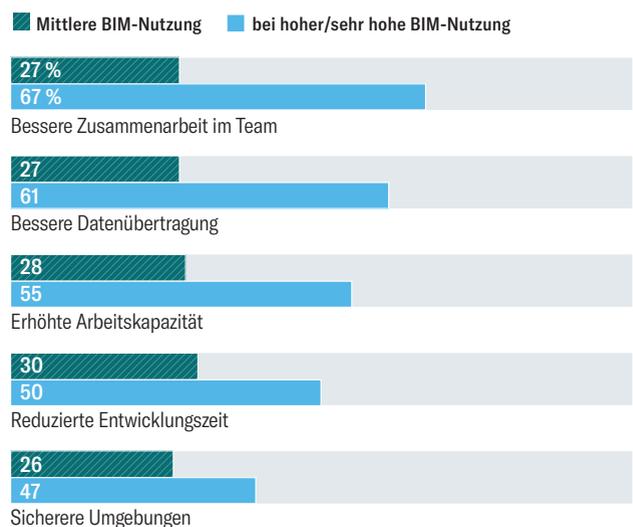
Laut einer Studie von Dodge Data & Analytics berichteten Planer, deren Arbeit eine hohe oder sehr hohe BIM-Nutzung beinhaltet, im Gegensatz zu Planern mit einer mittleren Nutzung, dass sie in allen Bereichen von einer stark verbesserten Zusammenarbeit im Team (67 % gegenüber 27 %) bis hin zu einer verbesserten Datenübergabe (61 % gegenüber 27 %) auf erhöhte Arbeitsbelastungskapazität (55 % gegenüber 28 %) profitieren. **ABBILDUNG 2**

Einige sehen BIM jedoch als einen Prozess, der sich nicht auf die Produktion erstreckt. „Wir haben BIM-Prozesse, aber der BIM-Prozess beginnt und endet mit dem Gebäude selbst, und bei Magna haben wir Fabriken“, sagt Ostermann von Magna

ABBILDUNG 2

### Zusammenarbeit übertrifft die Designvorteile von BIM

Planer, die Gebäudemodellierung (Building Information Modeling) auf hohem und sehr hohem Niveau einsetzen, berichten von vielen Vorteilen.



Source: Dodge Data & Analytics, 2021



„Der digitale Zwilling ist der Kern des Wandels für die Industrie und BIM – der Prozess des Wandels. Wenn wir sie nutzen, um digital ein perfektes Projekt zu liefern, können wir das physisch replizieren“, sagt Kingspan’s Glancy.

Steyr. „Was BIM für das Gebäude selbst leistet, möchten wir für das gesamte Fabrikdesign ermöglichen.“

Was also benötigt wird, ist eine Möglichkeit, die Vorteile von BIM auf das gesamte Projekt auszudehnen und die Planung für das Gebäude selbst und die darin eingebauten Maschinen und Geräte zu integrieren.

### Das integrierte Fabrikmodell

Digitale Zwillinge und 3D-Fabrikmodelle haben sich zu wertvollen Werkzeugen entwickelt, um die Entwicklung vom aktuellen Stand des Fabrikdesigns zu einem vollständig integrierten Designprozess zu unterstützen. Laut Juniper Research,<sup>1</sup> war die Fertigung im Jahr 2021 der größte Einzelsektor für die Bereitstellung digitaler Zwillinge machte und 34 % der Gesamtausgaben für die Technologie aus.

Der Begriff digitaler Zwilling hat in der Fertigungsindustrie eine Vielzahl von Definitionen angenommen. Was manche beispielsweise als digitalen Zwilling bezeichnen würden, könnten andere ein fortschrittliches/3D-Modell nennen. Das Digital Twin Consortium brachte Experten zusammen, um den Begriff zu definieren.<sup>2</sup> Seine Definition beschreibt einen digitalen Zwilling als eine virtuelle Darstellung einer Einrichtung und/oder eines Prozesses in der realen Welt, die mit einer bestimmten Frequenz und Genauigkeit synchronisiert wird. Der digitale Zwilling verwendet Echtzeit- und historische Daten, um Vergangenheit und Gegenwart darzustellen, und simuliert dann Zukunftsprognosen, die von gewünschten Ergebnissen inspiriert und häufig auf bestimmte Anwendungsfälle zugeschnitten sind. Ein digitaler Zwilling basiert auf Integration, baut auf Daten auf, wird von Domänenwissen geleitet und in IT-/OT-Systemen implementiert.

Experten glauben, dass digitale Zwillinge das Potenzial haben, Geschäfts- und Fabrikprojekte zu transformieren, indem sie ganzheitliches Verständnis, optimale Entscheidungsfindung und effektives Handeln beschleunigen.

Laut einer Studie von McKinsey & Co. können „Unternehmen die Effizienz verbessern und die Entwurfsphase in den Rest der Wertschöpfungskette integrieren, indem sie Gebäudeinformationsmodellierung (BIM) verwenden, um ein vollständiges dreidimensionales Modell (einen ‚digitalen Zwilling‘) zu erstellen – und weitere Ebenen wie Zeitplan und Kosten hinzufügen – zu Beginn des Projekts und nicht während der Bau bereits im Gange ist.“<sup>3</sup> McKinsey behauptet, dass der Einsatz von BIM und digitalen Zwillingen die Risiken und die Reihenfolge der Entscheidungsfindung bei Bauprojekten erheblich verändern und traditionelle Engineering-, Beschaffungs- und Konstruktionsmodelle (EPC) in Frage stellen wird.

Mit einem solchen fortschrittlichen Modell für eine in Arbeit befindliche Fabrikplanung können die Beteiligten u.a.

die Struktur in 2D und 3D aus jedem beliebigen Blickwinkel betrachten, visuelle Drilldowns durchführen, um bestimmte Merkmale zu sehen, auf die Spezifikationen für ein bestimmtes Element zugreifen und die Historie aller an einem bestimmten Element vorgenommenen Änderungen verfolgen.

Bei io-consultants sind Fabrikdesigner „extrem begeistert davon, ihren Entscheidungsprozess schneller zu gestalten und Was-wäre-wenn-Szenarien in verschiedenen Phasen des Designprozesses besprechen zu können“, sagt Hoecherl.

In einem „echten“ digitalen Zwilling sammeln Sensoren, die in die Fabrik selbst eingebettet sind, kontinuierlich Daten, um sicherzustellen, dass sie im Vergleich mit dem physischen Gebäude immer auf dem neuesten Stand sind und Anwendungsfälle nach dem Bau ermöglichen. Andere laufende Anwendungsfälle für digitale Zwillinge im Fabrikbetrieb umfassen das Verständnis, welche Räume von einem Geräteausfall betroffen sein könnten, und den Vergleich der tatsächlichen Leistung von Anlagen und Systemen mit den Erwartungen. Diese Informationen können helfen, Ereignisse vorherzusagen, um die Verfügbarkeit zu verbessern, und fundierte Entscheidungen treffen, um die Kapitalrendite zu maximieren.

Viessmann sagt, sein Unternehmen verwende einen digitalen Zwilling, um die Kommunikation und Zusammenarbeit während der Planungs-, Entwurfs- und Bauphasen eines neuen Produktionsstandorts für Wärmepumpen in Legnica, Polen, zu verbessern. Der Blick auf das tatsächliche Fabriklayout hilft dem Unternehmen, Konflikte in Bezug auf Raumnutzung, Engpässe und mögliche interne „Staus“ in der digitalen Welt in den Frühphasen des Projekts zu erkennen und zu lösen, und zwar ohne die hohen Kosten oder Risiken, die entstehen, wenn diese erst später entdeckt werden. Außerdem überwachen sie damit kontinuierlich den Baufortschritt und die Einhaltung des Plans, ohne zusätzlichen Aufwand.

„Wir planen alle auf der gleichen Grundlage, auf dem gleichen vereinbarten Stand, ohne Versionskonflikte von Beteiligten wie Wirtschaftsingenieuren, Architekten, Umwelt- und Sicherheitsplanern und all den verschiedenen Produktionsabteilungen, die zu kostspieligen Missverständnissen, Fehlinformationen oder Fehlinterpretationen führen können“, sagt Viessmann.

„Der digitale Zwilling ist der Kern des Wandels für die Industrie und BIM – der Veränderungsprozess“, erklärt Glancy. „Wenn wir sie nutzen, um digital ein perfektes Projekt zu liefern, können wir das physisch replizieren.“ Er sagt, sein Unternehmen habe digitale Zwillinge in einem Modell-zu-Fertigungsansatz verwendet und einen herstellbaren digitalen Zwilling so nah wie möglich an einem Bestandsmodell erstellt, um vorgeschlagene Details zu beheben, wie z. B. Baustahl, der die Verkleidung/Hülle beeinträchtigen kann, oder eine Maschine, die dort platziert ist, wo eine Säule geplant ist.

Digitale Zwillinge und 3D-Fabrikmodelle unterstützen auch die integrierte Fabrikmodellierung, indem sie die für Nachrüstprojekte erforderliche Ausfallzeit reduzieren und eine bessere Zusammenarbeit zwischen Teams ermöglichen, indem sie die Ansichten mehrerer Planungsdisziplinen integrieren, um die Gesamtziele zu unterstützen, anstatt nur aus einer Sicht zu optimieren. Während des Bauprozesses kann ein digitaler Zwilling Bauabläufe simulieren, um die Installation zu beschleunigen und Änderungsaufträge zu reduzieren. Ein weiterer wertvoller Anwendungsfall ist die Förderung einer einfachen und schnellen Lieferantenintegration, indem eine strukturierte Integration aller Lieferanten entlang des gesamten Fabriklebenszyklus von der Planung bis zum Betrieb ermöglicht wird. Durch die Reduzierung von Verschwendung und die Optimierung von Effizienz, Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit und damit verbundenen Zielen werden digitale Zwillinge, so hoffen Experten, die Fabrikplanung und den Betrieb radikal verbessern.

„Einerseits helfen mir diese Methoden und Werkzeuge in der Engineering-Phase, eine Fabrik zu erstellen oder Änderungen am Produktionssystem vorzunehmen“, sagt Breitenbach von EDAG. „BIM und die digitale Fabrik bilden die Strukturen, die Produkt-Prozess-Ressource, ab, und der digitale Zwilling sorgt dafür, dass ich Szenarien im Vorfeld sicher prüfen kann. In der Betriebsphase unterstützt mich der Zwilling durch die Erfassung und Auswertung von Betriebsdaten. Künstliche Intelligenz-Anwendungen bieten mir dann die Möglichkeit, proaktiv zu handeln – zum Beispiel Qualitätsmaßnahmen oder Instandhaltungsmaßnahmen.“

„BIM und digitale Zwillinge sind für uns technologische Wegbereiter, aber wir müssen erst die Prozesse, Informationsflüsse und Verantwortlichkeiten gestalten“, ergänzt Dannapfel von der RWTH Aachen. „Wenn wir das geschafft haben, dann können [diese Technologien] ihre wahre Stärke zeigen, denn dann haben wir diese modellbasierte Planung. Wir haben eine einzige Informationsquelle, auf deren Grundlage wir planen können.“ Die visuelle Natur von Tools wie 3D-Fabrikmodellen und digitalen Zwillingen verspricht eine Bereicherung des kollaborativen Prozesses.

„Wir sind visuelle Menschen, die Technologie verwenden, um Dinge zu demonstrieren und es den Menschen zu ermöglichen, Grundlagen, Beziehungen und Layouts viel klarer zu verstehen. Ich denke, das wird im Hinblick auf die Ergebnisse einen großen Unterschied machen“, sagt Glancy. „Wenn Sie in einer virtuellen Umgebung durch einen digitalen Zwilling gehen können, ist es einfacher, ein Gespräch darüber zu führen, was wohin und warum es dort hingehört. Denn die halbe Miete besteht darin, jemandem zu helfen das Problem zu verstehen. Diese Art von immersivem Erlebnis wird die Kommunikation mit allen Beteiligten verbessern.“

Eine verwandte, komplementäre Technologie zu digitalen Zwillingen und 3D-Fabrikmodellen ist generatives Design, das auch Einzug in effizientere, rationalisierte Fabrikdesignprozesse hält. Generatives Design ist eine Design-Explorationstechnologie, die eine Reihe von Einschränkungen berücksichtigt und Optionen zum Filtern bietet, um zum endgültigen Design zu gelangen. Während es in der Fertigungsindustrie weit verbreitet ist, wird es im Bauwesen bisher weniger eingesetzt.



**Durch die Reduktion von Überflüssigem und die Optimierung von Effizienz, Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit und damit verbundenen Zielen werden digitale Zwillinge, so hoffen Experten, die Fabrikplanung und den Betrieb radikal verbessern.**

„Sie könnten mehrere Linienlayouts, vielleicht sogar zwei oder drei Linien in dieser Fabrik mit generativem Design bewerten und verstehen, dass das die beste Raumnutzung ist, und verstehen, wie Ihre Bediener in dieser Umgebung je nach Layout funktionieren könnten, indem Sie maschinelles Lernen nutzen, um an der Gestaltung teilzunehmen“, sagt Glancy. „Wenn Sie die Demokratisierung all dieser Technologien sehen, insbesondere wenn sie Teil des Werkzeugkastens zukünftiger Hochschulabsolventen sind, werden Sie diese Veränderungsexplosion erleben. Ich denke, wir sind davon nur noch drei bis fünf Jahre entfernt. Es ist beeindruckend und beängstigend zugleich.“

## Weitere Wegbereiter für das integrierte Fabrikdesign

BIM, generatives Design und digitale Zwillinge sind nicht die einzigen Technologien, die eingesetzt werden, um den Design- und Konstruktionsprozess zu beschleunigen und zu rationalisieren. Die Bewegung hin zu einem vollständig integrierten Fabrikdesign wird auch durch Laserscanning, erweiterete und virtuelle Realität (Augmented und Virtual Reality, AR/VR), das Internet der Dinge, KI und ML ermöglicht. Weitere wichtige Bausteine sind die Cloud, gemeinsam genutzte Datenmodelle und Funktionen für die Zusammenarbeit, die in die Designplattformen selbst integriert sind.

Laserscanning und Kameratechnologie werden zunehmend verwendet, um Daten zu generieren, z. B. um Messungen für ein Nachrüstungsprojekt zu sammeln und hochzuladen, damit Planer aus der Ferne Planungsentscheidungen treffen können. AR- und VR-Technologien ermöglichen es Teammitgliedern, ein im Bau befindliches Gebäudemodell virtuell zu besuchen. Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen spielen eine Rolle bei jeglicher Verbesserung, von der Automatisierung von Teilen der Fabrikplanung und -wartung bis hin zum Qualitätsmanagement.

Die Cloud erweist sich als entscheidend, um einen einfachen, gemeinsamen Zugriff auf die enormen Datenmengen zu ermöglichen, die durch Fabrikplanungsprozesse generiert werden – Daten, die bestehen bleiben und hoffentlich geändert werden können, wenn sich die Fabrik ändert, um



## Integrierte Kommunikation und Zusammenarbeit sind entscheidende Komponenten dieser neuen Lösungen, damit alle Teams auf eine einzige gemeinsame Echtzeitansicht des Fabrikmodells zugreifen können.

Wartungsaktivitäten voranzutreiben und Renovierungen und Neuplanungen zu erleichtern. Planungsdaten müssen gut verwaltet werden, um ihre Integrität und Verfügbarkeit über Teams und ihre Tools hinweg sicherzustellen.

„Für uns war das Datenmanagementsystem die größte Herausforderung“, sagt Ostermann. „Ein Datenmanagementsystem hat unsere Fabrik stark beeinflusst, weil es in der Vergangenheit manchmal schwierig war, die Daten zum richtigen Zeitpunkt zu finden.“ Die Bewegung in Richtung Datenstandards, die durch Organisationen wie Branchengruppen „The Digital Twin Consortium“ und CESMII – „The Smart Manufacturing Institute“ gefördert wird,<sup>4</sup> sollte das Datenmanagement noch nahtloser machen.

„Ich denke, die Leute werden diesen [Kampf um Standards] gewinnen, und Softwarefirmen werden ihre Bücher aufschlagen und sagen, das ist unsere Struktur“, versichert Breitenbach. „Sie können damit mit meiner Software arbeiten, Sie können mit anderer Software in diesem Datenformat arbeiten. Und Sie haben keinen Informationsverlust beim Datenaustausch.“

Integrierte Kommunikation und Zusammenarbeit sind entscheidende Komponenten dieser neuen Lösungen, damit alle Teams auf eine einzige gemeinsame Echtzeitansicht des Fabrikmodells zugreifen können. Es ist wichtig, dass Kommunikationsaktivitäten wie Änderungsanträge, Informationsanfragen und Diskussionen über Probleme innerhalb der kollaborativen Designplattformen selbst stattfinden, um sicherzustellen, dass die Informationen immer auf dem neuesten Stand und für alle zugänglich sind und dass jede vorgenommene Änderung aufgezeichnet wird.

„Man kann gar nicht genug betonen, wie wichtig die ständige Kommunikation mit allen unseren Stakeholdern ist“, sagt Viessmann. „Um die richtige Entscheidung zu treffen, braucht man den richtigen Kontext und das richtige Verständnis. Meine Erfahrung ist, dass sich die Art und Weise der Diskussionen sehr verändert hat. Historisch gesehen planten Bauabteilungen das Gebäude und die Produktion plante den Prozess innerhalb des Gebäudes. Heute hat sich diese Richtung geändert. Viele Gebäude werden hauptsächlich um Produktionsprozesse herum geplant.“

Basierend auf Kommunikation und Simulationen erzielen wir die besten Ergebnisse und die höchste Leistung.“

### Fabrikplanung für das 21. Jahrhundert neu durchdenken

Termin- und Budgettreue sind nicht mehr der Maßstab, an dem Fabrikbauprojekte gemessen werden. Planungs- und Bauprozesse müssen heutzutage schnell und gut integriert sein und neue Ziele rund um Nachhaltigkeit und Industrie 4.0 unterstützen. Zusätzlich zu diesen Zielen muss die Anlage leicht an zukünftige Nutzungen angepasst werden können und in der Lage sein, ihre eigenen Wartungs- und Umweltauswirkungen zu minimieren.

Technologie erweist sich als Schlüsselfaktor, wenn es darum geht, Herstellern und ihren Planungs- und Produktionspartnern dabei zu helfen, Silos im Bereich Werkzeuge, Daten und Zusammenarbeit aufzubrechen, um eine immer nahtlosere und effektivere Art der Planung und Konstruktion einer Fabrik zu erreichen. Diejenigen, die sich für stärker integrierte Tools und Daten sowie die Prozesse und Kultur einsetzen, die für den Erfolg dieser Tools in den Teams, die Fabriken entwerfen, bauen und betreiben, unerlässlich sind, sind optimistisch, was das Potenzial integrierter Fabrikdesignprozesse betrifft, die Risiken reduzieren, Zeit und Geld sparen und widerstandsfähige, wandelbare Anlagen schaffen, die in der Lage sind, sich verändernde Ziele bis weit in die Zukunft zu unterstützen.

„Der Planungsprozess wird immer integrierter, davon bin ich überzeugt“, sagt Hoecherl. Und ich denke, die Zusammenarbeit wird viel einfacher, auch über verschiedene Partnerorganisationen hinweg. Digitale Plattformen sind der Schlüssel, um eine nahtlose Koordination zwischen den verschiedenen beteiligten Fachexperten zu ermöglichen, indem sie Zugang zu den neuesten Informationen bieten. In Kombination mit den Fortschritten in der Digital-Twin-Technologie und -Simulation haben wir Wegbereiter zur Hand, die das Potenzial bieten, Projekte zu vernünftigen Kosten vorab zu starten und dadurch das Implementierungsrisiko zu reduzieren.“

#### Abschließende Bemerkungen

- 1 Juniper Research, „Why Digital Twins Are Critical to the Industry (Warum digitale Zwillinge für die Branche von entscheidender Bedeutung sind)“, Juni 2020. <https://www.juniperresearch.com/whitepapers/why-digital-twins-are-critical-to-the-industrial>.
- 2 Digital Twin Consortium, „The Definition of a Digital Twin (Die Definition eines digitalen Zwillings).“ <https://www.digitaltwinconsortium.org/hot-topics/the-definition-of-a-digital-twin.htm>.
- 3 Maria João Ribeirinho, Jan Mischke, Gernot Strube, Erik Sjödin, Jose Luis Blanco, Rob Palter, Jonas Biörck, David Rockhill, and Timmy Andersson, „The Next Normal in Construction (Die nächste Normalität im Bauwesen)“, McKinsey & Co., Juni 2020. <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/The%20next%20normal%20in%20construction/The-next-normal-in-construction.pdf>.
- 4 The Digital Twin Consortium und CESMII—The Smart Manufacturing Institute, „Digital Twin Consortium Announces a Liaison with CESMII—The Smart Manufacturing Institute (Digital Twin Consortium gibt Zusammenarbeit mit CESMII – The Smart Manufacturing Institute bekannt)“, November 2021. <https://www.digitaltwinconsortium.org/press-room/11-02-21.htm>.





**Harvard  
Business  
Review**

ANALYTIC SERVICES

## ÜBER UNS

Harvard Business Review Analytic Services ist eine unabhängige gewerbliche Forschungseinheit innerhalb der Harvard Business Review Group, die Forschung und vergleichende Analysen zu wichtigen Management-Herausforderungen und neu entstehenden Geschäftsmöglichkeiten durchführt. Mit dem Ziel Geschäftsinformationen und Erkenntnisse aus der Peer-Group zu liefern, wird jeder Bericht auf der Grundlage der Ergebnisse der ursprünglichen quantitativen und/oder qualitativen Forschung und Analyse veröffentlicht. Quantitative Erhebungen werden mit dem HBR Advisory Council, dem globalen Forschungspanel der HBR, durchgeführt, und qualitative Forschungsarbeiten werden mit Führungskräften der Wirtschaft und Fachexperten innerhalb und außerhalb der Autorengemeinschaft von *Harvard Business Review* durchgeführt. Schicken Sie uns eine E-Mail an [hbranalyticsservices@hbr.org](mailto:hbranalyticsservices@hbr.org).

**[hbr.org/hbr-analytic-services](https://hbr.org/hbr-analytic-services)**