

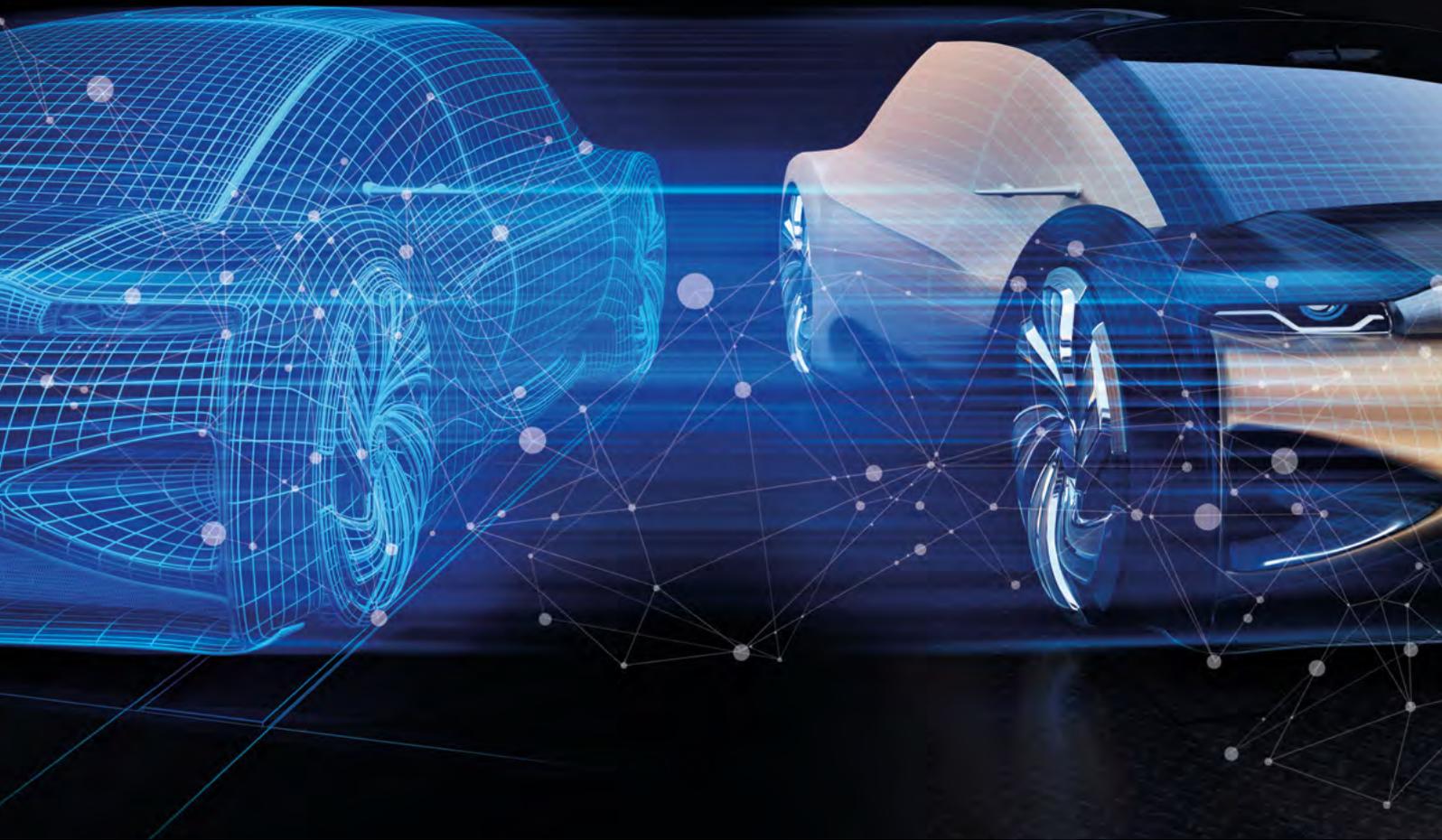
2020

Herausgeber: Markus Samarajiwa, Kai Lindow, David Salamon, Rainer Stark

DIGITAL TWIN READINESS ASSESSMENT

EINE STUDIE ZUM DIGITALEN ZWILLING
IN DER FERTIGENDEN INDUSTRIE

Autoren: Theresa Riedelsheimer, Pascal Lünemann, Sebastian Wehking, Lisa Dorfhuber



Eine kooperative Studie von:

 **Fraunhofer**
IPK

 **msg**

DIGITAL TWIN READINESS ASSESSMENT

EINE STUDIE ZUM DIGITALEN ZWILLING IN DER FERTIGENDEN INDUSTRIE

HERAUSGEBER

Markus Samarajiwa, Kai Lindow, David Salamon, Rainer Stark

AUTOREN

Theresa Riedelsheimer, Pascal Lünemann, Sebastian Wehking, Lisa Dorfhuber

EINE KOOPERATIVE STUDIE VON:

- msg
- Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin

Durchführung der Studie 2019 / 2020

Veröffentlichung der Studie 2020

ISBN: 978-3-945406-13-7

urn:nbn:de:0011-n-5995604

© 2020 msg, Fraunhofer IPK, Fraunhofer Verlag

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Text, Tabellen und Abbildungen wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Die Herausgeber und Autoren sowie die Institutionen, denen sie angehören, können dennoch für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir zunächst Stefan Klinge (msg) und Dr. Stephan Melzer (msg) danken, ohne deren Unterstützung diese Studie zum Digitalen Zwilling nicht möglich gewesen wäre und von denen wir während der Studiendurchführung immer wieder wertvolle Impulse und Feedback erhalten haben.

Selbstverständlich danken wir allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Studie aus den Unternehmen der fertigen Industrie. Ohne ihre Bereitschaft, sich auf die Interviews einzulassen und uns einen Einblick in ihre Aktivitäten zum Digitalen Zwilling zu gewähren, wäre ein „Digital Twin Readiness Assessment“ nicht durchführbar gewesen.

Für die Unterstützung bei der grafischen Gestaltung der Studie, der Editierung von Texten und Grafiken danken wir Lisa Dorfhuber (Fraunhofer IPK Berlin), Aaron Reiche (Fraunhofer IPK Berlin), Ruth Asan (Fraunhofer IPK Berlin) und Anja Kunack (Fraunhofer IPK Berlin) sowie Jasmin Heisig (msg), Danny Schwarze (msg) und Andreas W. Huber (msg).

Bildquellen: unsplash.com, nasa.gov, stock.adobe.com

Im Einzelnen:

- Titel: Chesky – stock.adobe.com
- S. 11: Casey Horner
- S. 12: Johny Goerend
- S. 14-15: NASA
- S. 17: Andy Holmes
- S. 28-29: Marcelo Quinan
- S. 38-39: NASA
- S. 40-41: Kelan Chad
- S. 51: Bryan Goff
- S. 52-53: Ebehard Grossgasteiger
- S. 63: Alexander Andrews
- S. 64-65: V2osk
- S. 82-83: Donald Giannatti
- S. 98-99: Clarissa Meyer
- S. 112-113: Raghav Kabra
- S. 121: Juskteez Vu
- S. 122-123: NASA

Vorwort der Herausgeber

„Wie weit sind Sie in Ihrem Unternehmen bei der Entwicklung und Einführung des Digitalen Zwillings?“ Das war die zentrale Frage, die wir im Rahmen dieser Studie untersucht haben. Nach fast 18 Monaten Arbeit und zahlreichen Interviews mit Expertinnen, Experten und Führungskräften aus der Fertigungsindustrie, freuen wir uns, Ihnen die Ergebnisse unserer ersten Studie zum Digitalen Zwilling vorstellen zu können. Diese Studie ist in einer kreativen und partnerschaftlichen Kooperation zwischen der msg und der Fraunhofer Gesellschaft, Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), entstanden.

Die Idee zu dieser Studie bildete sich Mitte des Jahres 2018. Sie entwickelte sich aus Kundinnen- und Kundenterminen sowie Workshops zum Digitalen Zwilling in der Automobilindustrie. Dabei ist aufgefallen, dass in vielen Fällen keine oder nur eine sehr rudimentäre Definition des Digitalen Zwillings vorliegen, wodurch **Nutzenpotenziale verschenkt** werden. Oft orientieren sich die Konzepte an den jeweiligen im Bereich verfügbaren Daten und nicht an den benötigten Informationen aus dem Produktlebenszyklus. In der Regel gibt es nur eine **bereichsspezifische** Sicht auf den Digitalen Zwilling und keine unternehmensweite oder gar unternehmensübergreifende Betrachtung der **Anwendungsfälle**. Unser Anspruch war es, das Thema Digitaler Zwilling gesamtseitlich mit Blick auf das dahinterstehende Potenzial zu betrachten und dabei gleichzeitig die **Reife der Unternehmen** auf dem Weg zum Digitalen Zwilling zu bewerten. In diesem Sinne haben wir uns für die Entwicklung eines Reifegradmodells entschieden. Bei der Entwicklung des Reifegradmodells standen wir vor der Herausforderung, unsere in der Industrie gesammelten Erfahrungen mit denen aus Forschung und Lehre in einem pragmatischen **Digital Twin Readiness Assessment** Modell abzubilden. Die Erfassung

der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des Digitalen Zwillings entlang des Lebenszyklus in dem standardisierten Modell unterzubringen, war eine weitere Herausforderung. Beides ist uns unserer Ansicht nach gut gelungen.

Mit der Studie „Digital Twin Readiness Assessment“ sollen auch die Unternehmen angesprochen werden, die bisher nur wenig Berührungspunkte mit dem Digitalen Zwilling haben - aus technologischer Sicht oder auf Basis neuer Geschäftsmodelle. Hier gibt die Studie einen ersten Überblick zu den Anforderungen und Anwendungsfällen und soll als Anregung dienen, sich mit dem Digitalen Zwilling zu beschäftigen. Die Studie soll aber auch für Unternehmen von Interesse sein, die bereits Erfahrungen in der Anwendung des Digitalen Zwillings sammeln konnten. Die Reifegradbewertung dient hier als Hilfsmittel, den Unternehmen ihren Entwicklungsstand im Vergleich zur Branche aufzuzeigen.

Diese Studie hat uns vor allem gezeigt, dass das **volle Potenzial eines Digitalen Zwillings nur dann gehoben werden kann, wenn die dafür relevanten Informationen aus dem gesamten Produktlebenszyklus durchgängig bereitgestellt werden** können. Folglich müssen die Unternehmen ihre internen **Datenilos aufbrechen**, aber auch den Informationsfluss zwischen Nutzer und Zulieferer zulassen. Dies wird eine der zentralen Herausforderungen für Unternehmen in Europa sein, wenn sie **mit dem Digitalen Zwilling wettbewerbs- und zukunftsfähig sein** möchten. Sowohl auf der Ebene der Wirtschaft, als auch der Ebene der Gesellschaft, muss eine **neue Haltung zur Datenbereitstellung** etabliert werden.

Was sind die weiteren Pläne für das Digital Twin Readiness Assessment? Zum einen überlegen wir, die Studie nach einem

bestimmten Zeitraum erneut durchzuführen, um die Entwicklung des Digitalen Zwilling zu verfolgen zu können. Zum anderen ist geplant, das **Digital Twin Readiness Assessment als Beratungsleistung** anzubieten. Damit hätten Unternehmen, die keine Möglichkeit hatten, sich an der Studie zu beteiligen, die Chance, eine individuelle Reifegradmessung zum Digitalen Zwilling durchzuführen. Ist dies für Sie ein interessantes Angebot?

Wir freuen uns auf Ihre Meinung – bitte kontaktieren Sie uns!

Die **msg** ist eine unabhängige, international agierende Unternehmensgruppe mit weltweit 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und 1 Mrd. Euro Umsatz. Im Lünendonk-Ranking 2020 nimmt die msg den

Platz 6 der erfolgreichsten deutschen IT-Beratungs- und Systemintegrationsunternehmen ein. Sie bietet ein ganzheitliches Leistungsspektrum aus einfallreicher strategischer Beratung und intelligenten, nachhaltig wertschöpfenden IT-Lösungen für die Branchen Automotive, Banking, Food, Insurance, Life Science & Healthcare, Manufacturing, Public Sector, Telecommunications, Travel & Logistics sowie Utilities und hat sich in 40 Jahren einen ausgezeichneten Ruf als Branchenspezialist erworben.

Das **Fraunhofer IPK** arbeitet in F&E-Projekten an innovativen Lösungen der virtuellen Produktentstehung. Dabei sind auch neue datengetriebene und intelligente Konzepte und Anwendungen von großer Bedeutung. In Industrieprojekten wird der Transfer in die Praxis vollzogen.

Die Herausgeber



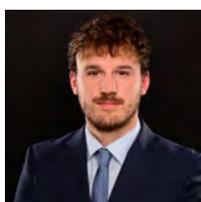
Dipl.-Ing. Markus Samarajiwa arbeitet im Business Consulting bei msg und verantwortet das Thema Digitaler Zwillinge für den Geschäftsbereich Automotive. Er entwickelte die Idee zur Studie und gab wichtige Impulse zur Konzeption und Gestaltung. Zudem hat er maßgeblich bei der Interviewdurchführung und Erstellung der Studie mitgewirkt.

Kontakt: Markus.Samarajiwa@msg.group



Dr.-Ing. Kai Lindow leitet die Abteilung Informations und Prozesssteuerung am Fraunhofer IPK. Er entwickelte die Idee zur Studie sowie dem Reifegrad-Assessment und gab wichtige Impulse zur Konzeption und Gestaltung.

Kontakt: Kai.Lindow@ipk.fraunhofer.de



B.Eng. David Salamon arbeitet als Senior Business Consulting bei msg und verantwortet das Thema Digitaler Zwillinge für den Geschäftsbereich Automotive. Er entwickelte die Idee für das Reifegrad-Assessment und gab wichtige Impulse zur Konzeption und Gestaltung der Studie. Zudem hat er maßgeblich bei der Interviewdurchführung und Erstellung der Studie mitgewirkt.

Kontakt: David.Salamon@msg.group



Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark leitet das Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung am Fraunhofer IPK Berlin. Gleichzeitig leitet er das Fachgebiet Industrielle Informationstechnik am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der TU Berlin.

Kontakt: Rainer.Stark@ipk.fraunhofer.de

Management Summary

Mit dieser Studie zum Digitalen Zwilling stellen wir eine neuartige und innovative Methode vor, um den Reifegrad eines Unternehmens in Bezug auf die Dimensionen „Verständnis und Einsatz“, „Zielbild und Konzept“ sowie „Umsetzung“ zu bewerten. Hierfür haben die msg und das Fraunhofer IPK das Digital Twin Readiness Assessment entwickelt und dieses mit der Befragung von Expertinnen und Experten in einer Industrie-Expertenstudie kombiniert.

Die Idee zu dieser Studie entwickelte sich aus Kundenterminen und Workshops zum Digitalen Zwilling und dem Wunsch, eine schnelle und transparente Standortbestimmung der Unternehmen zu ermöglichen, um eine gemeinsame Einschätzung der Ausgangslage sowie der Nutzenpotenziale zu bekommen.

Im Rahmen der Studie wurden insgesamt 26 Experteninterviews von jeweils 1,5 stündiger Dauer mit Fach- und Führungskräften aus der fertigen Industrie in der DACH-Region durchgeführt. Von den befragten Unternehmen sind 42% Zulieferer aus dem Mobilitätsbereich. Fast 60% der Unternehmen haben mehr als 50.000 Mitarbeitende. Als Aufgabenbereich geben 35% der Befragten an, im IT-Bereich zu arbeiten und 27% mit der Produktentwicklung zu beschäftigen. Es wurde untersucht, wie weit die fertige Industrie in der DACH-Region auf dem Weg zum Einsatz Digitaler Zwillinge ist und welche Anwendungsfälle mit welchen Zielen verfolgt werden. Die Studie sucht Antworten auf folgende **Kernfragen**:

- „Wie beeinflusst der Digitale Zwilling Geschäftsmodelle?“
- „Welcher Mehrwert soll durch Digitale Zwillinge geschaffen werden?“
- „Wie sehen aktuelle Konzepte für den Digitalen Zwilling aus?“
- „Welche Maßnahmen sind für den Digitalen Zwilling notwendig?“
- „Welche Fähigkeiten und Skills werden für den Digitalen Zwilling benötigt?“

Bei der Durchführung der Studie wurde ein dreistufiger Ansatz gewählt. Im ersten Schritt wurden die einzelnen Experteninterviews durchgeführt und im Kontext des Digital Twin Readiness Assessment bewertet. Darauf folgend wurden die Ergebnisse anonymisiert, konsolidiert und im Rahmen der Studie ausgewertet und beschrieben. Anschließend erfolgt ein Zweitgespräch mit den befragten Unternehmen zur Durchsprache der individuell erreichten Reifegrade.

Aus der Studie ergeben sich die folgenden, **zentralen Erkenntnisse**:

- Digitale Zwillinge fungieren, den Konzepten zufolge, meist als datenbereitstellende Systeme oder werden zur Absicherung und Fehleranalyse verwendet. Hier zeigt sich ein Bruch zu der beschriebenen, anspruchsvolleren Erwartungshaltung auf Zielbild-Ebene.
- Das Angebot automatisierter Mehrwertdienste und die Ausgestaltung als autonome oder adaptive Systeme werden bislang in wenigen Digitalen Zwillingkonzepten berücksichtigt. Erst durch die unternehmensübergreifende Kollaboration und eine Vernetzung der Digitalen Zwillinge entfaltet sich das ganze Potenzial des Ansatzes. Hierfür wird eine Standardisierung der Plattformen und Kommunikationsschnittstellen erforderlich.
- Die Einführung Digitaler Zwillinge kann erst gelingen, wenn die Unternehmen in allen Bereichen, vom „Verständnis und Einsatz“ über die „Zielbild und Konzepte“ bis in die „Umsetzung“, eine hohe Reife erlangt haben.

- Darüber hinaus wird in der zukünftigen Organisation eine erhöhte Agilität und gesamtheitliches Denken von den Mitarbeitenden verlangt.
- Bemerkenswert ist die Verteilung der Verantwortlichkeiten, die sich in den Interviews zeigt: Die IT sieht die Verantwortung bei den Entwicklungsabteilungen, die Entwickelnden hingegen bei der IT.

Im Detail bedeutet dies in den einzelnen Bereichen des Digital Twin Readiness Assessments „Verständnis und Einsatz“, „Zielbild und Konzept“ sowie „Umsetzung“:

Reife „Verständnis und Einsatz“

Obwohl alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer bereits Vorkenntnisse im Bereich Digitale Zwillinge aufweisen und **85%** der Befragten bereits erste Konzepte für den Digitalen Zwilling entwickelt haben, besitzen nur **54%** der Befragten eine durchgängige Digitale Zwillingstrategie. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in dem Ergebnis wider, dass **20%** der Befragten keine einheitliche Definition zum Digitalen Zwilling im Unternehmen etabliert haben. Die Definition beinhaltet bei **46%** der Befragten einen Digitalen Schatten. Über alle Befragten hinweg setzten nur **8%** ihren Digitalen Zwilling bereits vollumfänglich ein, aber schon mehr als ein Drittel haben die Umsetzung ihres Digitalen Zwillingen gestartet.

Reife „Zielbild und Konzept“

Auf der strategischen Ebene wurden in Bezug auf ein konkretes Digitales Zwillingskonzept die Ziele, die Veränderung des Geschäftsmodells sowie der physischen Produkte oder Systeme und der hieraus resultierende Mehrwert untersucht. Nach der Meinung der Befragten werden Digitale Zwillinge das existierende Geschäftsmodell teilweise revolutionieren; **35%** der Befragten beabsichtigen ihr Geschäftsmodell mit Digitalen Zwillingen zu verändern. Sie werden zur Absicherung und Fehleranalyse

verwendet. Bestehende Abläufe könnten laut **31%** der Befragten durch Digitale Zwillinge effizienter und schneller gestaltet werden.

Im Rahmen der Befragung zum Konzept wurden die im Digitalen Zwilling abgebildeten Systeme, die relevanten Lebenszyklusphasen, zentrale Funktionen und Aufgaben des Digitalen Zwillingen sowie der Informationsaustausch und relevante Gesetze und Richtlinien untersucht. Die betrachteten Digitalen Zwillingkonzepte der Befragten lassen sich klar in Produkt- und Produktionskontext unterteilen. Dabei werden mit **73%** mehrheitlich Produktsysteme im Digitalen Zwilling abgebildet. Die aktuellen Aufgaben Digitaler Zwillinge fokussieren sich bei **64%** auf die Datenbereitstellung. Dafür notwendige technologische Fragestellungen (bspw. Informationsaustausch) sind für **36%** der Befragten noch ungeklärt. **Komplexere Aufgaben wie autonome Entscheidungsfindung und Prognose sind in den betrachteten Konzepten nur vereinzelt zu finden.**

Reife „Umsetzung“

Im Rahmen der Studie wurde ebenso ermittelt, welche Maßnahmen notwendig und bereits durchgeführt wurden, um Prozesse und Organisationen, IT-Systeme sowie die notwendigen Daten- und Informationsmodelle zu gestalten. **Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass zur erfolgreichen Implementierung und Nutzung Digitaler Zwillinge von den Unternehmen eine erhöhte Agilität und ein gesamtheitliches Denken aller Mitarbeitenden benötigt wird.** Auf der organisatorischen Ebene herrscht bei **44%** Unklarheit über die Verantwortungen bezüglich der Veränderung der Geschäfts- und Entwicklungsprozesse. Um den Weg für Digitale Zwillinge zu bereiten, gehen **85%** der Befragten davon aus, ihre Unternehmensorganisation ändern zu müssen. Die für die Digitalen Zwillinge benötigten IT-Lösungen werden von **24%** der Unternehmen intern entwickelt. Dafür benötigen **72%** der Unternehmen weitere IT-Skills. Die zur Umsetzung

essenziellen Fähigkeiten sind IT-Skills, fachliche Skills, gesamtheitliches Denken und Datenanalyse-Fähigkeiten.

Ausblick auf Digitale Zwillinge

Im abschließenden Teil der Studie wurde die **Zukunftsvision** für Digitale Zwillinge sowie das Potenzial aus Nachhaltigkeitssicht untersucht. Digitale Zwillinge bieten für **63%** der Befragten ein hohes Potenzial, zukünftig durchgängige Nachhaltigkeitsbewertungen von Produkten durchzuführen. Einen Einsatz von Digitalen Zwillingen und begleitenden Services mit **Nachhaltigkeitsfokus** erhoffen sich **38%**. Dabei sticht gleichzeitig hervor, dass nur **4%** der Befragten den Verkauf Digitaler Zwillingmodelle als Ziel benennen. **Die zukünftige Nutzung des Digitalen Zwilling soll 2040 weitestgehend intern oder in enger Zusammenarbeit mit Partnern erfolgen.** Gleichzeitig wird hier deutlich, dass die Geschäftsmodelle rund um den Digitalen Zwilling noch nicht im Detail ausgearbeitet sind und hier viel unbekanntes Potenzial zu heben ist.

Erkenntnisse des Digital Twin Readiness Assessment

Die aggregierte Auswertung der Reifegradbewertungen lässt Rückschlüsse auf den aktuellen Stand Digitaler Zwillinge im industriellen Einsatz zu.

Die konsolidierte **Gesamtreife** aller Unternehmen liegt unter breiter Streuung bei **51%**. Sie wurde aus dem Mittelwert der einzelnen Reifegradbereiche ermittelt. Die befragten Unternehmen befinden sich also im Mittel noch in der Konzeptionsphase zur Umsetzung Digitaler Zwillinge.

Der Reifegrad **„Verständnis und Einsatz“** Digitaler Zwillinge liegt über alle befragten Unternehmen bei **66%**. Dieser ergibt sich daraus, dass das Verständnis in den Unternehmen insgesamt schon sehr gut verbreitet ist und die Unternehmen durch erste inselhafte Digitale Zwilling-Ansätze und Austausch

mit anderen Unternehmen und Interessensverbänden ein gutes Erfahrungswissen aufgebaut haben. Im Vergleich der befragten Fachbereiche wird der Vorteil von Stabsstellen deutlich. Durch diese Organisationsform ist das notwendige Wissen besser verfügbar, sodass entwickelte Strategien, Konzepte und Umsetzungsansätze eine höhere Reife aufweisen.

Der aus den Dimensionen **„Zielbild und Konzept“** bestehende Reifegrad liegt durchschnittlich über alle befragten Unternehmen bei **66%**. Für OEM, wie auch für Zulieferer, besteht ein großes Interesse an einer verbesserten Datendurchgängigkeit und -verfügbarkeit. Über die gesamten Konzepte hinweg kann festgestellt werden, dass Unternehmen zumeist noch an individuellen Lösungen arbeiten.

Der dritte Reifegrad **„Umsetzung“**, bestehend aus den einzelnen Dimensionen Prozesse und Organisation, Daten- und Informationsmodelle sowie IT-Systeme liegt über alle befragten Unternehmen bei **39%**. Die Maßnahmen zur Umsetzung in Prozessen und Organisation sowie die notwendigen Skills sind mit einer mittleren Reife von **45%** am weitesten entwickelt. Jedoch sind hier im Mittel der Erhebung bislang nur Konzepte vorhanden. Die tatsächlichen Implementierungen wurden noch nicht gestartet. Die Bereiche IT-Systeme sowie Daten- und Informationsmodelle weisen mit **39%** und **40%** eine geringere Reife auf.

Fazit

Die Studie zeigt, dass Digitale Zwillinge, oder deren Einsatz, keinen Selbstzweck darstellen. Zusammenfassend muss betont werden, dass die Einführung Digitaler Zwillinge nur gelingen kann, wenn in allen benannten Bereichen, vom Verständnis über die Strategien und Konzepte bis in die Umsetzung, eine hohe Reife erlangt wurde. Erst dann kann aus den Digitalen Zwillingen der angestrebte Nutzen zuverlässig generiert werden.





Inhaltsverzeichnis

Danksagung	5
Vorwort der Herausgeber	6
Management Summary	8
Inhaltsverzeichnis	13
EINLEITUNG	15
Motivation	16
Einführung in Digitale Zwillinge	18
Studiendesign und Studiendurchführung	28
STUDIENERGEBNISSE	39
Verständnis und aktueller Einsatz in der Industrie	40
Geschäftsmodell, strategische Ziele und Mehrwert	52
Konzepte Digitaler Zwillinge	64
Umsetzungsmaßnahmen und benötigte Skills	82
Zukunft und Nachhaltigkeitspotenziale Digitaler Zwillinge	98
Konsolidierte Reifegrade der befragten Unternehmen	112
ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	123
Referenzen	130





EINLEITUNG

Motivation

Für die fertigende Industrie ist der Digitale Zwilling aus verschiedenen Gründen von großem Interesse. Für viele Unternehmen bietet der Digitale Zwilling die Möglichkeit, direkte Informationen zur Nutzung ihrer Produkte aus dem Feld durch die Endanwenderinnen und -anwender zu erhalten. Diese Erkenntnisse können in die nutzenorientierte Optimierung von Folgeprodukten oder in neue Geschäftsmodelle fließen. Die Berücksichtigung von Daten aus der Fertigung ermöglicht eine individuelle Bewertung der Bauteile oder Systeme und lässt damit eine zunehmend präzisere Vorhersage der Lebensdauer oder Ausfallwahrscheinlichkeit zu. Ebenso können Elemente der Supply Chain als Digitaler Zwilling abgebildet werden, um Fertigungs- und Versorgungsabläufe zu optimieren. Dies führt unter anderem auch dazu, dass die Produkte nachhaltiger genutzt werden können.

Die Visionen sind meist klar definiert. Aber wo genau stehen die Unternehmen bei der Entwicklung und Einführung des Digitalen Zwillings in Bezug auf ihre Vision?

Die Beantwortung der Frage, wie weit die fertigende Industrie in der DACH-Region auf dem Weg zum Einsatz Digitaler Zwillinge ist, war eine zentrale Motivation zur Durchführung dieser Studie. Zur Ermittlung des Reifegrades wurde durch die msg und das Fraunhofer IPK das Digital Twin Readiness Assessment entwickelt, mit dem eine schnelle und transparente Standortbestimmung der Unternehmen in den Dimensionen „Verständnis und Einsatz“, „Zielbild und Konzept“ sowie „Umsetzung“ ermöglicht wird. Dies stellt ein wertvolles Hilfsmittel für die Standortbestimmung von Unternehmen dar. Die Reifegradbewertung findet für die Einschätzung der Ausgangslage in Unternehmen sowie die Ableitung von Handlungsempfehlungen Anwendung.

Als Basis für das Digital Twin Readiness Assessment und die Strukturierung der Studie wurden die folgenden 5 Kernfragen definiert:

- „Wie beeinflusst der Digitale Zwilling Geschäftsmodelle?“
- „Welcher Mehrwert soll durch Digitale Zwillinge geschaffen werden?“
- „Wie sehen aktuelle Konzepte für den Digitalen Zwilling aus?“
- „Welche Maßnahmen sind für den Digitalen Zwilling notwendig?“
- „Welche Fähigkeiten und Skills werden für den Digitalen Zwilling benötigt?“

Auf Basis der Studienergebnisse ist es der msg und dem Fraunhofer IPK möglich, zu identifizieren, mit welchen bewährten sowie neuen Methoden und Technologien Unternehmen auf dem Weg zum Einsatz Digitaler Zwillinge unterstützt werden können. Gleichzeitig bieten die Studienergebnisse den bewerteten Unternehmen die Möglichkeit, ihre eigenen Fähigkeiten für die Entwicklung und den Betrieb Digitaler Zwillinge einzuschätzen und somit eine wichtige Ausgangsbasis in Richtung ihrer Vision zu schaffen.



Einführung in Digitale Zwillinge

Die Verfügbarkeit notwendiger Daten und Informationen ist für die digitalisierte Entwicklung und das Angebot digitalisierter Produktsysteme eine notwendige Voraussetzung. Gleichzeitig stehen Unternehmen, getrieben durch das dynamische Umfeld der Informationstechnik, einem stetigen Wandel der Informationsquellen, verwendeter Protokolle und Formate gegenüber (Lünne-mann et al. 2019). Zudem verändern sich Produktsysteme laufend. Innovationen aus der Informations- und Kommunikationstechnologie erweitern die herkömmlichen Funktionen physischer Produkte um eine neue digitale Komponente. Ihre mechanischen, elektronischen und kommunikationsfähigen Komponenten gewährleisten die direkte Verbindung zu ihrer Umwelt oder der Cyberwelt.

Diese Herausforderung fokussierend stellen Digitale Zwillinge ein Konzept der Informationsbereitstellung und Auswertung dar, welches die Kommunikationsfähigkeit von Produktsystemen nutzt und Daten aus dem gesamten Produktlebenszyklus aggregiert. Digitale Zwillinge sind definiert als die digitale und eindeutige Repräsentation eines individuellen physischen Produktes, Systems, Prozesses oder auch Services, welche durch ihre spezifischen Eigenschaften oder ihren spezifischen Zustand charakterisiert sind.

Das Konzept entstammt der Idee eines idealtypischen Produktlebenszyklusmanagements, welches auf Produktinstanzen bezogene Daten verwalten und bereitstellen kann. Mit der Bereitstellung zuverlässiger Daten und Informationen in jeder Phase des Lebenszyklus ergeben sich, begleitet durch technologische Fortschritte, zahlreiche Möglichkeiten, die Entwicklung, Produktion, Nutzung und Recycling von Produkten, Systemen und/oder Services zu optimieren,

neue Geschäftsmodelle zu definieren und effizientere Abläufe zu gestalten. Digitale Zwillinge sind also kein Selbstzweck. Vielmehr stellen sie eine technologische Möglichkeit dar, Produktsysteme, Prozesse und Geschäftsmodelle innovativ zu gestalten und unternehmensinterne sowie -externe Mehrwerte für diese zu schaffen.

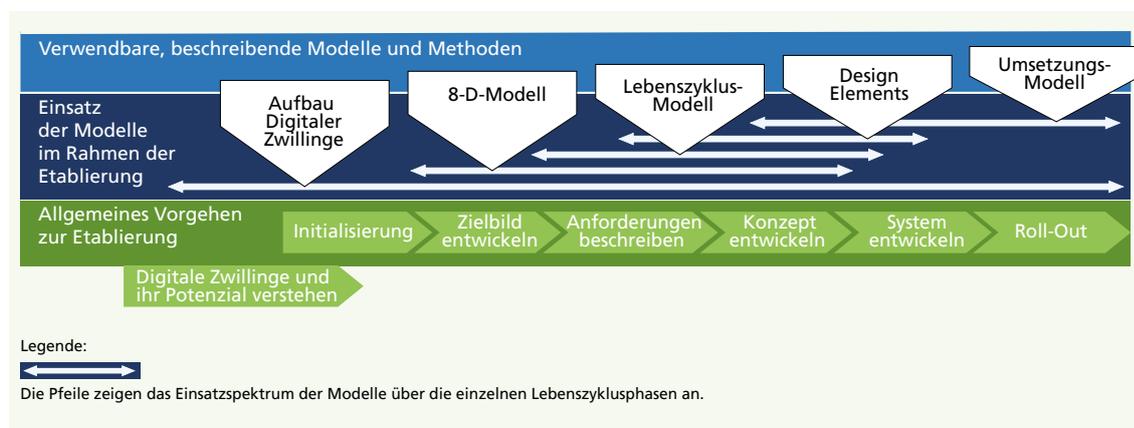
Aus dem Einsatz Digitaler Zwillinge entstehen konkrete Mehrwerte, welche sich im Produktlebenszyklus etablieren lassen. In den frühen Phasen können Feedback to Design-Konzepte Anwendung finden, um das tatsächliche Produktverhalten und den Umgang mit dem System transparent zu machen. Dies kann Einfluss auf die Gestaltung nachfolgender Produktgenerationen nehmen.

Im Rahmen der Entwicklung können ergänzend rückgeführte Daten herangezogen werden, um Simulationen fortlaufend durch Felddaten hinsichtlich der Abbildungsqualität zu optimieren. Grundsätzlich kann eine Vielzahl von erhobenen Daten zur Wissensgenerierung über das tatsächliche Produktverhalten beispielsweise für die Bewertung von Nachhaltigkeitsfaktoren herangezogen werden.

Die Produktionsphase findet im Konzept der Digitalen Zwillinge eine einheitliche Plattform zur Produktionssteuerung und zur Qualitätssicherung.

In der Nutzungsphase können Digitale Zwillinge als Basis für das Angebot Smarter Services Anwendung finden. Dabei können die Digitalen Zwillinge verschiedener, am Produkt beteiligter Stakeholder miteinander höhere Mehrwerte für Kundinnen und Kunden schaffen, als das alleinige Produktangebot eines OEM.

Abbildung 1: Allgemeines Vorgehen zur Einführung und Etablierung Digitaler Zwillinge



Auch Wartung und Instandhaltung von Systemen werden durch Digitale Zwillinge unterstützt und sie können als Basis für Produkt- und Produktions-Service-Systeme Anwendung finden. Auch in späteren Lebenszyklusphasen kann das Konzept des Digitalen Zwillings beispielsweise bei der Wieder- oder Weiterverwendung von Komponenten Mehrwerte generieren.

Für Unternehmen stellt sich die Frage, ob und in welcher Form Digitale Zwillinge eingesetzt werden sollen. Abbildung 1 zeigt ein generalisiertes Vorgehen zur Einführung Digitaler Zwillinge im Unternehmen, an welchem sich diese Studie orientiert. Diesem Vorgehen vorangestellt findet sich die Notwendigkeit das Konzept der Digitalen Zwillinge zu verstehen (siehe „Wissenschaftliche Definition“ auf Seite 20), um auf dessen Basis Potenziale für das Unternehmen aufzudecken. Mit der Initialisierungsphase beginnt die Konkretisierung des Vorhabens. Es gilt einerseits, die notwendige Unterstützung im Unternehmen aufzubauen und ein unternehmensweites Verständnis zu schaffen. Außerdem werden hier exemplarische Anwendungsfälle identifiziert, an welchen die Potenziale aufgezeigt werden können.

Mit der notwendigen Unterstützung beginnt die zweite Phase der Einführung, die Entwicklung eines Zielbilds. Im Rahmen dieser Phase gilt es festzustellen, welchen konkreten Mehrwert das Konzept Digitaler

Zwillinge für das Unternehmen bedeuten könnte. Aufgrund der umfassenden Einsetzbarkeit können dabei auch umfassende Veränderungen strategischer Dimension erfolgen, wie beispielsweise die Etablierung neuer Geschäftsmodelle, Produkte und Dienstleistungen (siehe „Geschäftsmodelle“ auf Seite 22).

Durch die Klärung der Einsatzziele des Digitalen Zwillings im jeweiligen Unternehmenskontext kann im nächsten Schritt mit der Ausgestaltung des Digitalen Zwillings begonnen werden. Zur initialen, allgemeingültigen Ausgestaltung kann hierbei das 8-Dimensionen-Modell herangezogen werden, auf dessen Basis die grundlegenden Anforderungen an das Konzept abgeleitet werden (siehe „Ausgestaltung (8-D-Modell)“ auf Seite 23). Dabei erfolgt auch der Abgleich mit dem Lebenszyklus-Modell bestehender oder geplanter Produktangebote. Auf diese Weise können proaktiv relevante Stakeholder in die weiteren Entwicklungsschritte eingebunden werden.

Die Umsetzung des Konzepts erfolgt in der Entwicklungsphase. Dabei unterstützen die Design Elements, welche bestehende Produkt- und Systementwicklungen um die notwendigen Elemente für Digitale Zwillinge ergänzt und die allgemeinen Dimensionen des 8-D-Modells im Produkt und seinem Betriebsumfeld manifestiert (siehe „Bestandteile (Design Elements)“ auf Seite 24).

Entsprechend dem Umfang Digitaler Zwillinge ergibt sich die Notwendigkeit, das bestehende Unternehmensumfeld für die Umsetzung zu gestalten (siehe „Umsetzung im Unternehmen (Umsetzungs-Modell)“ auf Seite 25). Dabei gilt es, nicht nur die neuen Entwicklungsbestandteile zu koordinieren, vielmehr steht dabei im Vordergrund, Funktionen der Betriebsumgebungsentwicklung und des Feedback to Design in einen nutzenbringenden Stand zu heben. Hierfür kommt das Umsetzungs-Modell zum Tragen. Die Einsatzfelder des Digitalen Zwillings sind hierbei nicht nur auf den Produkt- oder Service-Bereich begrenzt, sondern erstrecken sich auch über die Produktions- und Nutzungsphase sowie das Ende des Produktlebenszyklus.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die hier dargestellten Schritte und Modelle näher beschrieben. Ergänzend erfolgt die Darstellung bestehender Richtlinien und Gesetze, welche bei der Entwicklung und dem Angebot Digitaler Zwillinge Berücksichtigung finden sollten.

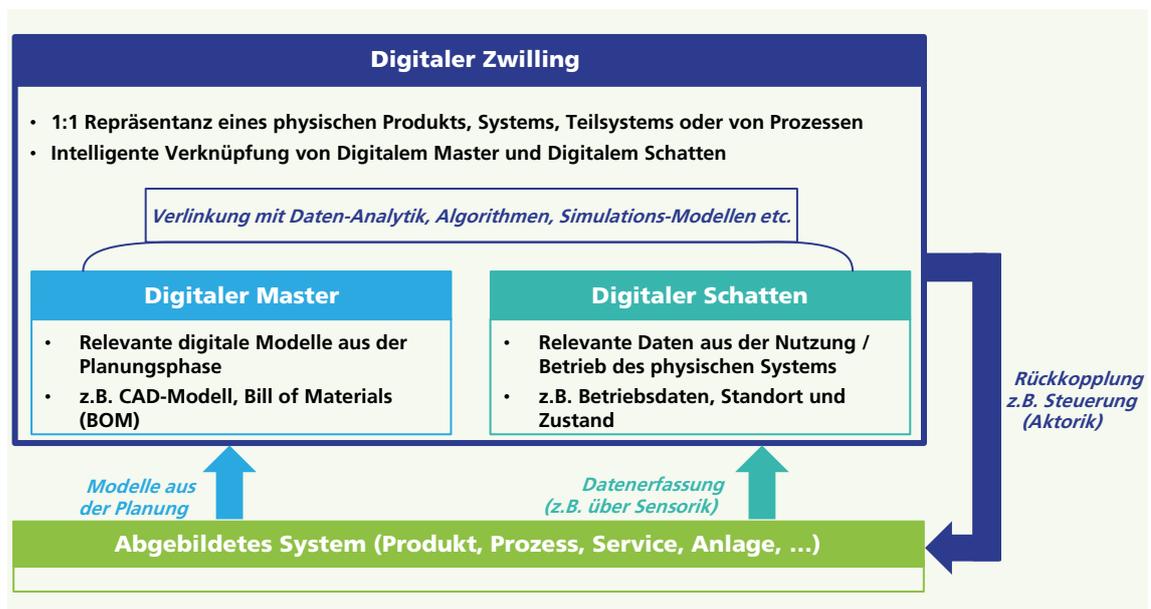
Definition

Grundsätzlich existieren zahlreiche Ansätze zur Definition Digitaler Zwillinge. In einer Übersicht (Stark und Damerau 2019) wird deutlich, dass seit der initialen Beschreibung durch Grieves (Grieves 2005) verschiedene Schwerpunkte in das grundsätzliche Konzept eingebracht wurden. Dabei erfolgen simulations-, system-, anwendungs-, inhalts- und domänenorientierte Beschreibungen. Im Rahmen dieser Studie werden die Definitionen von Stark und Damerau (Stark und Damerau 2019) sowie Samarajiwa und Salamon (Samarajiwa und Salamon 2019) vorgestellt und als Grundlage weiterverwendet.

Laut der Definition, die auf dieser Basis für die Studie ausgearbeitet wurde, bestehen Digitale Zwillinge aus drei grundlegenden Komponenten (siehe Abbildung 2).

Im Digitalen Master sind alle relevanten Modelle der Planungsphase des betrachteten physischen Systems enthalten. Die Modelle stammen aus Autorensystemen wie dem CAD-System (CAD-Modell) oder PLM-System (Bill of Materials). Die zweite Komponente,

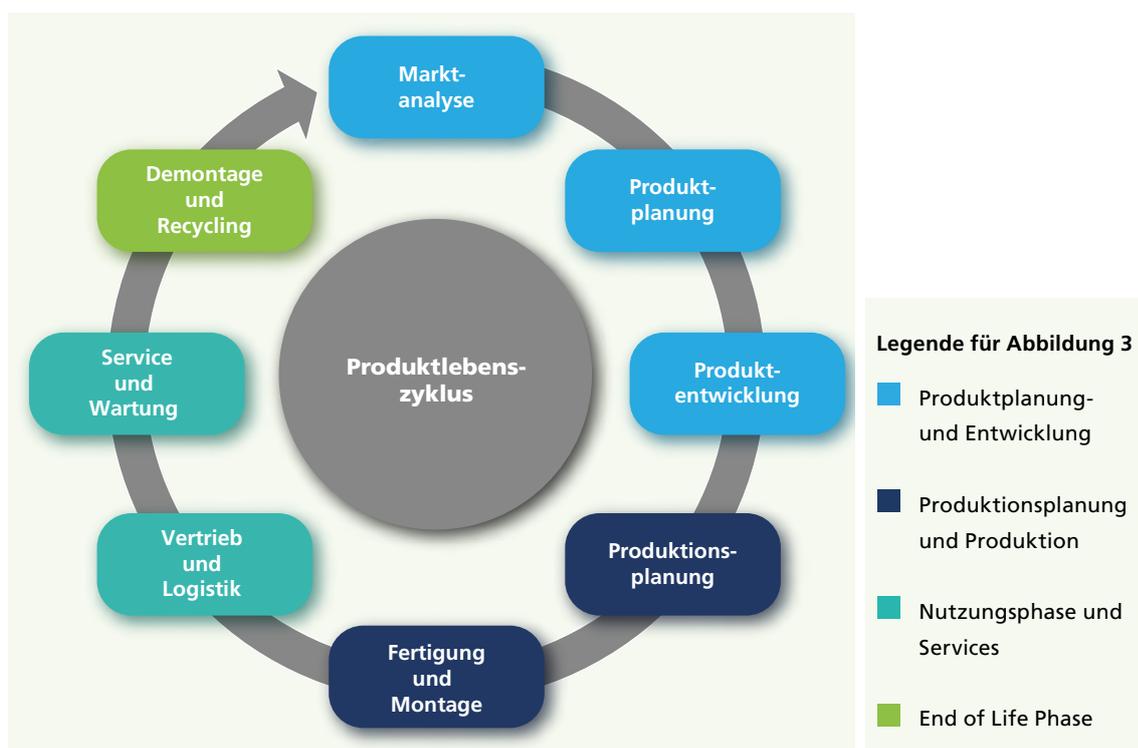
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Komponenten des Digitalen Zwillings



der Digitale Schatten, besteht aus Daten, die über den Lebenszyklus (beispielsweise Bestellung, Produktion, Nutzung, Service) des abgebildeten Systems gesammelt werden (beispielsweise durch Sensoren). Dies können Betriebs-, Zustands- oder Prozessdaten sein. Die intelligente Verknüpfung der ersten beiden Komponenten, bildet die dritte und zentrale Komponente des Digitalen Zwillings, also die eigentlichen Analysen und Optimierungsalgorithmen des Digitalen Zwillings. Sie bildet die Basis für den Erkenntnisgewinn im Digitalen Zwilling. Diese können durch eine Rückkopplung Einfluss auf das abgebildete System nehmen (beispielsweise Steuerbefehle übermitteln oder Funktionen im System anbieten). In einem Digitalen Zwilling werden die digitalen Masterdaten mit den digitalen individuellen Schattendaten verknüpft und bilden so einen einzigartigen Digitalen Zwilling des betrachteten physischen Systems, dessen Informationsgehalt sich entlang des Lebenszyklus weiterentwickelt.

Abbildung 3 stellt den Lebenszyklus von Digitalen Zwillingen und die Rückkopplungsschleifen zwischen den einzelnen Ebenen dar. In der ersten Phase werden Produkteigenschaften (Anforderungen an das Produkt, Architekturen und Simulationen) in Modellen beschrieben und im Digitalen Master weiterverwendet. Diese werden anschließend in der Entwurfsphase in konkrete Designs umgesetzt. Parallel zur Systementwicklung erfolgt in einem eigenen Lebenszyklus die Entwicklung des Digitalen Zwillings. Von der Produktionsplanung über die Produktion und Nutzung bis zum Recycling werden Daten vom physischen System gesammelt und im Digitalen Schatten abgebildet. Die Simulations- und Analysefähigkeiten des Digitalen Zwillings verknüpfen nun die Daten von Master und Schatten und entfalten so das volle Potenzial des Digitalen Zwillings. Einsatzgebiete können im Feedback to Design, Predictive Maintenance oder der Nachhaltigkeitsbewertung liegen (Halstenberg und Stark 2018; Riedelsheimer et al.; Samarajiva und Salamon 2020).

Abbildung 3: Produktlebenszyklus des Digitalen Zwillings



Geschäftsmodelle

Der Einsatz Digitaler Zwillinge wird vor allem durch die zunehmende Digitalisierung und die sich damit verändernden Märkte getrieben. Resiliente neue Geschäftsmodelle werden nicht die verkaufsorientierten Modelle der Vergangenheit sein, sondern beispielsweise vermehrt Services und Nutzungsmodelle fokussieren. Sie verändern grundlegend alle Aspekte des Unternehmens, wie Beziehungen zu konsumierenden und liefernden Unternehmen, sowie Erlösstrukturen (Exner et al. 2017). Dies stellt vor allem produzierende Unternehmen und ihre traditionellen Märkte in Frage (Keskin und Kennedy 2015). Sie benötigen neue Methoden und Technologien, um gezielt die integrierte Entwicklung neuer Produkte und Services zu erreichen. Als Voraussetzung dafür sollten sowohl neue Strukturen für die Gewinnung, Speicherung und Analyse von Daten zu Produkten und Nutzungsverhalten von Kundinnen und Kunden geschaffen werden, als auch ein durchgängiger digitaler Informationsfluss durch das gesamte Unternehmen und die Wertschöpfungskette.

Die Erweiterung physischer Produkte um Funktionen, Anpassungen und Services wird zum kritischen Erfolgsfaktor der Wertschöpfung. Etablierte Geschäftsmodelle haben meist keinen Zugriff auf produktspezifische Informationen in der Nutzungsphase (Abramovici et al. 2009). Um dies zu ändern, werden infrastrukturelle, organisatorische und prozessbezogene sowie technologische Innovationen benötigt – wie sie von Digitalen Zwillingen geboten werden (acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften 2011; Porter und Heppelmann 2015)

Durch den Einsatz Digitaler Zwillinge kann der Informationsfluss in greifbare Wertschöpfung transformiert werden. Der Digitale Zwilling vereint die dafür nötige Lebenszyklusperspektive und den Service-Fokus Smarter Produkte. Unternehmensgrenzen-übergreifende Produktmodelle und in einem hohen Grad

individuelle Produktinstanzen schaffen ein bisher unbekanntes Potenzial für die Wertschöpfung eines Unternehmens (Wang et al. 2018).

Die Analyse und Nutzung der gesammelten Daten aus der Nutzungsphase des Produkts lassen Rückschlüsse auf das Verhalten des Produkts in der Nutzung zu. Dies schafft die Grundlage für die Optimierung der Produkte bereits während der Nutzung durch Updates und Upgrades. Produktinnovationen in der nächsten Produktgenerationen werden proaktiv begünstigt (Schuh und Blum 2016). Qualität, Materialeinsatz und Kosten werden dank der neu geschaffenen Datengrundlage optimiert. In neuen Ertragsmodellen profitieren alle Partner entlang der Wertschöpfungskette, welche auf die Daten und Modelle zugreifen, von den Erkenntnissen (Wang et al. 2018).

Des Weiteren lassen die Daten Rückschlüsse auf die Nutzung der Produktfunktionen durch die Kundinnen und Kunden zu. Die abgeleiteten Erkenntnisse bieten die Chance für die Entwicklung neuer Service-Angebote während der Nutzung in Form von Smart Services (Exner et al. 2019). Die bessere Anpassung des Produkts an die individuellen Konsumentinnen und Konsumenten steigert deren Zufriedenheit. Aus optimiertem Customer Support resultiert eine gesteigerte Loyalität der Konsumentinnen und Konsumenten (Igba et al. 2015). Im B2C oder B2B können Massenprodukte besser auf Nischenmärkte oder individuelle Ansprüche adaptiert werden. Als Konsequenz wird der Wechsel zwischen vormalig austauschbaren Produkten für die Kundinnen und Kunden schwerer zu vollziehen, da Alternativprodukte nicht mit den gleichen Services aufwarten können (Wang et al. 2018).

Als neue Basisanforderung von Konsumentinnen und Konsumenten und Gesetzgebenden etabliert sich die Forderung verlässlicher Nachweise für die Nachhaltigkeitsleistung der Unternehmen und deren Produkte. Die Implementierung eines Digitalen Zwillinges

kann diesem Anspruch gerecht werden. Integriert man Digitale Zwillinge in das Wertschöpfungsnetzwerk, befähigen diese eine umfassende Lebenszyklusanalyse (LCA) und das Treffen von nachhaltigkeitsbewussten Entscheidungen (Barni et al. 2018; Riedelsheimer et al. 2020).

Ausgestaltung (8-D-Modell)

Die Einsatzgebiete und -zwecke für Digitale Zwillinge sind zahlreich. Sie determinieren das Konzept des Digitalen Zwillings. Dieses wird gebildet aus den Dimensionen des Digitalen Zwillings und bestimmt dessen Fähigkeiten. Die Auswahl ist daher auf Grundlage der gewünschten Anforderungen zu treffen.

Zur genauen Klassifizierung und zielgerichteten Entwicklung Digitaler Zwillinge kann das 8-Dimensionen-Modell (vgl. Abbildung 4) von Stark et al. eingesetzt werden (Stark et al. 2019). Es bildet die Basis für die

Klassifizierung der betrachteten Konzepte im Rahmen der Studie. Für das Digital Twin Readiness Assessment wurde das 8D Modell als Orientierung genutzt und einzelne Elemente für den Fragebogen verwendet.

Die acht Dimensionen, mit unterschiedlichem Fokus, lassen sich in drei Gruppen clustern:

1. Die ersten drei Dimensionen „Integrationsbreite“, „Verbindungsmodus“ und „Update-Häufigkeit“ konzentrieren sich auf die Umgebung des Digitalen Zwillings.
2. Den zweiten Block bilden die Dimensionen vier bis sieben: „CPS Intelligenz“, „Simulationsfähigkeit“, „Detailtiefe Digitalmodell“ und „menschliche Interaktion“. Sie beschreiben das Verhalten des Digitalen Zwillings und seine Fähigkeitsfülle.
3. Die letzte Dimension bezieht sich auf den „Produktlebenszyklus“ und beschreibt den Lebenszykluskontext eines Digitalen Zwillings.

Abbildung 4: 8-D-Modell zur zweckoptimierten Planung Digitaler Zwillinge (Stark und Damerau 2019)

8 Dimensionen des Digitalen Zwillings							
Umgebung			Verhalten & Detailtiefe				Kontext
1. Integrationsbreite	2. Verbindungsmodus	3. Update-Häufigkeit	4. CPS-Intelligenz	5. Simulationsfähigkeit	6. Detailtiefe Digitalmodell	7. Menschliche Interaktion	8. Produktlebenszyklus
Level 0 Produkt / Maschine	Level 0 Uni-direktional	Level 0 Wöchentl.	Level 0 Ausgelöst v. Menschen	Level 0 Statisch	Level 0 Geometrisch, kinetisch	Level 0 Smartes Gerät	Level 0 Begin of Life (BoL)
Level 1 Near Field / Produktionssystem	Level 1 Bi-direktional	Level 1 Täglich	Level 1 Automatisiert	Level 1 Dynamisch	Level 1 Kontrollverhalten	Level 1 VR/ AR	Level 1 Mid of Life (MoL) + BoL
Level 2 Feld / Fabrikumfeld		Level 2 Stündlich	Level 2 Teilautonom (unterst. v. schwacher KI)	Level 2 Ad-hoc	Level 2 Multi-physikalisch. Verhalten		
Level 3 Welt (vollst. Objektinteraktion)	Level 3 In Echtzeit / eventbasiert	Level 3 Autonom (vollst. kognitives Handeln)	Level 3 Voraussch. beschreibend				

Abbildung 4 zeigt diese acht Dimensionen. Jede einzelne Dimension besitzt zwischen drei oder vier Realisierungsstufen. Dabei ist zu beachten, dass eine höhere Stufe nicht zwangsläufig besser ist als eine tiefere, aber durchaus eine zu unterscheidende Realisationslösung darstellt. Die geeignete Lösung muss dementsprechend nicht auf der höchsten Stufe liegen, sondern sollte vielmehr entsprechend der Aufgabe des Digitalen Zwillings möglichst schlank – also aufwandsarm – gestaltet werden.

Bestandteile (Design Elements)

Digitale Zwillinge bieten neue Lösungen für die funktionale Verbesserung von Produkten, Prozessen, Dienstleistungen und Produktionsanlagen. Aus den acht Dimensionen des 8-D-Modells lassen sich sechs elementare Design Elements ableiten.

Für das Digital Twin Readiness Assessment wurden die Design Elements als Orientierung genutzt und einzelne Elemente für den Fragebogen verwendet.

Die Grundvoraussetzung für die Erstellung eines Digitalen Zwillings ist eine IT-Infrastruktur mit geeigneten Speicher- und Berechnungseigenschaften. Abbildung 5 zeigt die Design Elements und ihr Zusammenspiel.

Design Element 1, „Hardware physischer Systeme / Komponenten“, umfasst die Hardwarekomponente, welche die Analysefähigkeit (Sensorik), die Kontrolle (Aktorik) und die Netzwerkinteraktion des Digitalen Zwillings mit ganzen oder speziellen Subsystemen befähigt.

Design Element 2, „Software an ECU von physischen Systemen / Komponenten“, beschreibt Algorithmen und Software, die Aufgaben direkt am Produktsystem erfüllen.

Design Element 3, „Datenspeicher und Elemente der Informationsfabrik“, bietet die Möglichkeit, Berechnungsumgebungen, zugehörige Datendepots, Sätze von analytischen Toolboxes sowie durch Netzwerke verbundene Informationstechnologien zu beschreiben.

Design Element 4, „Digitaler Master und Digitale Prototypenmodelle“, umfasst

Abbildung 5: Design Elements nach (Stark et al. 2019)



alle relevanten digitalen Modelle, die die Grundlage für Digitale Zwillinge-Fähigkeiten bilden.

Design Element 5, „Digitaler Schatten Daten und Informationsets“, erlaubt die Integration von Merkmalen des physischen Produkts- oder Dienstleistungsbetriebes.

Design Element 6, „Intelligenz und Zustandsmaschine („state machine“)\", repräsentiert das verbindende Glied zwischen Master und dem Schatten sowie die Kommunikation mit dem Datenspeicher. Zudem werden hieraus die Hard- und Software-Komponenten gesteuert.

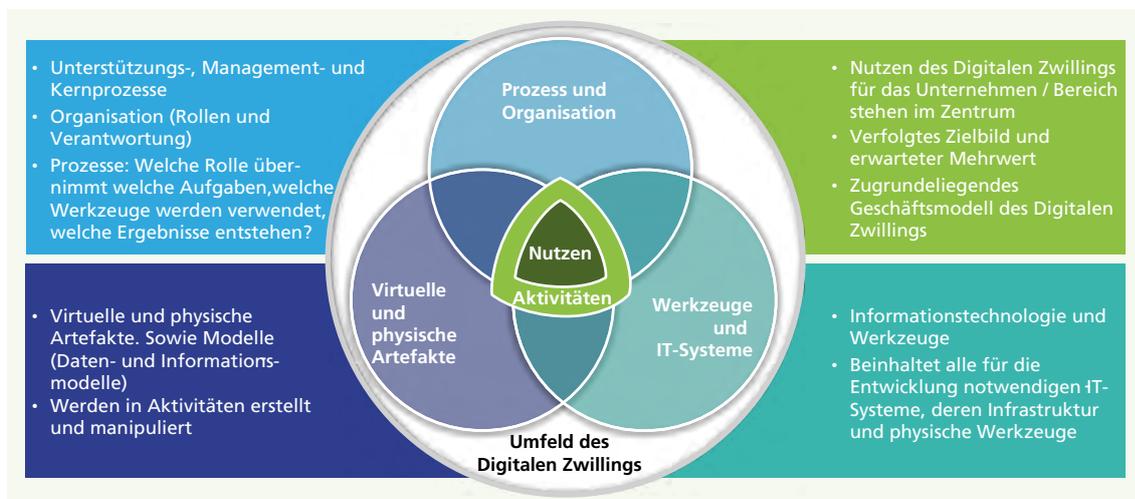
Umsetzung im Unternehmen (Umsetzungs-Modell)

Entwicklungsumgebungen, welche neben den Produktsystemen auch Digitale Zwillinge entwickeln, verlangen eine erweiterte Integration. Digitale Zwillinge machen den Einsatz von Werkzeugen und Kompetenzen aus den Domänen Mechanik, Elektronik, Informatik und dem Dienstleistungsbereich nötig. Zur Beschreibung eines

ganzheitlich abgestimmten Entwicklungsumfelds, welches die reibungslose Zusammenarbeit der Domänen ermöglicht, wurde das Engineering Operating System (EOS) als Modell entwickelt, welches das Betriebssystem der Entwicklung beschreibt (Lünnemann et al. 2017). Dieses Modell wurde für die Studie und im Kontext des Digitalen Zwillings um die Dimension des Nutzens erweitert, der im Kern aller Umsetzungsmaßnahmen stehen sollte.

Im Umsetzungs-Modell werden vier sich überschneidende Dimensionen abgebildet (siehe Abbildung 6). Die heute am häufigsten diskutierten Dimension ist dabei die der Prozesse und Unternehmensorganisation. Diese beschreibt die Aufbau- und Ablaufstruktur des Unternehmens in Abteilungen und im Projektgeschäft mit den damit verbundenen Aufgaben. Ebenso sind hier die prozessualen Vorschriften zur Arbeitsweise wie Produktentwicklungsprozesse, Freigabe- und Änderungsprozesse und Bestellprozesse abgebildet. Eine zweite Dimension beschreibt die verfügbaren Werkzeuge. Hier finden sich heute, vor allem in der Produktentwicklung, zunehmend IT-Systeme, welche die digitale Wertschöpfung ermöglichen.

Abbildung 6: Umsetzungs-Modell im Nutzungskontext Digitaler Zwillinge



Getrieben durch die an der Entwicklung beteiligten Disziplinen und die verwendete, z.T. hoch spezialisierte Software, steigt die Zahl der in der Infrastruktur einzubringenden Werkzeuge. Dabei stellt die datentechnische Verknüpfung der Systeme, mit dem Ziel einer effizienten Informationsdurchgängigkeit, eine besondere Herausforderung dar. In der Überschneidung von Werkzeugen und Prozessen wird die Anwendung der IT-Systeme beschrieben. In diesem Bereich wird definiert, wann im Prozessablauf, welche Werkzeuge zu verwenden sind und welche Aufgaben, Fähigkeiten und Eigenschaften diese aufzuweisen haben. Die zweite Überschneidung der Werkzeuge ergibt sich mit den Daten- und Informationsmodellen, der dritten Dimension im Umsetzungs-Modell. Zahlreiche IT-Werkzeuge verwenden spezielle, nur für diese Systeme interpretierbare Datenmodelle und bieten darüber hinaus Exportfunktionen, welche jedoch meist mit einem Informationsverlust verbunden sind. Die dritte Dimension im Umsetzungs-Modell beschreibt die Artefakte der Produktentwicklung. Im Einzelnen beinhalten diese alle Informationen und Modelle, die in der Entwicklung Verwendung finden, verändert oder erschaffen werden, sowie ihre strukturelle Abbildung im Datensystem. Die Artefakte bilden ihrerseits neben der Verbindung zu den Werkzeugen eine Überschneidung mit den Prozessen. Hier steht im Vordergrund, die erwarteten Arbeitsergebnisse in Format und Qualität und ggf. in ihrer gestiegenen Reife gegenüber den Prozessen zu beschreiben. Beispielsweise kann das Entwicklungsumfeld im Rahmen der methodischen Datenflussanalyse analysiert und umgestaltet werden (*Lindow et al. 2017*). Auf Basis dieser drei grundlegenden Dimensionen werden die tatsächlich wertschöpfenden Aktivitäten durch Menschen und Maschinen ausgeführt.

Im Kontext Digitaler Zwillinge nimmt das Umsetzungs-Modell eine besondere Rolle ein. Im Rahmen der Studie wurde ein entsprechendes Modell der Umsetzung im

Unternehmen entwickelt. Dabei muss zum einen im Rahmen der Entwicklung die Erstellung der für den Zwilling notwendigen Mastermodelle sichergestellt werden. Zum anderen werden Informationen aus dem Digitalen Zwilling in die Entwicklung zurückgeführt, sodass neue Artefakte und IT-Systeme in der Gestaltung berücksichtigt werden müssen. Schließlich ist auch ein neues Betriebssystem für Digitale Zwillinge aufzubauen welches sich an die Betriebssysteme der Entwicklungsumgebung nahtlos anschließen sollte. Die Durchgängigkeit zwischen Entwicklungs- und Betriebsplattformen erlangt eine höhere Bedeutung, welche in allen Dimensionen des Umsetzungs-Modells abgebildet werden muss. Erst eine umfassende Abstimmung von Prozessen, Organisation, IT-Systemen, virtuellen und physischen Modellen schafft die Möglichkeit, zuverlässig Mehrwerte aus Digitalen Zwillingen zu generieren und den anvisierten Nutzen zu erreichen.

Richtlinien und Gesetze

Bislang bestehen keine eindeutig zuzuordnenden Normen und Standards zum Thema Digitaler Zwilling, sodass nachfolgend eine zusammenfassende Darstellung relevanter Sachverhalte erfolgt.

Durch die gesteigerte Verlinkung physischer Systeme und Informationstechnologien durch den Digitalen Zwilling ist die Gewährleistung der Datensicherheit eine der Hauptprämissen bei der Entwicklung Digitaler Zwillinge. Standards stellen hierbei eine wichtige technische und organisatorische Richtungsweisung dar. Zertifikate, welche die Einhaltung dieser Standards bescheinigen erhöhen die Glaubhaftigkeit der Produkte und Services. Die erhöhte Digitalisierung bietet eine breite Angriffsfläche für Cyberattacken, daher ist es unerlässlich die Sicherheitsrichtlinien simultan zum Aufbau des Digitalen Zwillinges zu berücksichtigen.

Durch die Nähe zu interagierenden oder nutzenden Menschen ist darüber hinaus eine Beachtung der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), welche Regeln die zur Verarbeitung personenbezogener Daten reguliert, sicherzustellen.

Normen lassen sich in drei Unterkategorien clustern: Funktionale Sicherheit, Organisationssicherheit und Informationssicherheit, aus denen sich die Hauptkategorie der industriellen Sicherheit ergibt.

Auf Basis des IEC 62443 Standards entwickelt sich ein ganzheitlicher Blick für das System und alle Bereiche der industriellen Sicherheit. Der Standard nimmt die Basisanforderungen der ISO 27001 Norm und die organisationsfokussierte Sicht des VDI 2182 auf. Die funktionale Sicherheit, welche den Teil der Sicherheit betrachtet, der von der konkreten Funktion des Systems ausgeht, wird maschinenbauspezifisch in den Normen IEC 62061 und ISO 14849 und generalisierter

von IEC 61508 abgedeckt. Der Standard ISO 12100 vermittelt generelle Richtlinien für das Design, die Risikoermittlung und die Risikoreduzierung. ISO/IEC 15408 spezifiziert die generellen Kriterien für die Einschätzung des Risikos bei Informationstechnologien.

Bei der Entwicklung eines Digitalen Zwillings ist die frühzeitige Beachtung der Standards entscheidend. Der ISO 12100 Standard definiert Terminologie und Methoden. Die Anwendung des ISO 12100 Standards minimiert ein Versagen des Systems während der Lebensdauer. Darauf basierend bietet die ISO 13849-1 detaillierte Anforderungen zur Risikominimierung in Design, Konstruktion und bei der Implementierung sicherheitsrelevanter Teile. Ungeklärt sind noch Fragen der autonomen Entscheidungsfindung durch Systeme, was – je nach Automatisierungs- und Autonomiegrad – für Digitale Zwillinge im Einsatz relevant sein kann.

Studiendesign und Studiendurchführung

*Wie wurde diese Studie strukturiert, aufgebaut und durchgeführt?
In welcher Branche sind die befragten Unternehmen tätig und wie groß sind diese?
Welche Rolle und Aufgaben haben die Befragten in ihrem Unternehmen?*

42% der Unternehmen sind Zulieferer im Mobilitätsbereich.

58% der Unternehmen haben mehr als fünfzigtausend Mitarbeitende.

35% der Befragten sind im IT-Bereich und 27% im Fachbereich Produktentwicklung tätig.

42% der Befragten haben mehr als 5 Jahre Erfahrung in ihrer Rolle.

46% üben eine Führungsrolle mit disziplinarischen Aufgaben und Personalverantwortung (Teamleitung) aus.



Studiendesign und Studiendurchführung

Studiendesign

Mit der vorliegenden Studie erfolgt eine Erhebung zum Stand des Einsatzes Digitaler Zwillinge bei Unternehmen im DACH-Raum. Das Studiendesign sieht ein Vorgehen in zwei Schritten vor. Im ersten Schritt werden Unternehmen zum aktuellen Stand des Digitalen Zwillings befragt und bewertet. Im zweiten Schritt werden die erhobenen Daten anonymisiert und im Rahmen der Studie ausgewertet. Auf Basis der Interviews werden zwei Ergebnistypen generiert: Eine individuelle Reifegradbewertung für jedes einzelne Unternehmen und die Studie Digital Twin Readiness Assessment mit dem Gesamtergebnis der fertigenden Industrie (vgl. Abbildung 7).

Das hierfür entwickelte Reifegradmodell basiert auf dem initial vorgestellten und verallgemeinerten Vorgehensmodell zur Einführung Digitaler Zwillinge und der enthaltenen Teilmodelle (vgl. Abbildung 8).

Aus diesem leiten sich die einzelnen Reifegrade wie folgt ab (vgl. Abbildung 9):

Reife „Verständnis und Einsatz“

Die Reife „Verständnis und Einsatz“ repräsentiert das Verständnis des Konzepts Digitaler Zwillinge. Es wird kritisch hinterfragt, welche Vorstellung im Unternehmen verfolgt wird und welche Vorkenntnisse und Erfahrungen vorhanden sind. Außerdem wird ermittelt, ob die erlangten Erkenntnisse eher auf theoretischen Modellen oder praktischen Erfahrungen beruhen.

Reife „Zielbild und Konzept“

Im Reifegrad „Zielbild und Konzept“ werden zwei Schwerpunkte bewertet. Zunächst erfolgt die Einschätzung des vorgestellten Zielbilds. Dabei wird vor allem erfragt, welche Motivation mit der Einführung verfolgt wird und ob dieses Ziel mit dem Konzept Digitaler Zwillinge erreicht werden kann.

Hierfür wird das verfolgte Konzept im allgemeinen Beschreibungsmodell für Digitale Zwillinge gemeinsam mit den Befragten dargestellt. Für die Detaillierung werden strategische Ziele, Veränderungen im Geschäftsmodell und am abgebildeten System

Abbildung 7: Vorgehen in der Erhebung

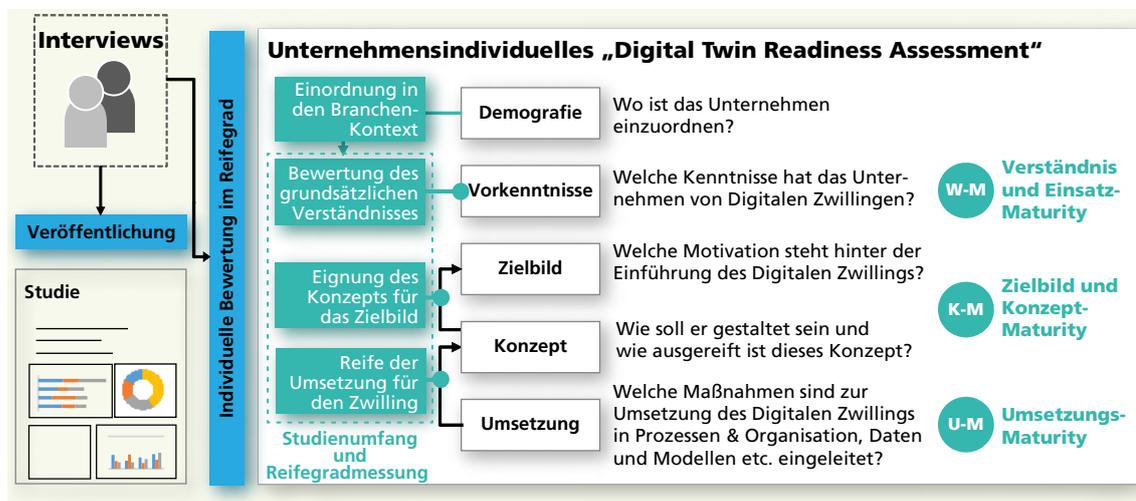
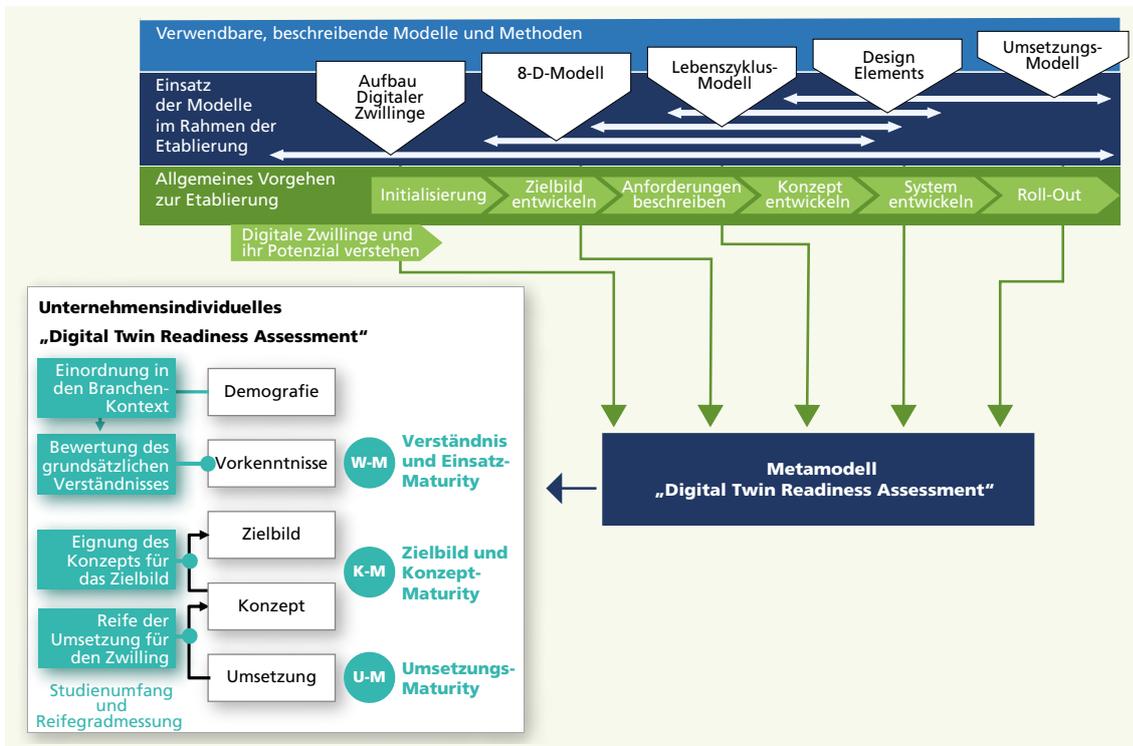


Abbildung 8: Ableitung der Reifegrade aus dem verallgemeinerten Vorgehen der Einführung Digitaler Zwillinge



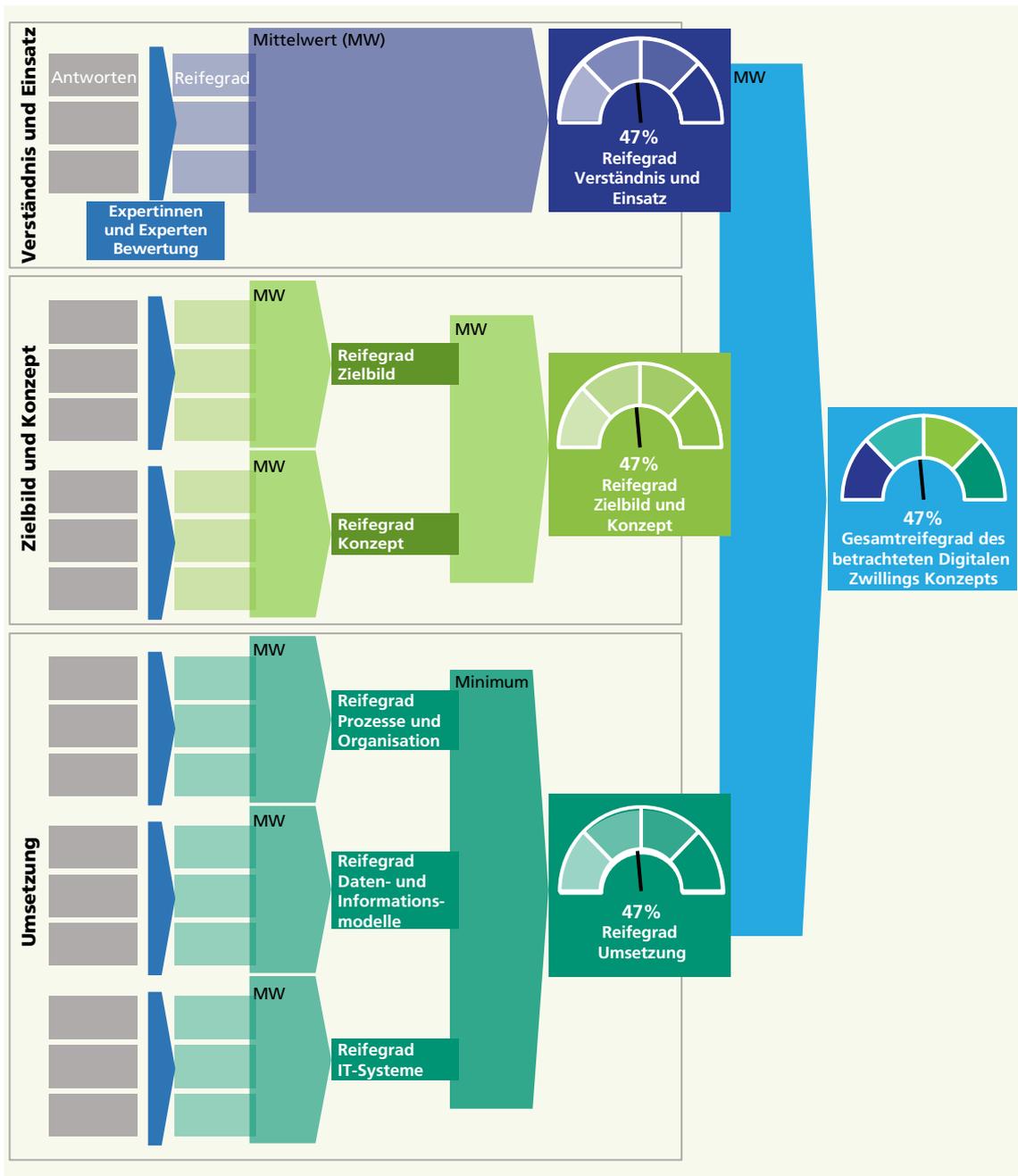
(Prozess oder Produkt) sowie der individuelle Nutzen erfragt. Das Zielbild dient zudem als Grundlage für die Bewertung nachfolgender Reifegrade - so auch dem Reifegrad des Konzepts. Dabei wird nicht nur auf die Stimmigkeit und Ganzheitlichkeit des Konzepts selbst eingegangen, sondern auch kritisch die Angemessenheit zum beschriebenen Zielbild überprüft. Um das initial beschriebene Konzept weiter zu detaillieren, wird gemeinsam mit den Befragten der Einsatz des jeweiligen Konzepts über den Lebenszyklus betrachtet. Dabei wird, sofern die bestehende Konzeptdetaillierung dies zuließ, in Anlehnung an das 8-D-Modell beschrieben, wo Schattendaten erhoben, Mastermodelle erstellt und Mehrwerte aus dem Einsatz des Digitalen Zwillings entstehen. Detaillierend werden die beabsichtigten Funktionen des Digitalen Zwillings, im Digitalen Zwillinge abgebildete Systemeigenschaften, Informationstransfer, Simulationen und Interaktionen erfragt. Ergänzend werden berücksichtigte Gesetze und Richtlinien ermittelt.

Reife „Umsetzung“

Das beschriebene Konzept wird im Rahmen der weiteren Bewertung berücksichtigt. Die Etablierung des Konzepts verfolgend, wird die Umsetzungs-Reife bewertet. Dabei wird, der Logik des Umsetzungs-Modells folgend, die Gestaltung von Organisation und Prozessen (Dimension 1), IT-Systemen (Dimension 2) und Daten- sowie Informationsmodellen (Dimension 3) bewertet. Hier gilt, dass der sich ergebende Reifegrad der Umsetzung von der schwächsten Ausprägung der Umsetzungs-Reifegrade in den Dimensionen des Umsetzungs-Modells geprägt wird. Dies folgt der Logik, dass eine einzelne Dimension des Umsetzungs-Modells die Gesamteffizienz des Unternehmensumfelds so weit beeinflusst, dass die anderen Dimensionen, eine zu niedrige Reife nicht ausgleichen können.

In der Dimension Prozesse und Organisation wird nach notwendigen Veränderungen in der Aufbau- und Ablauforganisation,

Abbildung 9: Berechnung der Reifegrade



sowie den notwendigen Skills für die Entwicklung und den Betrieb Digitaler Zwillinge gefragt. In der Dimension Daten- und Informationsmodelle werden die Aspekte Datenerzeugung, Datenmanagement und Modellverfügbarkeit untersucht. Im Rahmen der IT-Systeme werden die angestrebte Architektur, inklusive Teilsysteme, sowie der Datentransfer zwischen diesen Teilsystemen, betrachtet.

Die Bewertung der Reife erfolgte auf Basis der gegebenen Antworten pro Frage in einer einheitlichen Ordinalskala durch die Fachexpertinnen und -experten des Fraunhofer IPK: (Keine Reife, Idee, konkretes Konzept, Umsetzung begonnen, umgesetzt). Die Bewertungen erfolgten stets in Zweier-teams und im Abgleich aller Bewertungen, um eine einheitliche und möglichst objektive Bewertung zu erreichen.

Die numerische Abbildung wird entsprechend einer auf 1 skalierten maximalen Reife vorgenommen, sodass sich die folgende Zuordnung der Ordinalskala ergibt:

Ordinalskala	Num. Skala
Keine Reife	0
Ideenstadium	0,25
Konzeptstadium	0,5
Umsetzung gestartet	0,75
Bereits umgesetzt	1

Für die befragten Unternehmen werden zusammenfassende Darstellungen der bewerteten Reifegrade entwickelt und Möglichkeiten zum anonymen, verallgemeinerten Vergleich mit anderen Unternehmen gegeben. Für die beschriebenen Reifegrade werden die bewerteten Antworten als gleich gewichteter Mittelwert zusammengeführt um einen verallgemeinerten Repräsentanten der erreichten Reife darzustellen.

Auch in unternehmensübergreifenden Analysen wird die erreichte Reife als Mittelwert der separierten Gruppe gebildet.

Ergänzend und außerhalb der Reifegradbewertung wurde das Potenzial der Nachhaltigkeitsbewertung erhoben sowie die Vorstellungen zum Einsatz Digitaler Zwillinge in der Zukunft.

Die beteiligten Fachexpertinnen, -experten und Führungskräfte wurden durch die msg und das Fraunhofer IPK gezielt im Rahmen von Fachveranstaltungen und Interessensgruppen ausgewählt. Für die Teilnahme an der Studie wurden Unternehmen mit mehr als 1000 Mitarbeitenden aus verschiedenen Branchen der Fertigungsindustrie entlang der Wertschöpfungskette aus der DACH-Region akquiriert.

Für die einzelnen Fragen werden Analysen zu Antwortclustern durchgeführt. Dabei werden Schwerpunktaussagen und Abweichungen anteilig gezählt. In einem nächsten Schritt werden in Queranalysen zwischen demographischen Gruppen und den ermittelten Antwortclustern gesucht, sodass Tendenzen in den Aussagen ermittelt werden können.

Studiendurchführung

Die Experteninterviews wurden ab August 2019 bis März 2020 durchgeführt und insgesamt 26 Interviews mit Expertinnen, Experten und Führungskräften verschiedener Unternehmen geführt. Die Studie wurde dabei in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Vorbereitung der Interviews und Bereitstellung der Rahmenbedingungen sowie der Datenschutzerklärung
2. Unterzeichnung der Einwilligungserklärung durch die Interviewpartnerinnen und -partner
3. Durchführung der Interviews virtuell oder persönlich für 90 Minuten mit schriftlichem Protokoll
4. Auswertung der Protokolle und individuelle Bewertung des Reifegrades
5. Anonymisierung und Aggregation der Interviews und Auswertung über alle Interviews je Frage
6. Analyse und Interpretation der Auswertungen und Verdichtung zu Erkenntnissen
7. Visualisierung und Verschriftlichung der Erkenntnisse in der vorliegenden Studie
8. Durchführung der Zweitgespräche mit den teilnehmenden Unternehmen zur Vorstellung der individuellen Reifegradbewertung

In Vorbereitung des Interviews erhielten die Befragten in Begleitunterlagen Anhaltspunkte zum Ablauf sowie die Datenschutzzinformationen.

In den telefonisch und in persönlichen Gesprächen jeweils paritätisch durch die msg und das Fraunhofer IPK durchgeführten Interviews waren mindestens drei Personen beteiligt: Eine oder mehrere befragten Personen des jeweiligen Unternehmens, sowie eine interviewführende und eine protokollierende Person, der msg und des Fraunhofer IPK. Im Mittel dauerten die Gespräche etwa 90 Minuten.

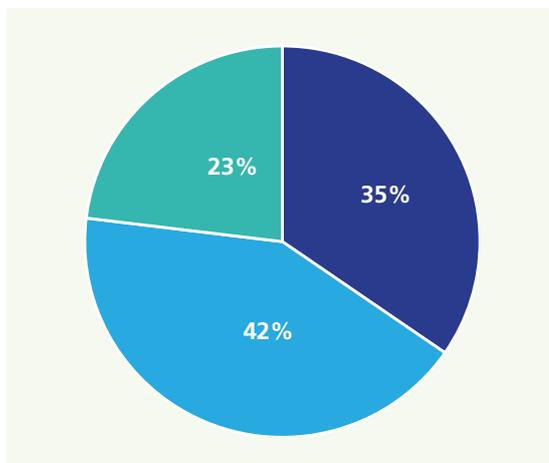
Im Rahmen der Auswertung wurden die Mitschriften der protokollierenden und Notizen der interviewführenden Personen zunächst zur weiteren individuellen Auswertung aufbereitet. Die individuelle Reifegradbewertung wurde auf Basis dieser Aufbereitung durch das Team aus Expertinnen und Experten des Fraunhofer IPK unter Unterstützung durch die msg durchgeführt. Anschließend wurden alle Interviewauswertungen in eine aggregierte Studiendatenbasis überführt. Diese wurde für die Studienergebnisse, wie sie in den nachfolgenden Kapiteln zu finden sind, anschließend durch das Team von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Fraunhofer IPK für einzelne Fragen, Queranalysen mit Branchen oder Fachbereichen analysiert, interpretiert und zentrale Erkenntnisse abgeleitet.

Optional war es für die beteiligten Unternehmen möglich Zitate zum Digitalen Zwilling abzugeben, die in die finale Veröffentlichung eingeflossen sind. Um die individuellen Ergebnisse der Reifegradbewertung zu diskutieren, werden zudem Zweitgespräche mit den Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern durchgeführt.

Demografische Verteilung der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Studie sind alle bei Unternehmen in der DACH-Region beschäftigt und über unterschiedliche Branchen entlang der Wertschöpfungskette der Fertigungsindustrie verteilt. Insgesamt stellt die Studie die diskrete Fertigung und Unternehmen, die Produkte oder Systeme herstellen und anbieten, in den Fokus. Es wurden keine reinen Dienstleistungsunternehmen interviewt. Die Befragten haben alle einen Bezug zum Thema Digitaler Zwilling. Dieses Kapitel gibt

Abbildung 10: Demografische Verteilung der Befragten nach Branche



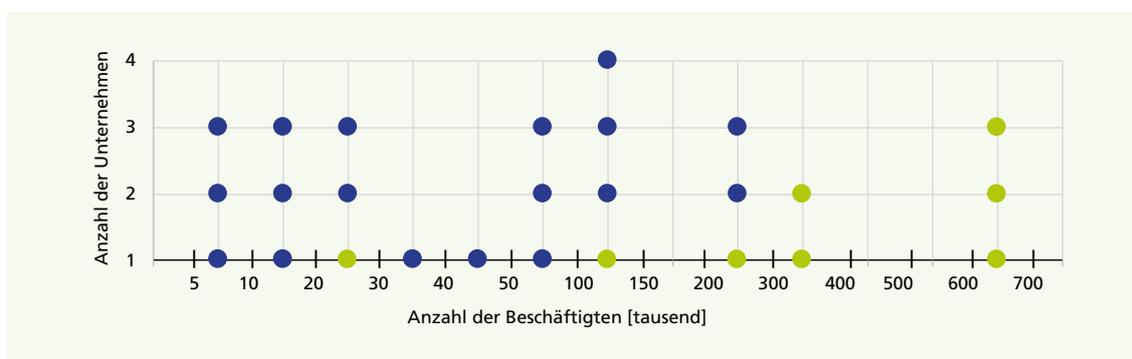
Legende für Abbildung 10

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

einen Überblick über die demografische Verteilung der Befragten bezüglich ihrer Rolle und Tätigkeit im Unternehmen. Den größten Anteil (42%) der Befragten machen Zulieferer im Bereich Mobilität aus (vgl. Abbildung 10). Der zweitgrößte Anteil der Befragten ist OEM (Original Equipment Manufacturer) für Mobilitätslösungen für den Straßen-, Schienen- oder Luftverkehr. Davon

stellt der Großteil (7 der 9 Befragten) Kraftfahrzeuge für den Straßenverkehr her. Darüber hinaus haben sechs Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Gerätetechnik teilgenommen.

Abbildung 11: Unternehmensgröße nach Zahl der Beschäftigten



Legende für Abbildung 11

- Befragte sind in einem Tochterunternehmen des Unternehmens tätig
- Befragte sind in einem eigenständigen Unternehmen tätig

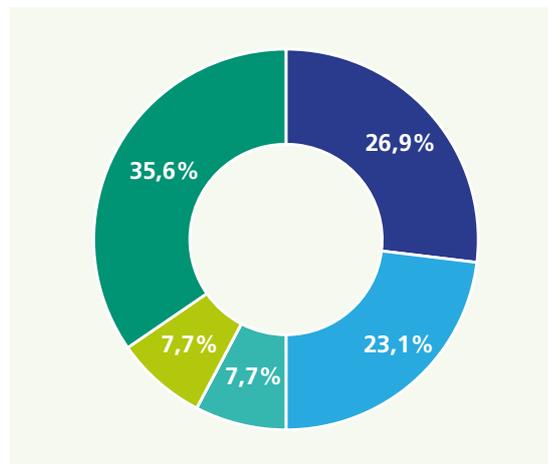
Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Unternehmen nach ihrer Größe. Die meisten Unternehmen haben mehr als fünfzigtausend Mitarbeitende, wobei drei Befragte in einem Konzern mit über sechshunderttausend Mitarbeitenden arbeiten. Acht Unternehmen sind eigenständige Tochterunternehmen der angetragenen Konzerne (siehe hellgrüne Punkte in Abbildung 11). Es wurden keine Startups und Kleinstunternehmen befragt.

Die Aufteilung der Befragten nach Fachbereichen ist in Abbildung 12 dargestellt. Die meisten Befragten sind entweder im IT-Bereich oder in der Produkt- bzw. Systementwicklung angesiedelt. Knapp 25% sind mit ihrer Aufgabe als Stabsstelle im

Unternehmen verortet. Die Fachbereiche der Befragten haben häufig (36%) mehr als fünfzig Mitarbeitende (siehe Abbildung 13). Der Rest repräsentiert mit je 24% der Befragten Bereiche mit unter fünfzig oder unter zehn Mitarbeitenden.

Abbildung 14 zeigt die Rolle der Befragten im Unternehmen. Ein Großteil der Befragten (46%) übt eine Führungsrolle mit disziplinarischen Aufgaben und Personalverantwortung (Teamleitung) aus. Knapp 20% sind jeweils Fachexpertinnen und -experten oder projektleitend. Abbildung 15 zeigt die Erfahrung der Befragten in dieser Rolle in Berufsjahren. Die meisten Befragten haben fünf oder mehr Jahre Erfahrung in dieser Rolle.

Abbildung 12: Demografische Verteilung der Befragten nach Fachbereich



Legende für Abbildung 12

■ Entwicklung	■ Produktion
■ IT	■ Management
■ Stabsstelle	

Abbildung 13: Anzahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter je Fachbereich

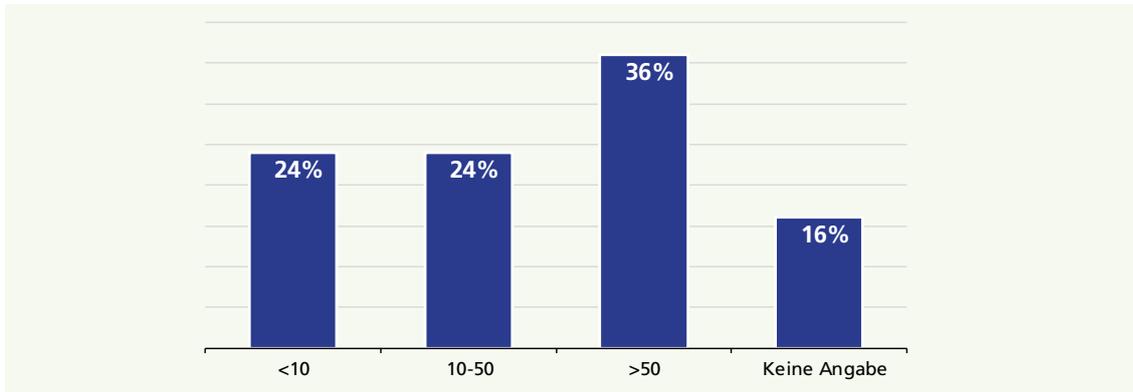
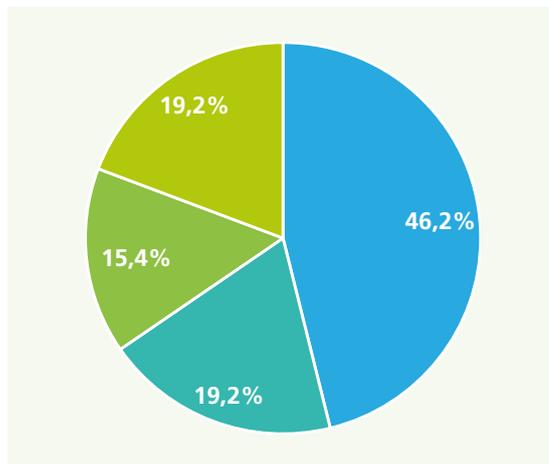


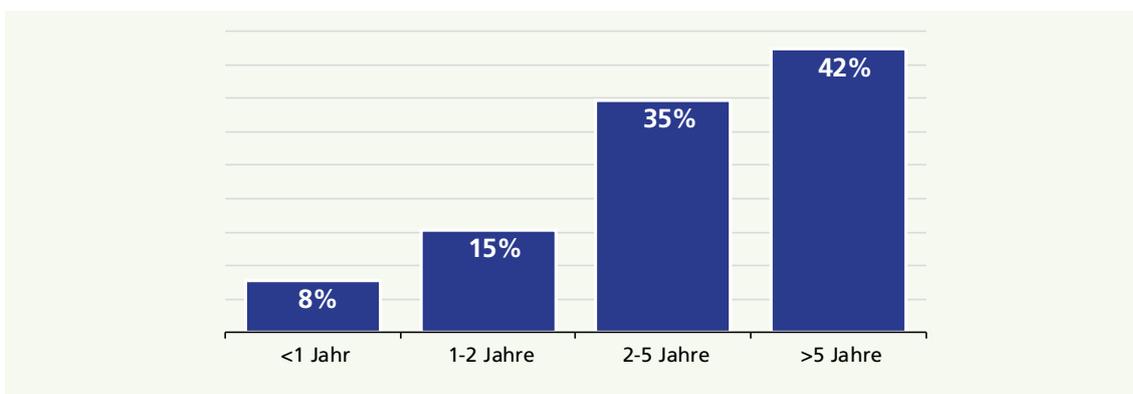
Abbildung 14: Rolle der Befragten im Unternehmen



Legende für Abbildung 14

- Teamleiterinnen und -leiter
- Projektleiterinnen und -leiter
- Fachexpertinnen und experten
- Programmleiterinnen und -leiter

Abbildung 15: Erfahrung der Befragten in dieser Rolle in Jahren





STUDIENERGEBNISSE

Verständnis und aktueller Einsatz in der Industrie

*Was versteht die Industrie unter Digitalen Zwillingen?
Wie weit ist der Einsatz Digitaler Zwillinge in den Unternehmen?*

20% der befragten Unternehmen haben keine einheitliche Definition Digitaler Zwillinge.

46% der befragten Unternehmen sind der Meinung, dass der Digitale Zwilling einen Digitalen Schatten enthält.

85% haben bereits Konzepte für ihren Digitalen Zwilling entwickelt. Nur 54% besitzen eine Strategie.

8% setzen bereits Digitale Zwillinge vollumfänglich ein. Immerhin 35% haben die Umsetzung bereits gestartet.

„Der digitale Zwilling bietet für AVL nicht nur einen Mehrwert in der virtuellen Abbildung aller relevanter Eigenschaften smarterer IoT Objekte entlang des Produktlebenszyklus, sondern vor allem in seiner Verwendung als fundamentale Grundlage für neue, digitale Angebote.“

Andrea Denger

Digitale Zwillinge und das entsprechende digitale Rückgrat sind die Schlüsseltechnologien um die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in Zukunft zu sichern!“

Dr. Jens Fürst

Verständnis und aktueller Einsatz in der Industrie

In der Luft- und Raumfahrt wurden erste Vorläufer Digitaler Zwillinge bereits in den 60er-Jahren mit Fokus auf Simulationsmodellen zur Absicherung von Flugzeugen und Raketen im Einsatz genutzt. Seit der Jahrtausendwende expandiert die Anwendung in unterschiedlichen industriellen Branchen. Es beschäftigen sich viele Unternehmen mit dem Konzept des Digitalen Abbilds von Produkten und vermehrt auch Prozessen und Services. Bedingt durch den vermehrten Einsatz Digitaler Zwillinge ist auch ein Anstieg an Definitionsansätzen und eine Ausdehnung der Einsatzfelder zu verzeichnen. Sowohl in der Wissenschaft wie auch in der Industrie werden zahlreiche durch Gremien, Interessensgruppen, Unternehmensverbänden und Forschungseinrichtungen propagierte Definitionen zum Digitalen Zwilling verfolgt. Darin sind unterschiedliche Ansichten zu den elementaren Bestandteilen, Inhalten, Aufgaben und Fähigkeiten von Digitalen Zwillingen zu finden. Dieses Kapitel geht den Fragen nach, wie Digitale Zwillinge in den jeweiligen Unternehmen definiert werden und wie die Befragten ihr Wissen zum Digitalen Zwilling aufbauen und weiterentwickeln. Zusätzlich wird das Einsatzstadium Digitaler Zwillinge in den befragten Unternehmen untersucht.

Kenntnisse in Bezug auf den Digitalen Zwilling

Die Erhebung des Vorwissens der Befragten wurde durch eine Benennung und Selbsteinschätzung bestehender Kenntnisse umgesetzt und durch Beispiele, Handlungen und Maßnahmen der Befragten ergänzt.

Im Mittel geben die Befragten an, ein gutes bis sehr gutes Vorwissen zu haben (siehe Abbildung 16). 12% der Befragten stufen ihr Vorwissen als gering, 46% als gut und 35% als sehr gut ein. 35% attestieren sich selbst sehr gutes Vorwissen.

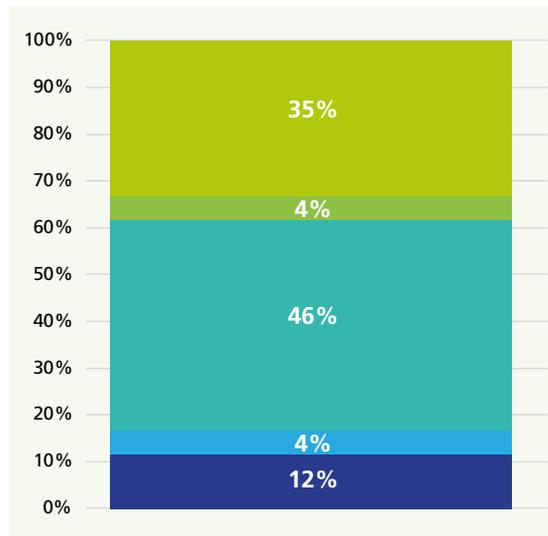
Im Abgleich mit den Branchengruppen der Befragten (siehe Abbildung 17) zeigt sich, dass Befragte aus dem Maschinen-, Anlagenbau und der Gerätetechnik ihr Vorwissen am höchsten einschätzen. Auch zuliefernde Betriebe aus den Mobilitätsbranchen ordnen sich mehrheitlich dem oberen Skalende zu. OEM der Mobilitätsbranchen zeigen die höchste Heterogenität im Umfang des Vorwissens. Im Abgleich der Fachbereiche der Befragten ergibt sich keine Tendenz.

Handlungen, Maßnahmen und Aktivitäten der Befragten korrelieren mit ihrem Vorwissen (siehe Abbildung 18). Dabei wird von 24% der Befragten auf konkrete Erfahrungen aus Anwendungsfällen verwiesen. Je 20% der Befragten sind in der Forschung zu Digitalen Zwillingen aktiv oder durch konkrete Bedarfe motiviert. Je 12 % beschäftigen sich, durch die Unternehmensstrategie motiviert, mit dem Thema, sind in Interessenverbänden aktiv oder stehen mit anderen Akteuren im Austausch.

Die Korrelation von Maßnahmen und selbst eingeschätztem Vorwissen (siehe Abbildung 19) deutet darauf hin, dass Erfahrungen aus Anwendungen, erwartungsgemäß zu einem sehr guten Vorwissen führen. Ebenso wirkt ein thematischer Austausch mit anderen Akteuren positiv auf das eingeschätzte Vorwissen. Die Beteiligung an Forschungsvorhaben geht zumeist mit einer Einschätzung von gutem bis sehr gutem Vorwissen einher.

FRAGE Welche Kenntnisse sind im Bezug auf den Digitalen Zwilling vorhanden?

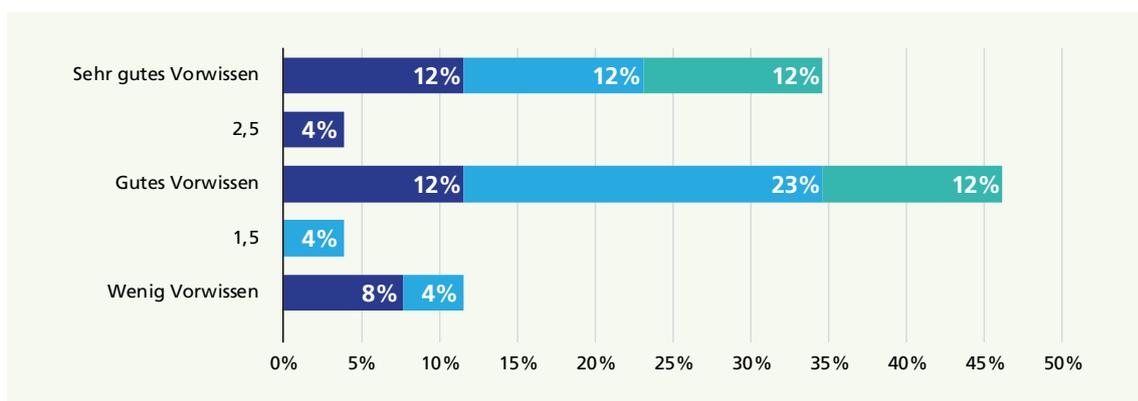
Abbildung 16: Selbsteinschätzung des Vorwissens durch die Befragten



Legende für Abbildung 16

- Wenig Vorwissen
- Gutes Vorwissen
- Sehr gutes Vorwissen
- Wenig bis gutes Vorwissen
- Gutes bis sehr gutes Vorwissen

Abbildung 17: Selbsteinschätzung des Vorwissens durch die Befragten nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 17

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)

Abbildung 18: Genannte Handlungen der Befragten zum Aufbau von Wissen

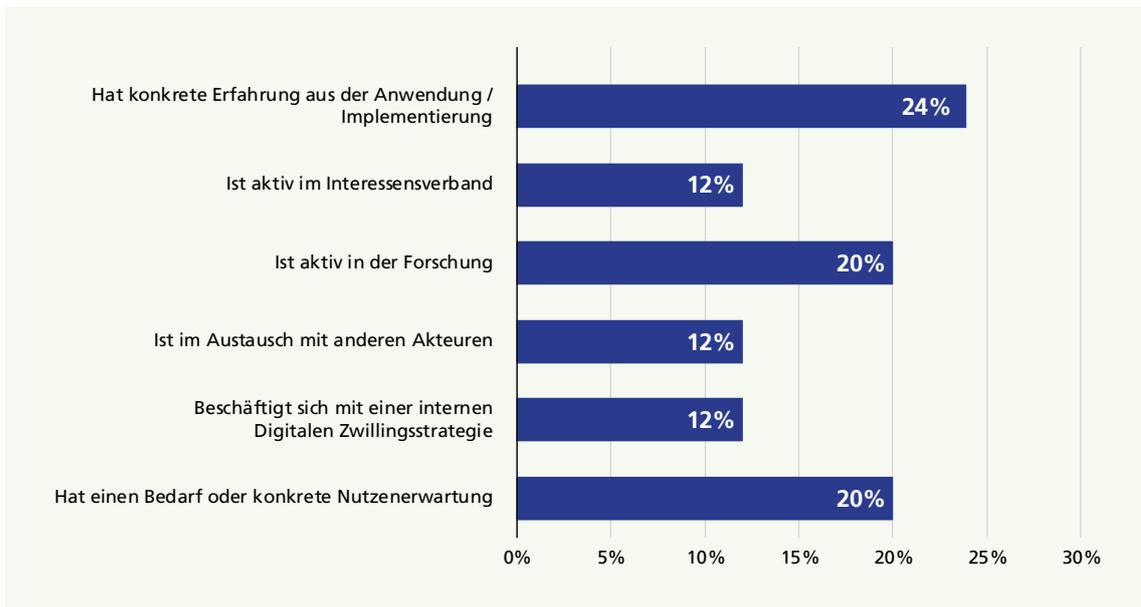
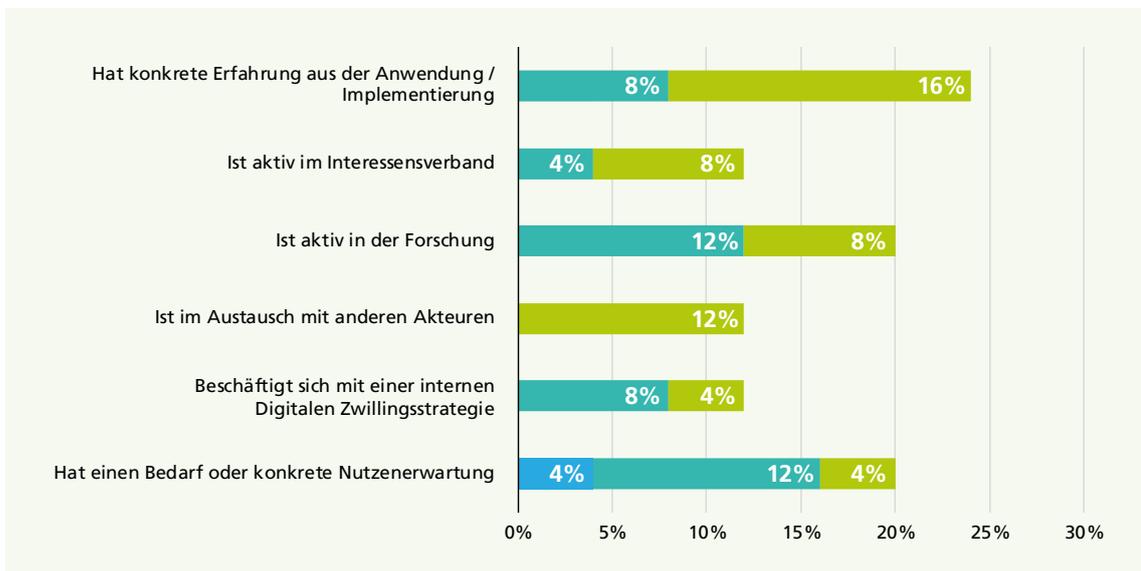


Abbildung 19: Selbsteinschätzung des Vorwissens der Befragten im Vergleich zu ihren Aktivitäten zum Wissensaufbau



Legende für Abbildung 19

- Wenig Vorwissen
- Gutes Vorwissen
- Sehr gutes Vorwissen
- Wenig bis gutes Vorwissen
- Gutes bis sehr gutes Vorwissen

Definition Digitaler Zwillinge in Unternehmen

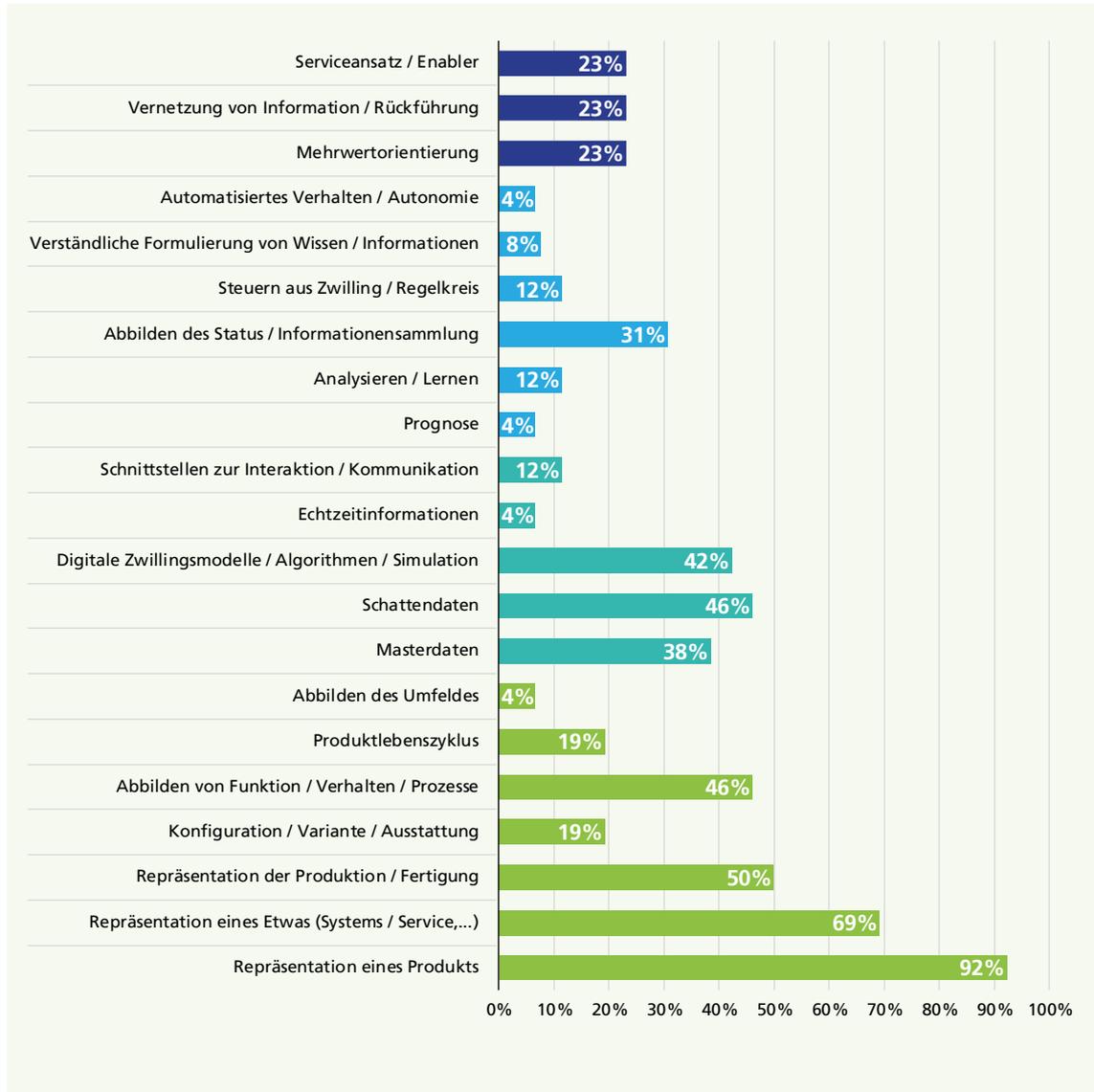
Parallel zu wissenschaftlichen Definitionsansätzen finden sich in Unternehmen häufig eigene, durch die Branchen, Produkt-, sowie den Produktions- bzw. Montagekontext und Anwendungsfälle geprägte Definitionen. Anhand dieser lassen sich unterschiedliche Schwerpunkte in der Anwendung des allgemeinen Konzepts erkennen. Auch fehlerhafte oder unvollständige Interpretationen ließen sich erkennen.

Die Aufschlüsselung genannter Aspekte zeigt, dass die überwiegende Mehrheit von 92% die Abbildung eines Produktes in der Definition vorsieht (siehe Abbildung 20). 69% der Befragten erweitern dies in Richtung der Abbildung eines allgemeinen Objekts und benennen beispielhaft Systeme und Services. Die Hälfte der Befragten berücksichtigt dabei auch die Abbildung von Produktionssystemen und Fertigungsprozessen. 19% der Befragten geben hier die Abbildung von Konfigurationen sowie Varianten von Produktsystemen und 46% die Abbildung von Funktionen, Verhalten und Abläufen an. Von 19% der Befragten wird im Rahmen der Definition auch die Betrachtung des Lebenszyklus erwähnt und in Einzelfällen wird auch die Abbildung des Systemumfelds benannt.

Eine Aufteilung der im Digitalen Zwilling enthaltenen Elemente wird von 77% der Befragten angeführt. Dabei werden von 38% der Befragten Masterdaten benannt und von 46% Schattendaten. 42% der Befragten berücksichtigen auch Funktionen und Modelle, beispielsweise Simulationen, als Teil der Digitalen Zwillinge. Mitunter wird in der Definition die Echtzeitfähigkeit Digitaler Zwillinge benannt. Auch enthält die Definition für 12% der Befragten den Aspekt der Kommunikationsfähigkeit Digitaler Zwillinge sowie das Vorhandensein von Schnittstellen.

Funktionen des Digitalen Zwillinges werden von 58% als Teil der Definition benannt. Dabei stellt die Abbildung des Systemstatus bzw. die Sammlung von Informationen mit 31% die meistgenannte Funktion dar. Gefolgt wird dies mit jeweils 12% von benannten Funktionen zur Steuerung durch oder zum Analysieren und Lernen von Digitalen Zwillingen. Partiiell werden Wissensaufbereitung und autonomes Verhalten benannt.

Der Nutzen des Digitalen Zwillinges ist bei 46% der Befragten Thema der Definition. Hier zeigen sich gleichverteilt die allgemeine Generierung von Mehrwerten, die Informationsvernetzung oder -rückführung sowie das Angebot von Services.

FRAGE *Wie definiert die Industrie Digitale Zwillinge?*
Abbildung 20: Berücksichtigte Aspekte der Definition Digitaler Zwillinge im Unternehmen im Detail

Legende für Abbildung 20

- Nutzen
- Fähigkeiten
- Elemente
- Abgebildetes System

Einsatzstadium Digitaler Zwillinge in der Industrie

Das Einsatzstadium Digitaler Zwillinge ist unter den Befragten unterschiedlich weit fortgeschritten. Nach eigenen Angaben (siehe Abbildung 21) verfügen 85% der Befragten über ein Konzept zum Einsatz Digitaler Zwillinge. Bemerkenswert ist dabei, dass nur 54% der Befragten auch eine Strategie zum Einsatz der Digitalen Zwillinge verfolgen. Etwa die Hälfte (46%) der Befragten haben Prototypen entsprechend ihrer Konzepte erstellt. Die Unternehmen sind teilweise noch in der Vorbereitung der Digitalen Zwillinge für die Marktreife (14%), während 15% der Befragten den Betrieb der Digitalen Zwillinge im Markt vorbereiten. Von 19% wurde dies teilweise und von weiteren 19% schon vollständig umgesetzt.

Diese Selbsteinschätzung kann mit den durch das Fraunhofer IPK bewerteten Reifegraden verglichen werden. Dies zeigt Abbildung 22. Ein Großteil der Befragten (38%) befindet sich demnach im Konzeptstadium, was grundsätzlich mit der Selbsteinschätzung der Unternehmen übereinstimmt. Entsprechend der Bewertungen im Reifegradmodell haben 35% der Befragten bereits mit der Umsetzung begonnen. Dieser Anteil ist in der Selbsteinschätzung deutlich geringer. Ursächlich liegt dies auch in der teils höheren Einstufung im Markteinsatz. Hier zeigt sich die Reifegradeinschätzung geringer (nur 8%) während in der Selbsteinschätzung 19% der Befragten einen teilweisen und weitere 19% einen vollständigen Markteinsatz angaben.

In der weitergehenden Analyse möglicher Ursachen für diese deutliche Abweichung der Einschätzung zur Umsetzung zeigte sich, dass einzelne Befragte ein Konzept des Digitalen Zwillinges verfolgen, was im detaillierten Vergleich mit der eingehend vorgestellten Definition (siehe „Wissenschaftliche Definition“ auf Seite 20) nicht als solches bezeichnet werden kann. Beispielsweise fehlt in solchen Konzepten eine kontinuierliche

Rückführung von Daten aus den realen Systemen. Insgesamt wurden 27% der durch die Befragten vorgestellten Konzepte identifiziert, welche nicht vollständig die Definition Digitaler Zwillinge erfüllen.

Im Abgleich der durch Expertinnen und Experten bewerteten Reife mit den Branchen Gruppen zeigt sich eine deutliche Differenz (siehe Abbildung 23). Die Konzepte im Maschinen- und Anlagenbau weisen dabei die höchste bewertete Reife auf. Hier erreichen 15% der Befragten das Konzeptstadium und 8% haben die Umsetzung bereits gestartet. Bei zuliefernden Unternehmen der Mobilitätsbranche zeigt sich eine breite Verteilung vom Ideenstadium (12%) über Konzepte (12%) und begonnenen Umsetzungen (15%) bis hin zur einzelnen umgesetzten Lösung. Eine noch größere Streuung ist bei den OEM der Mobilitätsbranche zu verzeichnen.

Im Vergleich des Umsetzungsgrades zum abgebildeten physischen System (siehe Abbildung 24) zeigt sich, dass sich unter den Befragten mit Abbildung von Produktionssystemen noch keine umgesetzten Konzepte finden lassen. Immerhin 8% der Unternehmen sind in der Vorbereitung der Umsetzung im Produktions- bzw. Montagekontext. Weitere 8% befinden sich im Konzeptstadium und 12% im Ideenstadium. Bei Ansätzen, die Produkte betrachten, zeigt sich erneut das komplette Reifegradspektrum von keiner Reife (4%), über Ideen (4%), Schwerpunkte des Konzeptstadiums (31%), der begonnenen Umsetzung (27%) bis hin zur vollzogenen Umsetzung (8%).

FRAGE *Wie weit sind die Unternehmen?
Werden schon Zwillinge eingesetzt?*

Abbildung 21: Einsatzstadium der Digitalen Zwillinge nach Selbsteinschätzung

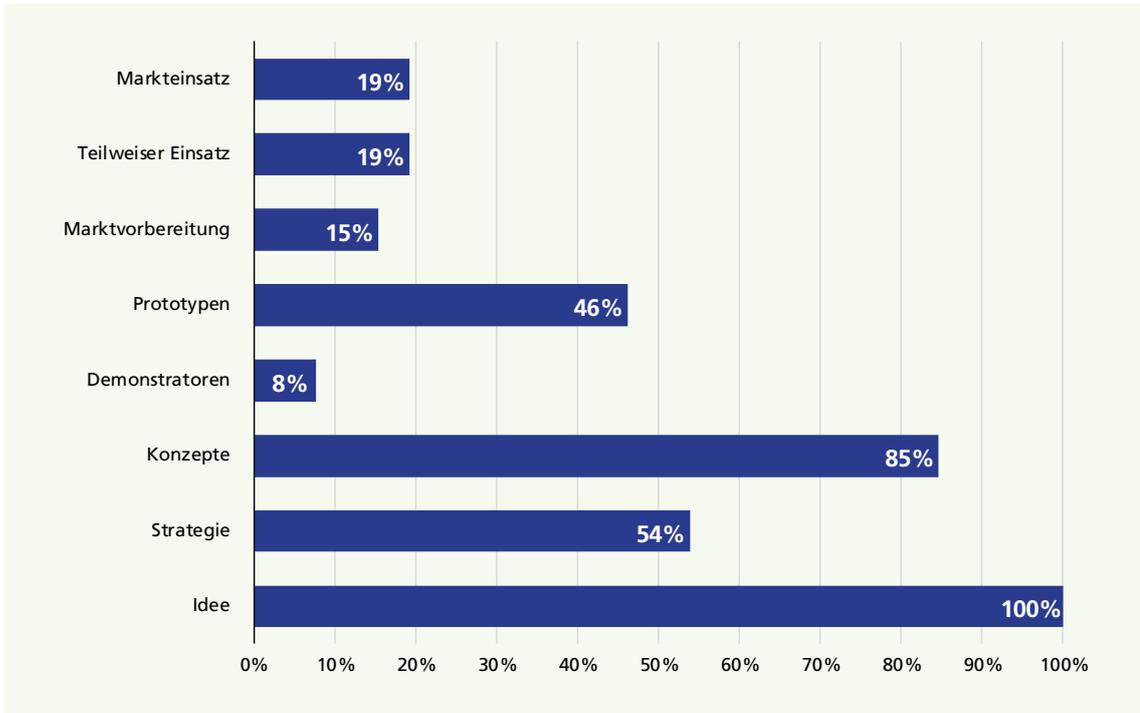


Abbildung 22: Bewertete Reife des Einsatzstadiums Digitaler Zwillinge

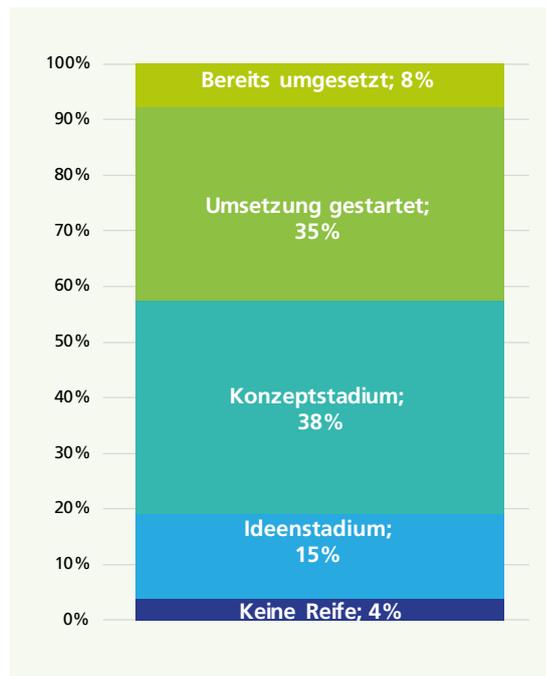
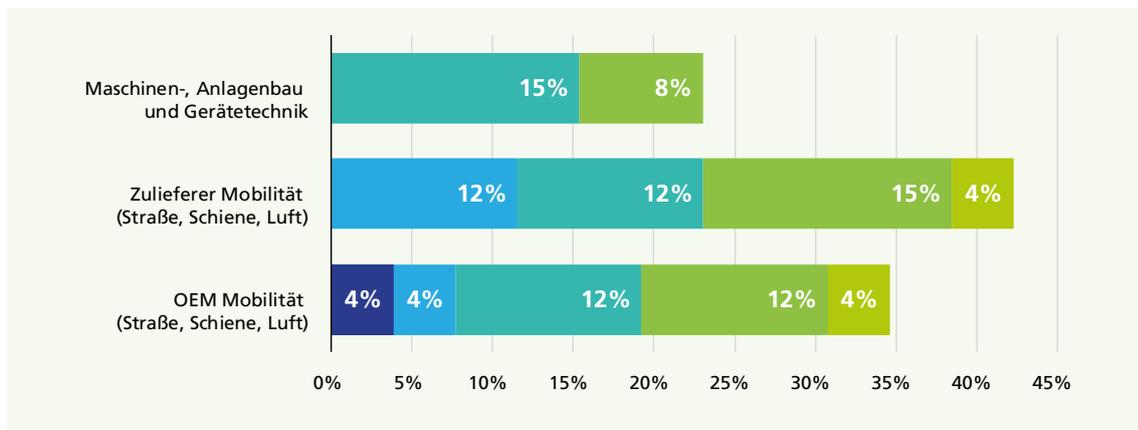


Abbildung 23: Bewertete Reife des Einsatzstadiums Digitaler Zwillinge nach Branchengruppe



Legende für Abbildung 23

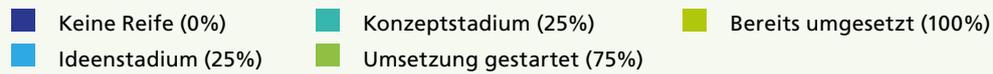
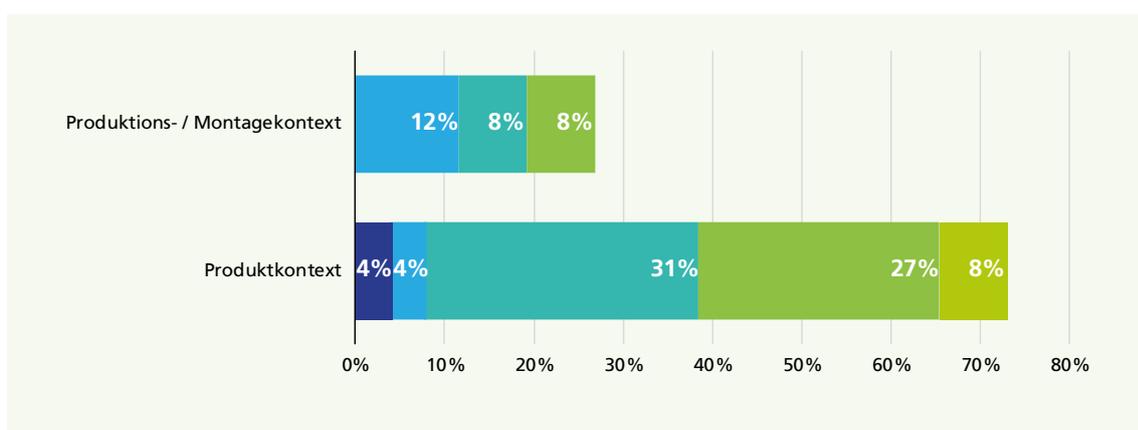
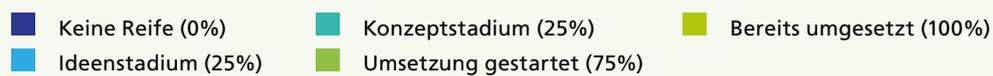


Abbildung 24: Bewertete Reife des Einsatzstadiums Digitaler Zwillinge nach abgebildetem System



Legende für Abbildung 24



Zusammenfassung und Fazit

Die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer haben zum Großteil ein gutes bis sehr gutes Vorwissen im Bereich Digitale Zwillinge. Einige haben bereits Erfahrung aus der Anwendung und Implementierung. Viele sind zusammen mit Forschungseinrichtungen oder Interessensverbänden aktiv. Dies ist zum Teil durch das grundsätzliche Interesse an Digitalen Zwillingen bedingt, das bei Befragten dieser Studie besteht. Dementsprechend hat keiner der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer angegeben, über kein Vorwissen zu verfügen.

Trotz inhaltlicher Unterschiede variieren die Definitionsansätze für Digitale Zwillinge in ihren Grundzügen weniger als ursprünglich erwartet. Etwa 20% der Unternehmen geben an, über keine einheitliche Definition zu verfügen. Eine große Einigkeit bestand darin, dass Digitale Zwillinge zumeist als digitale Abbilder eines Produktes aufgefasst werden. Auch die Relevanz von Daten aus dem Feld, der Digitale Schatten, ist für fast alle ein elementarer Bestandteil von Digitalen Zwillingen.

Obgleich Feedback to Design ein häufig benanntes Thema im Rahmen dieser Studie ist, beziehen sich überraschend wenig Unternehmen auf Digitale Masterdaten. Auffällig ist zudem, dass Digitale Zwillinge bisher größtenteils einfache Aufgaben übernehmen. Die Sammlung von Informationen und das Abbilden des aktuellen Status wird häufig als zentrale Aufgabe benannt. Das Thema Intelligenz des Digitalen Zwillinges, aber auch die Rückkopplung zum physischen Gegenstück wird im Rahmen der Definition entgegen der Erwartungen selten berücksichtigt. An dieser Stelle wird der Digitale Zwilling nur für vergleichsweise wenige Teilnehmerinnen und Teilnehmer als Enabler für Services gesehen. Im weiteren Verlauf der Studie wird das Thema Geschäftsmodelle und Services detaillierter betrachtet. Dort

zeigt sich, dass Geschäftsmodelle und Services durchaus eine hohe Relevanz für die konkreten Konzepte haben; in der Definition werden diese im Gegensatz dazu eher weniger genannt. Hier wird ein eher konservatives Bild des Digitalen Zwillinges gezeichnet.

Die Selbsteinschätzung zur Umsetzung in den Unternehmen zeigt einen hohen Anteil im Einsatz befindlicher Digitaler Zwillinge. Bei genauerer Betrachtung sind jedoch nicht alle vorgestellten Konzepte auch tatsächlich Digitale Zwillinge im Sinne der vorgestellten Definition. Entgegen der Angaben bei der Selbsteinschätzung befinden sich auch nicht alle Vorhaben im operativen Einsatz. Hier zeigt sich die unterschiedliche Auslegung des Begriffes Digitaler Zwilling. Häufig sind es sehr detailgetreue Simulationsmodelle oder Condition-Monitoring Systeme ohne Rückkopplung zum eigentlichen System. Insgesamt gibt es eine hohe Zahl an entwickelten Konzepten und Prototypen.



Geschäftsmodell, strategische Ziele und Mehrwert

*Wie beeinflusst der Digitale Zwilling Geschäftsmodelle?
Welcher Mehrwert soll durch Digitale Zwillinge geschaffen werden?
Wie müssen sich die abgebildeten Systeme dafür ändern?*

35% beabsichtigen ihr Geschäftsmodell mit dem Digitalen Zwilling zu verändern.

27% der Befragten beabsichtigen neue Produkte mithilfe des Digitalen Zwillings anzubieten.

15% erwarten keine Änderung in ihrem Geschäftsmodell.

31% hoffen, dass sie durch den Digitalen Zwilling bestehende Abläufe im Unternehmen beschleunigen können.

„Zur Befähigung unterschiedlicher Zukunftsthemen wie z.B. dem digitalen Nachverkauf benötigen wir unbedingt ein digitales Abbild all unserer physischen Produkte auf Hardware- sowie Softwareebene.“

Felix Prischenk

„Der Mehrwert eines Digitalen Zwillings ist in der Industrie umstritten und zeigt repräsentativ, dass klassische Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Einordnung von Digitalisierungslösungen notwendig gleichwohl nicht hinreichend sind. Der Mehrwert einer für die menschliche Wahrnehmung vereinfachten Datenagglomeration wird sich nur durch Erfahrungswerte von etablierten Systemen bewerten lassen.“

Katja Räntzsch

Geschäftsmodell, strategische Ziele und Mehrwert

Digitale Zwillinge werden vor dem Hintergrund unterschiedlicher Erwartungen, Strategien, des potentiellen Nutzens und erhofften Mehrwertes geplant und implementiert. Dieses Kapitel untersucht, welche Strategien für die befragten Unternehmen die Einführung des Digitalen Zwillings treiben und welche Veränderungen sie im Geschäftsmodell durch diese Einführung erwarten oder erhoffen. Auch der individuell erwartete Nutzen im jeweiligen Einsatzbereich wird abgefragt. Es wird zusätzlich der Frage nachgegangen, wie sich das physische Pendant des Digitalen Zwillings – also beispielsweise das Produkt, der Prozess oder das System - verändern wird oder werden muss, um zukünftig einen Digitalen Zwilling zu haben.

Strategische Ziele im Kontext Digitaler Zwillinge

Der Aufbau Digitaler Zwillinge ist im Allgemeinen kein Selbstzweck oder sollte zumindest keiner sein. Mit der Einführung werden strategische Ziele verfolgt. In der Befragung zeigt sich dabei ein heterogenes Bild. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die Befragten nicht konsequent zwischen persönlichem Nutzen aus Sicht des Einsatzbereiches und den strategischen Zielen des Unternehmens unterscheiden konnten. Das meist verfolgte Ziel unter den Befragten ist der Aufbau neuer Geschäftsmodelle (35% benannten diesen Punkt). Darauf folgt die Kostenreduktion durch den Digitalen Zwilling mit 31%. Danach folgen Simulationen sowie die virtuelle Abbildung und Absicherung.

Die gegebenen Antworten lassen sich in den folgenden Clustern gruppieren:

- Erhöhung der Produkt- oder Produktionsqualität
- Erweiterung und Veränderung der Produktfunktionen
- Steigerung von Effizienz, Effektivität, oder Optimierung der Prozesse
- Erweiterung oder Neugestaltung der Geschäftsmodelle
- Reduktion von Kosten
- Steigerung der Automatisierung in der Wertschöpfung

Abbildung 25 zeigt die Verteilung der strategischen Ziele im Vergleich zum abgebildeten System. Dabei zeigt sich, dass Konzepte der Produktion und Montage vor allem die Produkt- und Produktionsqualitätserhöhung sowie die Kostenreduktion fokussieren. Produktabbildende Konzepte sehen neben der Qualitätserhöhung die Erweiterung um Produktfunktionen und Differenzierung gegenüber Mitbewerbern auch die Effizienzsteigerung als deutlichen Antrieb für den Einsatz des Digitalen Zwillings. Während 37% der befragten Unternehmen, die ein Produktkonzept verfolgen, den Aufbau neuer Geschäftsmodelle planen, spielen Kostenreduktion (16%) und Automatisierung (16%) eine untergeordnete Rolle. Automatisierung wurde von den befragten Unternehmen, die Produktionskonzepte verfolgen, nicht benannt.

Im Vergleich der Branchengruppen werden weitere Unterschiede deutlich. Die OEM aus dem Mobilitätsbereich setzen deutlich auf die Qualitätserhöhung von Produkt und Produktion (von 89% der Befragten benannt, vgl. Abbildung 26).

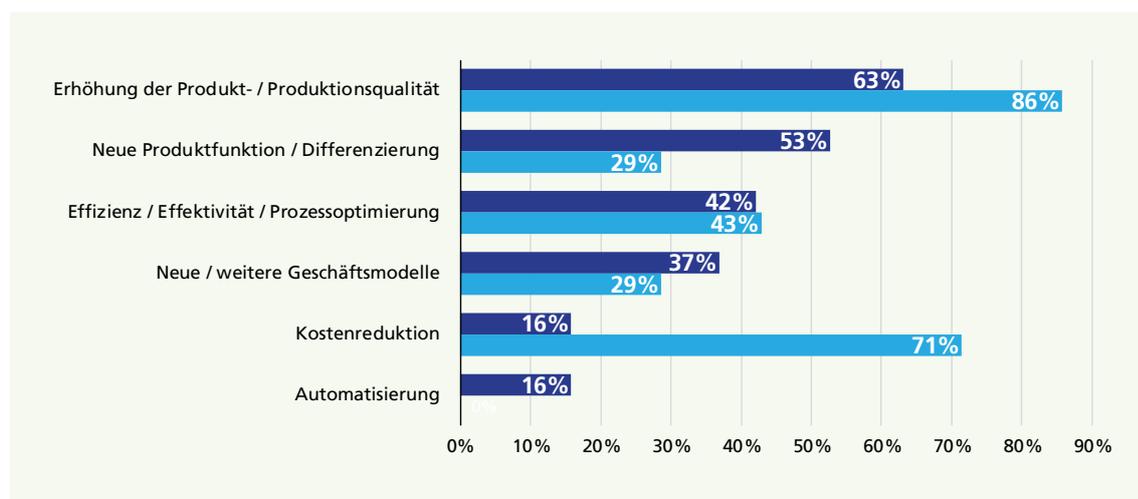
Auch für den Maschinen- und Anlagenbau sowie die Gerätetechnik findet sich hier das häufigste genannte strategische Ziel (67%). Daneben spielt die Kostenreduktion (50% aus dem Maschinen-, Anlagenbau erwähnten dies) eine wesentliche Rolle. Für Zulieferer des Mobilitätsbereichs sind die Themen Qualität, erweiterte Produktfunktion und Effizienzsteigerung (je 55% der Befragten Zulieferer erwähnten diese) von ähnlich hoher Relevanz.

Es lassen sich intern und extern wirkende Ziele der Unternehmen unterscheiden. Intern wirkende Ziele optimieren dabei

vornehmlich Vorgänge im Unternehmen, beispielweise die Abläufe der Wertschöpfung oder die verfügbaren Informationen im Rahmen von Entwicklung oder Produktion. Extern wirkende Ziele haben zumeist Einfluss auf das Produkt oder dessen Funktion – beispielsweise in der Qualität oder im Umfang. Diese Unterschiede zeigen sich vor allem im Vergleich der vom Konzept betrachteten Systeme. Werden Produkte im Zwillingkonzept abgebildet, so werden deutlich öfter extern wirkende Ziele verfolgt (84%) als bei Konzepten die Produktions- oder Montagekontexte abbilden (43% verfolgen extern wirkende Ziele, vgl. Abbildung 27). Intern wirkende Ziele werden, in umgekehrter Reihenfolge zu den extern wirkenden Zielen, vermehrt von solchen Unternehmen verfolgt, die Produktionen und Montagen abbilden.

FRAGE Welche strategischen Ziele werden in Bezug auf den Digitalen Zwilling verfolgt?

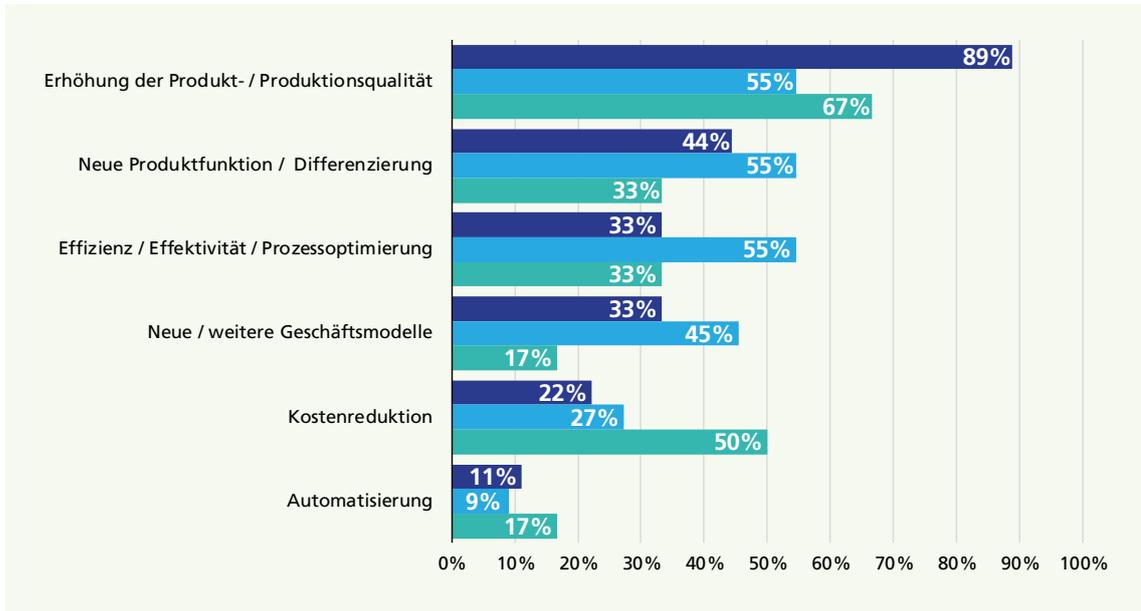
Abbildung 25: Strategische Ziele im Kontext der Einführung Digitaler Zwillinge im Vergleich zum abgebildeten System



Legende für Abbildung 25

■ Produktkontext ■ Produktions- / Montagekontext

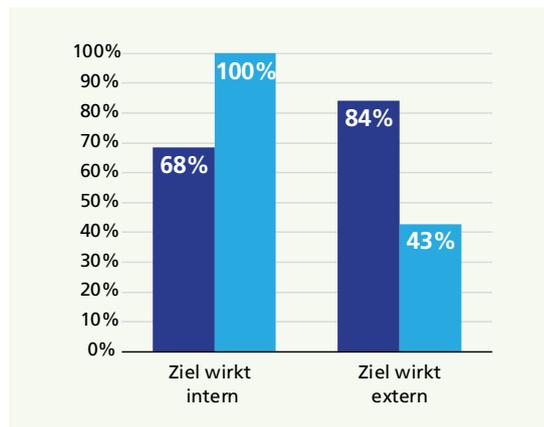
Abbildung 26: Strategische Ziele im Kontext der Einführung Digitaler Zwillinge im Vergleich zur Branchengruppe



Legende für Abbildung 26

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

Abbildung 27: Wirkungsschwerpunkt der verfolgten Ziele



Legende für Abbildung 27

- Produktkontext
- Produktions- / Montagekontext

Veränderungen der Geschäftsmodelle durch Digitale Zwillinge

Der Digitale Zwilling wird existierende und zukünftige Geschäftsmodelle in Unternehmen auf unterschiedliche Art und Weise beeinflussen – bisher gibt es hierfür jedoch kein klares branchenübergreifendes Bild. Digitale Zwillinge werden ein elementarer Teil des Geschäftsmodells oder dieses verändern. In einigen Unternehmen werden sie gar keine Veränderung hervorrufen, wenn sie beispielsweise rein für den unternehmensinternen Einsatz geplant werden. Schon bei der Frage nach strategischen Zielen wurden neue Geschäftsmodelle genannt (vgl. Abbildung 26). Die Umstellung auf alternative Geschäftsmodelle oder die Erweiterung um neue Geschäftsmodelle findet beispielsweise im Maschinen-, Anlagenbau und der Gerätetechnik kaum Erwähnung (17% gegenüber 33% und 45% in den anderen Branchen). Wie genau sich die Geschäftsmodelle ändern, zeigt Abbildung 28. Demnach finden die Erweiterung der Geschäftsmodelle und der Verkauf von Services die häufigste Erwähnung (je 38% der Befragten benannten diese). Bei Detailbetrachtung fällt auf,

dass der Verkauf von Services dabei besonders von Unternehmen verfolgt wird, die Zwillingskonzepte für Produkte aufbauen (47% gegenüber 14%). Mehr als ein Viertel (27%) der Befragten beabsichtigt, neue Produkte anzubieten.

Die Befragten sollten die Stärke der Veränderung auf einer Skala einschätzen; dabei zeigt sich eine Tendenz zu starken Änderungen (vgl. Abbildung 29). Insgesamt gehen 27% der Befragten von einer vollkommenen Umstellung des Geschäftsmodells aus. Etwa 27% erwarten die Verschiebung des Schwerpunkts im Geschäftsmodell. Lediglich ein kleiner Teil der Befragten erwartet, dass es keine Änderungen geben wird. Im Branchenvergleich zeigt sich, dass Maschinen- und Anlagenbauer von veränderten Schwerpunkten ausgehen. Zulieferer erwarten vollkommene Umstellungen oder veränderte Schwerpunkte. Bei den OEM teilt sich das Bild: 33% erwarten vollkommene Umstellungen, 33% erwarten Ergänzungen in ihrem Geschäftsmodell (vgl. Abbildung 29).

FRAGE *Wie werden Geschäftsmodelle in Folge der Einführung Digitaler Zwillinge angepasst?*

Abbildung 28: Veränderungen im Geschäftsmodell

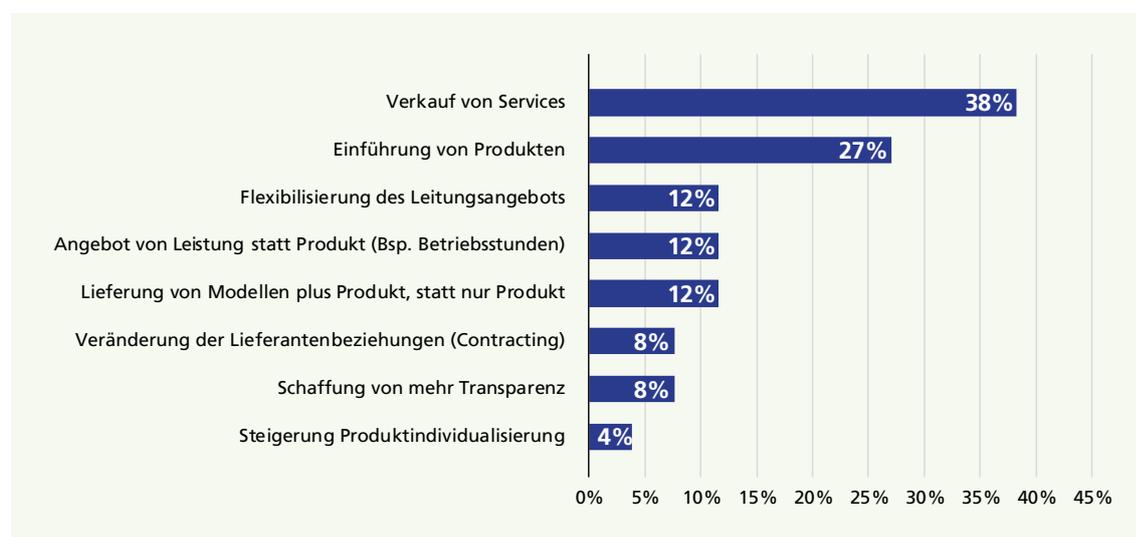
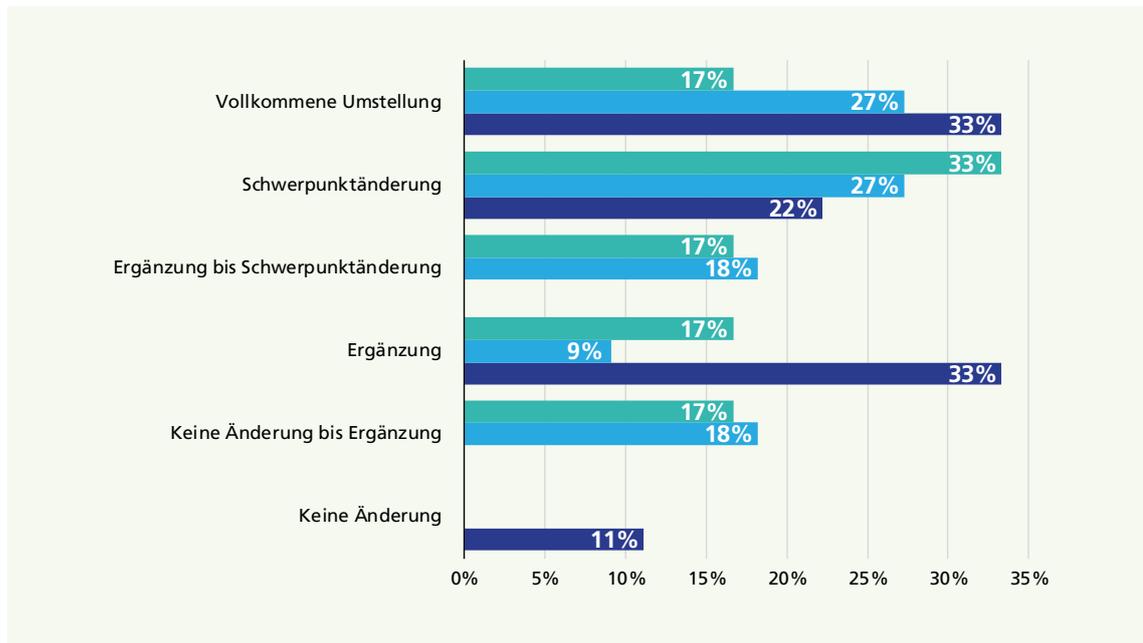


Abbildung 29: Stärke der Veränderung des Geschäftsmodells nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 29

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

Mehrwert im Einsatzbereich

Neben den strategischen Zielen ergibt sich auch ein erwarteter Mehrwert im Einsatzbereich des Digitalen Zwillings. Hier überwiegt die Erwartung, die benötigte Zeit für unterschiedliche Prozesse reduzieren zu können (31%). Zudem soll der Digitale Zwilling die Effizienz steigern (27% der Befragten) und Kosten reduzieren (27% der Befragten). Unter den Befragten erwarten 23% weitere Erkenntnisse zum Produkt, wie beispielsweise über das Produktverhalten im Feld, die verwendeten Funktionen, Ausfallzeiten oder Betriebsmodi. Von 19% der Befragten wurde auch eine verbesserte Bindung der Kundinnen und Kunden an das Produktsystem erwartet, das sich aus dem verbesserten Verständnis des Produkteinsatzes ableitet.

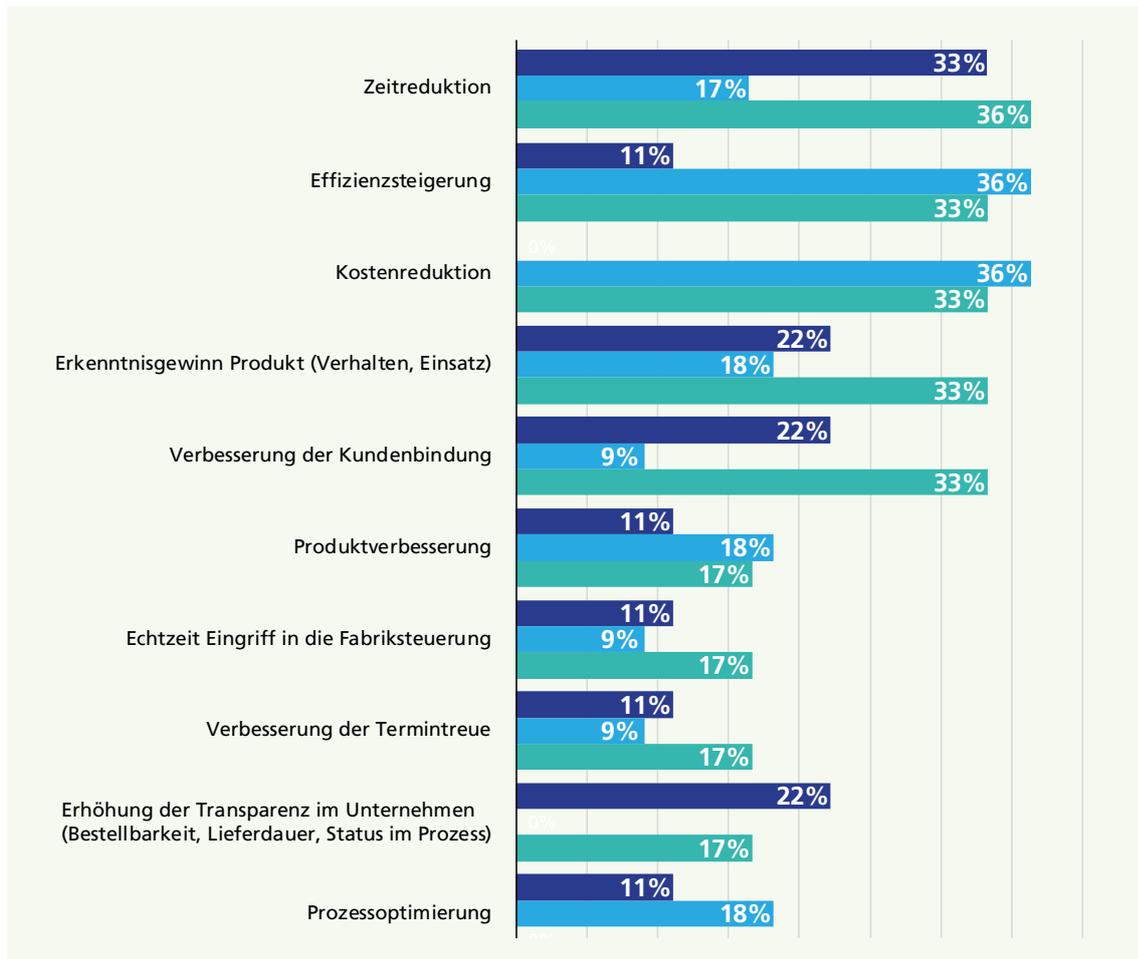
Neben diesen häufigsten Nutzenerwartungen ergaben sich weitere benannte Punkte:

- Verbesserte Transparenz und Termintreue
- Optimierte Prozesse
- Bessere interne und externe Zusammenarbeit
- Flexiblere und automatisierte Produktion

Im Branchenvergleich (vgl. Abbildung 30) zeigt sich, dass OEM und Zulieferer der Mobilitätsbranchen vor allem Prozessverbesserungen und Effizienzoptimierungen erwarten. Im Maschinen- und Anlagenbau sowie der Gerätetechnik steht hingegen auch die Wissensgewinnung im Vordergrund. Anders als bei OEM wurde bei Zulieferern der Mobilitätsbranchen und den Maschinen- und Anlagenbauern auch die Kostenreduktion benannt.

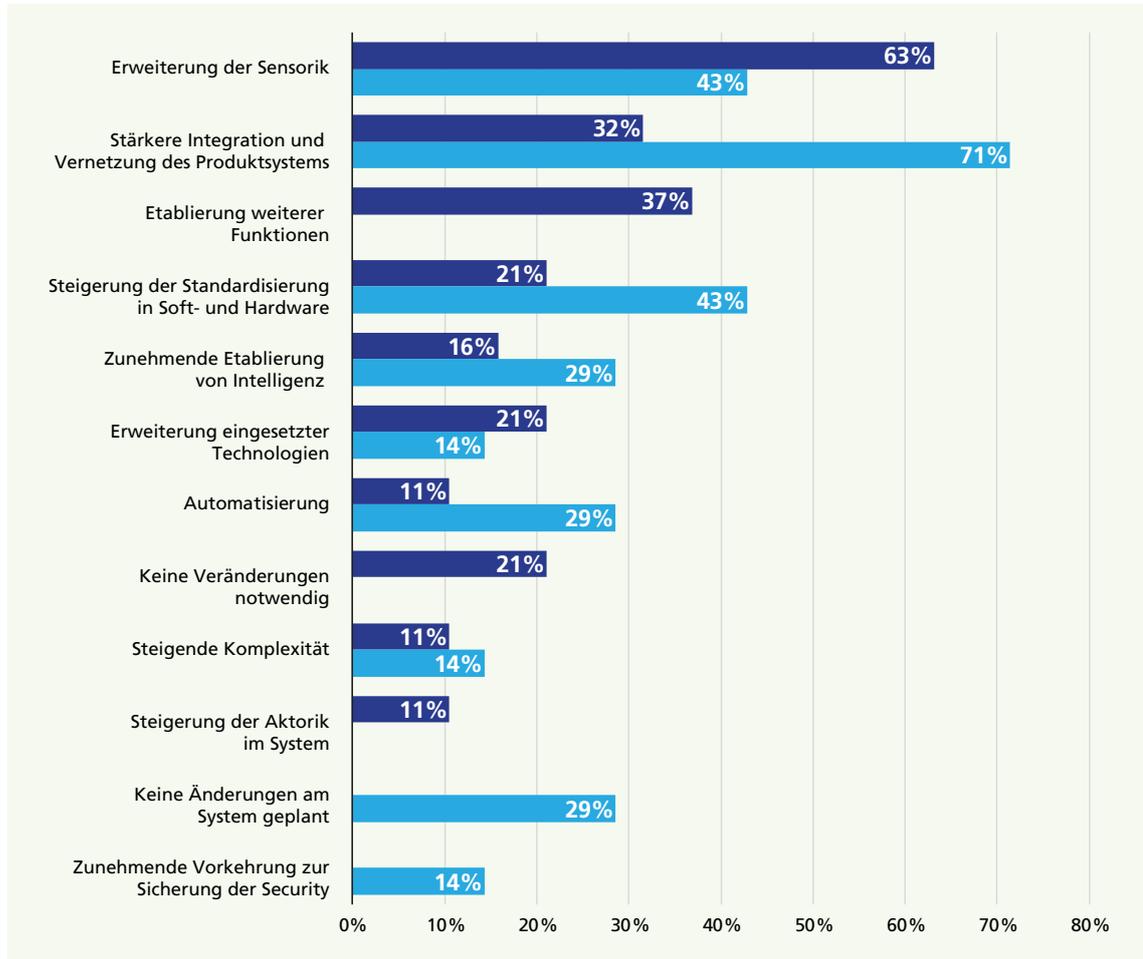
FRAGE Welchen Mehrwert sollen Digitale Zwillinge im Einsatzbereich bringen?

Abbildung 30: Erwarteter Nutzen im Vergleich nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 30

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

FRAGE *Wie verändern sich Systeme durch die Einführung von Digitalen Zwillingen?*
Abbildung 31: Veränderungen am Produkt nach dem System des Digitalen Zwillinges

Legende für Abbildung 31

■ Produktkontext ■ Produktions- / Montagekontext

Veränderungen an den Produktsystemen

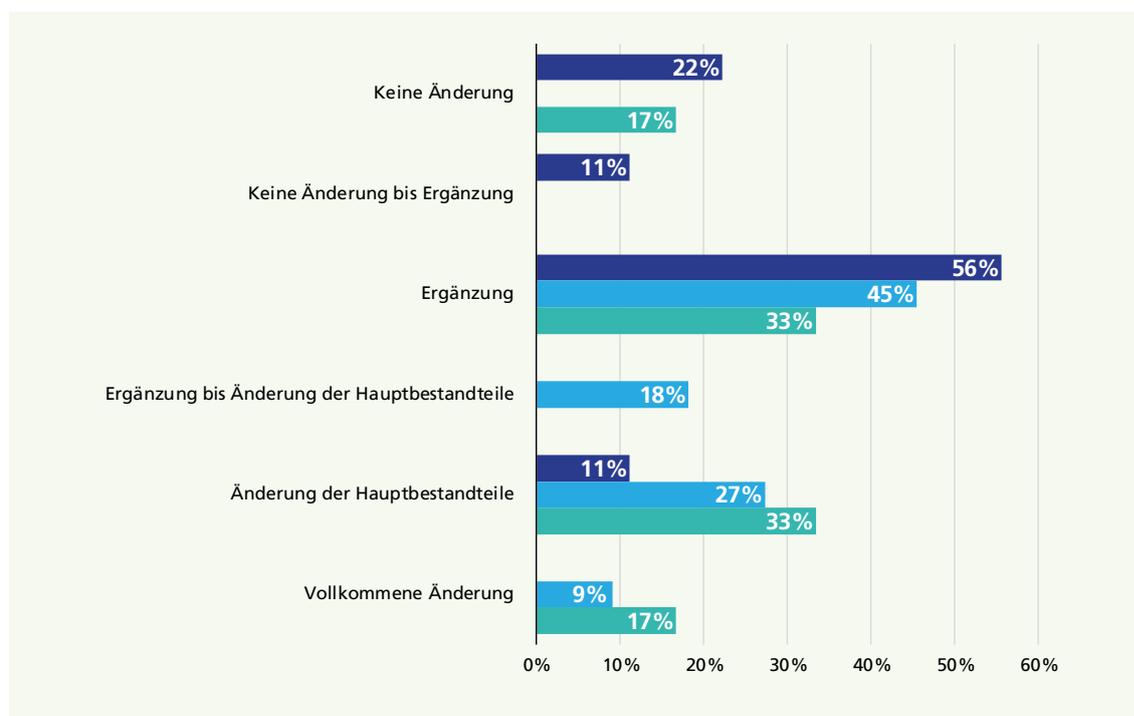
Um die geplanten Ziele erreichen zu können, müssen zum Teil auch Veränderungen am Produkt bzw. dem abgebildeten System umgesetzt werden. Die benannten, erwarteten Veränderungen finden sich in Abbildung 31. Demnach wird vor allem von einer Erweiterung des Systems mit Sensorik ausgegangen. Daneben wird die Vernetzung der Produktsysteme und Integration

vorangetrieben. Besonders in Konzepten der Produktion und Montage benannten dies 71% der Befragten. Für die Umsetzung der Produktzwillinge sehen 37% der Befragten den Bedarf neue, bislang nicht vorhandene, Funktionen in die Produkte zu integrieren. Bei Konzepten der Produktion und Montage spielt dies, der Befragung nach, keine Rolle. Hierfür gibt es zwei Hauptgründe: die Anlagen sind bereits kommunikations- und steuerungsfähig oder es

wird eine manuelle Datenübertragung angestrebt (siehe „Konzepte Digitaler Zwillinge“ auf Seite 64). Hingegen benannten 43% der Befragten im Produktionskontext die Standardisierung als wesentliches Merkmal. Dies sahen auch 21% der Befragten, die Produkte im Digitalen Zwilling abbilden werden. Daneben finden zunehmende Intelligenz in den Systemen sowie der Einsatz neuer Technologien Erwähnung. Im Produktions- und Montage-Kontext spielt die Automatisierung eine große Rolle (29%).

Bei der Frage der Veränderungsstärke auf einer Skala von „keine Änderungen am System“ bis „vollständige Änderung des Systems“ zeigt sich, dass OEM der Mobilitätsbranchen eher von keinen oder schwachen Veränderungen ausgehen (vgl. Abbildung 32). Zulieferer der Mobilitätsbranchen und Maschinen- / Anlagenbauer und Gerätetechniker erwarten eine stärkere Veränderung, sich wandelnde Hauptbestandteile oder sogar vollkommene Änderungen.

Abbildung 32: Stärke der Veränderung am Produkt / System nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 32

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

Zusammenfassung und Fazit

In der Gesamtheit zeigt sich, dass zahlreiche Erwartungen, Strategien und Hoffnungen mit dem Digitalen Zwilling in Bezug auf neue Geschäftsmodelle verbunden werden. Mit der Thematik Digitaler Zwillinge treten, den Studienergebnissen nach, bestehende Herausforderungen im Entwicklungsumfeld in den Vordergrund (bspw. Datendurchgängigkeit, Effizienz, Verfügbarkeit von Informationen). Im Rahmen der Umsetzung Digitaler Zwillinge werden diese zumeist mit angegangen.

Eine Vielzahl der Befragten, im Besonderen in den Mobilitätsbranchen, verfolgt die Absicht, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. Dabei wird zunehmend auch auf Service-basierte Ansätze gesetzt, die im Rahmen der Digitalen Zwillinge angeboten werden sollen. Neben diesen werden neue Produkte konzipiert, die auf Digitalen Zwillingen beruhen. Begleitet wird dies von einer zunehmenden Flexibilisierung des Leistungsangebots. Auch der Vertrieb von Leistungen der Produktsysteme anstatt des Verkaufs dieser und der Vertrieb von systembeschreibenden Modellen kommt für einzelne Unternehmen in Frage. All diese Veränderungen am Geschäftsmodell werden als stark oder sogar als disruptiv eingeschätzt.

Andere Unternehmen verfolgen eher intern wirkende Ziele in ihren Strategien. Beispielsweise stehen Kostenreduktion, Effizienzsteigerung und Qualitätsoptimierung im Fokus der Befragten. Im Speziellen die Qualitätsoptimierungen beruhen dabei auf Informationsrückführungen aus dem Feld und Simulationsmodellen, die auf Basis der Felddaten optimiert werden. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass sowohl extern wie auch intern wirkende Ziele verfolgt werden. In Betrachtung der Mehrwerte für die Befragten zeigen sich erneut die klassischen Herausforderungen bestehender Entwicklungsumgebungen (bspw. Effizienz, Datendurchgängigkeit, Informationsverfügbarkeit, Prozessoptimierung). Zudem

erwarten sich die Unternehmen eine bessere Kundenbindung und erweitern ihr Verständnis von Produkten auf vernetzte Systeme und Services. Es ist also davon auszugehen, dass Digitale Zwillinge die Entwicklung nicht nur insofern ändern, als dass sie zukünftig mit entwickelt werden, sondern auch, dass ihr Einsatz im Rahmen der Entwicklung, Produktionsplanung und Produktion auch die Arbeitsweise selbst verändert.

Für die Umsetzung am Produkt sind datenaufnehmende Technologien (Aufbau des digitalen Schattens), wie auch Kommunikationssysteme (Weiterleitung der Schatten-daten) und neue Funktionen zu erwarten. Dieses Bild bestätigt sich unter den Befragten. Daneben wird auch auf die Notwendigkeit der Standardisierung hingewiesen. Dies steht im Einklang zur Erwartung der Kombination und Interkommunikation von Digitalen Zwillingen. Während die Veränderungen am Geschäftsmodell noch sehr stark gesehen wurden, werden die eingeschätzten Veränderungen am Produkt als weniger stark bewertet. Die gegebenen Einschätzungen verteilen sich von keiner Änderung bis zur Ergänzung bestehender Produkte und sich verändernder Hauptbestandteile.

Eine große Herausforderung für die Umsetzung von Geschäftsmodellen mit der Hilfe von Digitalen Zwillingen ist die Datenbereitstellung aus der Nutzungsphase. Insbesondere für die Hersteller von Produkten im B2C-Bereich ist dies eine schwierige Aufgabe. Hersteller von Maschinen und Anlagen die im Produktionsumfeld im Einsatz sind, sind hier schon einen Schritt weiter.



Konzepte Digitaler Zwillinge

*Welche Funktionen bildet der Digitale Zwilling ab?
Wie wird der Digitale Zwilling eingesetzt und wie erhält er seine Daten?
Welche Technologien kommen beim Digitalen Zwilling zur Anwendung?*

73% bilden Produktsysteme im Digitalen Zwilling ab.

42% der Befragten setzen Digitale Zwillinge in der Produktentwicklung ein.

64% der Befragten sehen in der Datenbereitstellung eine wesentliche Aufgabe des Digitalen Zwillings.

36% der Befragten wissen noch nicht, wie Informationen vom physischen System zum Zwilling gelangen.

„Höhere Qualität dank größerer Testtiefe, schnellere Testergebnisse durch den Einsatz von High Performance Computing, weniger Versuchsträger dank virtueller Ressourcen – der Digitale Zwilling prägt die Zukunft der gesamten Entwicklung.“

**Matthias Schultalbers, Chief Digital Officer und Bereichsleiter
Powertrain Mechatronics bei IAV**

Konzepte Digitaler Zwillinge

So viele Erwartungen und Strategien es im Kontext Digitaler Zwillinge gibt, so viele Ansätze zur Umsetzung existieren auch. Grundsätzlich unterscheiden sich Konzepte Digitaler Zwillinge in den abgebildeten Systemen. So können Digitale Zwillinge-Konzepte betrachtet werden, die eher produktionsorientiert die Vorgänge der Fertigung abbilden oder solche, die das Verhalten und die Funktionen von Produktsystemen repräsentieren. Die Konzepte Digitaler Zwillinge unterscheiden sich im Weiteren in ihrer Verwendung. Besonders deutlich wird dies über den Lebenszyklus hinsichtlich der Phasen in welchen der Digitale Zwilling Informationen bereitstellt oder aufnimmt.

Motiviert vom beabsichtigten Nutzen ergeben sich notwendige Funktionen des Digitalen Zwillinges. Dabei sind kaum Grenzen zu finden. Von Basisfunktionen der Informationsbereitstellung oder des Monitorings, über Analysen und Notifikationen bis hin zur Steuerung von Systemen, Abbildung von Produktfunktionen für Konsumentinnen und Konsumenten oder lernenden Produktsystemen sind eine Vielzahl von Lösungen denkbar. Im Rahmen der Studie wird ein Bild des beabsichtigten Einsatzes der Digitalen Zwillinge aufgebaut und den Absichten der Befragten zur Umsetzung benannter Potenziale nachgegangen. Um die Komplexität der Konzepte zu reduzieren, wurden die Befragten im Interview gebeten, sich auf das Konzept des Digitalen Zwillinges zu fokussieren, das im Rahmen der Befragung genutzt wurde.

Abgebildetes System im Digitalen Zwilling

Die gegebenen Antworten können entweder in den Kontext des Produkts oder der Produktion gestellt werden. Der Produktkontext umfasst hauptsächlich gesamte Produktsysteme oder Teilprodukte. Im Fertigungskontext wurden Prozesse, z.B. Montage oder Instandhaltung, die gesamte Fabrik, einzelne Anlagen oder Produktionslinien benannt. Nach Angaben der Befragten werden dabei vor allem Produktzwillinge betrachtet (73%), also Digitale Zwillinge, die Produkte im Gesamten oder Komponenten davon abbilden. Dabei werden

- Zustand,
- Leistung,
- Verhalten,
- verbaute Komponenten,
- Funktionen und deren Verwendung,
- sowie Geometrien

als mögliche Informationen für den Digitalen Zwilling benannt. Als Alternative verfolgten 27% der Befragten Ansätze der Fertigung, in denen Produktions- und Montage-Szenarien betrachtet werden (vgl. Abbildung 33). Genannte Inhalte des Digitalen Zwillinges sind:

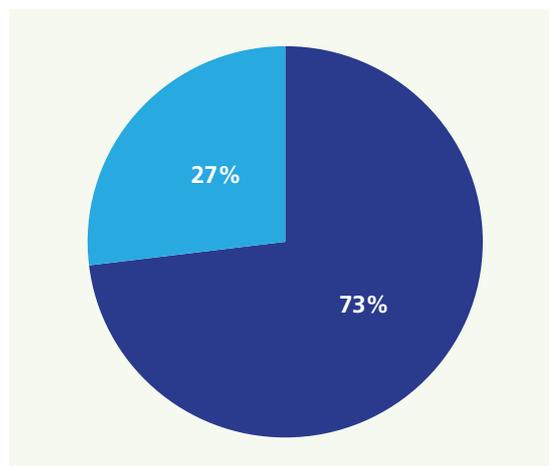
- Toleranzen,
- Steuerverhalten,
- Funktionen,
- Kinematik,
- Geometrien,
- Zustände,
- Materialflüsse,
- Verbau-Zustände und
- Kenngrößen.

In der Aufschlüsselung über die Branchen-
gruppen ergeben sich weitere Unterschiede
(vgl. Abbildung 34). OEM aus dem Mobili-
tätssektor fokussieren am deutlichsten die
Abbildung von Produkten und zwar als Ge-
samtsystem. Dies ist nachvollziehbar, da OEM
in der Wertschöpfungskette die Gesamtsicht
auf die Produkte besitzen. Entsprechend ge-
ringer fällt dieser Anteil bei Zulieferunter-
nehmen aus dem Mobilitätssektor aus. Hier
werden eher Teilkomponenten der Produk-
te (36% Zustimmung von befragten Zulie-
ferern) oder Prozesse der Montage oder

Instandhaltung (36% Zustimmung von be-
fragten Zulieferern) im Digitalen Zwilling
abgebildet. Unternehmen des Maschinen-,
und Anlagenbaus und der Gerätetechnik
bilden neben den Gesamtprodukten, Teil-
systemen und Prozessen auch einzelne An-
lagen oder Montagevorgänge im Digitalen
Zwilling ab.

FRAGE *Welches System wird im Digitalen Zwilling abgebildet?*

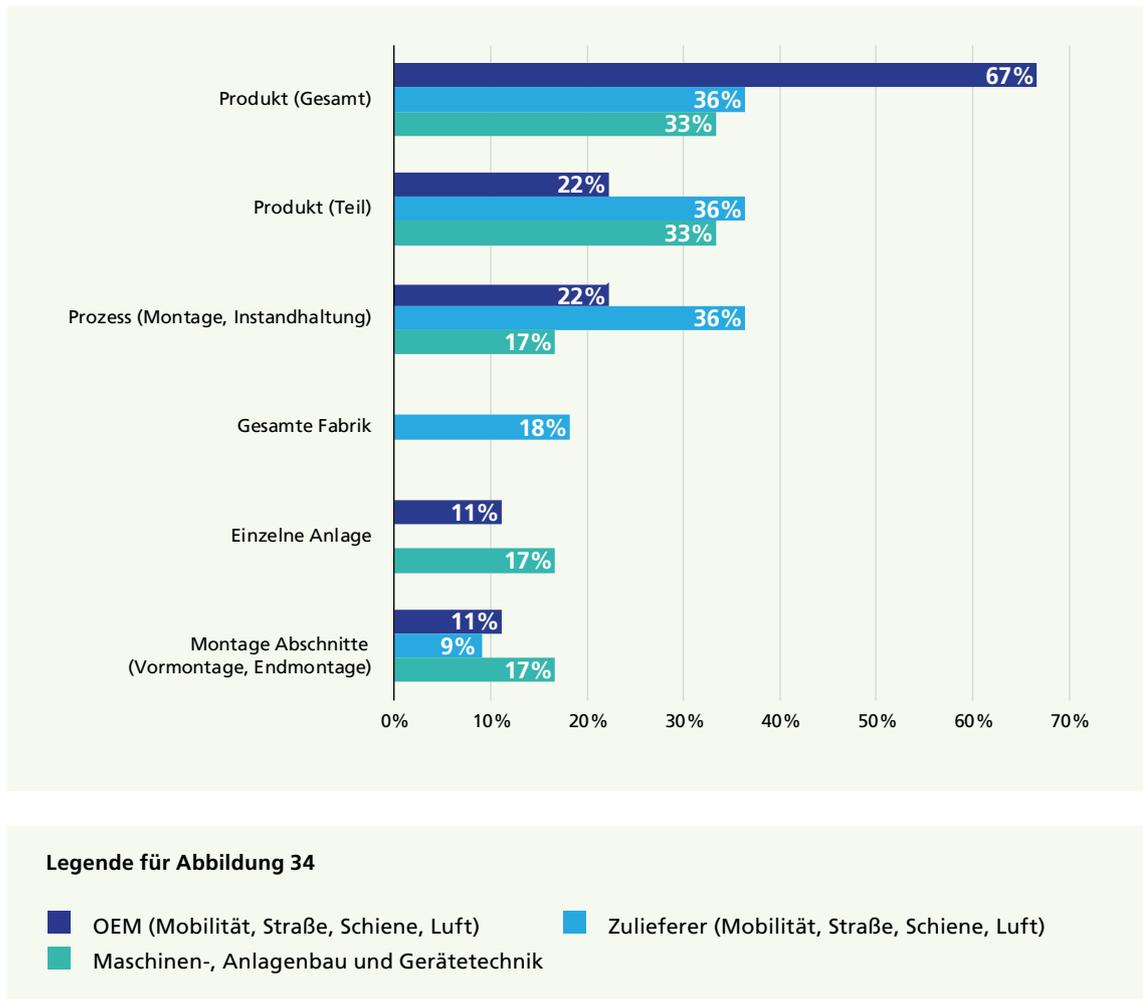
Abbildung 33: Im Digitalen Zwilling abgebildetes System



Legende für Abbildung 33

■ Produktkontext ■ Produktions- / Montagekontext

Abbildung 34: Im Digitalen Zwilling abgebildetes System im Detail nach Branchen



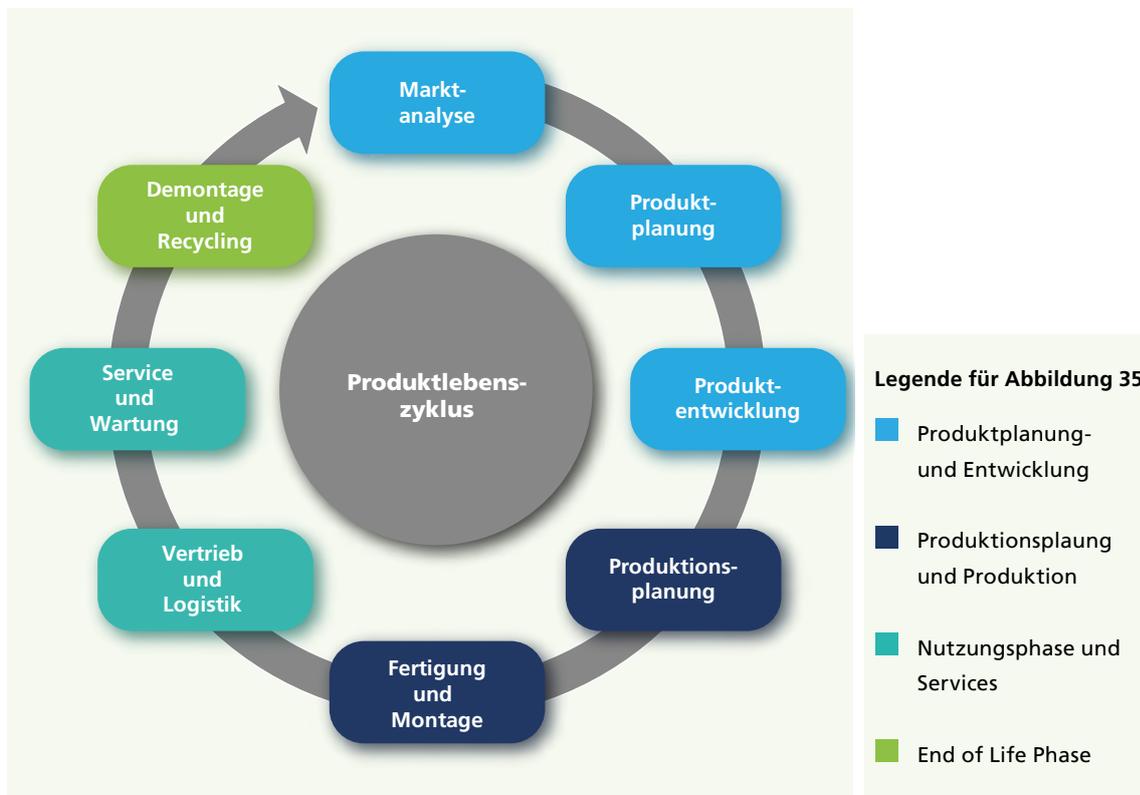
Betrachtete Phasen des Produktlebenszyklus

In den berücksichtigten Phasen spiegeln sich die strategischen Absichten der Befragten wieder. Produktzwillinge sammeln entlang mehrerer Phasen des Lebenszyklus Daten und werden dementsprechend breiter eingesetzt (vgl. Abbildung 35). Hier werden auch die frühen Phasen und die Demontage genannt. Schwerpunkte finden sich beim Einsatz in der Produktentwicklung und dem Service. Produktionszwillinge bilden den Schwerpunkt hingegen um die Produktionsplanung und Produktion bzw. Montage. Die Hauptphasen der Datensammlung für den Master sind in der Produktplanung und -entwicklung. Der Vertrieb und die Nutzung sind weniger relevant für diese Konzepte.

Im Vergleich der Branchengruppen (vgl. Abbildung 36) zeigen sich drei Schwerpunkte: Die Phase der Produktplanung und Produktentwicklung, die Produktion und der Betrieb. Die abschließende Lebensphase der Demontage und des Recyclings findet die geringste Berücksichtigung.

Die OEM der Mobilitätsbranchen setzen vor allem auf die Produktentwicklung (89% der Befragten erwähnten diese als relevant) und Service, Wartung und Betrieb (67%). Zulieferer der Mobilitätsbranchen fokussieren die Bereiche Produktplanung, -entwicklung und Fertigung. Der Maschinen- und Anlagenbau setzt die Schwerpunkte auf die Produktentwicklung, die Fertigung sowie Service und Wartung.

Abbildung 35: Produktlebenszyklus des Digitalen Zwillings



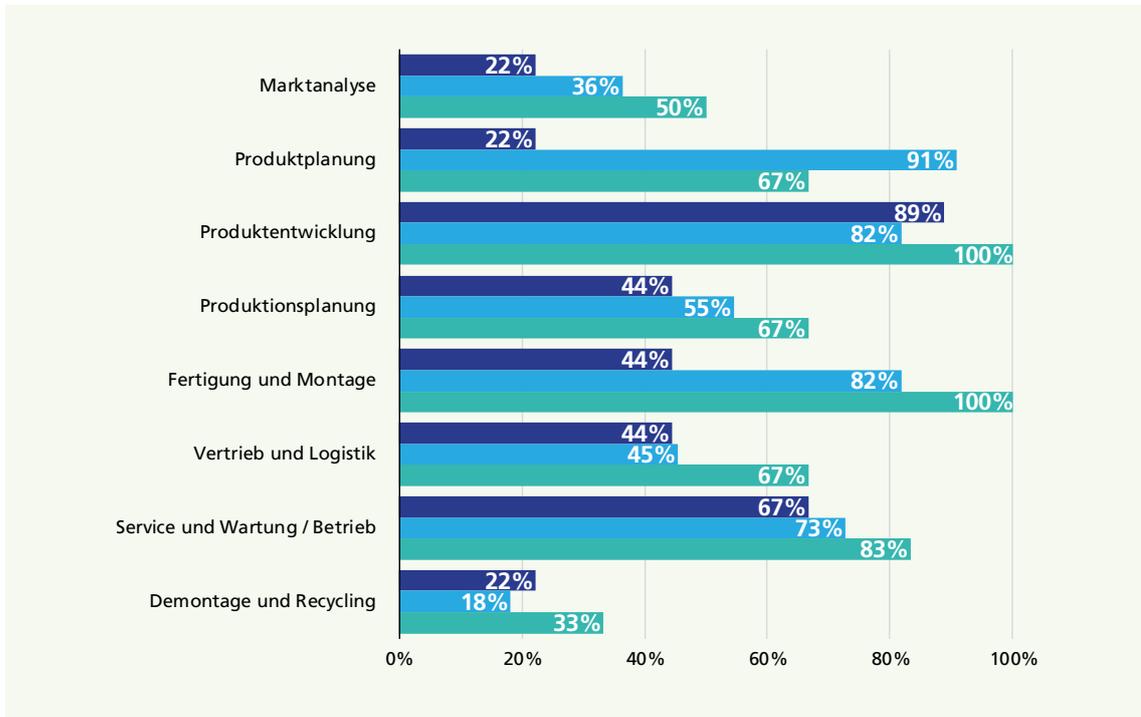
Digitale Zwillinge enthalten laut der verwendeten Definition (siehe „Wissenschaftliche Definition“ auf Seite 20) Daten in Form des Digitalen Master und des Digitalen Schattens sowie Algorithmen zur Mehrwertgenerierung. Die Interviews zeigen, dass der Digitale Master im Rahmen der Produktentwicklung und Planung entsteht, während der Digitale Schatten zum einen in der Produktion (Anreicherung um Produktionsinformationen wie beispielsweise der Qualität) und zum anderen im Betrieb (Nutzungsdaten, Sensordaten, Umfelddaten) entsteht. Dieses Bild zeigt sich auch unter den Antworten (vgl. Abbildung 37).

Demnach benennen 46%, dass der Digitale Master im Wesentlichen im Rahmen der Produktentwicklung erstellt wird. Andere Konzepte – insbesondere Produktionszwillinge – nennen hier die Produktionsplanung. Die Versorgung des Digitalen Schattens konzentriert sich deutlich auf die Phasen „Fertigung und Montage“ sowie „Service und Wartung / Betrieb“. Die Anwendung des

Digitalen Zwillings erstreckt sich über den gesamten Produktlebenszyklus, dabei im Besonderen auf die Produktentwicklung (42% der Befragten erwähnten dies) und auf den Betrieb (27%). Daneben kommt der Digitale Zwilling im Allgemeinen auch in der Marktanalyse, der Produktplanung und dem Vertrieb zum Einsatz.

FRAGE Welche Lebensphasen werden in den Konzepten berücksichtigt?

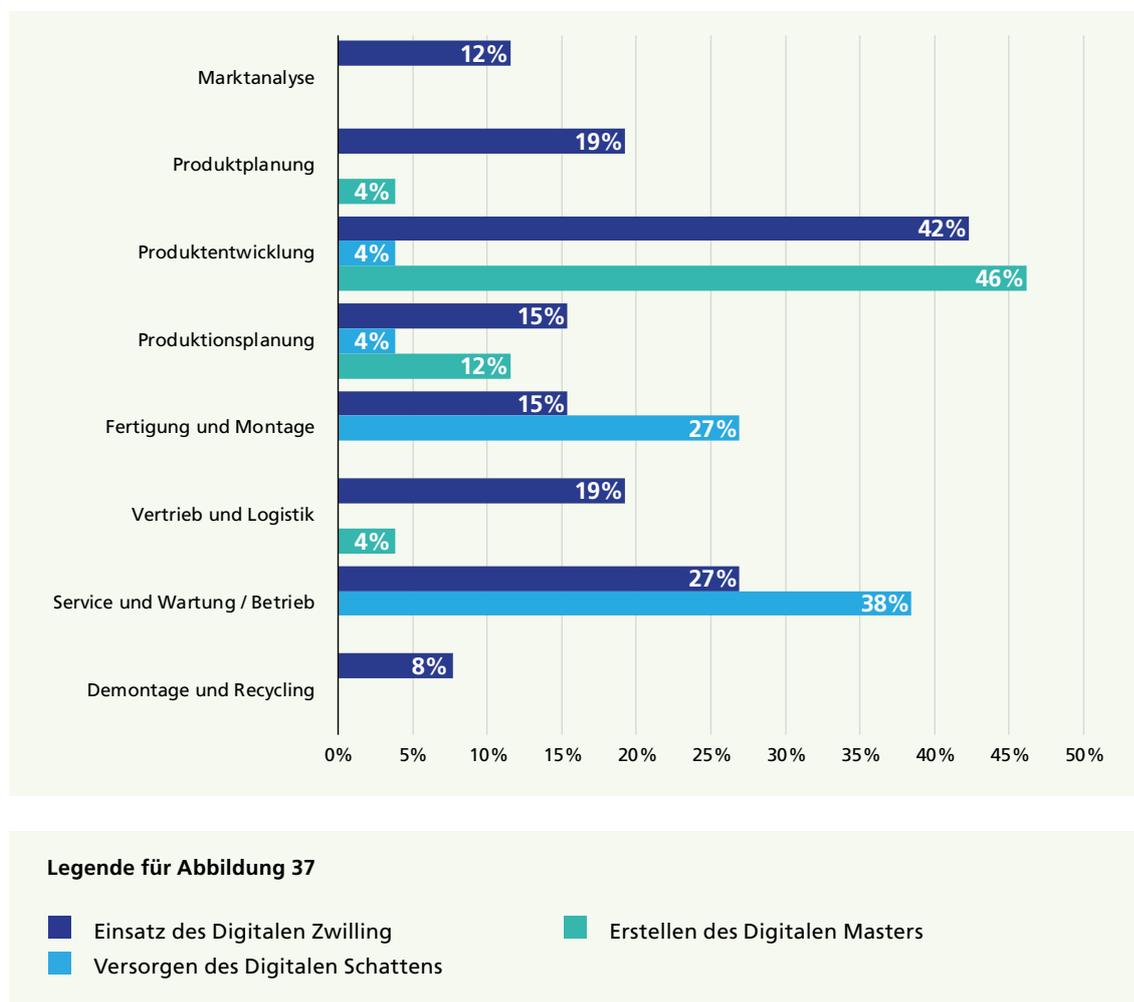
Abbildung 36: Berücksichtigte Lebensphasen nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 36

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

Abbildung 37: Berücksichtigte Lebensphasen nach Bestandteilen des Digitalen Zwillings



Funktionen Digitaler Zwillinge

Das grundsätzliche Konzept Digitaler Zwillinge erlaubt eine Vielzahl möglicher Funktionen. Ebenso vielfältig zeigen sich auch die Erwartungen der Befragten. In Clustern geordnet ergibt sich dabei das in Abbildung 38 gezeigte Bild.

Demnach übernehmen Digitale Zwillinge vor allem die Aufgabe der Datenbereitstellung und Absicherung - zwei Funktionen, die sich gut mit dem Ansatz Digitaler Zwillinge vereinbaren lassen. Als lebenszyklusübergreifender Datensammler kann eine Datenbereitstellung insbesondere von Produktions- und Felddaten erfolgen. Ebenso können Absicherungen (bspw. Absicherung des Produktverhaltens, der Produzierbarkeit

oder der Kundenfunktion) auf Basis der erhobenen Daten optimiert werden - zum einen durch die verbesserte Datenlage, zum anderen durch den Aufbau von Simulationen anhand der Felddaten.

Fehleranalysen zielen im Besonderen auf die Analysen von Produkten im Feld ab. Dabei soll anhand von Systemdaten der Zustand und mögliche Fehlerursachen identifiziert werden, ohne dass Personen physisch vor Ort sein müssen. Die Auslastungserhöhung bzw. Effizienzsteigerung basiert auf der Erwartung, ein genaueres Bild der Produkte im Feld zu haben. Abhängig von den realen Belastungszuständen können Maschinen genauer in ihren Betriebsbereichen gefahren werden.

Der Planungseinsatz beschreibt die Absicht, den Digitalen Zwilling selbst die Planung für Produktionsabläufe durchführen zu lassen. Die Prädiktion oder Vorhersage bezieht sich auf die Ableitung notwendiger Instandhaltungsmaßnahmen aus Betriebsdaten. Der Ansatz lernender Systeme, welche sich selbstständig in Reaktion auf die tatsächliche Betriebsumgebung adaptieren, basiert ebenfalls auf den Betriebsdaten. Teilweise wurde benannt, dass es die Funktion des Digitalen Zwillings sein sollte, das Reale vollständig abzubilden. Dies erscheint, laut den Befragten, aus Kosten- und Aufwandsperspektive ein sehr gewagtes Ziel zu sein.

Im Vergleich der abgebildeten Systeme zeigt sich, dass Produktzwillinge vor allem für die

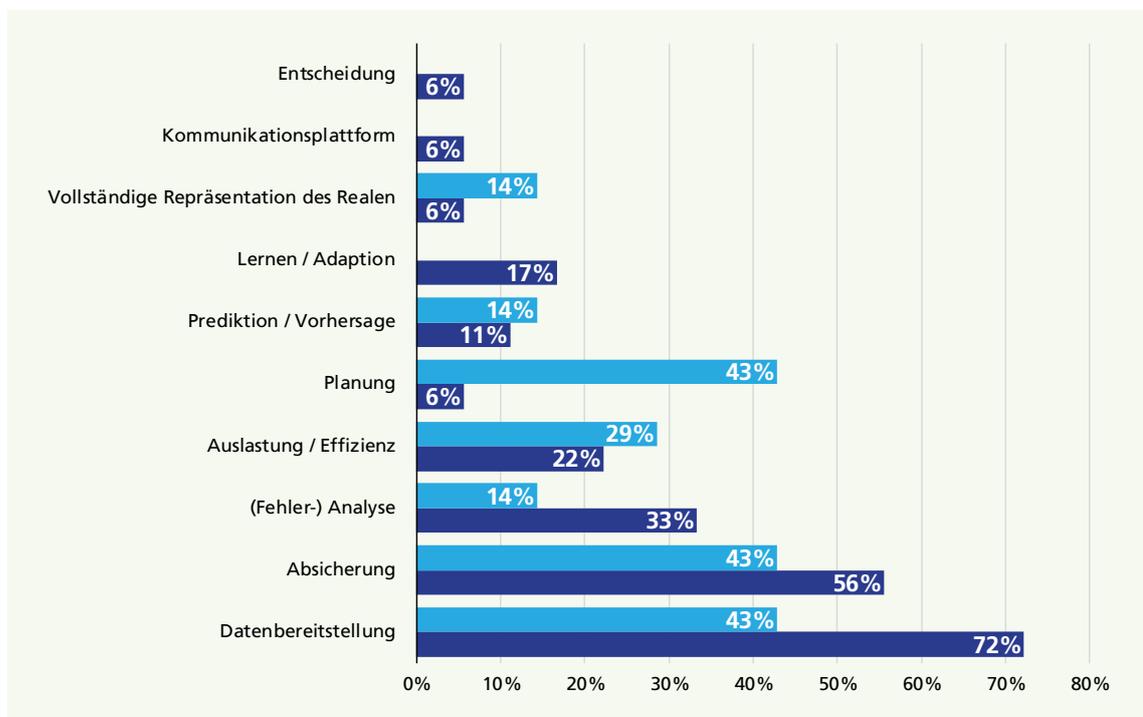
Datenbereitstellung und Absicherung herangezogen werden. Produktionszwillinge setzen daneben auch Schwerpunkte in der Planung und Effizienzsteigerung. Die Fehleranalyse spielt hier, verglichen zu Produktzwillingen, eine untergeordnete Rolle.

Die Möglichkeiten zur Umsetzung der angestrebten Funktionen sind zahlreich, lassen sich jedoch wie folgt auflisten (vgl. Abbildung 39):

- Analyse der Daten
- Automatisierung der Funktionen
- Verknüpfung von Informationen
- Simulation von Systemverhalten
- Austausch von Daten zwischen Systemen

FRAGE Welche Funktionen übernehmen Digitale Zwillinge?

Abbildung 38: Funktionen des Digitalen Zwillings



Legende für Abbildung 38

- Produktkontext
- Produktions- / Montagekontext

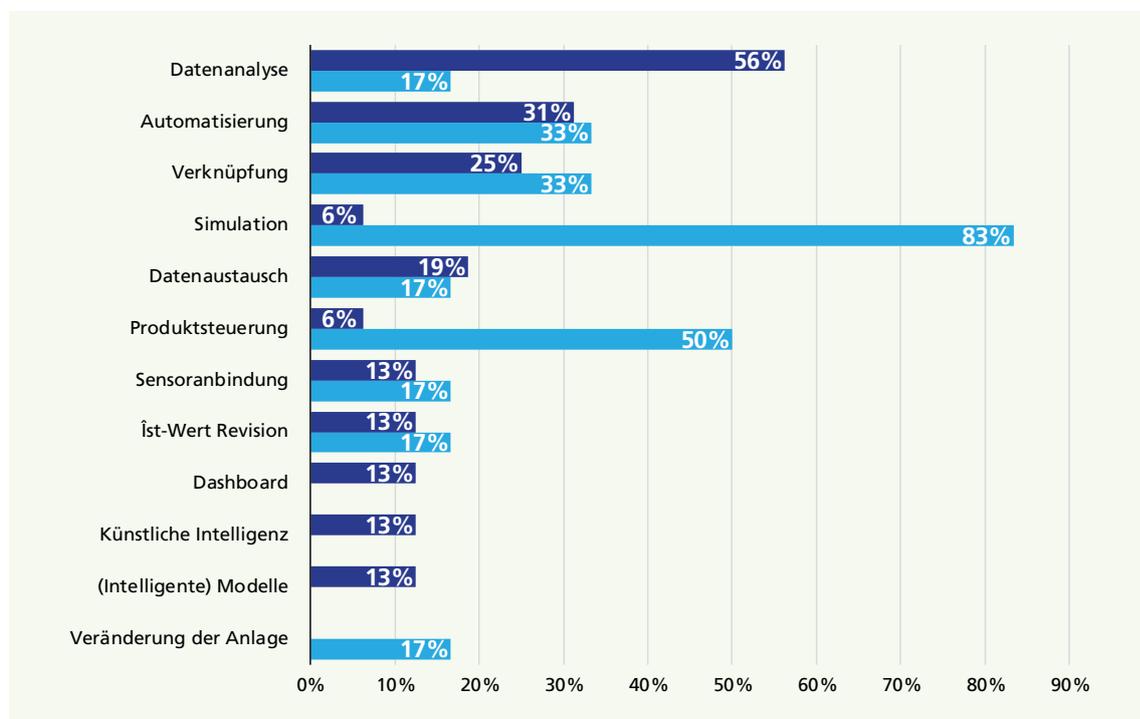
- Steuerung der Produkte durch den Digitalen Zwilling
- Anbindung weiterer Sensoren
- Anpassung virtueller Modelle auf Basis von Felddaten
- Darstellung von Informationen in einem Dashboard
- Einsatz von Künstlicher Intelligenz
- Aufbau adaptiver (intelligenter) Modelle

Dabei stellt die Datenanalyse den zentralen Ansatz zur Umsetzung der angestrebten Funktionen dar. Daneben erhalten Automatisierung und Verknüpfung viel Zuspruch. Im Vergleich zeigt sich, dass besonders bei Produktzwillingen die Datenanalyse fokussiert wird, während bei Produktionszwillingen

vermehrt auf Simulationen gesetzt wird (83% der Befragten erwähnten diesen Ansatz). Ebenso wird eine Steuerung durch den Digitalen Zwilling fast alleinig bei Produktionszwillingen angesetzt (6% gegenüber 50%). Während die Aktualisierung virtueller Modelle und die Sensoranbindung eine ähnliche Bedeutung finden, sind Dashboards und Künstliche Intelligenzen ausschließlich bei Konzepten zur Abbildung von Produktionssystemen benannt worden.

FRAGE *Wie werden die beabsichtigten Funktionen umgesetzt?*

Abbildung 39: Ansätze zur Umsetzung der Funktionen des Digitalen Zwillings



Legende für Abbildung 39

- Produktkontext
- Produktions- / Montagekontext

Abgebildete Systemeigenschaften

Für die Umsetzung der anvisierten Funktionen ist es notwendig, verschiedene Systemeigenschaften im Digitalen Zwilling – im Allgemeinen innerhalb des Digitalen Masters – abzubilden. Dabei ist eine hohe Varianz vorzufinden. Dies liegt häufig daran, dass sich der Digitale Master aus dem Konzept ergibt und somit hoch individuell ausgestaltet wird. Mit Abstand am häufigsten (60% der Befragten) werden Geometrie-eigenschaften im Produktsystem abgebildet. Dies überrascht, da diese für viele der beabsichtigten Konzepte nicht zwingend notwendig sind. So ist für die Bewertung von Felddaten häufig ein Verhaltensmodell ziel-führender als eine geometrische Abbildung.

Gleichzeitig sind Geometriemodelle jedoch, beispielsweise aus der Entwicklung und Planungsphase, bereits digital verfügbar. Im Vergleich der Branchengruppen zeigt sich, dass die Maschinen- und Anlagenbauer bzw. Gerätetechniker ein hohes Interesse an der Abbildung der Kinematik und Steuerung der Systeme haben (50% der Befragten aus dieser Branchengruppe benannten dies vgl. Abbildung 40).

Verhaltens- und Umfeldinformationen sind besonders bei Zulieferern der Mobilitätsbranchen von Interesse. Dies kann sich in der Praxis herausfordernd gestalten, da die zuliefernden Betriebe häufig keinen Zugang zu ihren Systemen im Betrieb erhalten. Neben

den erwähnten Systemeigenschaften wurden auch folgende Daten benannt:

- Betriebsdaten
- Simulationen
- Leistungsdaten
- Kundendaten
- Komponenten- / Stücklisten
- Alle Daten sollen aufgenommen werden (unspezifisch)
- Planungsdaten
- Funktionsdaten
- Unternehmensdaten
- Auftragsdaten
- Logistikdaten
- Menschenbezogene Daten
- Systemmodelle

Im Vergleich der relevanten Systemeigenschaften mit der mittleren bewerteten Reife der jeweiligen Konzepte ergibt sich das in Abbildung 41 dargestellte Bild. Auffallend ist dabei die hohe Reife von Konzepten, die Logistikinformationen berücksichtigen, sowie die sehr geringe Reife von Konzepten, die alle Produkteigenschaften im Digitalen Zwilling abbilden sollen. Dabei ist das angestrebte Ziel sehr ambitioniert. Die Reife ist bei diesen Konzepten im Mittel noch geringer als bei jenen Konzepten mit unklarem Bild über die abzubildenden Systemeigenschaften.

FRAGE Welche Eigenschaften werden im Digitalen Zwilling abgebildet?

Legende für Abbildung 40

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft) Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik | <ul style="list-style-type: none"> Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft) |
|--|---|

Abbildung 40: Im Zwilling abgebildete Systemeigenschaften aufgeteilt nach Branchengruppen.

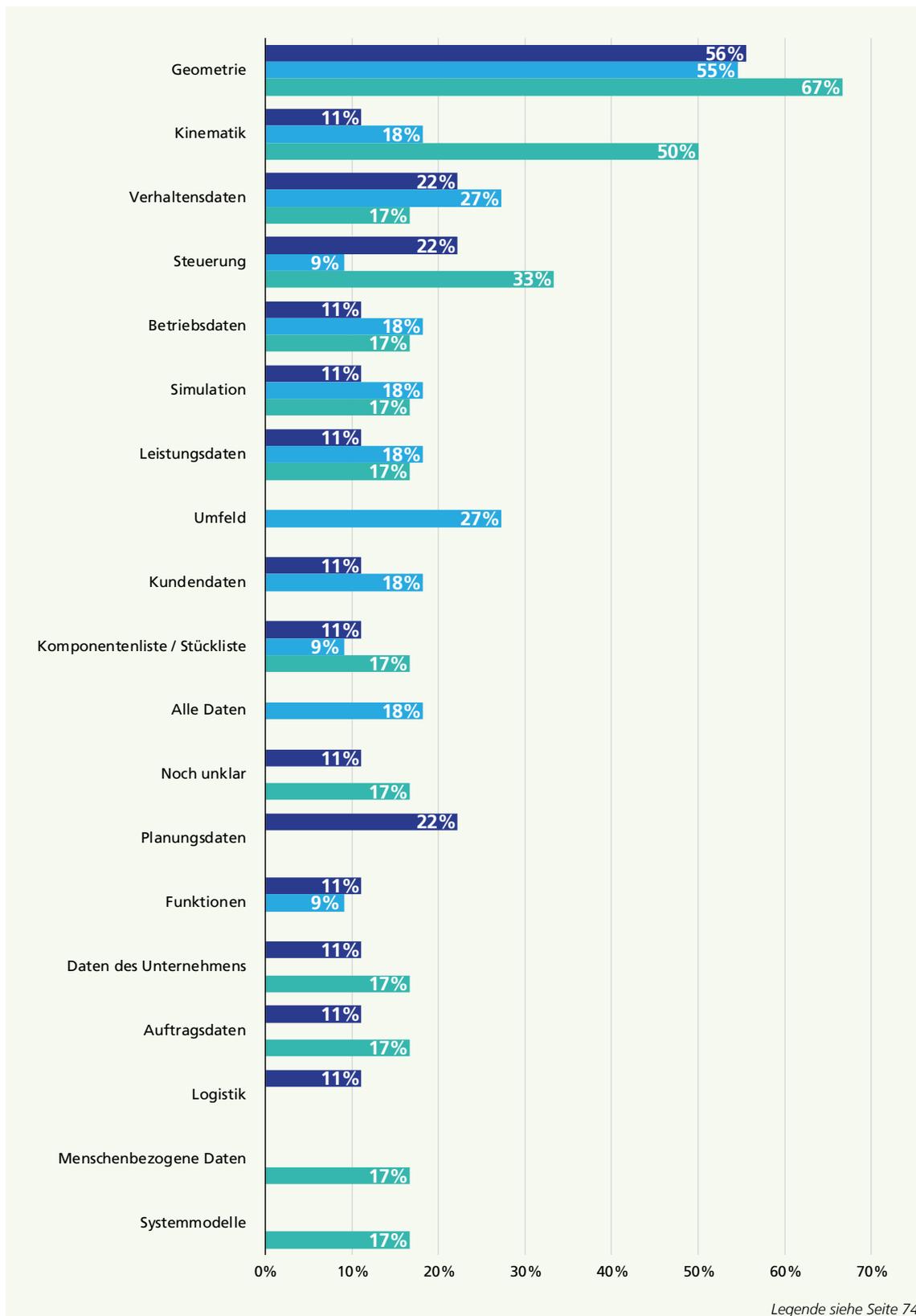
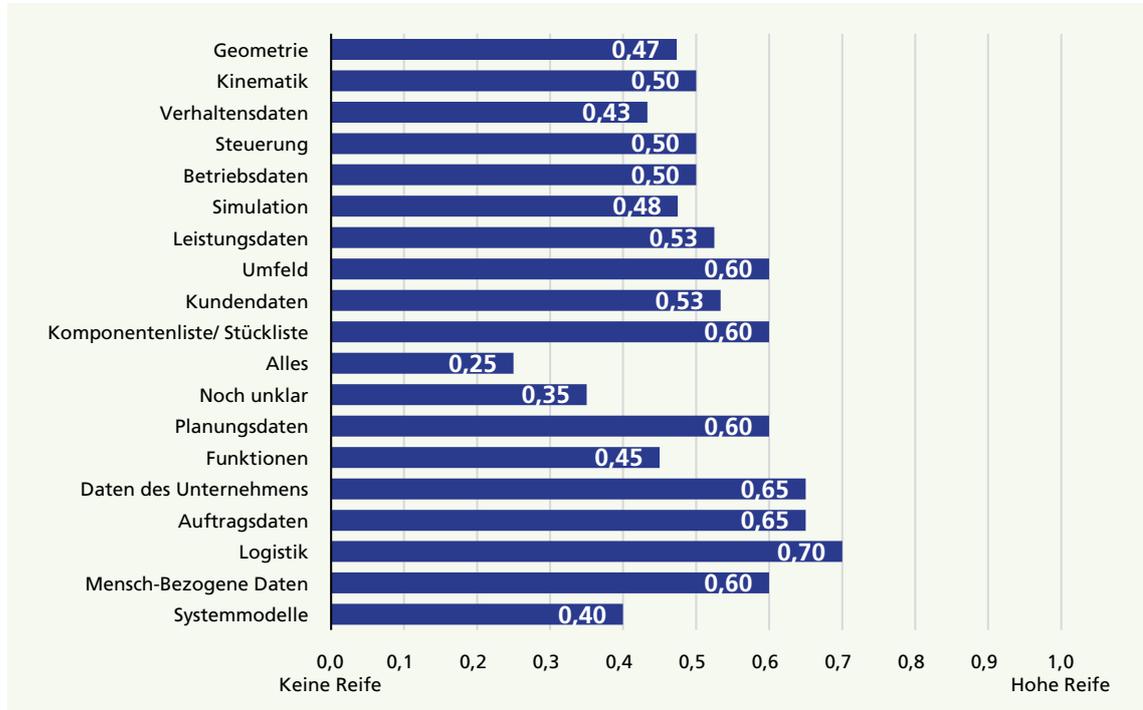


Abbildung 41: Einfluss im Zwilling abgebildeter Systemeigenschaften auf die bewertete Konzeptreife



Informationsaustausch, Simulation und Interaktion

Für Digitale Zwillinge ist die Bereitstellung von Daten im Rahmen des Digitalen Schattens notwendig. Dabei können für den Datenaustausch verschiedene Ansätze herangezogen werden. Eine Übersicht der erhaltenen Antworten gibt Abbildung 42. Demnach ist bei den meisten und insbesondere bei zuliefernden Betrieben der Mobilitätsbranche noch unklar, wie die Informationen ausgetauscht werden sollen oder wie häufig dies passieren soll.

Am häufigsten wurde ein bedarfsorientierter Datentransfer als Batch genannt (28%). Zudem wird ein kontinuierlicher (also in regelmäßigen Abständen, 24%) und Echtzeitdatenaustausch (16%) geplant. Dafür müssen Systemschnittstellen vorgesehen werden (20%) und Zwischenspeicher an den Systemen implementiert werden (12%). Einzelne Befragte, deren Konzept nicht vollständig der Definition Digitaler Zwillinge entspricht, sehen keinen Datenaustausch

vor. In der Auswahl geeigneter Technologien zum Datenaustausch sind sich die Befragten noch unsicher. Einzeln werden GSM (Global System for Mobile Communications) oder OPC (Open Platform Communications) benannt. Hier können jedoch noch keine Schwerpunktaussagen gefunden werden. Für einige der Befragten spielen Cloud-Systeme oder allgemeine Datendreh scheiben eine entscheidende Rolle für den Datenaustausch (8%).

Im Vergleich der Branchengruppen fällt auf, dass insbesondere OEM der Mobilitätsbranchen eine höhere Sicherheit bezüglich des Datentransfers haben. Hier wird vermehrt auf Batchprozesse und kontinuierlichen Datenaustausch gesetzt.

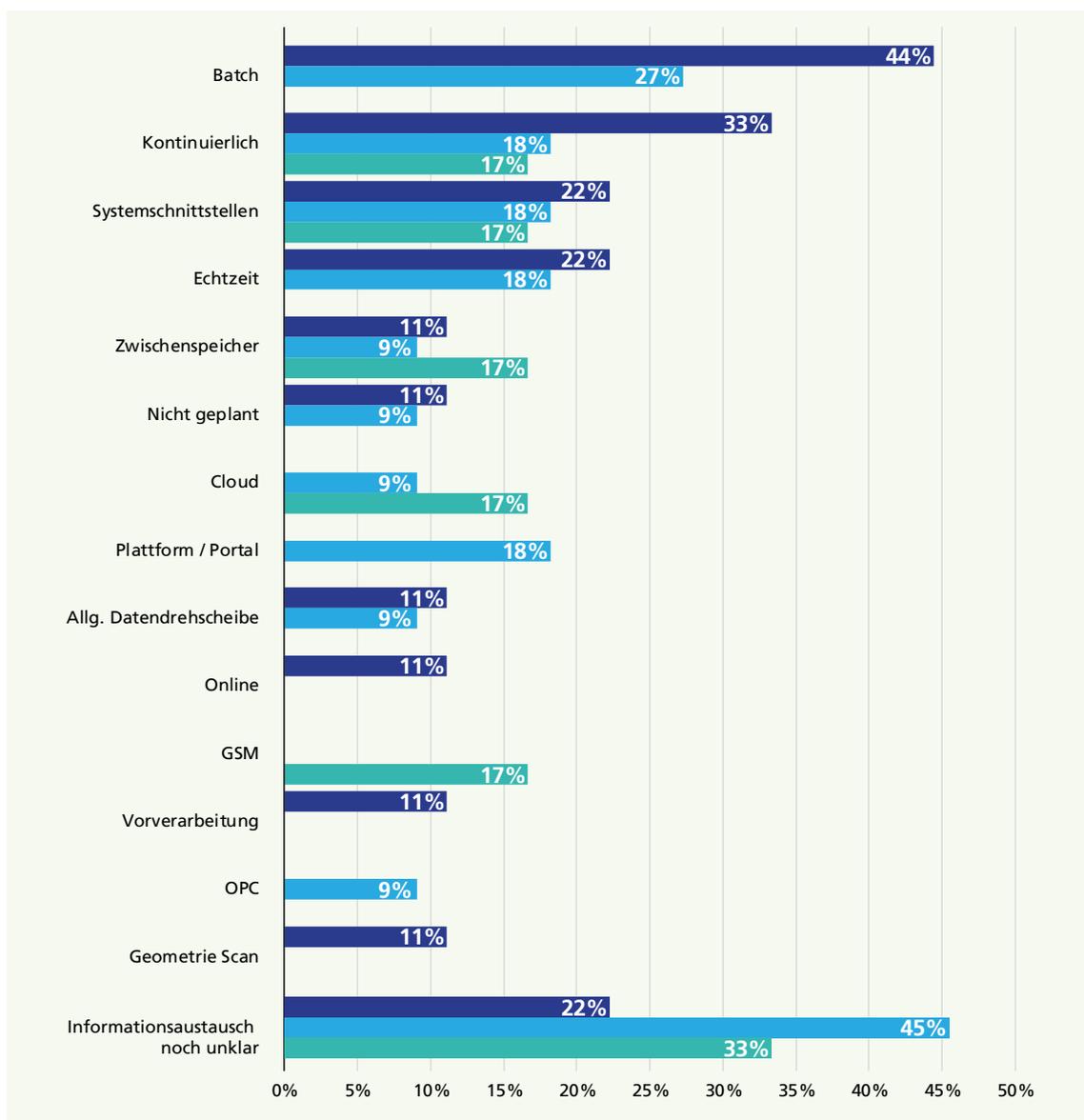
Für den Maschinen- und Anlagenbau bzw. die Gerätetechnik spielt die Übermittlung von Daten in Echtzeit keine Rolle. Demnach würde der hier häufig verfolgte Ansatz einer Steuerung über den Digitalen Zwilling nicht auf Basis direkter Koppelung, sondern

auf einer höheren Ebene (koordinativ) erfolgen. Die Steuerung von Maschinen und Anlagen bleibt somit vermutlich maschinennah

während die Orchestrierung der Produktion dem Digitalen Zwilling übergeben wird.

FRAGE *Wie werden Informationen zwischen Produktsystemen und Digitalen Zwillingen ausgetauscht?*

Abbildung 42: Informationsaustausch zwischen Zwilling und System nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 42

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

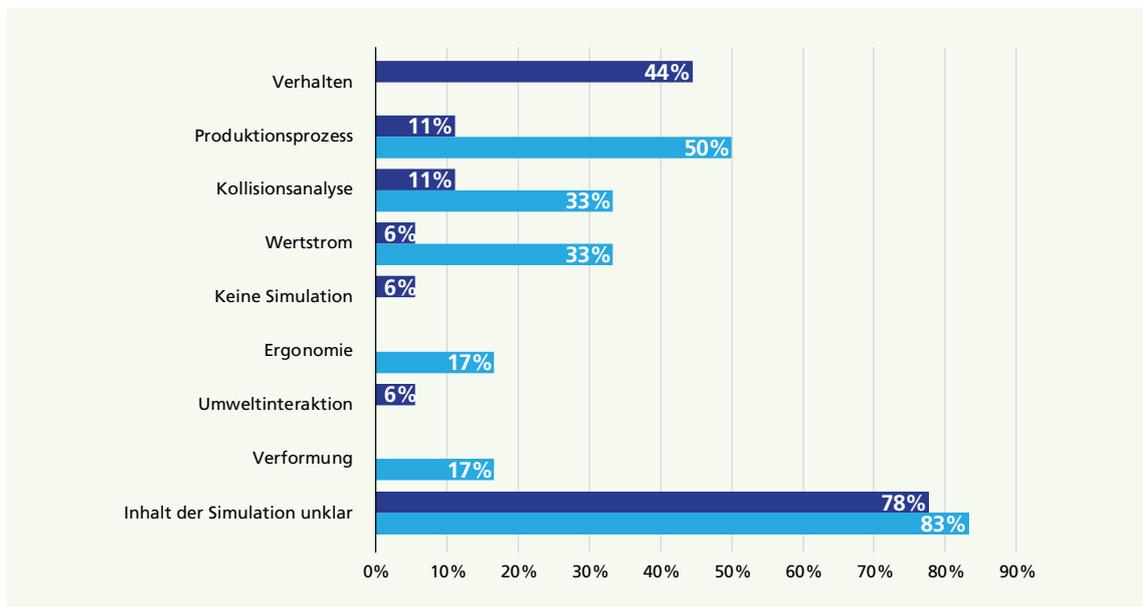
Für viele Konzepte stellt die Simulation eine wesentliche Komponente dar. Dies bestätigen auch die Befragten. Jedoch ist, sowohl bei Produktions- (83%) wie auch bei Produktzwillingen (78%), noch nicht klar, was eigentlich simuliert werden soll (vgl. Abbildung 43).

Dort, wo schon mehr Sicherheit gegeben ist, setzen die Befragten bei Produktzwillingen vor allem auf die Verhaltenssimulation. Im Fall der Produktionszwillinge wird, vor allem der Produktionsprozess simuliert. Daneben sind hier auch Geometriesimulationen und Wertstromsimulationen vorgesehen. Einzeln wird auch von Simulationen der Ergonomie und Verformung ausgegangen.

Für die Interaktion mit den Digitalen Zwillingen stellt sich die Frage, ob Menschen und / oder Maschinen mit diesen interagieren. Ein relativ klares Bild ergibt sich aus den Antworten der Befragten (vgl. Abbildung 44). Demnach werden vor allem Schnittstellen zum Menschen im Konzept vorgesehen (80% benannten diese). Dazu ergänzend sehen 44% der Befragten auch den Bedarf von Maschinenschnittstellen. Für 12% der Befragten ist noch unklar, welche Schnittstellen vorgesehen werden sollten.

FRAGE Welche Simulationen werden im Digitalen Zwilling durchgeführt?

Abbildung 43: Simulation im Digitalen Zwilling

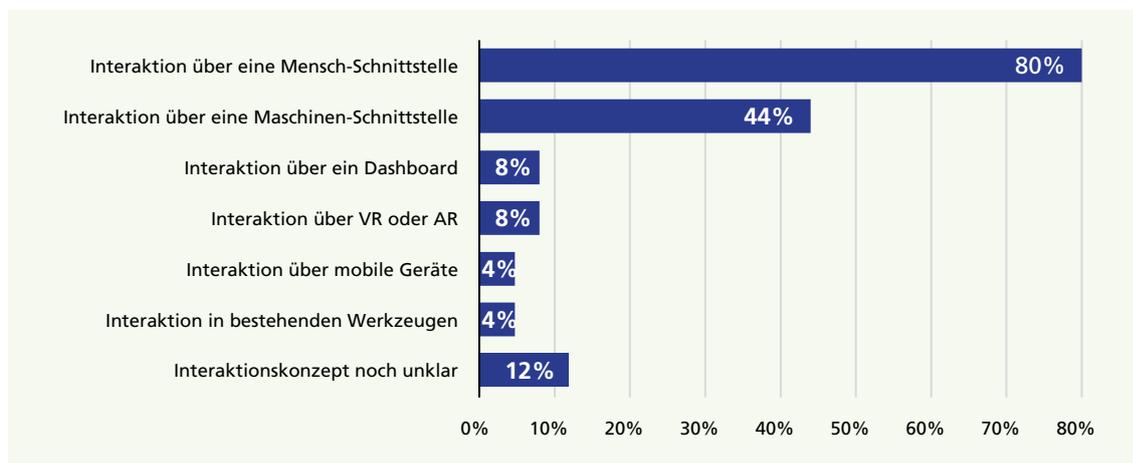


Legende für Abbildung 43

■ Produktkontext ■ Produktions- / Montagekontext

FRAGE *Wie wird mit Digitalen Zwillingen interagiert?*

Abbildung 44: Interaktion mit dem Digitalen Zwilling



Gesetze und Richtlinien im Kontext Digitaler Zwillinge

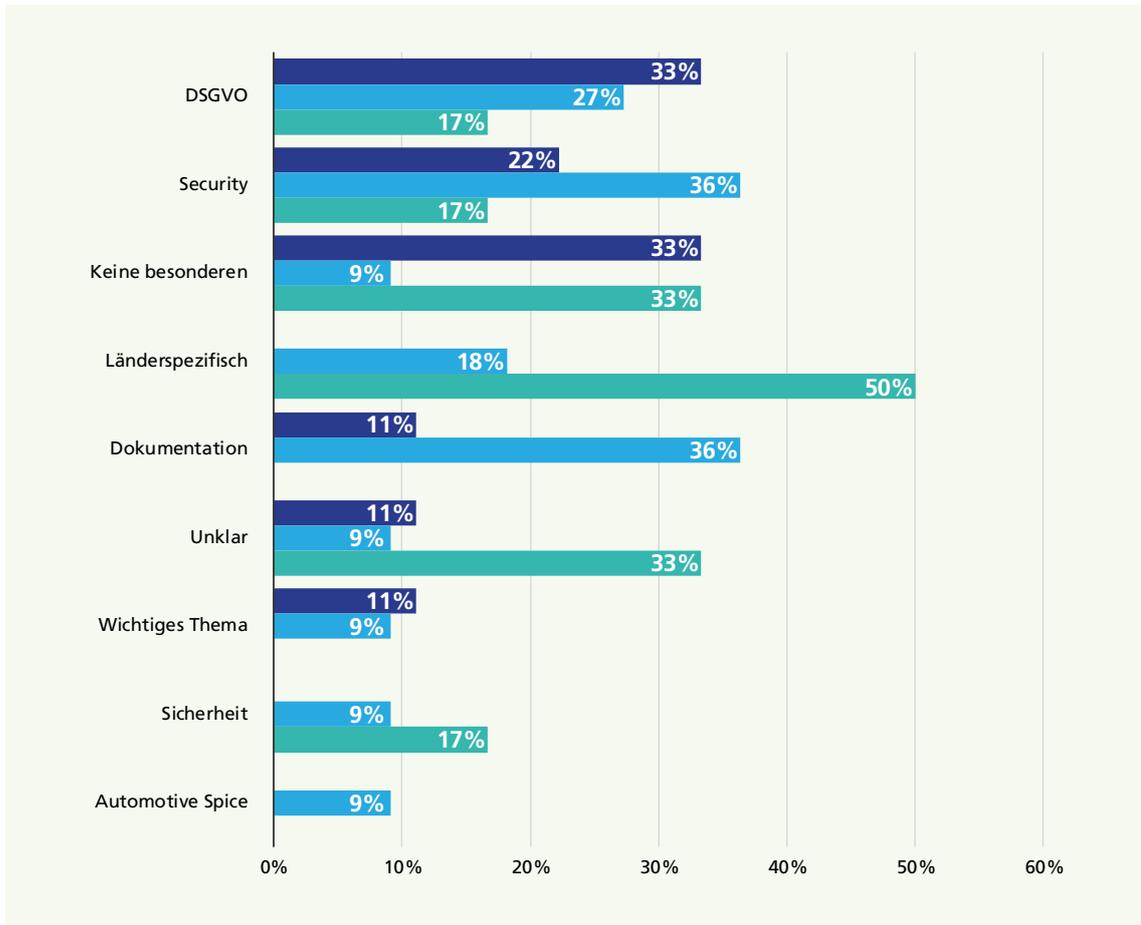
Da Digitale Zwillinge nicht nur zahlreiche Daten sammeln, sondern mitunter auch aktiv Entscheidungen treffen oder Teil der Maschinen- und Produktsteuerung sind, stellt sich die Frage nach der Relevanz bestehender Richtlinien und Gesetze. Dabei zeigt sich, dass es zwischen den Branchengruppen durchaus Unterschiede gibt (vgl. Abbildung 45).

Für alle Branchen spielt die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) eine große Rolle (28% Zustimmung). Ebenso die Security im IT-Bereich (28% Zustimmung). Für einige (24%) ergeben sich keine besonderen Richtlinien.

Im Bereich zuliefernder Betriebe in den Mobilitätsbranchen spielt die Sicherheit der Datenübertragung eine entscheidende Rolle, während im Maschinen- und Anlagenbau länderspezifische Richtlinien entscheidend sind. Insbesondere hier ist es bisher noch unklar, welche Richtlinien zu befolgen sind, teils auch, weil diese aktuell noch erstellt werden.

FRAGE Welche Gesetze und Richtlinien müssen im Kontext Digitaler Zwillinge berücksichtigt werden?

Abbildung 45: Benannte Gesetze und Richtlinien im Kontext des digitalen Zwillinges nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 45

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

Zusammenfassung und Fazit

Die von den Befragten beschriebenen Ansätze zur Umsetzung des anvisierten Zielbilds für den Digitalen Zwilling sind ebenso vielfältig wie die Zielbilder aus Strategie und Geschäftsmodell selbst. Im Fokus der Konzepte stehen dabei primäre Mehrwerte für die Produktentwicklung, Produktion und den Betrieb der Systeme.

Unter den Befragten verfolgen deutlich mehr Personen den Aufbau von Produktzwillingen als Fertigungszwillinge. Dabei wird sowohl auf das Produkt als Gesamtsystem wie auch auf die einzelnen Komponenten Bezug genommen. In Anbetracht meist umfassender Zuliefernetzwerke und ebenso verteilten Know-Hows ist somit von einer Kombination zahlreicher Digitaler Zwillinge in einem Produktsystem auszugehen.

Digitale Master werden vor allem in der Produktentwicklung aber auch in der Produktionsplanung erschaffen. Digitale Schatten entstehen im Wesentlichen im Betrieb der Systeme sowie in der Fertigung und Montage. Die Funktionen des Digitalen Zwillings wirken besonders in der Produktentwicklung und der Betriebsphase, aber auch in den anderen Lebensphasen der Systeme. Lediglich die Demontage bzw. das Recycling wird kaum berücksichtigt.

Digitale Zwillinge fungieren den Konzepten zufolge meist als datenbereitstellende Systeme oder werden zur Absicherung und Fehleranalyse verwendet. Hier zeigt sich ein Bruch zu den eingangs beschriebenen Strategien. Während dort noch von neuen Produktfunktionen gesprochen wurde, spiegeln sich diese in den tatsächlichen Funktionen Digitaler Zwillinge kaum wider. Begründbar wäre dies durch eine Trennung zwischen Produktfunktionen und Digitalen Zwillingen oder bestehenden Unsicherheiten darüber, wie solche Produktfunktionen mit Digitalen Zwillingen umgesetzt werden sollten.

Bei der Umsetzung wird zunächst umfassend auf Datenanalysen und Automatisierungen gesetzt. Im Rahmen von Produktionszwillingen spielt auch die Simulation eine bedeutende Rolle. Simuliert werden soll dabei in den meisten Fällen der Produktionsprozess, bei Produktzwillingen eher das Verhalten. Den meisten Befragten ist jedoch noch nicht klar, was eigentlich simuliert werden soll, wenngleich die grundsätzliche Absicht weit hin besteht.

Bei der Betrachtung der im Digitalen Master verfügbaren Modelle, stehen die Geometrien an erster Stelle, gefolgt von Kinematikmodellen und Verhaltensdaten. Die Konzepte für die Kommunikation zwischen Digitalem Zwilling und Produkt sind meist noch ungeklärt. Die Befragten setzen vermehrt auf Batch-Ansätze oder kontinuierlichen Datenaustausch.

Bezüglich der Gesetze und Richtlinien, die den Konzepten zu Grunde liegen, zeigt sich besonders die DSGVO. Daneben stehen Sicherheit im Datenaustausch und länderspezifische Regelungen im Fokus. In zahlreichen Branchen, besonders im Maschinen- und Anlagenbau, fehlen bislang Richtlinien zum Aufbau von Zwillingskonzepten.

Umsetzungsmaßnahmen und benötigte Skills

*Welche Maßnahmen sind für den Digitalen Zwilling notwendig?
Welche Skills werden für den Digitalen Zwilling benötigt?*

85% der Befragten gehen von einer Veränderung ihrer Unternehmensorganisation für Digitale Zwillinge aus.

44% geben an, die Verantwortlichkeiten bei der Veränderung von Geschäfts- und Entwicklungsprozessen sei ungeklärt.

24% setzen bei der Umsetzung auf eine interne IT-Lösung.

72% der Befragten erwarten, weitere IT-Skills für die Umsetzung Digitaler Zwillinge zu benötigen.

50% der Befragten gehen davon aus, neue Mitarbeitende für die Umsetzung Digitaler Zwillinge zu benötigen.

„Es gibt prinzipiell Millionen von möglichen Ausprägungen von Digitalen Zwillingen, welche bisher nur prototypisch umgesetzt sind. Nur mit inkrementeller Umsetzung im Sinne von MVPs (Minimum Viable Products), operativer Nutzung und kontinuierlicher Verbesserung der Implementierungen wird es möglich sein, unsere (individuellen) Visionen eines Digitalen Zwillings ganzheitlich umzusetzen.“

Sebastian Neumeyer

„Open Source Software spielt für uns eine große Rolle.“

Christian Kindl, BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH



Umsetzungsmaßnahmen und benötigte Skills

Die Umsetzung der geplanten Konzepte im Unternehmen ist eine weitere Herausforderung neben der reinen Entwicklung der Digitalen Zwillinge. Dabei gilt es, alle relevanten Faktoren des Entwicklungsumfelds, wie in Kapitel Umsetzung im Unternehmen (siehe „Umsetzung im Unternehmen“ auf Seite 25) vorgestellt, zu berücksichtigen. Prozesse und Organisationen müssen für die Entwicklung der Digitalen Zwillinge, der Berücksichtigung dieser in der Produktentwicklung und Produktionsplanung aber auch für deren Betrieb und Einsatz angepasst werden. Ebenso müssen IT-Systeme aufgebaut und gepflegt werden, um den Digitalen Zwilling mit den notwendigen Informationen zu versorgen und diesen zu betreiben. Letztlich gilt es auch, die notwendigen Daten- und Informationsmodelle zu erstellen, zu vernetzen und zu verwalten. Erst dann können wertschöpfende Aktivitäten zuverlässig erfolgen und der angestrebte Nutzen der Konzepte erreicht werden. Dieser Logik folgend wurde die Betrachtung der Umsetzungsreife, wie in diesem Kapitel vorgestellt, strukturiert:

1. Organisation und Prozesse:
 - Prozesse (Ablauforganisation)
 - Organisation (Aufbauorganisation)
 - Skills
2. Daten- und Informationsmodelle:
 - Benötigte Modelle
 - Datenhaltung
3. IT-Systeme
 - Benötigte IT-Systeme
 - Informationsaustausch
 - Prinzipien der Datenaufnahme

Für die Umsetzung im Unternehmen sind entsprechende Maßnahmen notwendig, die im Rahmen der Studie erfragt wurden. In Abhängigkeit des aktuellen Einsatzstadiums Digitaler Zwillinge (siehe „Verständnis und aktueller Einsatz in der Industrie“ auf Seite 13) konnten nicht alle Befragten zuverlässige Aussagen zur Umsetzung im Unternehmen machen.

Prozesse und Organisation

Der Bereich Prozesse und Organisation beschreibt die Art und Weise der Koordination in Unternehmen in Form der Prozesse (Ablauforganisation) und Aufbauorganisation.

Prozesse (Ablauforganisation)

Von Veränderungen sind, laut der Befragten im Besonderen Entwicklungsprozesse (32%) und Prozesse der Datenhaltung (24%) betroffen (vgl. Abbildung 46). Daneben werden Fertigungs- (16%) und Kundenprozesse (16%) erwähnt. Auch qualitätssichernde Prozesse und Vorgänge in Kommunikation und Planung finden Erwähnung (je 12%). Ergänzend wurden Prozesse neuer Geschäftsmodelle sowie Vorgänge in der Wartung und dem Service erwähnt. Zudem benannten auch einige, dass keine Veränderungen an den Prozessen notwendig werden. Für den Großteil der Befragten (44%) sind die im Rahmen der Umsetzung zu berücksichtigenden Prozesse jedoch noch unklar.

In einer Queranalyse betroffener Prozesse mit den Fachbereichen der Befragten zeigt sich, dass 50% der Befragten aus der Entwicklung die Vorgänge der Datenhaltung und 56% der Befragten aus der IT die Forschungs- und Entwicklungsprozesse als von der Umsetzung besonders betroffene Bereiche einstufen. Ein Abgleich mit den Branchengruppen zeigt, dass 45% der Zulieferer aus dem Bereich Mobilität die zentrale Datenhaltung als relevant betrachten, wohingegen kein OEM der Mobilitätsbranche auf diesen Bereich verweist (vgl. Abbildung 47). Bei den befragten Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Gerätetechnik sind die Verantwortlichkeiten häufiger ungeklärt als in den anderen Branchengruppen (50%). Die Abbildung 48 zeigt, wie stark die Unternehmen die Änderung in den Prozessen bei der

Umsetzung des Digitalen Zwillings bewerten. Eine partielle Veränderung der Unternehmensprozesse wird von Unternehmen aus dem Maschinen-, Anlagenbau und der Gerätetechnik (67%) sowie Zulieferern im Bereich Mobilität (73%) erwartet. Die OEM aus dem Bereich Mobilität haben hingegen

eine weiter verteilte Antwortspanne, gehen aber meist von einer vollständigen Veränderung aus (33%).

FRAGE Welche Geschäfts- / Entwicklungsprozesse und Vorgänge sind von der Umsetzung betroffen? Wie werden diese verändert oder gestaltet?

Abbildung 46: Von der Umsetzung betroffene Prozesse

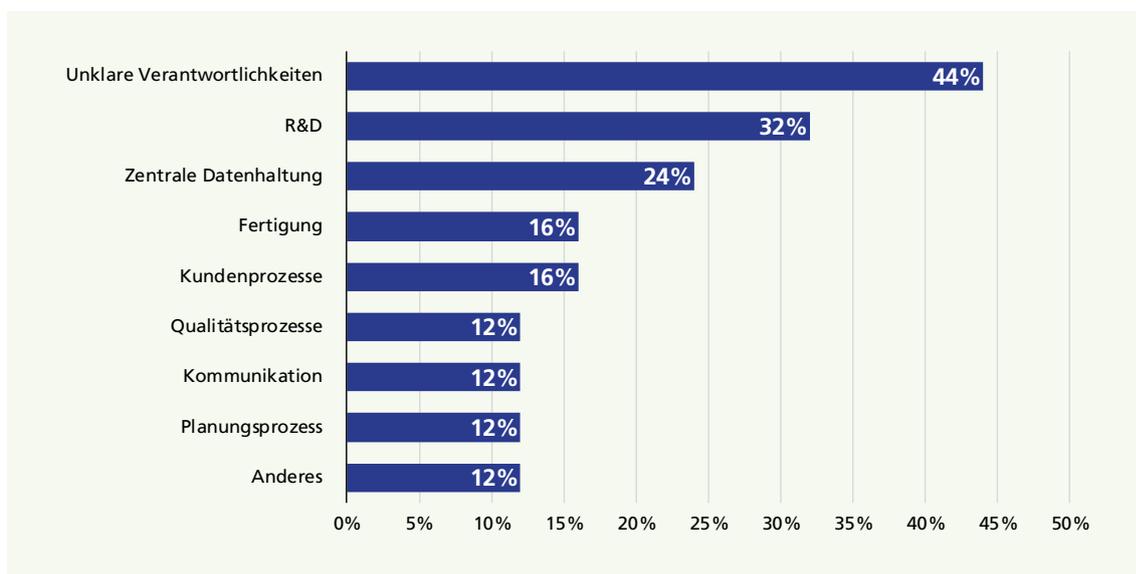
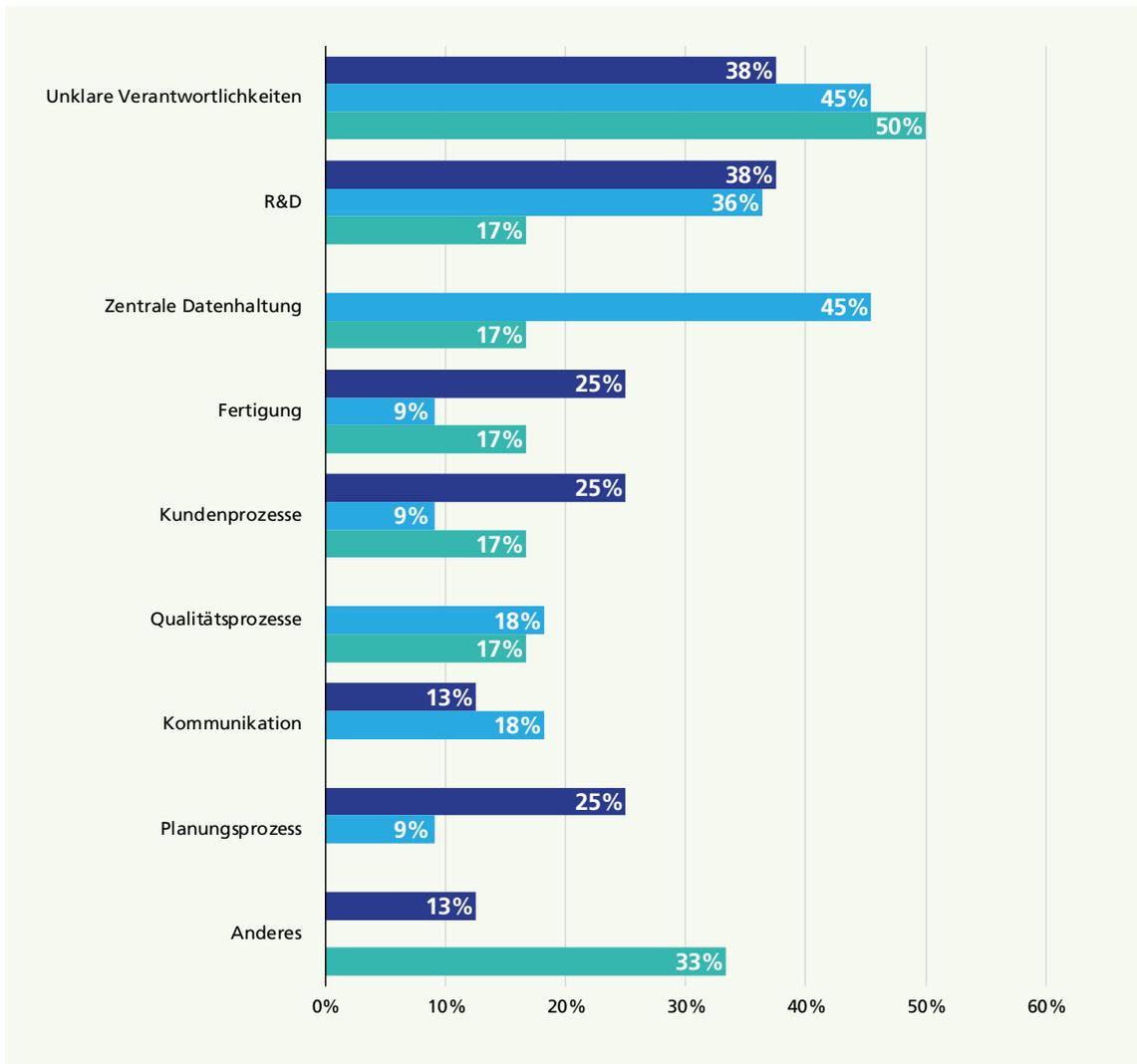


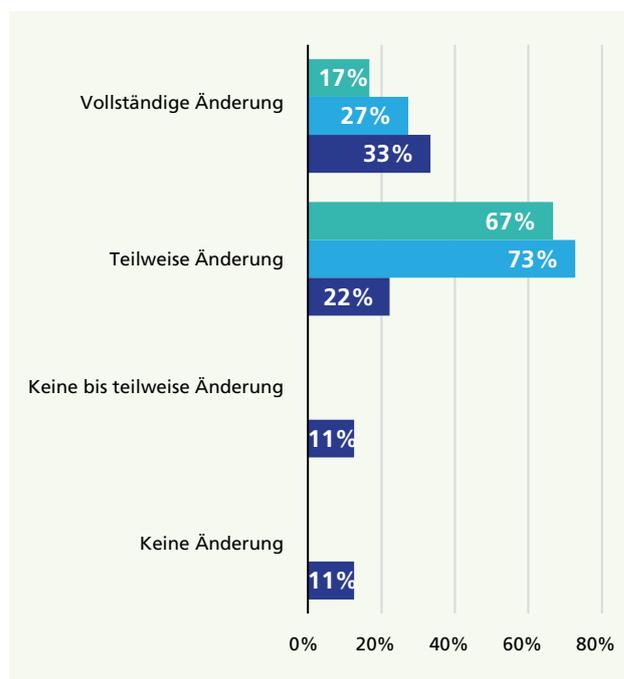
Abbildung 47: Von der Umsetzung betroffene Prozesse nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 47

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

Abbildung 48: Stärke der Veränderung in Prozessen nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 48

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

Organisation (Aufbauorganisation)

Etwa 85% der Befragten geben an, dass sich die Organisation ihres Unternehmens bei der Umsetzung des Digitalen Zwillings ändert (vgl. Abbildung 49). Dabei steht die Etablierung neuer Verantwortungsbereiche (59% der Befragten, welche Veränderungen erwarten, benannten dies) und Skills der Mitarbeitenden (55%) im Vordergrund (vgl. Abbildung 50). Insbesondere ganzheitliches Denken (bspw. Systemverständnis) wird von den Entwicklungsbeteiligten gefordert.

Eine Steigerung der Agilität in der Organisation wird von 18% der Befragten benannt, während je 14% auch die Zukunftsfähigkeit und Bedeutung für die Unternehmensführung (Governance) benennen. Von 18% der Befragten wird dabei erwähnt, dass die

Umsetzung im Unternehmen ein umfassendes Change-Management benötigt.

Branchenunabhängig gehen die meisten der Unternehmen von einer teilweisen Änderung der Unternehmensorganisation aus (66% benannten dies); 24% der Befragten erwarten eine vollständige Änderung dieser. Im Branchenvergleich lässt sich erkennen, dass OEM aus dem Mobilitätssektor die Veränderung weniger stark beurteilen als die Zulieferer oder die Unternehmen aus Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik (vgl. Abbildung 51). Vollständige Änderungen werden demnach vor allem im Maschinen-, Anlagenbau und der Gerätetechnik (20%) gesehen und eine teilweise bis vollständige Änderung von Zuliefernden Betrieben des Mobilitätssektors (27%).

FRAGE *Wie verändert sich die Organisation der Unternehmen bei der Umsetzung des Digitalen Zwillings?*

Abbildung 49: Veränderung der Unternehmensorganisation

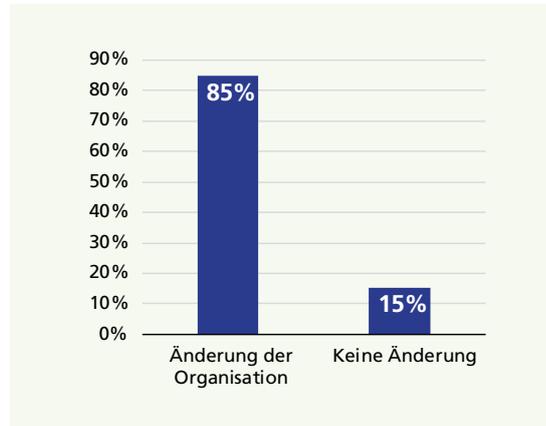


Abbildung 50: Fokus der Veränderung der Unternehmensorganisation

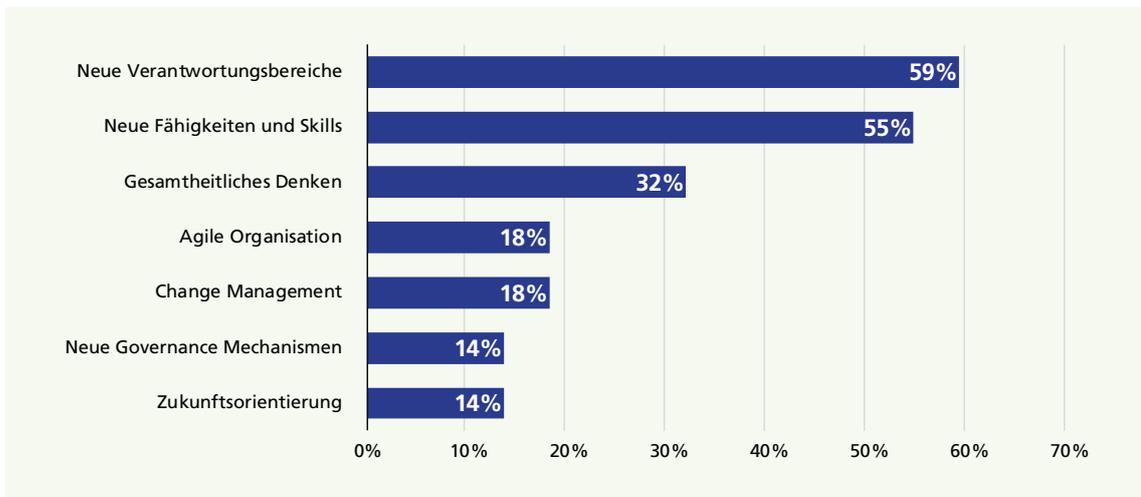
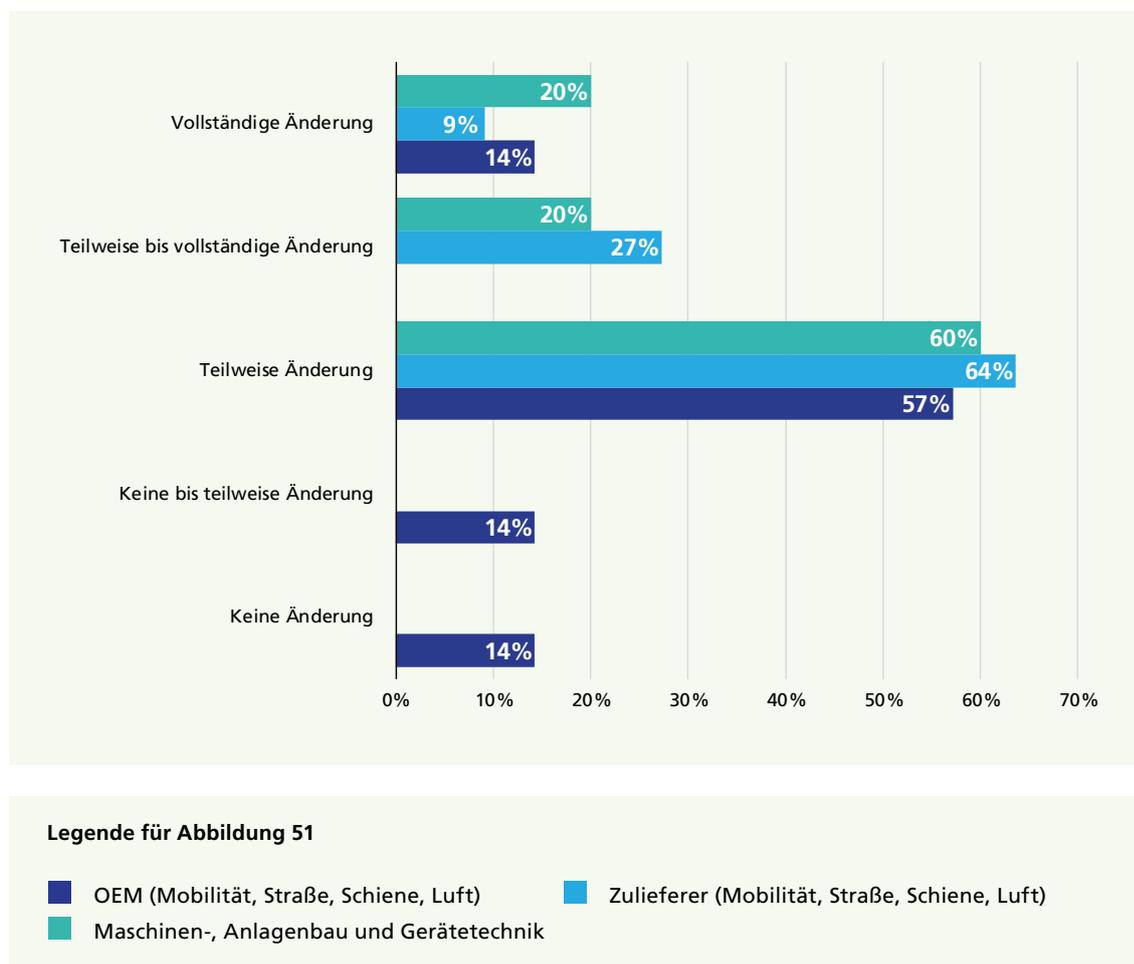


Abbildung 51: Stärke der Veränderung in der Organisation nach Branchengruppe



Skills

Bei den für die Umsetzung notwendigen Skills werden IT-Skills mit 72% am häufigsten genannt (vgl. Abbildung 52). Hierzu zählen unter anderem Skills aus den Bereichen Softwarearchitektur und -entwicklung, Informations- und Datenbankmanagement, sowie Simulation. Fachliche Skills werden mit 56% am zweithäufigsten benannt, wobei 52% der Befragten angeben, dass neue Skills notwendig sind, die noch nicht im Unternehmen vorhanden sind. Daran anschließend finden sich geforderte Skills zum ganzheitlichen Denken über die Fachdomänen hinweg (40%), eine grundsätzlich gesteigerte Qualifizierung oder Weiterbildung (36%) sowie Skills in Data-Analytics und Künstlicher Intelligenz (36%). Einzelnen werden auch Transformations-Skills und soziale

Kompetenz als notwendig benannt. Im Vergleich der von den Unternehmen angebotenen Produktgruppen (vgl. Abbildung 53) zeigt sich, dass für Fahrzeuge deutlich häufiger Skills für Analytics und Künstliche Intelligenz (KI) (63%) benötigt werden als für die anderen Produktgruppen. Öfter noch werden bei Fahrzeugen IT-Skills (75%) benötigt, ebenso wie bei Komponenten und Antrieben (83%). Hersteller von Maschinen und Anlagen geben zumeist allgemein neue Skills (73%) an. Bei 38% der Befragten lässt sich aus ihrer Antwort auch ableiten, wie die benötigten Skills aufgebaut werden sollen (vgl. Abbildung 54). Dabei setzen mit 50% die meisten auf die Einstellung neuer Mitarbeitenden. Außerdem werden Weiterbildung (40%), und interne Ausbildung der Mitarbeitenden (30%), sowie die Kooperation mit Universitäten (10%) benannt.

FRAGE Welche Skills (Fähigkeiten) werden in den Unternehmen zur Umsetzung des Digitalen Zwillings benötigt?

Abbildung 52: Benötigte Skills zur Umsetzung

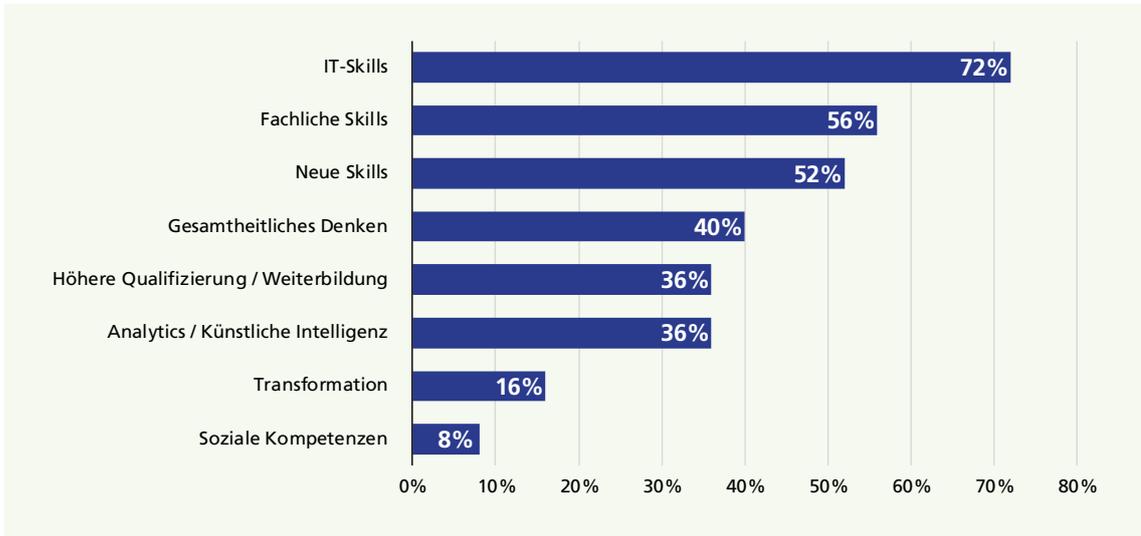


Abbildung 53: Benötigte Skills nach Produktgruppen

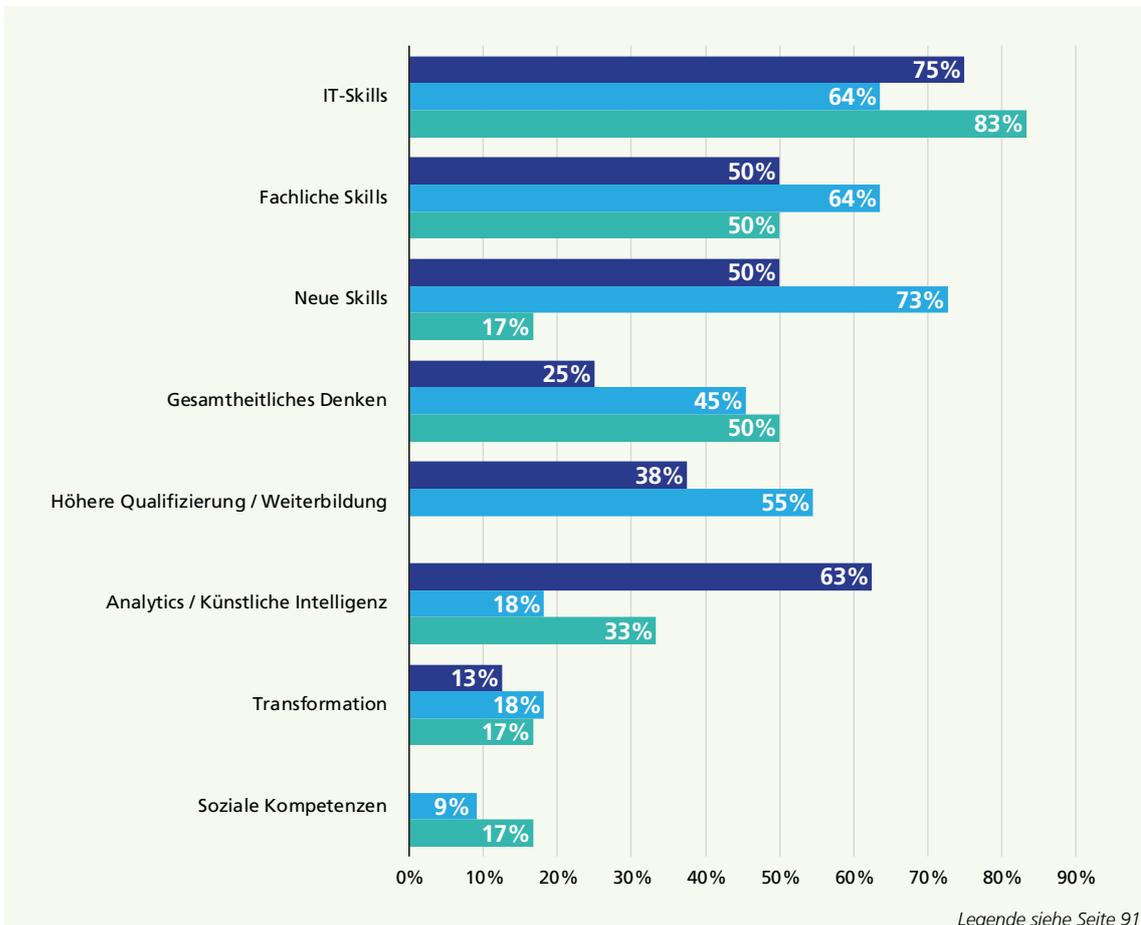
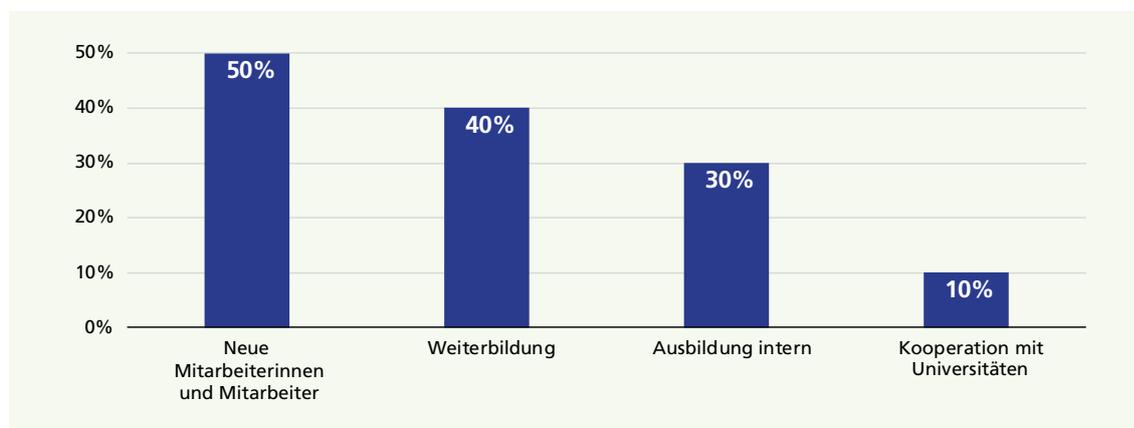


Abbildung 54: Ansätze zum Aufbau benötigter Skills



Daten- und Informationsmodelle

Im Bereich Daten- und Informationsmodelle sind virtuelle und physische Artefakte und dafür benötigte Informationen zu berücksichtigen. In Bezug auf Digitale Zwillinge sind dabei Modelle für den Digitalen Master, den Digitalen Schatten und deren Verlinkung notwendig.

Welche dieser Modelle von den befragten Unternehmen nach eigener Aussage bereits teilweise oder vollständig erstellt wurden, ist in Abbildung 55 dargestellt. Am häufigsten werden die Modelle für den Digitalen Master genannt, die bereits vollständig (13%) oder teilweise (58%) vorhanden sind. Nur drei Unternehmen geben an, die Verknüpfung der Master- und Schattenmodelle vollständig oder teilweise erstellt zu haben. Dies lässt sich dadurch erklären, dass für den Digitalen Master oft vorhandene Daten wie z.B. CAD Modelle verwendet werden. Im Abgleich der entwickelten Modelle mit den abgebildeten Systemen (vgl. Abbildung 56) zeigt sich, dass einige Unternehmen, die ein Produktsystem abbilden, die

Modelle für den Digitalen Master (18%) und für den Digitalen Schatten (12%) schon vollständig erstellt haben. Für Produktions- und Montagezwillinge sind die Modelle nur teilweise erstellt.

Interessant ist auch, wie die Unternehmen die Datenhaltung in der Umsetzung des Digitalen Zwillings organisieren. Es zeigt sich, dass am häufigsten PDM- / PLM- Systeme (25%) und Cloudlösungen (25%) genannt werden (vgl. Abbildung 57). Zentrale (17%) und dezentrale Lösungen halten sich die Waage (13%). Dabei werden Unterschiede nach Branchengruppen deutlich (siehe Abbildung 58). Zulieferer aus dem Bereich Mobilität setzen auf zentrale Lösungen (27%), während OEM dies nicht erwähnen. In umgekehrter Weise setzen diese auf dezentrale Lösungen, was wiederum bei Zuliefernden Betrieben keine Erwähnung findet.

Legende für Abbildung 53

- Fahrzeug (Schiene, Luft, Straße)
- Komponenten und Antriebe
- Maschinen und Anlagen

FRAGE Welche Modelle sind notwendig und inwieweit sind diese bereits erstellt worden?

Abbildung 55: Erstellte notwendige Modelle

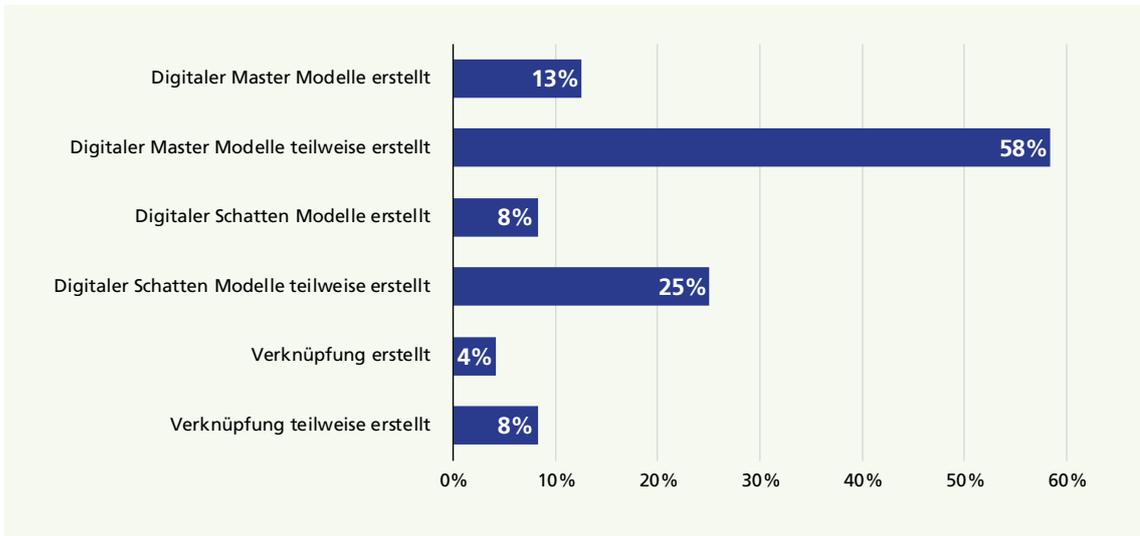
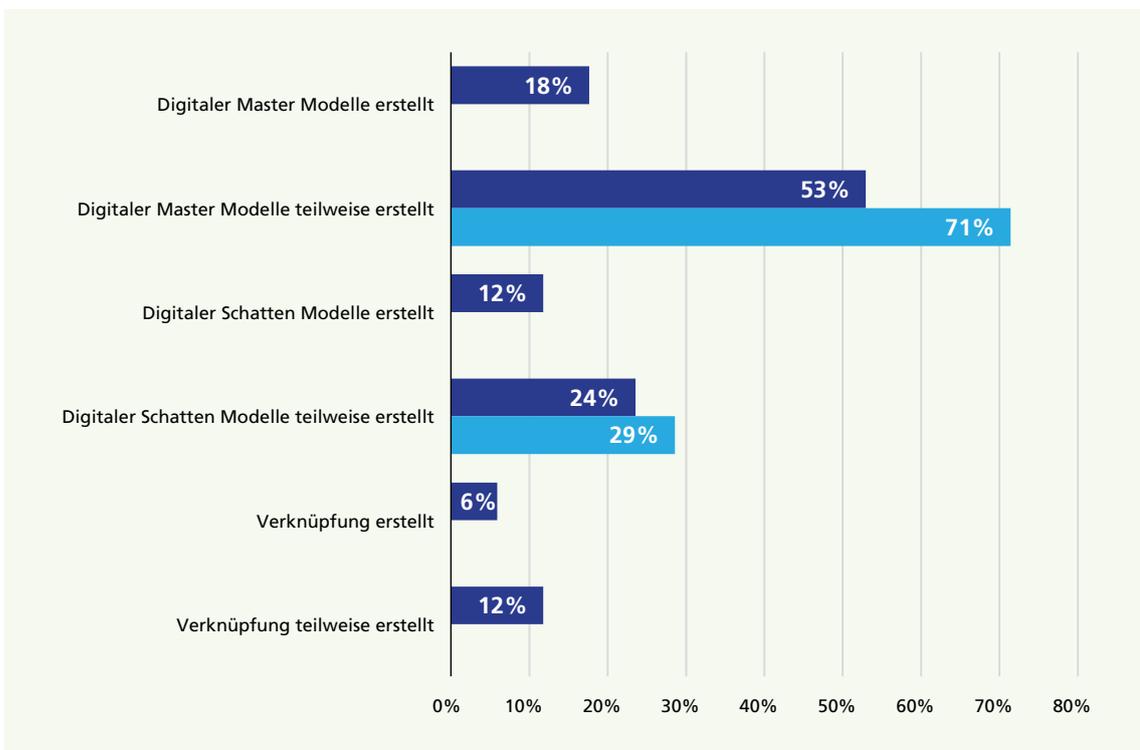


Abbildung 56: Erstellte notwendige Modelle nach abgebildetem System



Legende für Abbildung 56

■ Produktkontext ■ Produktions- / Montagekontext

FRAGE *Wie wird die Datenhaltung in der Umsetzung organisiert?*

Abbildung 57: Organisation der Datenhaltung

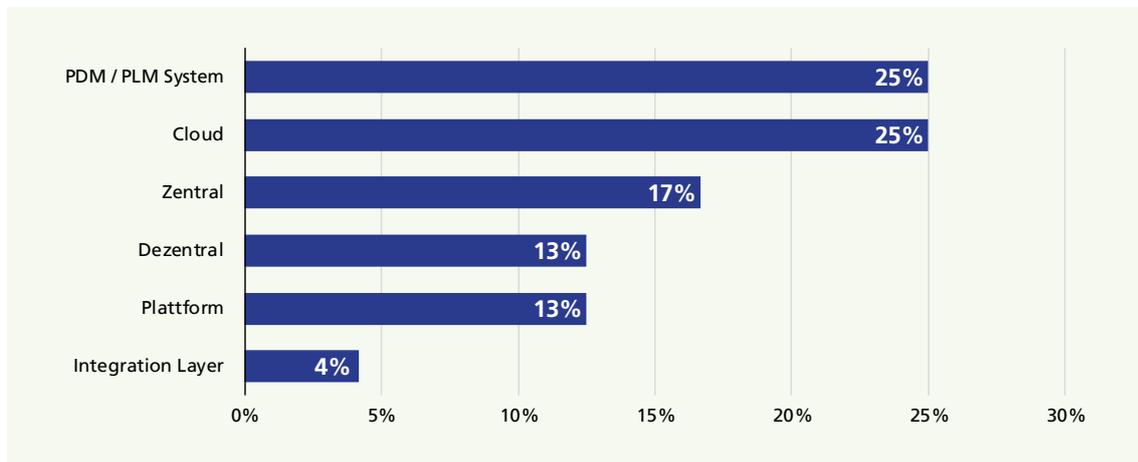
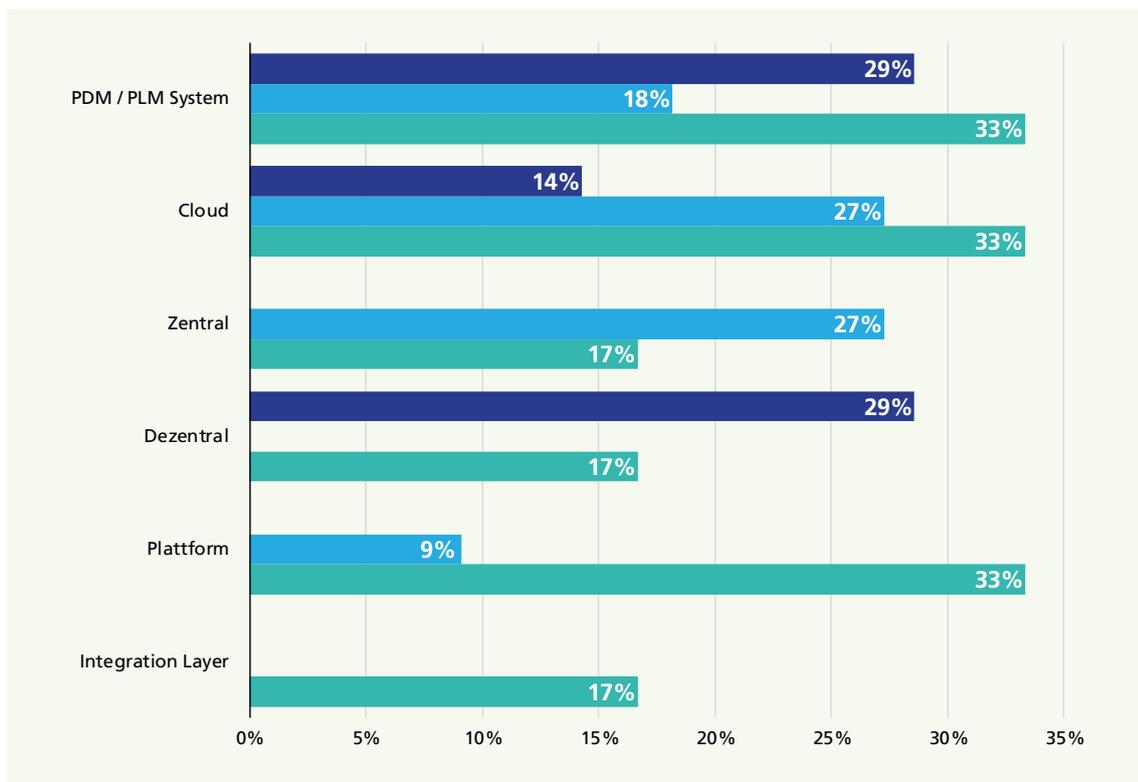


Abbildung 58: Organisation der Datenhaltung nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 58

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

IT-Systeme

Der dritte Bereich der Umsetzungsmaßnahmen betrifft die IT-Systeme. Hier geht es insbesondere um die Art der genannten Lösungen, wie Cloud-, PLM- oder ERP-Systeme. Viele der Befragten nennen hier konkrete Systeme von verschiedenen Vendors. Dies wurde für diese Studie anonymisiert.

Mit über 15 verschiedenen Antworten lässt sich sagen, dass die IT-Landschaft der Unternehmen in Bezug auf den Digitalen Zwilling sehr heterogen ist. Daher werden hier nur Lösungen aufgeführt, die über 20% der Antworten ausmachen. Am häufigsten werden PLM-Systeme (28%) und ERP-Systeme (24%) genannt (vgl. Abbildung 59). Auffällig ist dabei, dass 24% der Unternehmen auf intern erstellte IT-Lösungen setzen.

Einige der vorgestellten Konzepte zum Digitalen Zwilling erfüllen nicht die Anforderungen gemäß der in der Studie verwendeten Definition. Aus dieser Perspektive handelt es sich in diesen Fällen um keine echten Digitalen Zwillinge. Im Vergleich dieser Konzepte zu tatsächlichen Digitalen Zwillingskonzepten werden Unterschiede bei den eingesetzten IT-Systemen deutlich (vgl. Abbildung 60). Es lässt sich die Tendenz erkennen, dass tatsächliche Zwillingskonzepte häufiger auf PLM-Systeme und weniger auf ERP-Systeme oder interne Lösungen setzen.

Mit insgesamt 20 verschiedenen Antwortkategorien fällt auch die Frage nach der technologischen Umsetzung des Informationsaustauschs zwischen den verschiedenen IT-Systemen und Modellen sehr heterogen und wenig spezifisch aus (vgl. Abbildung 61).

Von mehr als einem Befragten werden dabei benannt:

- Automatisierung des Informationsaustauschs,
- Einsatz eines Feedbacksystems in frühere Produktlebensphasen,
- Lösungen aus dem Bereich Internet of Things,
- Aufbau von Schnittstellen,
- Einsatz von Cloudsystemen und
- Modellbasierter Informationsaustausch.

In 24% der Fälle konnten die Befragten keine Aussage treffen. Insgesamt zeigt sich in diesem Bereich eine hohe Unsicherheit.

Für die Datenaufnahme können unterschiedliche physikalische Prinzipien verfolgt werden (vgl. Abbildung 62). Dabei wird in den meisten Ansätzen auf visuelle Systeme wie Kameras (28%) oder Laser (22%) gesetzt. Darüber hinaus werden Drehzahlmessungen, Drucksensoren und akustische Sensoren (je 11%) genannt. Ebenfalls 11% der Befragten verzichten auf den Aufbau von Sensoriken. In 33% der Fälle konnten die Befragten keine Aussage treffen.

FRAGE Welche IT-Systeme werden im Konzept des Digitalen Zwillings eingesetzt und eingeführt?

Abbildung 59: Eingesetzte IT-Systeme

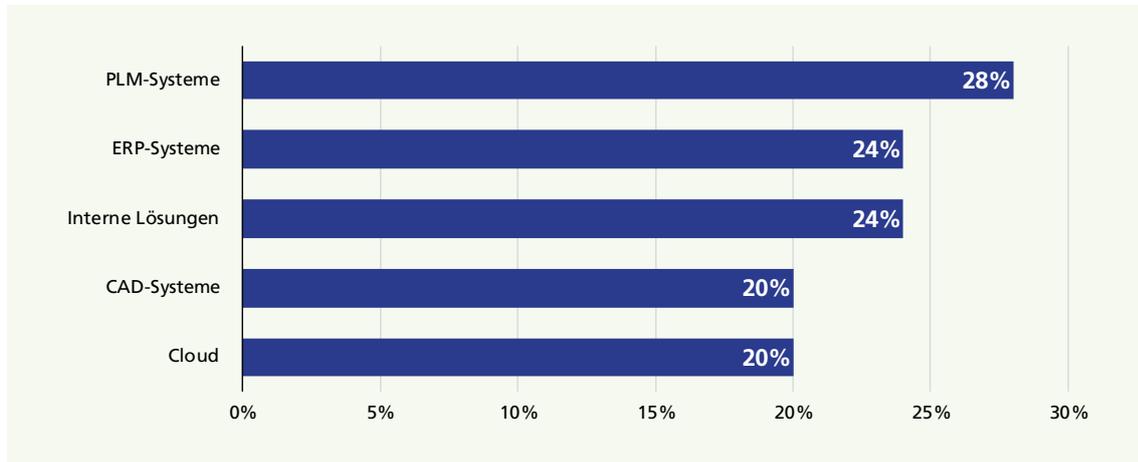
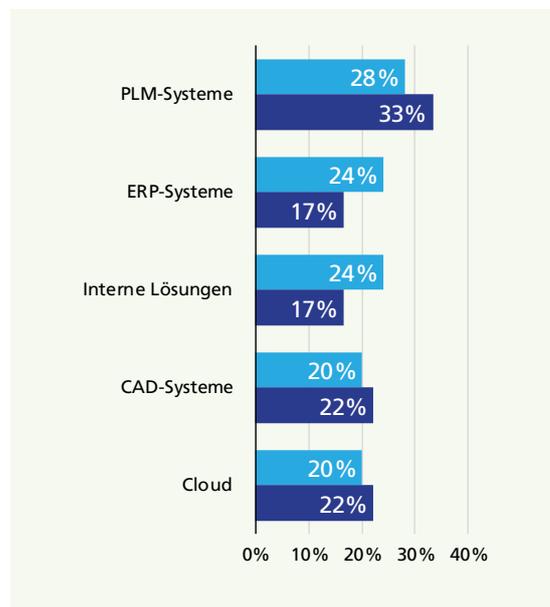


Abbildung 60: Eingesetzte IT-Systeme von tatsächlichen Zwillingssystemen

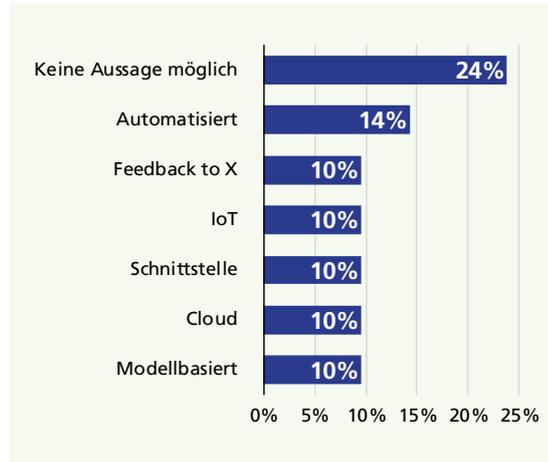


Legende für Abbildung 60

■ Tatsächliche Zwillingssysteme ■ Alle genannten Konzepte

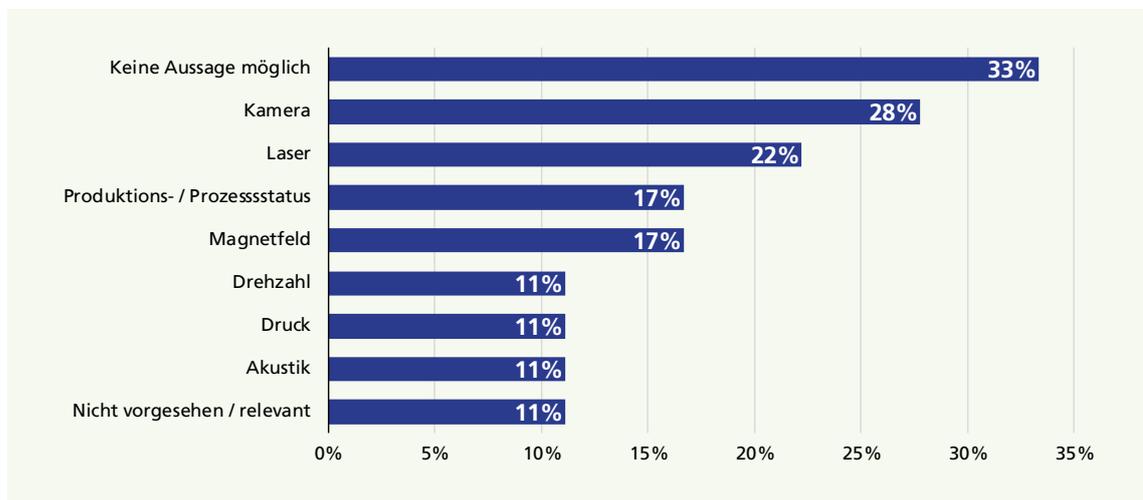
FRAGE *Wie wird der Informationsaustausch zwischen den verschiedenen IT-Systemen und Modellen technologisch umgesetzt?*

Abbildung 61: Umsetzung des Informationsaustauschs



FRAGE *Welche physikalischen Prinzipien werden für die Sensorik und Aktorik in der Umsetzung verwendet?*

Abbildung 62: Sensorik und Aktorik



Zusammenfassung und Fazit

Die meisten der befragten Unternehmen erwarten bei der Umsetzung des Digitalen Zwillings eine Änderung in der Organisation: Neue Stellen werden geschaffen; neue Verantwortlichkeiten entstehen. Darüber hinaus wird in der zukünftigen Organisation eine erhöhte Agilität und gesamtheitliches Denken von den Mitarbeitenden verlangt. Insbesondere die Verantwortung für den Aufbau und die Pflege von Digitalen Zwillingsmodellen sowie die Datenverantwortung sind im Unternehmen zu klären. Die wenigsten Unternehmen haben die zu erwartenden Änderungen bereits umgesetzt. Einige der Befragten geben jedoch an, dass die notwendigen Änderungen im Rahmen von parallel erfolgenden Digitalisierungsprojekten umgesetzt werden.

Es sind diverse Unternehmensprozesse von der Umsetzung Digitaler Zwillinge betroffen. Am häufigsten wird hier der Bereich Forschung und Entwicklung genannt. Auffällig ist, wie viele Unternehmen sich darüber im Unklaren sind, wie diese Veränderung zu gestalten ist. Die jeweiligen Fachbereiche sehen die notwendigen Veränderungen isoliert und außerhalb ihres eigenen Verantwortungsbereichs. Die IT sieht die Verantwortung bei den Entwicklungsabteilungen, die Entwickelnden hingegen bei der IT.

Die von den Unternehmen benötigten Skills sind vor allem IT-Skills, fachliche Skills, gesamtheitliches Denken und Analytics. Dabei wird deutlich, dass für Digitale Zwillinge von Fahrzeugen am häufigsten Analytics und KI-Skills benötigt werden. Die benötigten Skills sollen zum Großteil durch neue Mitarbeitende oder durch Weiterbildungen realisiert werden. Hier zeigen sich klare Unterschiede der Unternehmen: Teilweise werden neue Mitarbeitende eingestellt und bestehende Rollen bleiben erhalten, teilweise werden sich die existierenden Rollenbeschreibungen komplett verändern. Dann reicht es nicht mehr aus, den eigenen Fachbereich zu

beherrschen, sondern es wird zusätzlich nötig sein, Daten-Analytics-Skills zu besitzen.

Bezüglich der Umsetzung in Daten- und Informationsmodellen ist die Erstellung der Digitalen Mastermodelle am weitesten fortgeschritten. Dies erscheint nachvollziehbar, da diese Modelle bereits in der umfassend digitalisierten Entwicklung entstehen. Häufig können somit die existierenden Modelle im Digitalen Master weiterverwendet werden. Zwischen den Branchen sind Unterschiede in Bezug auf die Zentralität der Datenhaltung sichtbar: OEM präferieren eine dezentrale Datenhaltung; Zulieferer setzen auf zentrale Lösungen.

Die Umsetzung im Bereich der IT-Systeme zeigt variantenreiche Ansätze. Am häufigsten werden PLM- oder ERP-Systeme sowie interne Lösungen genannt. Ebenso heterogen ist der Informationsaustausch zwischen den verschiedenen IT-Systemen und Modellen. Hier zeigt sich eine hohe Unsicherheit in der Umsetzung. Sehr unklar sind auch die Details im Bereich Sensorik. Dies wird vor allem dadurch deutlich, dass ein Drittel der Befragten hier keine näheren Angaben machen konnten.

Zukunft und Nachhaltigkeitspotenziale Digitaler Zwillinge

*Wie sieht die Zukunft des Digitalen Zwillings aus?
Wie relevant ist der Digitale Zwilling für die ökologische und soziale Nachhaltigkeit?*

35% erwarten, dass ihr Digitaler Zwilling bis 2040 das gesamte System, mit dessen Umgebung, abbilden kann.

38% erhoffen sich bis 2040 bessere oder neuere Geschäftsmodelle durch den Digitalen Zwilling.

27% rechnen damit, dass ihr Digitaler Zwilling vor 2040 im Einsatz ist.

63% sehen ein sehr hohes Potenzial, dass Digitale Zwillinge in Zukunft auch Nachhaltigkeitsbewertungen durchführen.

„Der Digitale Zwilling wird den gleichen Effekt auf die Marktleistung haben wie der mechanische Webstuhl im 18. Jahrhundert.“

Dirk Denger

„Bei der Deutschen Bahn werden umfangreiche Digital Twins heute bereits in der Netz- und Infrastrukturplanung eingesetzt. In der Zukunft würden wir jedoch vermehrt ein Zusammenspiel und vielleicht sogar ein übergreifendes System von Digital Twins sehen. Dieses Ökosystem könnte somit die Basis für virtuelle Planungen und Steuerungen von ganzen Geschäftsbereichen werden.

Der Digital Twin bildet damit ein wichtiges Fundament der Digitalisierung von Morgen.“

Cord Gatzka, DB System GmbH

Zukunft und Nachhaltigkeitspotenziale Digitaler Zwillinge

Die Analyse der aktuellen Digitalen Zwillingkonzepte in den vorangegangenen Kapiteln gibt einen guten Einblick in den heutigen Stand im industriellen Einsatz. Es zeigt sich, dass Digitale Zwillinge zunehmend Produkt- und Produktionssysteme und in ihrer Umsetzung die Prozesse, Organisationen, IT-Systeme und Datenmodelle verändern. Zusammenfassend motiviert die Idee und das Konzept der Digitalen Zwillinge die gesamte bestehende Wertschöpfung. Zusätzlich getrieben wird der Fortschritt durch Innovationen im Bereich Digitalisierung der Entwicklungsumgebungen, Ansätze der Industrie 4.0 sowie Smarter Produktentwicklung und des Advanced Systems Engineering.

Basierend auf den Erkenntnissen aus den Bereichen Verständnis und Einsatz, Zielbilder und Konzepte sowie Umsetzungsmaßnahmen mit Fokus auf aktuelle Digitale Zwillingkonzepte, stellt sich die Frage nach der Zukunftsvision für Digitale Zwillinge. Die Berücksichtigung ökologischer und sozialer Nachhaltigkeitsindikatoren spielt in diesem Kontext eine besondere Rolle. Das Konzept des Digitalen Zwillings bietet eine Möglichkeit, Informationen produktindividuell nachvollziehen und auswerten zu können. Jedem Produkt könnte im Rahmen seines Digitalen Zwillings ein individueller Fußabdruck – begonnen bei der Wertstoffförderung bis zum Recycling – zugeordnet werden. Durch die verfügbaren Informationen können nachfolgende Produktgenerationen bewusster hinsichtlich ihres ökologischen und sozialen Impacts entworfen und umgesetzt werden.

In diesem Kapitel wird deshalb der Frage nachgegangen, wie die befragten Unternehmen die Zukunft Digitaler Zwillinge mit einem Zeithorizont von 20 Jahren – also bis 2040 – sehen. Dabei wird einerseits untersucht, wie die Zukunft aus Sicht der Unternehmen für Digitale Zwillinge aussieht

und andererseits welche Nachhaltigkeitspotenziale durch Digitale Zwillinge erwartet werden.

Zukunft Digitaler Zwillinge

Bei der Frage nach der Vision der Unternehmen für Digitale Zwillinge wurde der Betrachtungszeitraum mit 20 Jahren bewusst weit gefasst. Das Ziel war es, die Einschätzungen der Befragten zur Weiterentwicklung und der zukünftigen Bedeutung Digitaler Zwillinge zu ermitteln. Mitunter führte der weit gelegte Betrachtungszeitraum von 20 Jahren zur Verunsicherung der Befragten, da in der Industrie im Allgemeinen keine konkreten Strategien oder Veränderungen in diesen Zeiträumen geplant werden.

Interessant ist, mit welchen Aspekten sich die Befragten in den nächsten 20 Jahren beschäftigen werden und welche Schritte für sie notwendig sind, um Digitale Zwillinge über die konkret betrachteten Konzepte hinaus einsetzen zu können. Die Antworten zeigen, dass der Fokus klar auf dem Inhalt – also dem abgebildeten System und den entsprechenden Informationen – und nicht, wie angenommen, auf dem Nutzen oder dem Geschäftsmodell liegt (vgl. Abbildung 63). 69% der Unternehmen fokussieren sich bei der Beschreibung der Zukunft des Digitalen Zwillings auf den Inhalt. Danach werden sich am häufigsten Gedanken um die notwendigen Fähigkeiten (65%) und die Aufgaben (65%) des Digitalen Zwillings gemacht. Nur 38% berücksichtigten die Möglichkeiten, die Digitale Zwillinge für das Geschäftsmodell bieten. Eine damit verbundene Nutzenzentrierung Digitaler Zwillinge ist entweder durch die Befragten als grundsätzlich vorausgesetzt angesehen oder wird bisher nicht ausreichend in den Fokus gelegt. Auch an dieser Stelle wird deutlich, dass Digitale Zwillinge nicht als Selbstzweck entwickelt

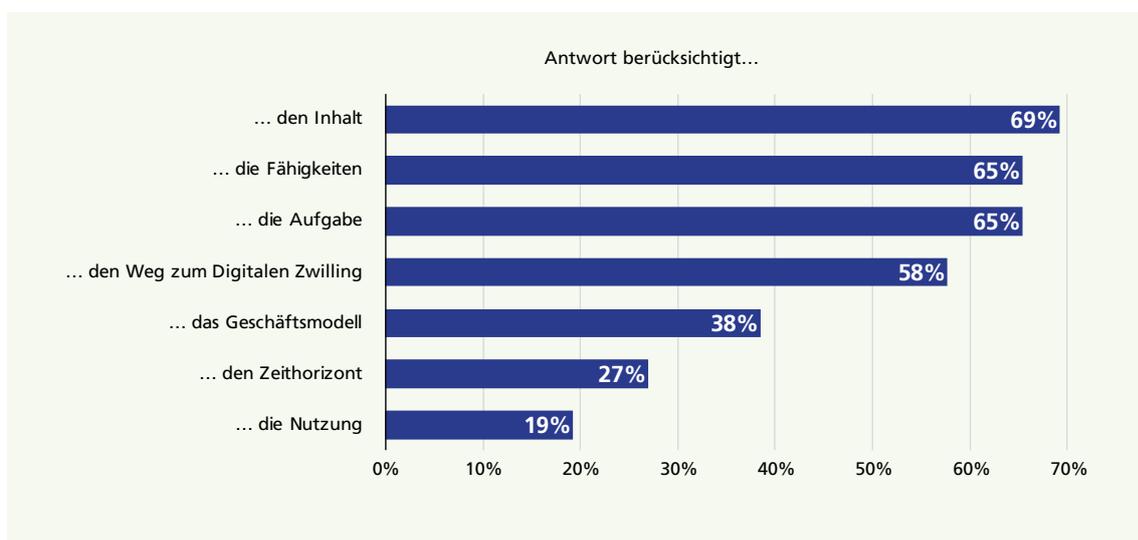
werden sollten – eine bedarfsorientierte Konzeptentwicklung setzt immer bei den Anforderungen an, die aus dem anvisierten Nutzen abgeleitet werden. Gleichzeitig wurde bereits im Rahmen der Zielbildbetrachtung und dessen Reifegradbewertung deutlich, dass viele Unternehmen hier die ersten Grundsteine gelegt haben. Dies kann den Fokus auf die Ausgestaltung und Weiterentwicklung der technologischen Elemente und Fähigkeiten erklären.

Bei der Analyse der Antworten in jeder dieser Kategorien wird deutlich, wie heterogen die Zukunft Digitaler Zwillinge durch die Unternehmen tatsächlich gesehen wird

(vgl. Abbildung 64). Dies entspricht der großen Diversität der betrachteten Konzepte im Rahmen dieser Studie und dem weiten Spektrum an Anwendungsfällen. Im Folgenden werden die entsprechenden Bereiche der zukünftigen Fähigkeiten, Geschäftsmodelle, Aufgaben und Mehrwert sowie Inhalt und Nutzung Digitaler Zwillinge betrachtet. Außerdem wird analysiert, wie die befragten Unternehmen den Weg bis hin zum zukünftigen Einsatz Digitaler Zwillinge sehen und wie ihre Einschätzung zum betrachteten Zeithorizont bis dahin ist.

FRAGE *Mit welchen Themen beschäftigen sich die Unternehmen in Bezug auf den Digitalen Zwilling in den nächsten 20 Jahren?*

Abbildung 63: Zukunft des Digitalen Zwilling in 20 Jahren: Antwortspektrum



Zukünftige Fähigkeiten

Die Analyse der betrachteten Konzepte in den vorangegangenen Kapiteln zeigte, dass die heutigen Ansätze eher selten komplexe Einsatzszenarien vorsehen – die Fähigkeiten Digitaler Zwillinge sind heute häufig auf die Informationsbereitstellung fokussiert (vgl. Abbildung 64). In der Zukunftsbetrachtung ändert sich dies. Der Digitale Zwilling selbst soll weitere Fähigkeiten erhalten. Es fällt auf, dass der Aspekt der Steuerung und Prognose für 27% der Befragten eine wichtigere Rolle einnimmt. Zudem weitet sich der Betrachtungsrahmen auf ein Netzwerk Digitaler Zwillinge aus: Es benennen 31% der Befragten eine Zunahme von Verknüpfungen und Interaktionen mit Digitalen Zwillingen. Der Digitale Zwilling wird sogar von 15% als Enabler für automatisierte Entwicklungstätigkeiten gesehen. Dies würde bedeuten, dass die heutigen Ingenieur Tätigkeiten im Rahmen der Produktentwicklung durch die Erkenntnisse Digitaler Zwillinge nicht nur unterstützt, sondern teilweise automatisiert abgeleitet werden. Da die Automatisierung der Produktentwicklung durch beispielsweise Modularisierung und Baukastensysteme bereits erforscht wird, scheint es durchaus realistisch, dass diese Ansätze durch Echtzeitdaten des Digitalen Masters und die Erkenntnisgewinne des Digitalen Zwillinges angereichert werden. Daher ist auch die Nennung von Ansätzen des Machine Learnings als Fähigkeit des Digitalen Zwillinges nicht überraschend. Es fällt jedoch auf, dass dies mit 4% für sehr wenige Befragte ein Thema zu sein scheint. Gleichzeitig ist Künstliche Intelligenz ein stark diskutiertes und relevantes Thema im Rahmen intelligenter Systeme und Automatisierung von Entscheidungen.

Zukünftige Geschäftsmodelle

Im Bereich der Geschäftsmodelle sehen 27% die Relevanz neuer digitaler Angebote als Treiber der Zukunft. Der Digitale Zwilling übernimmt also weiterhin eine große Rolle für die Erneuerung der Geschäftsmodelle

für die Endkundinnen und -kunden. Dies wurde auch bereits in der Geschäftsmodellbetrachtung der heutigen Konzepte in den vorangegangenen Kapiteln deutlich. Insgesamt sticht hier hervor, dass nur 4% der Befragten den Verkauf Digitaler Zwillingmodelle als Ziel benennen. Dies ist insbesondere erwähnenswert, da die Unternehmen augenscheinlich weiterhin auf den Schutz des unternehmenseigenen Wissens setzen. Der Verkauf von beispielsweise digitalen Modellen und darauf basierenden Erkenntnissen ist scheinbar noch nicht im Fokus. Die Modelle werden also weiterhin bei den jeweiligen modellerstellenden Unternehmen verbleiben und nicht unbedingt mit dem physischen Produkt mitverkauft oder weitergegeben. Vermutlich erhoffen sich viele Unternehmen, durch die 1:1 Verbindung zwischen physischem Produkt bzw. System und Digitalem Zwilling, Zugang zu den Betriebsdaten, also dem Digitalen Schatten, zu erhalten. Darauf basierend werden die Analysen und der Erkenntnisgewinn im Unternehmen, das den Digitalen Zwilling betreibt, generiert. Als neue digitale Angebote können dann die Services, die durch den Erkenntnisgewinn aus dem Digitalen Zwilling gefüttert werden, an die Kundinnen und Kunden offeriert werden. Daher erklärt sich auch die Nennung der Erwartungshaltung an eine verstärkte Einbindung der Kundinnen und Kunden (12%).

Zukünftige Aufgaben und Mehrwert Digitaler Zwillinge

Auch bei einem Zeithorizont von 20 Jahren sehen die befragten Unternehmen ähnliche Aufgaben und Mehrwerte Digitaler Zwillinge wie heute. Die Unternehmen werden sich auch bis dahin mit der internen Produktivitäts- und Effizienzsteigerung beschäftigen (35%). Dies wurde schon in der Analyse der heutigen Konzepte Digitaler Zwillinge im Bereich Geschäftsmodelle und Nutzen als relevant herausgestellt. Es scheint die Unternehmen also auch bis 2040 weiterhin zu beschäftigen, dass der Digitale Zwillinge interne Verbesserungen ermöglichen soll.

Konkret wird das Feedback-to-Design, also das Verbessern der Entwicklungstätigkeiten auf Basis von Digitalen Zwillinge-Informationen, von 27% der Befragten erwartet. Es zeigt sich hier der Wunsch nach einer verbesserten Auslegung und Absicherung der Produkte bzw. Systeme durch den Erkenntnisgewinn der Digitalen Zwillinge während der Nutzungsphase. Um eine interne Prozessverbesserung zu erreichen, werden unterschiedliche Aufgaben des Digitalen Zwillinge konkret vorgeschlagen. Er soll laut je 15% der Befragten

- frühzeitig Potenziale selbstständig erkennen,
- unternehmensübergreifenden Datenaustausch und -durchgängigkeit ermöglichen,
- aktiv Vorschläge für Anwendende einbringen (Vorschlagswesen),
- sowie analog zu den heutigen Konzepten, eine Informationsquelle für eindeutige Informationen entlang des gesamten Lebenszyklus sein.

In diesen Antworten findet sich die gesamte Bandbreite der Erwartungen an den Digitalen Zwilling wieder. Er soll als einfachste Ausprägung eindeutige Informationen bereitstellen, durch ein Vorschlagswesen möglichst frühzeitig bei Entscheidungen unterstützen und in seiner höchsten Ausbaustufe selbstständig neue Potenziale erkennen. Hier kann der Digitale Zwilling dann laut 8% der Befragten sogar eine Aufgabe bis hin zum Zentrum der unternehmerischen Wertschöpfung übernehmen.

Welchen Inhalt sollen Digitale Zwillinge zukünftig abbilden?

Während in den heute betrachteten Konzepten häufig Geometriemodelle als Teil von Produktsystemen oder Montagelinien als abgebildetes System Digitaler Zwillinge genannt wurden, erweitert sich das Spektrum in den nächsten 20 Jahren. Für 35% der Unternehmen sollten Digitale Zwillinge bis in 20 Jahren das gesamte System sowie dessen

Umgebung abbilden können. Dies erscheint auf den ersten Blick sehr groß gegriffen, ist aber kongruent mit der Vorstellung, dass alle Digitalen Modelle aus der Produktentwicklung über den gesamten Lebenszyklus weiterleben, also mit Schattendaten angereichert werden sollen. Da die Produktentwicklung bereits über sehr weitreichende Modelle mit großem Informationsgehalt – auch über Umfeld und Nutzungsverhalten von Produkten – verfügt, wird dies durch zielgerichtete Definition erweiterter Systemgrenzen der Digitalen Zwillinge in Zukunft möglich sein.

Die Frage ist, wie die Unternehmen dies anstreben. Für mehr als ein Viertel der Unternehmen müssen ihre Digitalen Zwillinge bis dahin noch präziser und detailreicher werden: 27% zielen auf eine gesteigerte Präzision und vermehrten Informationsgehalt ab. Dem gegenüber stehen diejenigen Unternehmen, die eher strukturierte und fokussierte Datenerhebung und Informationsspeicherung durchführen wollen. Knapp ein Viertel setzen eher auf kontextspezifische aufbereitete Informationen und ein schlankes Abbild.

Wichtig ist, hier einen Kompromiss zwischen rein explorativer, großflächiger Datenerfassung und Informationsabspeicherung („alles abbilden“) auf der einen Seite und hoch anwendungsfallspezifischer Datenerfassung („schlankes Abbild“) auf der anderen Seite zu finden. Zweiteres birgt die Gefahr, in der Zukunft eine mangelnde Datenbasis für die Beantwortung von heute unbekanntem Fragestellungen zu haben. Der hohe Aufwand einer rein explorativen Datenerfassung, -speicherung und -verarbeitung muss jedoch abgewägt und letztendlich durch einen erwarteten Nutzen gerechtfertigt werden. Hier gilt es, frühzeitig eine strukturierte Datenerfassungsstrategie zu entwickeln und die Kontextualisierung der Daten während der Sammlung und der Speicherung zu berücksichtigen.

Zukünftige Nutzung des Digitalen Zwillings

Auch die Interaktion mit dem Digitalen Zwilling wird sich verändern. Eine Interaktion mit Menschen wird dabei von 12% der Befragten erwartet. Eine vollständige Immersion im Rahmen virtueller Realität wird mit 8% nur vereinzelt benannt. Wird dieses Erkenntnis der Analyse aus den vorangegangenen Kapiteln gegenübergestellt, wird klar, dass die meisten Digitalen Zwillinge sowohl heute als auch zukünftig nicht autonom und selbstständig Aufgaben bearbeiten werden. Eine Schnittstelle zum Menschen wird immer vorgesehen. Dies kann auch die hohe Relevanz von geometrischen Modellen zur Visualisierung der Digitalen Zwillinge begründen. Es überrascht, dass nur 8% die Immersion in der Virtuellen Realität nennen, während Geometriemodelle in den meisten heute betrachteten Konzepten enthalten sein sollen (60%, vgl. Abbildung 40). In den meisten Fällen werden Digitale Zwillinge auch zukünftig den Menschen in seinen bisherigen Aufgaben unterstützen. Sie werden vermutlich teilweise im Hintergrund auf IT-Systemebene agieren; jedoch wird es zwingend notwendig sein, die Art und Weise der Informationsbereitstellung und die Mensch-Schnittstelle nutzerzentriert zu gestalten.

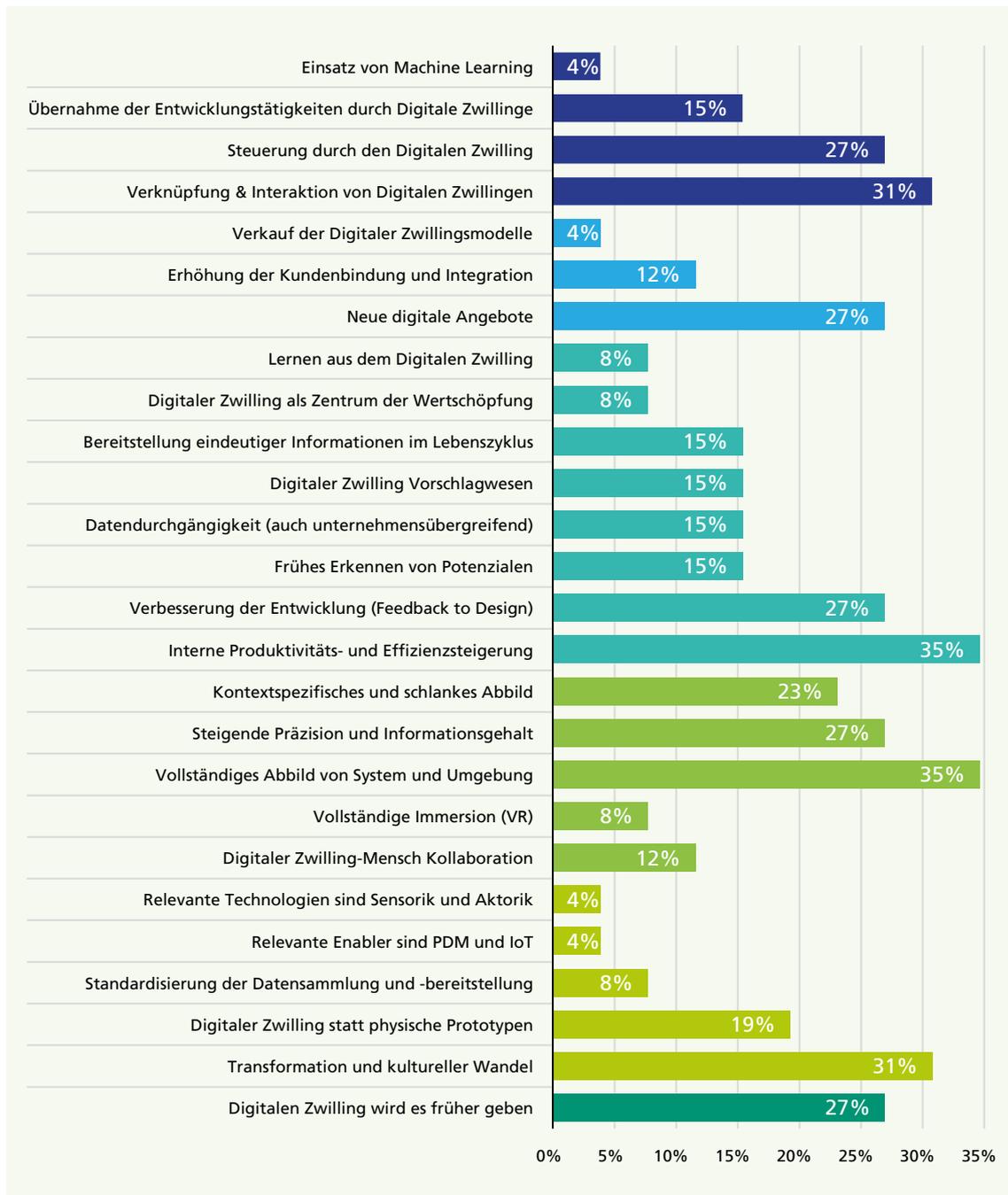
Der Weg zum zukünftigen Digitalen Zwilling

Einige Antworten der Befragten fokussieren sich konkret auf Aufgaben, die im Unternehmensumfeld und auf technologischer Ebene bis dahin als Umsetzungsmaßnahmen adressiert werden sollten. Beispielsweise wird betont, dass bis 2040 und dem vollständigen Einsatz Digitaler Zwillinge noch ein großer kultureller Wandel und eine Transformation im Unternehmen notwendig ist (27% benannten dies). Hier spielt allem voran die Etablierung von domänenübergreifendem Denken und das Abschaffen des silohaften Arbeitens innerhalb der einzelnen Fachbereiche eine große Rolle, wie es auch im Rahmen des Systems Engineering anvisiert wird.

Der kulturelle Wandel ist auch auf die Offenheit der Belegschaft für Digitalisierung von Prozessen und für Zusammenarbeit mit und dem Vertrauen gegenüber intelligenten Systemen bezogen – sei es ein Vorschlagswesen oder ein autonomes System auf Basis Künstlicher Intelligenz. Außerdem wird es für 19% einen verringerten Einsatz physischer Prototypen geben müssen und können. Die Verbesserung der Entwicklungstätigkeiten und vor allem die Verlagerung von Auslegung und Absicherung in die virtuelle Welt kommen hier zum Tragen. Überraschend gering ist die Anzahl an Unternehmen, welche die Aufgabe der Standardisierung von Datensammlung und -bereitstellung als relevante Grundlage für den Einsatz Digitaler Zwillinge sehen. Insbesondere für die Verknüpfung und Interaktion von Digitalen Zwillingen (im Bereich zukünftige Fähigkeiten) und die unternehmensübergreifende Datendurchgängigkeit (im Bereich zukünftige Aufgaben) wird eine Standardisierung oder offene Schnittstellenarbeit unausweichlich sein. Vermutlich hoffen viele der Unternehmen darauf, dass diese Aufgabe durch Initiativen oder Interessensverbände angegangen wird. Im Bereich IT-Systeme wird vereinzelt (von je 4%) vermerkt, dass PDM-Systeme und das Internet of Things (IoT) sowie Sensorik und Aktorik relevante Schlüsseltechnologien darstellen. Dies wird zwar nicht von allen Unternehmen an dieser Stelle genannt, es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die Rolle von PLM/PDM-Systemen und allen Technologien der Industrie 4.0 weiterentwickelt und diese auch für die Entwicklung und den Betrieb Digitaler Zwillinge eingesetzt werden.

Der Zeithorizont bis zum zukünftigen Einsatz Digitaler Zwillinge

Zusätzlich wurde deutlich, dass mehr als ein Viertel den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren in Bezug auf ihre Aktivitäten zum Digitalen Zwilling als zu groß sehen. Die Unternehmen betonen, dass es viel früher, nämlich in den nächsten fünf Jahren, Digitale Zwillinge im breiten Einsatz geben wird.

FRAGE *Wie sieht die Zukunft des Digitalen Zwillings in 20 Jahren aus?*
Abbildung 64: Zukunft des Digitalen Zwillings in 20 Jahren: Antwortspektrum im Detail

Legende für Abbildung 64

- Fähigkeiten
- Aufgabe / Mehrwert
- Nutzung
- Zeithorizont
- Geschäftsmodelle
- Inhalt
- Weg zum Digitalen Zwilling

Ökologisches und soziales Nachhaltigkeitspotenzial

Die heutigen Konzepte Digitaler Zwillinge werden unter anderem mit erhöhtem Erkenntnisgewinn und der Optimierung der Produktqualität oder der Effizienzsteigerung im Produktionsumfeld in Verbindung gebracht. Gleichzeitig bietet der Digitale Zwilling auch aus ökologischer und sozialer Sicht das Potenzial, Verbesserungen in Bezug auf das Produktsystem oder Produktionssysteme anzugehen: beispielsweise die Bewertung und Optimierung der Nachhaltigkeit während der Produktions- und Herstellungs-, Nutzungs- aber auch End of Life-Phase.

Insgesamt sieht ein Großteil der Befragten mit 62% ein großes Potenzial für die Nachhaltigkeitsbewertung durch Digitale Zwillinge für Umwelt und Gesellschaft (vgl. Abbildung 65). Demgegenüber stehen 12% der Befragten, die ein mittleres Potenzial sehen, und gleichzeitig 24% der Befragten, die dem Digitalen Zwilling hier nur wenig Potenzial zuschreiben. Aussagen, dass Digitale Zwillinge kein Potenzial zur Nachhaltigkeitsbewertung haben, erfolgten nicht.

Diese Einschätzung zeigt, dass die Mehrwerte der Digitalen Zwillinge in den betrachteten heutigen Konzepten zwar teilweise sehr konkret auf interne Prozesse oder neue digitale Angebote für Endkundinnen und -kunden fokussiert sind, das Potenzial der Digitalen Zwillinge hiermit aber nicht erschöpft ist. 8% der Unternehmen geben sogar an, dass sie bereits heute einzelne Aspekte der Nachhaltigkeit, wie Energieverbrauch oder Ergonomie innerhalb der Montageoperationen, in der Implementierung der Digitalen Zwillinge umsetzen. Immerhin bei 39% gibt es dafür erste Konzepte und Ideen.

Im Abgleich der Einschätzungen über die Branchengruppen zeigt sich, dass die Einschätzung fast gleich verteilt ist. Lediglich der Anteil der Unternehmen aus dem

Maschinen- und Anlagenbau sowie der Gerätetechnik zeigt eine Tendenz zu geringerem durchschnittlichen Potenzial. Dies mag daran liegen, dass der Fokus der Nachhaltigkeitsbewertung klassischerweise eher nahe an der Endkundin und dem Endkunden bzw. im Produktsystem gesehen wird.

Eine Besonderheit ergibt sich in der Unterscheidung der spezifisch genannten Aspekte, wie beispielsweise Indikatoren oder konkrete Nachhaltigkeitsstrategien (vgl. Abbildung 66). Ganz klar überwiegt die Relevanz Digitaler Zwillinge aus Sicht von 92% der Befragten für ökologische Indikatoren. Spezifisch genannt werden hier:

- Von 16% die Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks, also die Betrachtung und Vermeidung von Emissionen und Einsatz von Ressourcen, die den CO₂-Ausstoß beeinflussen.
- Von 48% die Optimierung der Ressourceneffizienz, also die Betrachtung und Verbesserung des Verhältnisses von eingesetzten Ressourcen, wie Rohstoffe, Energieressourcen oder Wasser, zu dem Nutzen oder Endergebnis – also dem resultierenden Produktsystem.
- Von 56% die Optimierung der Energieeffizienz, also die Verbesserung der Quote von eingesetztem Energieströmen im Vergleich zum resultierenden Nutzen als Untergruppe der Ressourceneffizienz.

In Einzelfällen wird die Möglichkeit beschrieben, die soziale Nachhaltigkeit zu bewerten, wenngleich betont wird, dass dies eine besondere Herausforderung darstellt. Soziale Indikatoren sind einerseits schwer einheitlich zu definieren und andererseits zu messen. Zudem werden sie im Gegensatz zu den Indikatoren der ökologischen Nachhaltigkeit selten im Rahmen von Industrie 4.0 mit erhoben, da sie wie faire Löhne oder Gesundheit häufig menschenbezogen sind. Zudem wird von 16% benannt, dass Digitale Zwillinge die Lebenszeit von Produkten bzw. Systemen als Nachhaltigkeitsstrategie durch verbesserte Reparatur- und

Instandhaltungsprozesse verlängern können. Dies ist ein klassischer Ansatz aus dem Bereich der Circular Economy.

Im Vergleich der im Digitalen Zwilling abgebildeten Systeme (vgl. Abbildung 68) zeigt sich, dass besonders bei Konzepten, die Produktionssysteme abbilden, mit 86% ein hohes Potenzial der Nachhaltigkeitsbewertung gesehen wird. Nur 14% der Unternehmen, die heute Digitale Zwillinge im Produktionskontext entwickeln, sehen hier wenig Potenzial. Bei Konzepten, die Produktsysteme abbilden, ist die gleiche Tendenz zu erkennen. Im Mittel fällt die Bewertung allerdings geringer aus, da hier 26% beispielsweise nur wenig Potenzial sehen.

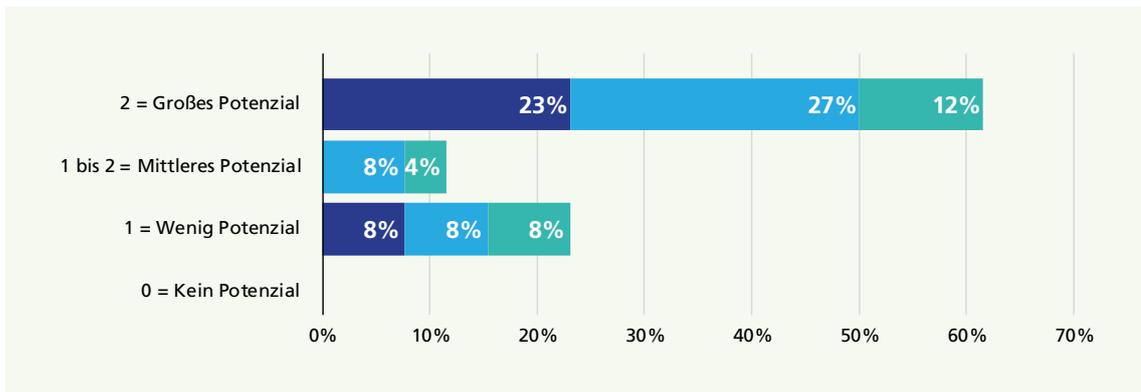
Häufig ist hier der Grund, dass die Datenerfassung im Produktionskontext einfacher und bereits durch Industrie 4.0-Technologien weit vorangeschritten ist – während Unternehmen, die Produktzwillinge entwickeln, noch unsicher sind, inwiefern sie im Feld wirklich qualitative Daten erfassen können. Insbesondere die Nachverfolgung von Materialströmen in der Nutzungsphase implizieren einen Zugriff auf Wartungs- und Instandhaltungsinformationen. Daten aus der Nutzungsphase fließen jedoch selten

zurück in die entwickelnden oder herstellenden Unternehmen. Andererseits bleiben der Energieverbrauch und Emissionen von Produktsystemen in der Nutzungsphase häufig ein Geheimnis für die Endkundinnen und -kunden. Die Unternehmen legen die Produktsysteme für bestimmte Einsatzszenarien aus und könnten ihre Plandaten zu Energieverbrauch oder Emissionen anhand von Felddaten langfristig verbessern.

Viele Nachhaltigkeitsinitiativen in Unternehmen sind nicht durch Probleme im operativen Ablauf getrieben, sondern meist durch strategische Entscheidungen oder regulatorische Anforderungen. Digitale Zwillinge könnten an dieser Stelle bereits im Einsatz für andere Anwendungsfälle Informationen mit sich tragen, die für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Nutzen sein können, wie beispielsweise eingesetzte Materialien, Energieverbrauch in Kombination mit Lieferketten- und Beschaffungsplanung oder Entsorgungsverträgen. Es lohnt sich also bereits frühzeitig bei neuen Digitalen Zwillingskonzepten die Nachhaltigkeitskomponente mitzudenken und zu integrieren.

FRAGE *Wie wird das Potenzial bewertet, zukünftig Digitale Zwillinge auch zur Bewertung der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit seines physischen Zwillings einzusetzen?*

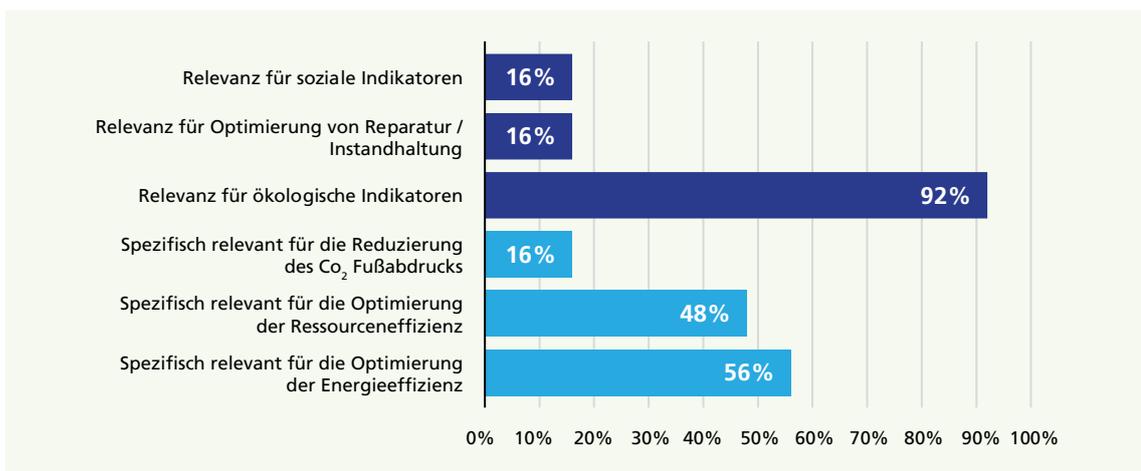
Abbildung 65: Nachhaltigkeitsbewertung mit Digitalen Zwillingen – Potenzial nach Branchengruppen



Legende für Abbildung 65

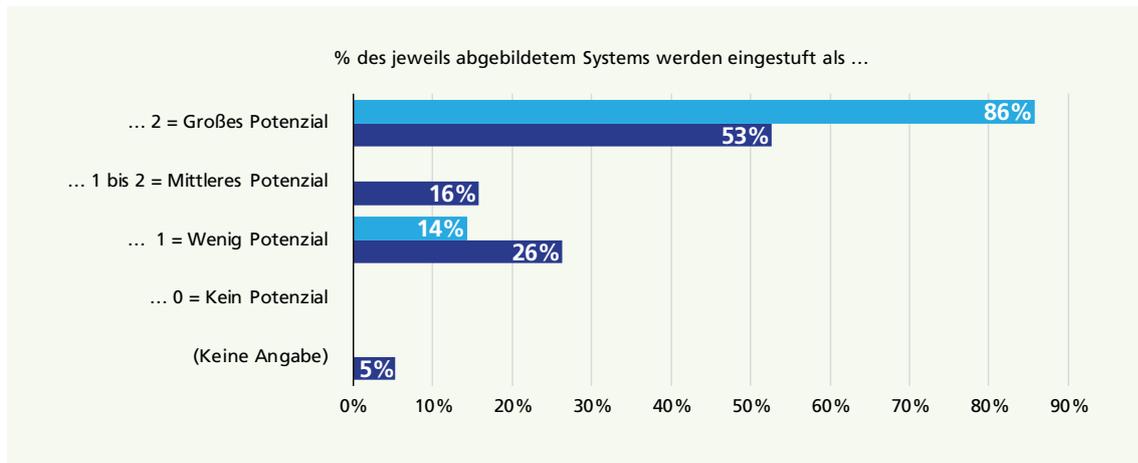
- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik

Abbildung 66: Nachhaltigkeitsbewertung mit Digitalen Zwillingen – Genannte relevante Aspekte der Nachhaltigkeit



Legende für Abbildung 66

- Nennungen in übergeordneten Nachhaltigkeits-Bereichen
- Spezifische Nennungen im Bereich Ökologie

Abbildung 67: Nachhaltigkeitsbewertung mit Digitalen Zwillingen – nach abgebildetem System**Legende für Abbildung 67**

■ Produktkontext ■ Produktions- / Montagekontext

Zusammenfassung und Fazit

Die Betrachtung der Zukunft Digitaler Zwillinge im Hinblick auf die nächsten 20 Jahre zeigt eine große Diversität im Antwortspektrum der Befragten. Dabei stellt sich für einen Großteil nicht nur die Frage, wie Digitale Zwillinge bis 2040 aussehen und was sie können werden, sondern auch, welche Maßnahmen im Unternehmen bis dahin umgesetzt werden müssen und wie der kulturelle Wandel vollzogen werden kann. Die Vision von Digitalen Zwillingen im operativen Einsatz wird den Befragten zufolge jedoch insgesamt nicht erst in 20 Jahren erreicht, sondern schon deutlich früher.

Erwartungen wie gesteigerte Produktivität und Effizienz, sowie erweiterte digitale Produktangebote begründen sich aus der Technologie. Die im Zwilling abgebildeten Informationen werden weiter zunehmen, bis schließlich auch das Umfeld und nahezu alle systembeschreibenden Parameter berücksichtigt werden. Durch die steigende Informationsverfügbarkeit übernimmt der Digitale Zwilling, den Befragten zufolge, dann auch Aufgaben der Steuerung und der Entwicklung. Entweder direkt, indem Entwicklungsaktivitäten ausgeführt werden, oder indirekt durch die Aufbereitung von Informationen aus dem Feldeinsatz der Produkte. Die Fähigkeit des Digitalen Zwillingen auch Prognosen über zukünftiges Verhalten und das Eintreffen von bestimmten Ereignissen zu treffen wird Unternehmen, Kundinnen und Kunden in vielerlei Hinsicht nützlich sein. Sie werden interne Prozesse im Unternehmen effizienter gestalten, Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure bei ihren heutigen Tätigkeiten entlasten und zu besseren Entscheidungen befähigen. Sie werden für Kundinnen und Kunden die Basis für bedarfsorientiertere Serviceangebote darstellen und zudem die Produktqualität durch verbesserte Auslegung und Absicherung erhöhen.

Durch die neuen Funktionen und Leistungen der Systeme wird von einer verbesserten

Interaktion mit und Bindung an Kundinnen und Kunden ausgegangen. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz zur Verbesserung der Prognosen bis hin zur autonomen Entscheidungsfindung wird vor allem bei Prognoseaufgaben vermehrt eine Rolle spielen müssen – obgleich dies nicht allen befragten Unternehmen bisher bewusst zu sein scheint. In diesem Kontext wird es relevant sein, welcher Grad an Autonomie Digitalen Zwillingen zugesprochen wird. Gleichzeitig kann der Einsatz Künstlicher Intelligenz auch bei der Entwicklung und dem Betrieb Digitaler Zwillinge unterstützen: Automatisierte Erstellung von Digitalen Zwillingen, automatisierte Pflege und Optimierung sowie deren Wartung und Instandhaltung. In Betrachtung der bestehenden Umsetzung in den Unternehmen und dem Informationsaustausch zwischen den Unternehmen bleibt abzuwarten, welche Mehrwerte Digitale Zwillinge mittel- und langfristig bieten werden.

Die Unternehmen stehen an dieser Stelle vor der Herausforderung in den Strategien die richtigen Schwerpunkte für die weitere Entwicklung zu setzen, da grundsätzlich über das allgemeine Konzept Digitaler Zwillinge zahlreiche Ziele erreicht werden können. Dabei stellen Veränderungen im Markt, wie die Zunahme Smarter Produkte, steigende Automatisierung in der Produktion und die umfassende Digitalisierung zu berücksichtigende Randbedingungen dar. Eine deutliche Lücke zwischen den Zukunftserwartungen und den derzeitigen Konzepten zeigt sich in der Kommunikation zwischen den Digitalen Zwillingen. Bestehende Konzepte betrachten lediglich die Kommunikation innerhalb des eigenen Unternehmens. Erwartungen der Zukunft verlangen jedoch eine Daten- und Informationsdurchgängigkeit auch zwischen Digitalen Zwillingen über Unternehmensgrenzen hinweg.

In der Nachhaltigkeitsbewertung zeigt das Konzept Digitaler Zwillinge eine seiner weiteren Stärken. Eine umfassende Mehrheit der Befragten bestätigt das Potenzial,

insbesondere in der Bewertung ökologischer Nachhaltigkeit. Die geringere Zustimmung der Unternehmen, dass Digitale Zwillinge auch soziale Indikatoren der Nachhaltigkeit nachverfolgbar und bewertbar machen könnten, ist bedingt nachvollziehbar. Die Diskrepanz und Unsicherheit bezüglich der Bewertung sozialer Nachhaltigkeit ist in der Nachhaltigkeits-Community eine bekannte Herausforderung. Es gilt als äußerst schwierig, hier einheitliche Maßstäbe anzusetzen und eine Bewertung von sozialer Nachhaltigkeit durchzuführen.

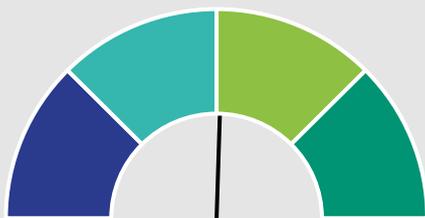
Im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit liegen Potenziale hingegen eher auf der Hand und werden teils schon verfolgt. So werden beispielsweise Energieverbräuche in der Fertigung bereits überwacht und diese hinsichtlich der Kosteneffizienz und Emissionen optimiert. Gleichzeitig bietet sich die Möglichkeit des Monitorings von Materialströmen hinsichtlich Ressourceneffizienz wie auch Emissionen. Digitale Zwillinge können hier eine weitere detaillierte Datengrundlage gewährleisten und

entstehende Aufwände und Emissionen über das Produktleben darstellen, mit geeigneten Algorithmen prognostizieren und Optimierungen ermöglichen. Wichtig ist dabei auch die gleichzeitige Berücksichtigung des ökologischen und sozialen Fußabdrucks von verwendeter Hard- und Software für die Entwicklung und den Betrieb Digitaler Zwillinge. Wie auch bei der allgemeinen Aufwandsbetrachtung für die Einführung Digitaler Zwillinge, die durch den Nutzen gerechtfertigt sein muss, gilt dies auch aus Nachhaltigkeitssicht. Der erwartete Nutzen sollte den Ressourceneinsatz und Emissionsausstoß übersteigen.

Digitale Zwillinge sind und bleiben also auch im Blick in die Zukunft ein mächtiger Enabler für interne Verbesserungen in den Unternehmen, für neue Geschäftsmodelle und digitale Angebote für die Endkundinnen und -kunden, aber auch für die Optimierung der Nachhaltigkeit von Systemen in Bezug auf Umwelt und Gesellschaft.

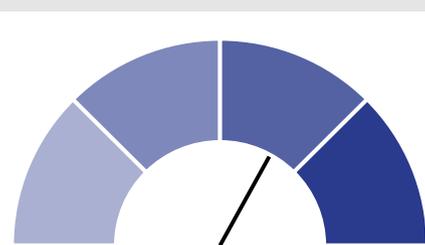
Konsolidierte Reifegrade der befragten Unternehmen

Wie wird die Reife der Unternehmen hinsichtlich Digitaler Zwillinge bewertet?



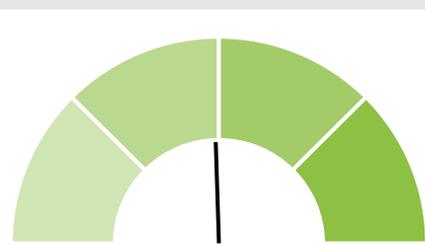
51% Konsolidierte Gesamtreife

Insgesamt befinden sich Digitale Zwillinge in den Unternehmen in der Phase der Konzeption.



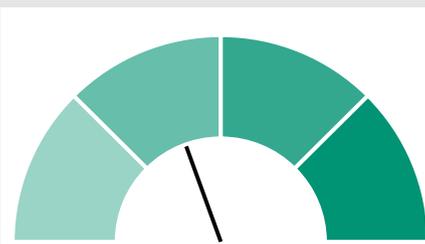
66% Reifegrad „Verständnis und Einsatz“

Das Verständnis zu Digitalen Zwillingen ist sehr fundiert und es gibt bereits erste Erfahrung aus dem Einsatz Digitaler Zwillinge.



49% Reifegrad „Zielbild und Konzept“

Die entwickelten Konzepte weisen eine mittlere Reife auf. Dabei sind Zielbilder schon weiter ausgearbeitet als konkrete Konzepte.



39% Reifegrad „Umsetzung“

Die Umsetzung der Digitalen Zwillinge zeigt noch eine geringe Reife, besonders in Daten- und Informationsmodellen sowie in IT-Systemen.



Konsolidierte Reifegrade der befragten Unternehmen

In diesem Kapitel wird das Gesamtergebnis der Reifegradbewertung über alle Interviews vorgestellt. Die Reifegradbewertung der Unternehmen bezüglich Digitaler Zwillinge erfolgt anhand des einleitend vorgestellten Reifegradmodells (siehe „Studiendesign und Studiendurchführung“ auf Seite 30). Wie vorgestellt, unterteilt sich die Reifegradbewertung dabei folgende drei Bereiche:

1. „Verständnis und Einsatz“
2. „Zielbild und Konzept“ mit der Unterteilung in:
 - Zielbild
 - Konzept
3. „Umsetzung“ unterteilt in:
 - Prozesse und Organisation
 - IT-Systeme
 - Daten- und Informationsmodelle

Diese drei Bereiche werden über den Mittelwert zum Gesamtreifegrad konsolidiert. Im Bereich „Verständnis und Einsatz“ wird das von den Befragten aufgebaute Wissen und die im Unternehmen verwendete Definition hinsichtlich Digitaler Zwillinge bewertet.

Die Bereiche „Zielbild und Konzept“ sind tendenziell strategischer Natur. Die Fragestellungen bilden einen lang- und mittelfristigen Zeithorizont ab.

Im Bereich der „Umsetzung“ gestalten sich die Fragestellungen operativ. Dabei werden Implementierungen Digitaler Zwillinge und entsprechende Maßnahmen betrachtet, um den im Konzept anvisierten Nutzen zu realisieren.

Die Reifegradbewertung erfolgt, wie initial vorgestellt, auf Basis der gegebenen Antworten und in Zusammenfassung der vorgestellten Bereiche, sodass eine allgemeine Reifegradauswertung über alle Interviews hinweg möglich ist.

Die Reife wird dabei auf einer Ordinalskala von 0 (keine Reife) bis 1 (bereits umgesetzt) abgebildet:

Ordinalskala	Num. Skala
Keine Reife	0
Ideenstadium	0,25
Konzeptstadium	0,5
Umsetzung gestartet	0,75
Bereits umgesetzt	1

In der Darstellung der Tachometer (vgl. Abbildung 68) wird die Ordinalskala zur verbesserten Anschaulichkeit in Prozentangaben überführt.

Abbildung 68: Mittlere Gesamtreife aller Befragten

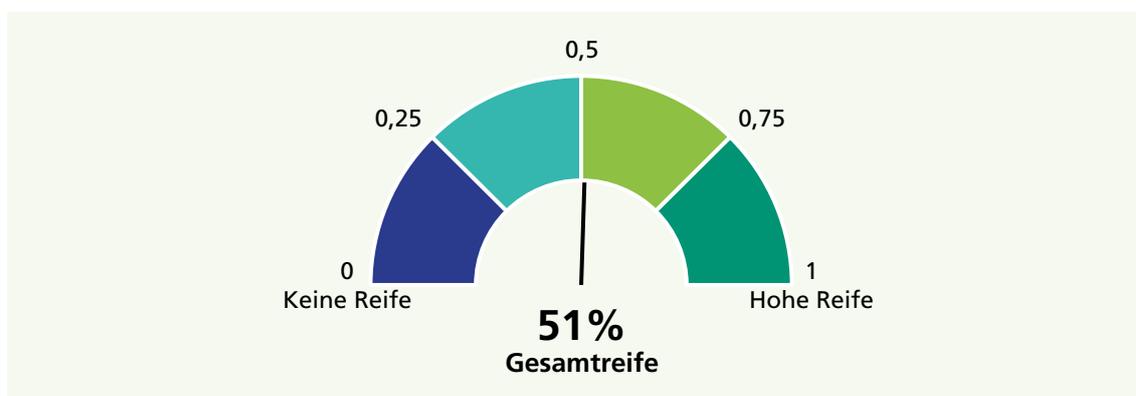
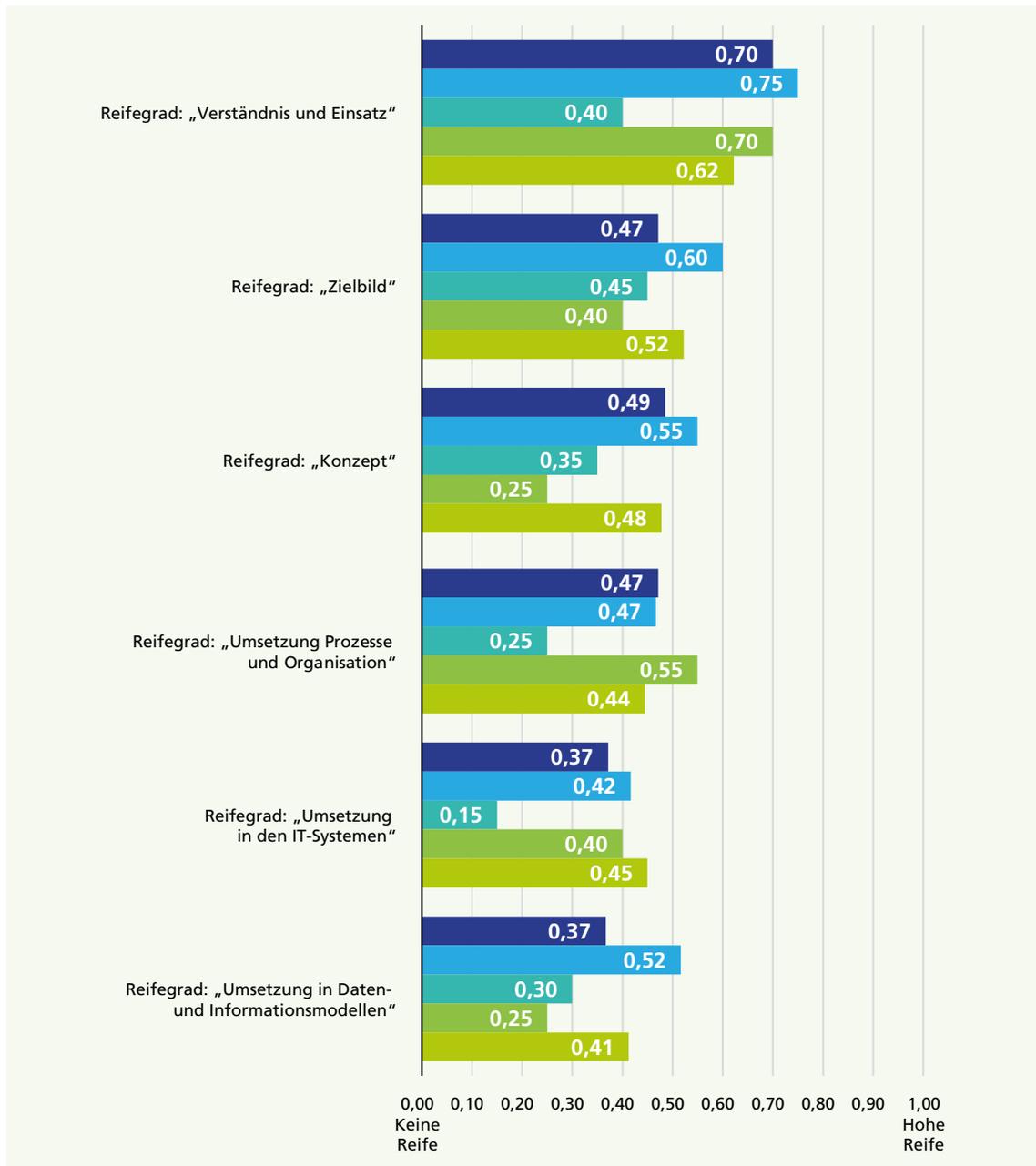


Abbildung 69: Übersicht der bewerteten Reifegrade pro Fachbereich der Befragten



Legende für Abbildung 69

- Entwicklung
- Stabstelle
- Produktion
- Management
- IT

Gesamtreife

Eine grundsätzliche Gegenüberstellung der im Mittel bewerteten Reife zeigt, dass die befragten Unternehmen sich noch in der Vorbereitung zur Etablierung Digitaler Zwillinge befinden (vgl. Abbildung 68).

In der Gesamtheit zeigt sich, dass die Reife bei den strategischen Fragen, wie dem Zielbild (mittlere Reife 0,51) und Konzept (mittlere Reife 0,47) ein mittleres Niveau aufweist, während die Reife in Richtung der operativen Umsetzung deutlich abnimmt. Im Bereich Umsetzung sind die Prozesse und die Organisation am höchsten bewertet (mittlere Reife 0,45), während die Umsetzung in IT-Systemen (mittlere Reife 0,39) und Daten- und Informationsmodellen (0,40) noch gering ausgeprägt ist.

Im Vergleich der befragten Fachbereiche zeigt sich die niedrigste Reife bei Befragten aus der Produktion (vgl. Abbildung 69). Spezielle Stabsstellen für Digitale Zwillinge haben im Vergleich eine hohe Reife in der Einführung Digitaler Zwillinge vermittelt. Aus Branchensicht ist keine eindeutige Tendenz über alle Bereiche zu erkennen, stattdessen sind in den jeweiligen Bereichen unterschiedliche Branchen führend.

Reife „Verständnis und Einsatz“

Die höchste Reife der drei Kernbereiche weist der Bereich „Verständnis und Einsatz“ auf (mittlere Reife 0,66, siehe Abbildung 70), da alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer ein mittleres bis hohes Vorwissen aufweisen und die Einsatzerfahrung relativ hoch ist.

Die Aufschlüsselung nach Branchengruppen (vgl. Abbildung 71) zeigt, dass die Reife des Verständnisses und Einsatzes, also des aufgebauten Wissens, bei Zulieferern der Mobilitätsbranchen am höchsten ausgeprägt ist. Mit einer mittleren Reife von 0,61 und 0,64 sind OEM der Mobilitätsbranchen sowie Maschinen-, Anlagenbauer und Gerätetechniker in dieser Kategorie auf einem ähnlichen Niveau.

Im Vergleich mit den Fachbereichen zeigt sich bei Stabsstellen die höchste mittlere Reife mit 0,75 (vergleiche Abbildung 69). Auch Entwicklung und Management kommen auf einen hohen Wert von 0,7 gefolgt von Befragten aus der IT (0,62). Einen deutlich niedrigeren Wert zeigt der Bereich Produktion mit einer mittleren Reife von 0,4. Die Ursachen hierfür könnten in der Überlagerung mit bestehenden Ansätzen der Industrie 4.0 liegen. Nachfolgende Forschungen sollten hier eine eingehendere Analyse anstreben.

Abbildung 70: Mittlere Reife von „Verständnis und Einsatz“ aller Befragten

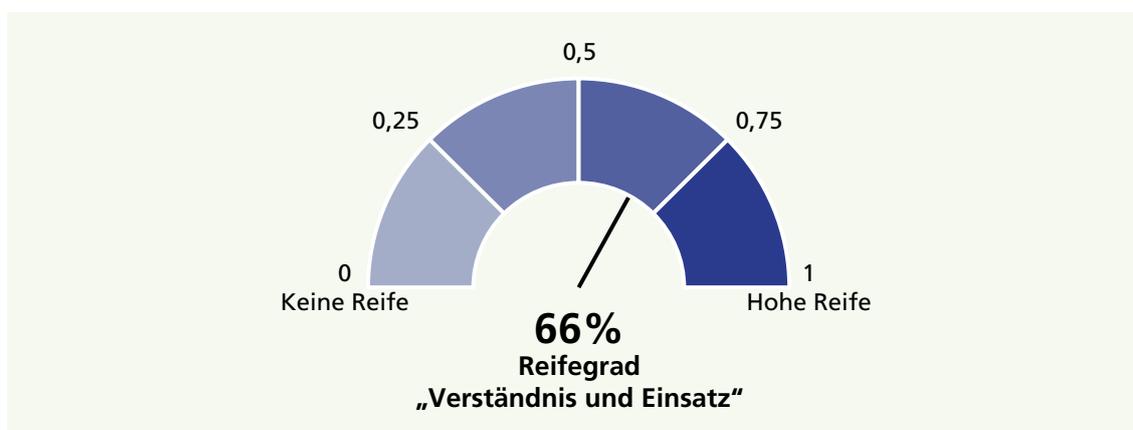
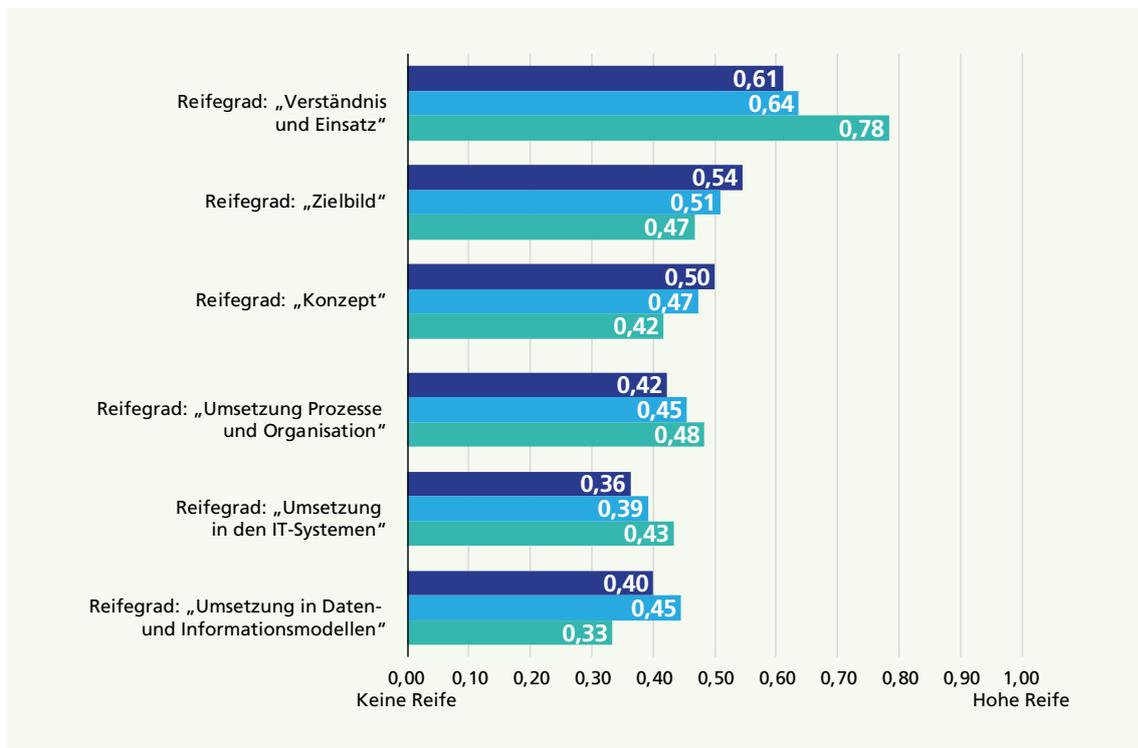


Abbildung 71: Übersicht der bewerteten Reifegrade pro Branchengruppe



Legende für Abbildung 71

- OEM (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)
- Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik
- Zulieferer (Mobilität, Straße, Schiene, Luft)

Reife „Zielbild und Konzept“

Die Reife in der Kategorie „Zielbild und Konzept“ findet sich im mittleren Bereich der „Umsetzung“ (siehe Abbildung 72). Es sind demnach im Schnitt Zielbilder und Konzepte entworfen, diese werden aber noch nicht umgesetzt. Die Unternehmen sind in der Zielbilderstellung mit einer mittleren Reife von 0,51 etwas weiter als in ihren Konzepten mit einer mittleren Reife von 0,47.

Im Zielbild zeigt sich zwischen den Branchengruppen eine sehr gleichverteilte Reife (vgl. Abbildung 71). Mit einer mittleren Reife von 0,54 führen OEM der Mobilitätsbranchen diese Kategorie an, wobei Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik mit einer mittleren Reife von 0,51 ähnlich fortgeschritten sind. Etwas geringer fällt die

mittlere Reife bei den Zulieferern der Mobilitätsbranchen aus (0,47). Ursächlich kann hier die Distanz zu den Kundinnen und Kunden sein, sowie zu deren Bedürfnissen und dem Produkteinsatz im Feld.

Eine ähnliche Verteilung der Branchengruppen findet sich im Bereich des Konzepts. Auch hier führen die OEM mit einer mittleren Reife von 0,5, also einer etwas geringeren Ausprägung als im Zielbild. Auch Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik erreichen im Mittel eine Reife von 0,47. Bei Zulieferern der Mobilitätsbranchen zeigt sich erneut die im Vergleich geringste mittlere Reife mit 0,42.

Abbildung 72: Mittlere Reife der „Zielbilder und Konzepte“ aller Befragten



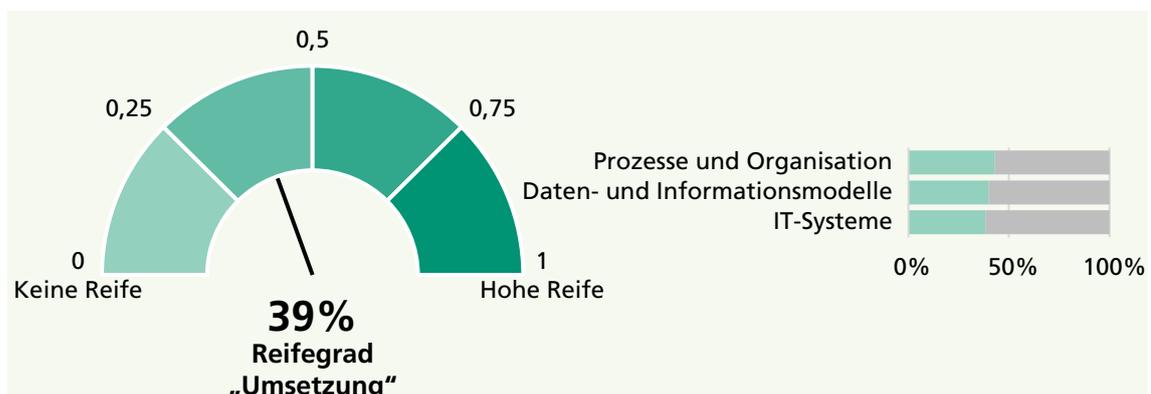
Im Vergleich der Fachbereiche zeigen sich die eingerichteten Stabsstellen mit einer mittleren Reife von 0,6 erneut als führend (vgl. Abbildung 69). Die Befragten aus den IT-Bereichen erreichen einen Wert von 0,52. Darauf folgen die Entwicklung mit einer mittleren Reife von 0,47 und Produktion mit 0,45. Das Management erreicht hier nur eine Reife von 0,4. Dies zeigt sich entgegen der Erwartungen, da grundsätzlich eher davon auszugehen wäre, dass Management-Bereiche Stärken in der strategischen Orientierung aufzeigen würden. Auch hier erscheinen nachfolgende Untersuchungen sinnvoll. Auch im Bereich der Konzepte bildet das Management den letzten Platz mit einer mittleren Reife von 0,25. Hier könnte die fehlenden technischen Orientierungen der Konzeptabbildung eine Ursache darstellen. Eine höhere, jedoch auch nicht ausgeprägte mittlere Reife erreicht der Produktionsbereich mit 0,35. Deutlich

fortgeschritten präsentieren sich die IT, die Entwicklung und die Stabsstellen mit mittleren Reifen von 0,48 bis 0,55.

Reife „Umsetzung“

Im Bereich „Umsetzung“ sind die Unternehmen in der Reifegradbewertung mit 0,39 mittlerer Reife am verhältnismäßig niedrigsten aufgestellt (siehe Abbildung 73). Die Maßnahmen zur Umsetzung in Prozessen und Organisation sowie die notwendigen Skills sind mit einer mittleren Reife von 0,45 am weitesten entwickelt. Jedoch referenziert die mittlere Reife lediglich auf die entworfenen Konzepte, wohingegen die Umsetzung zumeist noch nicht gestartet wurde. Die Bereiche IT-Systeme sowie Daten- und Informationsmodelle weisen eine noch geringere Reife auf (0,39 und 0,40).

Abbildung 73: Mittlere Reife der „Umsetzung“ aller Befragten



In genau umgekehrter Reihenfolge zur Reife im Bereich Konzept präsentieren sich die Branchengruppen im Bereich der „Umsetzung in Prozessen und Organisation“ (siehe Abbildung 71). Hier führen die zuliefernden Unternehmen der Mobilitätsbranchen mit 0,48 mittlerer Reife. Der Sektor Maschinen-, Anlagenbau und Gerätetechnik erreicht eine mittlere Reife von 0,45 während die OEM der Mobilitätsbranchen nur eine Reife von 0,42 aufweisen. Im Bereich „Umsetzung in den IT-Systemen“ zeigt sich mit 0,4 von allen drei Bereichen der Umsetzung die geringste mittlere Reife. Auch hier haben - wie im Bereich der „Umsetzung in Prozesse und Organisation“ - die Zulieferer mit 0,43 die höchste Reife. Darauf folgt der Maschinen-, Anlagenbau und die Gerätetechnik mit 0,39 und OEM der Mobilitätsbranche mit 0,36

Die dritte Dimension der „Umsetzung“ erreicht im Mittel eine Reife von 0,4. Hier führt die Branche der Maschinen-, Anlagenbauer und Gerätetechniker mit einer mittleren Reife von 0,45. Die bereits vorangeschrittene Standardisierung von Kommunikationsprotokollen in der Fertigung könnte eine Ursache dafür sein. Mit einem Wert von 0,4 folgen die OEM der Mobilitätsbranchen vor den Zulieferern mit einem Wert von 0,33. Diese niedrige Reife in der „Umsetzung“ von Daten- und Informationsmodellen könnte in der hohen Abhängigkeit von den OEM begründet sein. Die Daten werden zunächst bei den OEM verfügbar sein und auch von diesen in entsprechenden Modellen aufbereitet werden.

Die Reife verschiedener Fachbereiche in der Umsetzung Digitaler Zwillinge zeigt ein differenziertes Bild (vgl. Abbildung 69). Im Bereich der Prozesse und Organisation zeigt erwartungsgemäß das Management die höchste mittlere Reife mit 0,55. In ähnlicher Reife folgen Stabsstellen und Entwicklungsbereiche mit einer Reife von 0,47 und die IT mit einer Reife von 0,44. Danach folgt die Produktion mit einer mittleren Reife von 0,25. Ursachen können hier in der Fokussierung auf den Produktionsbereich liegen. Im

Ergebnis benötigt die Umsetzung Digitaler Zwillinge in der Produktion Veränderungen in der gesamten Produktentstehung.

Die Reife in der „Umsetzung“ im Rahmen von IT-Systemen ist im Bereich Produktion ebenso wenig ausgeprägt (mittlere Reife 0,15). Deutlich höher zeigt sich diese in den anderen Bereichen, erwartungsgemäß geführt von der IT (0,45) – da hier die Kernkompetenz des Bereichs zu erwarten ist – folgen Management, Stabsstellen und Entwicklung (0,42 bis 0,37).

Im Bereich der Daten- und Informationsmodelle zeigen eingerichtete Stabsstellen erneut ihre Stärke mit einer mittleren Reife von 0,52 die deutlich höher als die der anderen Bereiche ausfällt. Als Grund könnte hier die Verknüpfung von entwicklungsorientiertem und informationstechnischem Wissen sein. Darauf folgen die IT- und Entwicklungsbereiche mit einer mittleren Reife von 0,41 und 0,37. Die Produktion weist den bereichsinternen höchsten mittleren Reifegrad der „Umsetzung“ mit 0,3 auf. Auch hier kann die vorangeschrittene Standardisierung, wie auch Digitalisierung des Fabrikbetriebs und die umfassende digitale Steuerung als Ursache vermutet werden. Die geringste Reife zeigt hier, vermutlich in Folge fehlender Detailkenntnisse, der Management-Bereich mit einer mittleren Reife von 0,25.

Zusammenfassung und Fazit

Die Reifegradbetrachtung aller Unternehmen zeigt eine tendenziell mittlere Reife der betrachteten Konzepte Digitaler Zwillinge. Die Unternehmen sind im Mittel mit einer Gesamtreife von 0,51 noch in der Phase der Konzeptionierung. Während das Verständnis und der Einsatz – also auch die Erfahrungswerte mit 0,66 – schon recht weit fortgeschritten sind, nimmt die Reife bei den stärker operativ geprägten Bereichen ab. Der konsolidierte Reifegrad im „Zielbild und Konzept“ findet sich bei 0,49 mit einer leicht höheren Reife der Zielbilder. Hier spielen vor allem die erwarteten strategischen Ziele und Geschäftsmodellveränderungen eine Rolle. Die Reife der „Umsetzung“, die sich aus Prozessen und Organisation, Daten- und Informationsmodellen sowie IT-Systemen zusammensetzt, ist mit Abstand am wenigsten entwickelt (0,39). Die Umsetzungsmaßnahmen sind im Mittel also noch in der Ideenphase.

In der Gesamtheit muss betont werden, dass die Einführung Digitaler Zwillinge erst dann gelingen kann, wenn in allen benannten Bereichen vom „Verständnis und Einsatz“ über das „Zielbild und Konzept“ bis in die „Umsetzung“ eine hohe Reife erlangt wurde. Erst dann kann aus den Digitalen Zwillingen der anvisierte Nutzen zuverlässig generiert werden.

Der Vergleich der Reifegrade zwischen Kategorien, Branchen und Tätigkeitsbereichen zeigt zunächst, dass die Befragten sich in der Vorbereitung zur Umsetzung Digitaler Zwillinge befinden. Dabei ist anzunehmen, dass andere Industrieunternehmen der DACH-Region als solche etwas hinter diesem mittleren Reifegrad anzuordnen sind, da Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer gezielt nach diesem Kriterium ausgesucht wurden.

Während das Verständnis und Einsatz in Unternehmen insgesamt schon gut verbreitet ist und die Zielbilder sowie theoretischen

Konzepte eine gute Reife aufweisen, finden sich nur wenige Umsetzungen oder vereinzelte Silolösungen.

Im Branchenvergleich zeigt sich in den Mobilitätsbranchen eine Differenz zwischen OEM und Zulieferern. Bislang fehlt Zuliefernden Betrieben der Zugriff auf Felddaten. Die Produktsystemhoheit liegt bei den OEM und somit auch die Datenhoheit. Für OEM, wie auch für Zulieferer, besteht jedoch das Interesse an einer Datendurchgängigkeit und -verfügbarkeit. Hier erscheinen Bemühungen zur Standardisierung der Produktdaten in den Lieferketten und Branchen sinnvoll. Gegebenfalls können auch IT-Systemlösungen, beispielsweise Cloud-Systeme oder unternehmensübergreifende Plattformen, Mehrwerte bieten.

Über die gesamten Konzepte hinweg kann festgestellt werden, dass Unternehmen zu meist noch an individuellen Lösungen arbeiten. Die umfassenden Mehrwerte für Konsumentinnen und Konsumenten entstehen jedoch erst aus den Kollaborationen von Unternehmen. Hier sind neben den Konzepten Digitaler Zwillinge begleitende Veränderungen wie die Smarter Produkte, die stärker in den Umsetzungen berücksichtigt werden sollten, anzuführen.

Im Abgleich der Unternehmensbereiche wird der Vorteil von Stabsstellen deutlich. Durch diese Organisationsform ist das notwendige Wissen scheinbar besser verfügbar, sodass entwickelte Zielbilder, Konzepte und Umsetzungsansätze eine höhere Reife aufweisen.





ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSS- FOLGERUNGEN

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Studie findet Antworten auf die folgenden Kernfragen auf Basis von Experteninterviews mit 26 Unternehmen aus der fertigen Industrie der DACH-Region:

- „Wie beeinflusst der Digitale Zwilling Geschäftsmodelle?“
- „Welcher Mehrwert soll durch Digitale Zwillinge geschaffen werden?“
- „Wie sehen aktuelle Konzepte für den Digitalen Zwilling aus?“
- „Welche Maßnahmen sind für den Digitalen Zwilling notwendig?“
- „Welche Fähigkeiten und Skills werden für den Digitalen Zwilling benötigt?“

Einleitend wurde eine wissenschaftliche Einführung zu Digitalen Zwillingen gegeben und das Studiendesign sowie die -durchführung vorgestellt. Die aggregierten Erkenntnisse jedes Fragebereiches wurden im Detail beleuchtet: Verständnis und aktueller Einsatz in der Industrie, Geschäftsmodell, strategische Ziele und Mehrwert, Konzepte Digitaler Zwillinge sowie Umsetzungsmaßnahmen und Fähigkeiten. Zudem wurden die Zukunft und die Nachhaltigkeitspotenziale Digitaler Zwillinge diskutiert. Anschließend wurden die einzelnen Interviews hinsichtlich der Reife der betrachteten Digitalen Zwillingskonzepte bewertet und diese im Rahmen der Studie dargestellt. Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse der einzelnen Kernfragen dargestellt.

Wie beeinflusst der Digitale Zwilling Geschäftsmodelle?

Mit der Einführung Digitaler Zwillinge sind zahlreiche Erwartungen verknüpft. Dabei lässt sich über die Weite möglicher Anwendungsfälle keine einheitliche Motivation und Beeinflussung der Geschäftsmodelle feststellen. Grundsätzlich erwarten jedoch 35% der Unternehmen ihr Geschäftsmodell mit dem Digitalen Zwilling zu ändern und

27% erhoffen sich ein Angebot neuer Produkte. Auffällig ist, dass viele der Befragten als Hauptziel die Adressierung klassischer Herausforderungen des Produktlebenszyklusmanagements benennen. Zum einen entstammt die Idee Digitaler Zwillinge dem idealtypischen Bild des Produktlebenszyklusmanagements, das den gesamten Lebenszyklus betrachtet und Daten und Modelle aus der Entwicklungsphase weiterverwendet und aktualisiert. Zum anderen wird die Informationsrückführung im Produktleben und das Lernen für neue Produkte durch Digitale Zwillinge adressiert. Dies bedarf einer Datendurchgängigkeit und eines optimierten Entwicklungs- und Betriebsumfeldes. Der Mehrwert Digitaler Zwillinge wird daher häufig im klassischen Lebenszyklusmanagement und nicht nur vorrangig in der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle gesehen.

Eine besondere Herausforderung ergibt sich dabei durch die Notwendigkeit unternehmensübergreifender Zusammenarbeit. Hier gilt es, die Informations- und Datendurchgängigkeit, IT-Systeme, sowie Prozesse und Organisationen über die Unternehmen hinweg zu denken. Digitale Zwillinge sind – in zahlreichen Anwendungsfällen – nicht durch einzelne Unternehmen umzusetzen. Vielmehr ist von einer Kooperation der Digitalen Zwillinge in einem Produktsystem auszugehen. Für diese sind Standardisierungen in Plattformen und Kommunikationsschnittstellen erforderlich. Im Rahmen dieser extern fokussierten Veränderungen wird vermehrt das Ziel benannt, Services auf Basis Digitaler Zwillinge anzubieten, was sich mit begleitenden Trends, wie beispielsweise der Einführung Smarter Produkte, deckt.

Ebenso stehen für viele befragte Unternehmen vermehrt interne Ziele, wie Kostenreduktion, Qualitäts- oder Effizienzsteigerung im Vordergrund. Diese Ansätze basieren auf der Informationsrückführung aus Felddaten.

Herausfordernd ist dies für zuliefernde Betriebe, die meist keinen Zugriff auf die Produktsysteme haben. In Folge ist anzunehmen, dass mit den verfügbaren Felddaten gehandelt wird, wodurch indirekt neue Geschäftsmodelle entstehen können.

Im Gesamten werden die erwarteten Änderungen am Geschäftsmodell als disruptiv bewertet. Digitale Zwillinge werden zwar nicht als das neue Produkt gesehen, sie sollen aber das Angebot neuer Produkte ermöglichen und werden das Geschäftsmodell um Servicekomponenten erweitern. Somit kann die Idee Digitaler Zwillinge als Schlüsseltechnologie für zukünftige Wertschöpfungen verstanden werden.

Welcher Mehrwert soll durch Digitale Zwillinge geschaffen werden?

Die beabsichtigten Mehrwerte unter den Befragten sind ebenso heterogen wie die erwarteten Einflüsse auf die Geschäftsmodelle. Grundsätzlich lässt sich auch hier feststellen, dass sowohl unternehmensinterne wie auch –externe Mehrwerte verfolgt werden. Innerhalb der Unternehmen dominieren Optimierungsansätze in Prozessen, Produkten und Ökonomie. Folglich nimmt der Digitale Zwilling eine zentrale und wertschöpfungskritische Rolle im Unternehmen ein. Insbesondere gilt es, die Arbeitsweise im Unternehmen, konkret in der Produktentwicklung und Produktionsplanung auf die neue Informationsquelle anzupassen sowie die bestehenden Abläufe und Infrastrukturen dahingehend zu ergänzen. Externe Mehrwerte sollen im Bereich des Serviceangebots und der Kundenbindung erreicht werden.

Das zunehmende Serviceangebot basiert dabei zum einen auf der durch den Zwilling verfügbaren Plattform für das Angebot von Mehrwertdiensten und zum anderen auf den verfügbaren Informationen zu potentiellen Bedarfen und Verhalten der Konsumentinnen und Konsumenten.

Die zunehmende Einbindung von Kundinnen und Kunden entsteht auf zwei Wegen. Der erste Weg ist, dass mit dem Einsatz von Produktsystemen auch die Digitalen Zwillinge in einen größeren Kontext eingebunden werden. Dies trifft insbesondere in den Branchen Anlagen-, Maschinenbau und Gerätetechnik zu. Hier werden Komponenten mit individuellen Zwillingen zu großen Anlagensystemen verknüpft. Durch die Integration ergibt sich eine Abhängigkeit von den angebotenen Mehrwertdiensten und durch die implementierten Schnittstellen. Der zweite Weg gestaltet sich aus der Adaption der Bedürfnisse von Kunden und Kundinnen. In Folge der verbesserten Datenlage können Digitale Zwillinge an die Bedarfe der Nutzerinnen und Nutzer angepasst werden. Der Erkenntnisgewinn durch die Digitalen Zwillinge, die die Produkte oder Systeme begleiten, wird die Kundinnen und Kunden enger an den Anbieter der Digitalen Zwillinge-Dienste binden. Gleichzeitig könnten sich neutrale Plattformen ausbilden, die solche Dienste unabhängig von Hardware-Anbietern zur Verfügung stellen. Insgesamt zeigt sich die Nutzenzentrierung in der Ausrichtung und Erwartungshaltung von Mehrwerten durch Digitale Zwillinge.

Wie sehen aktuelle Konzepte für den Digitalen Zwilling aus?

Die Konzepte entsprechen weitgehend den zahlreichen Erwartungen bezüglich der potentiell erreichbaren Mehrwerte und angestrebten Veränderungen des Geschäftsmodells. Sie spiegeln die große Varianz der Erwartungen wider.

Im Vergleich der beschriebenen Konzepte wird deutlich, dass Digitale Zwillinge insbesondere zur Umsetzung einfacher Aufgaben eingesetzt werden sollen. Benannte Beispiele sind dabei die Informationssammlung und –aufbereitung zur Darstellung des aktuellen Systemzustands. Dabei wird die noch weite Distanz zu den angestrebten Zielen besonders deutlich. Das Angebot automatisierter Mehrwertdienste, autonomer

oder adaptiver Systeme wird bislang nur in wenigen Konzepten berücksichtigt. Auch hier zeigt sich die Notwendigkeit, in einem ersten Schritt die Daten- und Informationsdurchgängigkeit zu erreichen. Zudem werden mitunter Konzepte genannt, die nicht der eigentlichen Definition Digitaler Zwillinge entsprechen. Dabei zeigt sich die Bedeutung Digitaler Zwillinge für den unternehmerischen Wettbewerb.

Über den Lebenszyklus hinweg betrachtet werden Digitale Zwillinge vor allem in den Phasen der Entwicklung, Produktionsplanung, sowie dem Service eingesetzt. Der Definition entsprechend entsteht der Digitale Schatten vor allem in der Nutzungs- sowie in der Produktionsphase. Näher betrachtet fehlen jedoch noch Daten- und Informationsmodelle für den Digitalen Zwilling sowohl in Bezug auf die notwendigen Mastermodelle, wie auch zur Abbildung des Systems im Digitalen Schatten. Bezüglich der Interaktion Digitaler Zwillinge zeigen die Konzepte vor allem Schnittstellen zu Menschen auf, was der vornehmlich informationsbereitstellenden Aufgabe entspricht. Eine Autonomie des Zwillings und direkte Steuerungen von Produktsystemen über entsprechende Schnittstellen ist bislang kaum in den Konzepten vorgesehen. In gleicher Weise ist bislang ungeklärt wie Zwillingskonzepte untereinander, insbesondere unternehmensübergreifend, arbeiten sollen. Für die Mehrwertgenerierung gegenüber den Konsumentinnen und Konsumenten sind hier jedoch Fortschritte notwendig.

Der Digitale Zwilling für die Produktentwicklung:

Der Fokus liegt auf der Informationsbereitstellung. Insbesondere sollen Fehleranalysen unterstützt werden. Anhand der verfügbaren Systemdaten soll ein tiefergehendes Verständnis für das Produktsystem und dessen tatsächliche Verwendung generiert werden. Neben dieser Datenaufbereitung sollen Simulationsmodelle anhand der Felddaten weiterentwickelt werden. Ziel ist es,

das Betriebsumfeld nachfolgender Produktgenerationen bestmöglich abzubilden, um eine höhere Zuverlässigkeit in der Absicherung zu erreichen. Dabei sollen zukünftig alle relevanten Funktionen in entsprechenden Simulationen abgesichert werden, insbesondere auch dann, wenn sie mittels Updates auf im Markt etablierte Produkte aufgespielt werden.

Eine Funktion, die bislang noch viel zu selten fokussiert wird, ist die Automatisierung von Entwicklungsaktivitäten durch Digitale Zwillinge.

Der Digitale Zwilling für die Produktion und Produktionsplanung:

Für Planungsaufgaben der Produktion übernimmt der Digitale Zwilling die Wertstromoptimierung und unterstützt in der effizienten Montageplanung. Insbesondere in der herausfordernden Aufgabe der Umplanung im laufenden Betrieb oder im Brownfield, also existierende oder neue Maschinen und Anlagen in bestehende Systeme einzubringen. Dabei steht die Abbildung dieser Bestandsanlagen im Vordergrund. Vornehmlich wird die Geometrie der Produktionssysteme in der notwendigen Qualität aktuell gehalten, um Stoff-, Material- und Informationsflüsse zuverlässig einplanen zu können und laufende Produktionsvorgänge nicht zu stören. Daneben wird der Zwilling zur Absicherung von Produktionsszenarien verwendet, um Auslastungen und Variantenkombinationen frühzeitig auch gegenüber dem laufenden Betrieb abzusichern.

Anders als beim Digitalen Zwilling in der Entwicklung übernimmt der Digitale Zwilling in der Produktionsplanung, wie eingangs benannt, erste Aktivitäten der Planung (bspw. Wertstromoptimierung), wenngleich ihm die zentrale Verantwortung der Produktionssteuerung noch nicht zugemutet wird. Hier kommt die Tatsache zum Tragen, dass im Produktionsumfeld teils hoch sicherheitskritische Prozesse durchgeführt werden. Eine Steuerung durch autonome Systeme

wird hier noch skeptisch gesehen. Das noch schwach ausgebildete Vertrauen in Digitale Zwillinge bzw. deren Funktionen verhindert bislang einen autonomen Betrieb dieser. Insbesondere wird den Digitalen Zwillingen bislang die eigenständige Entscheidungsfindung im Produktionsumfeld, aufgrund fehlender Erfahrungen, noch nicht zugetraut.

Der Digitale Zwilling für Wartung, Instandhaltung und Services:

Das Angebot von Mehrwertdiensten auf Basis Digitaler Zwillinge ist zwar ein Ziel in den Geschäftsmodellen und den angestrebten Mehrwerten, jedoch spiegelt sich das nicht in den betrachteten Konzepten wider. Erste Ansätze betrachten bereits das Monitoring von Systemverhalten und identifizieren Abweichungen vom Normalbetrieb. Dabei übernehmen Digitale Zwillinge partiell die Kommunikation zu den Konsumentinnen und Konsumenten und bieten diesen Funktionen direkt an. Teilweise wird dabei ein erweiterbares System mit freischaltbaren Funktionen skizziert, wie es in anderen Branchen bereits praktiziert wird.

Daneben übernimmt der Digitale Zwilling eine zentrale Aufgabe im Ersatzteilgeschäft und bietet ein großes Potenzial für den After-Sales-Markt. Zum einen wird jedes Produktsystem hinsichtlich der Lebensdauer enthaltener Komponenten überwacht und etwaige Abweichungen vom Normalbetrieb detektiert. Darüber hinaus informiert der Zwilling die Ersatzteilproduktion und -lagerung über den Bedarf von Ersatzteilen und leitet die notwendigen Schritte zur Instandhaltung ein. Auf diese Weise wird eine termingerechte Ersatzteilversorgung gewährleistet und die Ausfallzeiten der Maschinen deutlich reduziert.

Hier übernimmt der Digitale Zwilling – anders als in der Entwicklung und umfassender als in der Produktionsplanung – bereits Kernaktivitäten der Instandhaltung.

Die Zukunft Digitaler Zwillinge:

Die Zukunft Digitaler Zwillinge deutet vor allem auf die zunehmende Übernahme von Aktivitäten, auch mit zunehmender Verantwortung, hin. Dabei steht der Einsatz Künstlicher Intelligenzen und Maschinellen Lernens im Vordergrund. Die Ziele der Unternehmen sind dabei heterogen und reichen von verbesserten Simulationen und zuverlässigeren Prognosen über Interaktion und Kommunikation mit Kundinnen und Kunden bis zur Übernahme von Wertschöpfungsaktivitäten in Entwicklung und Produktion.

Welche Maßnahmen sind für den Digitalen Zwilling notwendig?

Für die Umsetzung Digitaler Zwillinge im Unternehmen sind verschiedene Maßnahmen in allen relevanten Dimensionen des Entwicklungs- und Betriebsumfelds im Bereich der Prozesse und Organisation, Daten- und Informationsmodelle sowie IT-Systeme notwendig. Grundsätzlich muss dafür ein entsprechender Transformationsprozess in der Unternehmenskultur und -organisation angesetzt werden. Im Besonderen dann, wenn maßgebliche Änderungen im Geschäftsmodell erfolgen sollen. Dabei gilt es, diese Veränderungen ganzheitlich zu planen und umzusetzen. Die häufig vorzufindende individuelle Optimierung von Prozessen, IT und Datenmodellen führt im Rahmen der Digitalen Zwillinge zu sehr hohen Aufwänden, sodass von Anfang an ein ganzheitlicher Betrachtungsansatz gewählt werden sollte.

Bezüglich der Organisation der Unternehmen rechnen die Befragten mit einer Etablierung neuer Stellen entsprechend der neuen Verantwortungen zur Entwicklung und zum Betrieb Digitaler Zwillinge. In Folge der teils parallelen, teils seriellen Entwicklung Digitaler Zwillinge ist mit einer zunehmend agilen Strukturierung zu rechnen. Dabei wird systemintegrierendes Zusammenarbeiten der beteiligten Fachdisziplinen (Elektrik und

Elektronik, Mechanik, Software und Services) eine zentrale Rolle spielen. Das Systems Engineering wird sich als Standardvorgehensweise in der Produktentstehung etablieren müssen.

Bislang sind diese Anpassungen noch nicht im Detail geplant. Auch die Veränderungen an bestehenden Prozessen (Entwicklung, Verwendung in Systemfunktionen, als neue Informationsquelle, Verwendung in Betrieb und Wartung) müssen angegangen werden. Die Verantwortungen sind insbesondere zwischen den Fachbereichen der Produktentwicklung und der IT unklar. Hier zeigt sich die Stärke von eingerichteten Stabsstellen, die Digitale Zwillinge ganzheitlich im Unternehmen etablieren. Mit umfassender Sicht können dann auch weitere Herausforderungen der Entwicklung Digitaler Zwillinge, die Identifikation, der Aufbau und die Vernetzung von Master- und Schattenmodellen angegangen werden. Mastermodelle sind, in Folge der voranschreitenden Digitalisierung in der Produktentwicklung, in vielen Fällen vorhanden, ihre Aufbereitung und Einordnung in beschriebene Konzepte und Vernetzung untereinander jedoch noch nicht.

Die Daten des Digitalen Schattens werden zum Teil noch manuell, das heißt ohne einen automatisierten Prozess oder ohne Datendurchgängigkeit, erhoben. Zum Teil erfolgt diese Bereitstellung auch ohne jegliche Zuverlässigkeit. Die asynchrone Kommunikation zwischen Produktsystem und Digitalem Zwilling bremst - je nach Anwendungsfall - die Potenziale deutlich. Ein Grund ist dabei die fehlende Möglichkeit der Kommunikation zwischen Produkt und Zwilling. Begleitend erschweren rechtliche Unsicherheiten und länderspezifische Gesetzgebung schnelle Lösungen. Seit einigen Jahren erheben Unternehmen mit Hilfe neuer technologischer Möglichkeiten produktindividuelle Daten. Dabei wird die Notwendigkeit, die semantische Bedeutung zu berücksichtigen, zu häufig vernachlässigt. Dies erschwert die Aufbereitung der Daten und deren

Weiterverwendung im Rahmen der Digitalen Zwillinge.

Für den Digitalen Zwilling spielen Simulationen eine zentrale Rolle. Der fortlaufende Abgleich von erwartetem Produktverhalten und tatsächlichem Produktverhalten stellt eine Grundlage für die weitere Mehrwertgenerierung dar.

Welche Skills werden für den Digitalen Zwilling benötigt?

Der Digitale Zwilling ist in der Regel ein komplexes System und integriert eine Vielzahl von Kompetenzen. Es werden sowohl IT-Kompetenzen benötigt (Entwicklung von Architekturen, Frameworks, Kommunikations- und Speichersystemen), wie auch fachliche Kompetenzen (Definition der Informationsbedarfe, Konzeptionierung und Modellierung von Services und Systemverhalten). Disziplinen wie das Systems Engineering untersuchen seit jeher die Integration verschiedener Fachdomänen und stellen einen guten Ansatzpunkt für die Entwicklung Digitaler Zwillinge dar. Neben dem weiteren Ausbau der fachspezifischen Kenntnisse in IT- und Ingenieursdisziplinen müssen vermehrt Menschen in einem ganzheitlichen Systemdenken ausgebildet und trainiert werden.

Zentrale Erkenntnisse

Digitale Zwillinge sind kein Selbstzweck

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Digitale Zwilling, oder dessen Einsatz, keinen Selbstzweck darstellt. Jedes entwickelte Konzept und jede Implementierung muss einen klaren Mehrwertbezug aufweisen und gleichzeitig eine hohe Zukunftsfähigkeit hinsichtlich weiterer Anwendungsfälle vorzeigen können. Erst mit einer nachvollziehbaren Motivation aus den Geschäftsbedarfen können die hohen Aufwände für die Umsetzung Digitaler Zwillinge begründet werden.

Das Verständnis und die Vorkenntnisse in der Industrie sind reif für den Einsatz Digitaler Zwillinge.

Bei den Befragten hat sich ein gutes Verständnis bezüglich Digitaler Zwillinge etabliert. Dabei zeigt sich, dass sowohl der Austausch in Fachgremien, wie auch der Austausch mit Beratung, Forschung und Wissenschaft, gute Voraussetzungen sind um ein umfassendes und fundiertes Verständnis aufzubauen. Eine Erweiterung des so erworbenen Wissens findet sich durch den praktischen Einsatz Digitaler Zwillinge.

Die Vernetzung vorhandener Modelle für Digitale Zwillinge ist noch eine große Herausforderung.

Dies wird insbesondere in den benannten Definitionen Digitaler Zwillinge durch die Befragten deutlich. Von allen Befragten wird die Abbildung eines Produktes - oder Produktionssystems - als Kern des Zwillings verstanden, die auf der Aufnahme von Felddaten basiert. Jedoch wird nur selten der notwendige Umstand benannt, diese Felddaten auch auf die produktbeschreibenden Daten zu beziehen. Diese Mastermodelle werden häufig nicht berücksichtigt und die Notwendigkeit, deren Aufbereitung zur Weiterverwendung in Digitalen Zwillingen, vergessen.

Digitale Zwillinge werden häufig noch als Insellösungen entwickelt und eingesetzt.

Besonders deutlich ist die Differenz von geplanten Veränderungen in Geschäftsmodellen gegenüber den angestrebten operativen Umsetzungen geworden - vermutlich durch aufzuholenden Optimierungen des bestehenden Produktlebenszyklusmanagements. In den Konzepten zeigt sich, dass zum Teil Insellösungen hoch spezifischer Anwendungsfälle etabliert sind und gleichermaßen sehr globale Ansätze allgemeiner Datensammlungen und -haltungen entworfen wurden. Beide Ansätze stellen sicherlich

einen legitimen Einstieg in die Welt der Digitalen Zwillinge dar, sofern sie die Möglichkeit bieten, jeweils spezifischer oder global erweitert zu werden, um somit der Unternehmensstrategie zu entsprechen.

Digitale Zwillingskonzepte übernehmen bisher eher einfache Aufgaben.

Bislang werden Digitale Zwillinge noch für einfache Aufgaben der Informationsbereitstellung und -verdichtung eingesetzt. Eine Übergabe entscheidungsfindender oder koordinierender Aufgaben erfolgt bislang nicht. Ursächlich erscheint dabei das noch fehlende Vertrauen in die verwendeten Modelle und Algorithmen.

Digitale Zwillinge werden in den nächsten 20 Jahren im großflächigen Einsatz sein.

In das Konzept Digitaler Zwillinge wird viel Hoffnung gesetzt. Gleichzeitig wird durch die sowohl unternehmensintern wie auch -extern wirkenden Mehrwerte eine hohe Bereitschaft zur zügigen Umsetzung deutlich. Dabei werden Schwerpunkte in der zunehmenden Automatisierung wie auch in der Informationsverfügbarkeit, insbesondere auch hinsichtlich Nachhaltigkeitsindikatoren gesetzt.

Digitale Zwillinge bergen ein hohes Potenzial für die ökologische Nachhaltigkeitsbewertung.

Das Potenzial in Bezug auf die Nachhaltigkeit wird als sehr hoch eingeschätzt. Der Digitale Zwilling stellt aus Sicht der Befragten eine gute Basis für die Analyse von Stoff- und Energieströmen dar. Erste Einsätze zum Energie-Monitoring gibt es bereits. Mit dem Digitalen Zwilling könnte eine digitale Grundlage für eine zunehmend nachhaltige Wertschöpfung gelegt werden. Auch die Ergonomie bei manuellen Tätigkeiten, z.B. im Produktionsumfeld, soll in Digitalen Zwillingen zukünftig abgebildet werden.

Referenzen

Barni, Andrea; Fontana, Alessandro; Menato, Silvia; Sorlini, Marzio; Canetta, Luca (2018): Exploiting the Digital Twin in the Assessment and Optimization of Sustainability Performances. In: 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS). 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS), S. 706–713.

Abramovici, Michael; Neubach, Manuel; Fathi, Madjid; Holland, Alexander (2009): Knowledge-Based Feedback of Product Use Information into Product Development. In: DS 58-8: Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design, Vol. 8, Design Information and Knowledge, Palo Alto, CA, USA, 24.-27.08.2009, S. 227–238.

acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2011 (2011): Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer (acatech Position, 11). Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1176904>.

Exner, Konrad; Preidel, Maurice; Gogineni, Sonika; Nickel, Jonas; Stark, Rainer (2019): Digitaler Zwilling für Smart Services. In: Prostep IVIP ProduktDatenJournal (2), S. 39–42. Online verfügbar unter https://prostep.epaper-pro.org/pdj_2-2019_deutsch/epaper/ausgabe.pdf.

Exner, Konrad; Stark, Rainer; Kim, Ji Yoon (2017): Data-driven business model a methodology to develop smart services. 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) : conference proceedings. Funchal, 6/27/2017 - 6/29/2017. International Conference on Engineering, Technology and Innovation; ICE/ITMC Conference; ICE/ITMC. Piscataway, NJ: IEEE, S. 146–154.

Grieves, Michael W. (2005): Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises. In: IJPD 2 (1/2), S. 71. DOI: 10.1504/IJPD.2005.006669.

Halstenberg, Friedrich; Stark, Rainer (2018): Digitale Zwillinge. Entwicklung im Maschinenbau. Unternehmermagazin. Online verfügbar unter <https://www.unternehmermagazin.de/2018-FlippingBooks/03-04/mobile/index.html#p=19>, zuletzt aktualisiert am 10.10.2018, zuletzt geprüft am 20.04.2020.

Igba, Joel; Alemzadeh, Kazem; Gibbons, Paul Martin; Henningsen, Keld (2015): A framework for optimising product performance through feedback and reuse of in-service experience. In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 36, S. 2–12. DOI: 10.1016/j.rcim.2014.12.004.

Keskin, Tayfun; Kennedy, Deanna (2015): Strategies in Smart Service Systems Enabled Multi-sided Markets: Business Models for the Internet of Things. In: Tung X. Bui und Ralph H. Sprague (Hg.): 48th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2015. 5 - 8 Jan. 2015, Kauai, Hawaii. Shidler College of Business; IEEE Computer Society; S. 1443–1452.

Lindow, Kai; Riedelsheimer, Theresa; Lünemann, Pascal; Stark, Rainer (2017): Betrachtung des Entwicklungsumfeldes durch die methodische Datenflussanalyse. In: Prostep IVIP ProduktDatenJournal (2), S. 52–56. Online verfügbar unter <http://prostep.epaper-pro/journal-2017-02/de/#56>.

Lünemann, Pascal; Wang, Wei Min; Lindow, Kai (2019): Smart Industrial Products. Smarte Produkte und ihr Einfluss auf Geschäftsmodelle, Zusammenarbeit, Portfolios und Infrastrukturen. Hg. v. Patrick Müller, Kai Lindow, Stefan Gregorzik und Rainer Stark. Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik. Berlin, zuletzt geprüft am 04.05.2020.

Lünnemann, Pascal; Stark, Rainer; Wang, Wei Min; Manteca, Paola Ibanez (2017): Engineering activities — considering value creation from a holistic perspective. 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) : conference proceedings. Funchal, 6/27/2017 - 6/29/2017. International Conference on Engineering, Technology and Innovation; ICE/ITMC Conference; ICE/ITMC. Piscataway, NJ: IEEE, S. 315–323.

Samarajiwa, Markus; Salamon, David (2019): Auf den Anwendungsfall kommt es an. Dossier Digitaler Zwilling. In: Digital business Cloud (09), S. 40–41. Online verfügbar unter https://www.digitalbusiness-cloud.de/wp-content/uploads/sites/3/db_2019-06_archiv_reduziert.pdf#page=17%22, zuletzt geprüft am 04.06.2020.

Samarajiwa, Markus; Salamon, David (2020): Digitaler Zwilling. Product Lifecycle Management. In: IT&Production (02). Online verfügbar unter <https://www.msg.group/docs/937-produktlebenszyklus-neu-denken.pdf>, zuletzt geprüft am 04.06.2020.

Porter, Michael E.; Heppelmann James E. (2015): How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. Online verfügbar unter <https://hbr.org/2015/10/how-smart-connected-products-are-transforming-companies>, zuletzt aktualisiert am 12.02.2016, zuletzt geprüft am 20.04.2020.

Riedelsheimer, Theresa; Lindow, Kai; Stark, Rainer: Feedback to Design with Digital Lifecycle-Twins. literature review and concept presentation. In: Design for X - Beiträge zum 29. DfX-Symposium, S. 203–214.

Riedelsheimer, Theresa; Neugebauer, Sabrina; Lindow, Kai (2020): Progress for Life Cycle Sustainability Assessment by means of Digital Lifecycle Twins - a Taxonomy. In: Proceedings of EcoDesign 2019 International Symposium. EcoDesign 2019 International Symposium.

Schuh, Guenther; Blum, Matthias (2016 - 2016): Design of a data structure for the order processing as a basis for data analytics methods. 2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). Honolulu, HI, USA, 9/4/2016 - 9/8/2016: IEEE, S. 2164–2169.

Stark, Rainer; Damerau, Thomas (2019): Digital Twin. In: Sami Chatti und Tullio Tolio (Hg.): CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer, S. 1–8.

Stark, Rainer; Fresemann, Carina; Lindow, Kai (2019): Development and operation of Digital Twins for technical systems and services. In: CIRP Annals 68 (1), S. 129–132. DOI: 10.1016/j.cirp.2019.04.024.

Wang, Wei Min; Lünnemann, Pascal; Klemichen, Antje; Blüher, Till; Stark, Rainer (2018): Potenzials and challenges of Smart Products and related business models. In: DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference. DESIGN 2018 - 15th International Design Conference.

Für viele Unternehmen bietet der Digitale Zwilling die Möglichkeit, direkte Informationen zur Nutzung ihrer Produkte aus dem Feld durch die Endanwenderinnen und -anwender zu erhalten. Diese Erkenntnisse können die Basis für die nutzenorientierte Optimierung von Folgeprodukten oder neue Geschäftsmodelle bilden.

Die Berücksichtigung von Daten aus der Fertigung ermöglicht eine individuelle Bewertung der Bauteile oder Systeme und lässt damit eine zunehmend präzisere Vorhersage der Lebensdauer oder Ausfallwahrscheinlichkeit zu. Ebenso können Elemente der Supply Chain als Digitaler Zwilling abgebildet werden, um Fertigungs- und Versorgungsabläufe zu optimieren. Dies führt unter anderem auch dazu, dass die Produkte nachhaltiger genutzt werden können.

Die Visionen, deren Grundlage Digitale Zwillinge bilden, sind meist klar definiert. Aber wo genau stehen die Unternehmen bei der Entwicklung und Einführung des Digitalen Zwillings in Bezug auf ihre Vision?

Im Rahmen dieser Studie wird mithilfe des innovativen Reifegradmodells, welches von der msg und dem Fraunhofer IPK entwickelt wurde, ermittelt, wie weit die fertigende Industrie in der DACH-Region auf dem Weg zum Einsatz Digitaler Zwillinge ist. Folgende Kernfragen stehen in dieser Studie im Vordergrund:

- „Wie beeinflusst der Digitale Zwilling Geschäftsmodelle?“
- „Welcher Mehrwert soll durch Digitale Zwillinge geschaffen werden?“
- „Wie sehen aktuelle Konzepte für den Digitalen Zwilling aus?“
- „Welche Maßnahmen sind für den Digitalen Zwilling notwendig?“
- „Welche Fähigkeiten und Skills werden für den Digitalen Zwilling benötigt?“

ISBN 978-3-945406-13-7



9 783945 406137