

Von der Theorie zur Praxis: Erfolgreiche Implementierung von Digital Twins in der Industrie

Digital Twins: Herausforderungen und Maßnahmen

C. Kober

ZUSAMMENFASSUNG Digital Twins (DTs) bieten enorme Potenziale für Prozessoptimierung und vorausschauende Wartung, stehen jedoch vor technischen, organisatorischen und methodischen Herausforderungen. Der Beitrag analysiert zentrale Hindernisse und stellt praxiserprobte Maßnahmen vor, um DTs erfolgreich einzuführen. Unternehmen benötigen klare Strategien, interdisziplinäre Zusammenarbeit und eine gezielte Kommunikation, um das volle Potenzial zu nutzen.

STICHWÖRTER

Technologietransfer, Mensch und Technik, Industrie 4.0

Digital twins: challenges and measures – From theory to practice: successfully implementing digital twins in industry

ABSTRACT Digital twins (DTs) hold significant potential for process optimization and predictive maintenance though facing technical, organizational, and methodological challenges. This article analyzes key obstacles and presents proven measures for successful DT implementation. Companies require clear strategies, interdisciplinary collaboration, and targeted communication to maximize the benefits of DTs.

1 Einleitung

Die digitale Transformation hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht und Unternehmen dazu veranlasst, neue Technologien in ihre Produktions- und Geschäftsprozesse zu integrieren [1]. Eine der vielversprechendsten Entwicklungen in diesem Zusammenhang ist das Konzept des Digital Twin (DT) [2]. Dabei handelt es sich um eine digitale Repräsentation eines physischen Systems, das – je nach Bedarf auch in Echtzeit – mit Daten aus der realen Welt aktualisiert wird [3]. DTs ermöglichen eine Vielzahl von Anwendungen, wie Prozessoptimierung, vorausschauende Wartung, simulationsgestützte Entscheidungsfindung und die Verbesserung der Gesamtanlageneffektivität [4, 5].

Das Konzept des DT wurde erstmals im Jahr 2003 geprägt von Dr. Michael Grieves an der University of Michigan [6]. Seit seiner Einführung hat sich der Begriff stetig weiterentwickelt und an Bedeutung gewonnen [7]. Inzwischen sind DTs in zahlreichen Industrien angekommen, vor allem in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilbranche, der Fertigungsindustrie sowie im Energiesektor [8, 9]. Trotz der zahlreichen Vorteile zeigt sich, dass die Einführung von DTs in der Praxis mit zahlreichen Herausforderungen verbunden ist [10–12]. Unternehmen kämpfen mit technischen, organisatorischen und methodischen Hürden, die eine erfolgreiche Implementierung erschweren [13].

Dieser Beitrag analysiert die zentralen Herausforderungen der Entwicklung und Implementierung von DTs in der Industrie und stellt praxiserprobte Maßnahmen zu deren Überwindung vor. Der Fokus liegt auf Erfahrungen aus der Luft- und Raumfahrt sowie der Automobilindustrie, in denen DTs bereits in verschiedenen Pilotprojekten erprobt wurden. Ziel ist es, Unternehmen einen Orientierungslitfadens in die Hand zu geben, mit der sie

die Einführung von DTs strategisch planen und umsetzen können. Die im Beitrag dargestellten Erkenntnisse wurden im Wesentlichen bereits in wissenschaftlichen Publikationen [13, 14] sowie einer Dissertation [15] veröffentlicht und stehen dort in ausführlicher Form zur Verfügung. Dieser Beitrags fokussiert auf eine praxisnahe und verständliche Darstellung der relevantesten Ergebnisse.

2 Methodik

2.1 Forschungsdesign

Zur Identifikation der Herausforderungen und Maßnahmen bei der Entwicklung und Implementierung von DTs in der Industrie wurde ein qualitatives Forschungsdesign gewählt. Diese Herangehensweise erlaubt es, tiefgehende Einblicke in die Praxis zu gewinnen und Herausforderungen aus der Perspektive von Fachexperten zu analysieren [16].

Die Untersuchung basiert auf Experteninterviews mit hochrangigen Industrievertretern aus der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie sowie der Managementberatung. Zusätzlich wurden die gewonnenen Erkenntnisse durch zwei Fokusgruppen validiert, um mögliche Diskrepanzen zwischen verschiedenen Stakeholder-Perspektiven zu identifizieren.

2.2 Datenerhebung

Für die empirische Erhebung wurden insgesamt 27 Experteninterviews mit Fach- und Führungskräften aus verschiedenen Domänen durchgeführt. Die Interviewpartner wurden gezielt aus Bereichen wie Produktionsmanagement, digitale Transformation, Forschung und Entwicklung sowie aus dem Bereich der Daten-

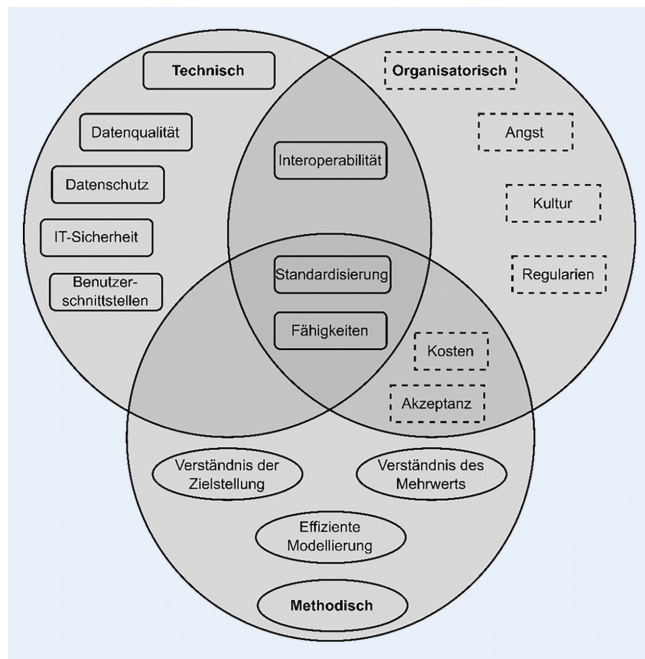
Tabelle. Liste der Interview- und Fokusgruppenteilnehmenden [14, 15].

Nr.	Jobtitel	Branche	Unternehmensgröße (k)	Berufserfahrung (Jahre)
1	Vizepräsident Forschung, Manufacturing Services	Beratung	>1	40
2	Senior Principal Digital Twin Manufacturing	Automobil	>250	33
3	Standort- und Werkleiter	Luftfahrt	>100	32
4	Standort- und Werkleiter	Luftfahrt	>100	26
5	Leiter Neuentwicklungsprogramm	Luftfahrt	>100	26
6	Leiter Digitale Transformation	Luftfahrt	>100	24
7	Leiter Portfolioentwicklung Manufacturing	Automobil	>250	23
8	Partner	Beratung	>1	23
9	Senior Vizepräsident Engineering	Luftfahrt	>100	23
10	Senior Flugzeugarchitekt Forschung & Technologie	Luftfahrt	>100	22
11	Industrial Digital Twin Leiter	Luftfahrt	>100	21
12	Product Owner Prozess-digitalisierung	Luftfahrt	>100	18
13	Leiter Entwicklungscontrolling	Luftfahrt	>100	18
14	Projektmanager Industrial Digital Twin	Luftfahrt	>100	17
15	Fast Track Leader Industrie	Luftfahrt	>100	15
16	Business Architect Digitalisierung	Automobil	>50	13
17	Projektleiter Produktentwicklung	Automobil	>100	11
18	Data Governance Produktionslogistik	Automobil	>80	11
19	Leiter Engineering Datenmanagement	Automobil	>100	10
20	Industrieller Simulationsingenieur	Luftfahrt	>100	10
21	Partner	Beratung	>30	9
22	Spezialist für Virtuelle Inbetriebnahme	Automobil	>100	7
23	Senior Wissenschaftler	Wissenschaft	>5	7
24	Forschungsgruppenleiterin	Wissenschaft	>1	7
25	Leiter Industrielle Digitalisierung	Luftfahrt	>100	6
26	Fertigungs- und Industriesystemingenieur	Luftfahrt	>100	5
27	Wissenschaftler	Wissenschaft	>1	3

analyse ausgewählt, um eine möglichst breite Abdeckung der relevanten Themen zu gewährleisten.

Die Interviews dauerten durchschnittlich 60 Minuten und wurden nach einem semistrukturierten Leitfaden geführt [17]. Dies ermöglichte sowohl vordefinierte Themenblöcke zu adressieren als auch flexibel auf unerwartete Aspekte einzugehen.

Zusätzlich zu den Einzelinterviews wurden zwei Fokusgruppen mit jeweils sechs bis acht Teilnehmern durchgeführt. Diese dienten dazu, die identifizierten Herausforderungen und Maßnahmen kritisch zu reflektieren und deren Praxisrelevanz zu bewerten. Die **Tabelle** gibt einen Überblick über die Interviewpartner.



Allgemeine Herausforderungen der Entwicklung und Implementierung von Digital Twins. Grafik: [13]

2.3 Datenerhebung

Die Datenanalyse erfolgte mittels der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [18]. In einem mehrstufigen Codierungsprozess wurden zunächst relevante Textpassagen extrahiert und in Kategorien eingeteilt. Dabei wurde sowohl induktiv als auch deduktiv vorgegangen: Während einige Kategorien aus der Fachliteratur abgeleitet wurden, ergaben sich andere aus den empirischen Daten selbst.

Nach einer ersten offenen Codierung wurden die Kategorien weiter verdichtet und in zentrale Themenbereiche überführt. Eine axiale Codierung half dabei, Zusammenhänge zwischen den identifizierten Herausforderungen und möglichen Lösungsansätzen zu erkennen. Um die intersubjektive Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, wurde mit zwei unabhängigen Forschern eine Inter-coder-Reliabilitätsprüfung durchgeführt.

Zusätzlich wurde ein Vergleich mit existierenden Studien vorgenommen, um Übereinstimmungen und Unterschiede herauszuarbeiten. Die Ergebnisse dieser Analyse bilden die Grundlage für die nachfolgenden Kapitel, in denen die spezifischen Herausforderungen und Maßnahmen zur Implementierung von DTs detailliert dargestellt werden.

3 Herausforderungen bei Entwicklung und Implementierung von Digital Twins

Die Entwicklung und Implementierung von DTs bringt eine Vielzahl von Herausforderungen mit sich. Zahlreiche Studien haben diese Hindernisse bereits untersucht, wobei jeweils unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt wurden. Einige Arbeiten konzentrieren sich auf technische Herausforderungen [19], während andere die sozialen und wirtschaftlichen Aspekte [20] hervorheben. Dennoch bleibt eine systematische Erfassung der praktischen Herausforderungen für produzierende Unternehmen bislang lückenhaft [13].

Diese Untersuchung unterteilt die relevanten Herausforderungen, wie im **Bild** ersichtlich, in drei Hauptkategorien: technische, organisatorische und methodische Herausforderungen. Außerdem wird die besondere Komplexität der Kommunikation zwischen den Stakeholdern beleuchtet, da sich herausgestellt hat, dass diese eine entscheidende Rolle bei der erfolgreichen Einführung von DTs spielt. Die folgenden Unterkapitel basieren auf zwei vorherigen Studien [13, 14].

3.1 Technische Herausforderungen

Technische Hindernisse umfassen insbesondere die Standardisierung, Interoperabilität, Datenqualität, Datenschutz, IT-Sicherheit, Benutzerschnittstellen sowie das notwendige Fachwissen zur Entwicklung und Nutzung von DTs:

- **Standardisierung:** Die Harmonisierung von Kommunikationsprotokollen, Schnittstellen und Datenformaten über verschiedene Systemebenen hinweg bleibt eine Herausforderung. Die Dominanz proprietärer Standards behindert die effiziente Integration und Zusammenarbeit.
- **Interoperabilität:** Unterschiedliche IT-Systeme mit inkompatiblen Datenstrukturen erschweren die Zusammenführung von Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg.
- **Datenqualität:** Die Erfassung und Aufbereitung von Daten stellt insbesondere bei älteren Maschinen und Anlagen eine Herausforderung dar. Fehlende Sensorik und unklare Datenstrukturen führen zu Problemen bei der Interpretation.
- **Datenschutz:** Die Erhebung, Speicherung und Analyse personenbezogener Daten erfordert technische Lösungen, um rechtlichen Anforderungen gerecht zu werden und Akzeptanz zu schaffen.
- **IT-Sicherheit:** DTs aggregieren wertvolle Daten, die potenziell attraktive Angriffsziele für Cyberkriminalität darstellen. Die Balance zwischen Sicherheit und Funktionalität muss gewährleistet werden.
- **Benutzerschnittstellen:** Komplexe Anwendungen erfordern intuitive Interfaces, um eine breite Nutzung zu ermöglichen und den Schulungsaufwand zu minimieren.
- **Fähigkeiten:** Die Qualifikation und Schulung von Mitarbeitenden bleibt eine zentrale Herausforderung, da viele produzierende Unternehmen noch nicht über die nötigen Kompetenzen verfügen.

3.2 Organisatorische Herausforderungen

Neben den technischen Aspekten gibt es auch erhebliche organisatorische Herausforderungen, die eine erfolgreiche Implementierung von DTs erschweren:

- **Kosten:** Hohe Anfangsinvestitionen und wiederkehrende Kosten werden oft als Hindernis für die Einführung von DTs gesehen.
- **Akzeptanz:** Die fehlende Klarheit über den konkreten Nutzen von DTs führt häufig zu Skepsis innerhalb der Organisation.
- **Angst vor Arbeitsplatzverlust:** Mitarbeitende fürchten, dass durch erhöhte Automatisierung Arbeitsplätze ersetzt werden, was zu bewusster oder unbewusster Manipulation von Pilotprojekten führen kann.
- **Kultureller Wandel:** Die Transformation hin zu einem datengetriebenen Unternehmen stößt oft auf Widerstand, vor allem

wenn intuitive oder politische Entscheidungen durch datenbasierte Prozesse ersetzt werden sollen.

- Regulatorische Beschränkungen: Rechtliche Vorgaben und branchenspezifische Zertifizierungsprozesse können die Einführung von DTs erheblich verlangsamen, vor in der Luft- und Raumfahrt.

3.3 Methodische Herausforderungen

Methodische Herausforderungen betreffen insbesondere die Formulierung und Umsetzung klar definierter Ziele, die Bewertung des Nutzens und die effiziente Modellierung:

- Verständnis der Zielstellung: Eine klare Definition und Kommunikation der mit DTs verfolgten Ziele ist oft nicht gegeben. Fehlende Metriken zur Erfolgsmessung erschweren die Planung und Umsetzung.
- Bewertung des Nutzens: Der wirtschaftliche und qualitative Nutzen von DTs ist schwer greifbar und messbar. Eine standardisierte Bewertungsmethode fehlt bislang. Ansätze wie das Digital Twin Fidelity Calculation Model (DT-FCM) erlauben eine systematische Bestimmung der optimalen Fidelity, um Kosten und Nutzen auszubalancieren [21]. Dabei bieten die Digital Twin Benefit Curves (DT-BC) eine Orientierung zur Nutzenentwicklung in Abhängigkeit von Fidelity und verhindern unrealistische Erwartungshaltungen [22].
- Effiziente Modellierung: Die Erstellung von DTs ist meist mit hohem manuellem Aufwand verbunden. Eine weitgehende Automatisierung der Modellierungsprozesse ist notwendig, aber noch nicht ausgereift. Das Digital Twin Fidelity Requirements Model (DT-FRM) bietet eine solide Grundlage, um die erforderliche Modellierungstiefe systematisch abzuleiten [23].

3.4 Herausforderungen in der Stakeholder-Kommunikation

Neben den technischen, organisatorischen und methodischen Herausforderungen erweist sich insbesondere die Kommunikation zwischen den Stakeholdern als kritischer Erfolgsfaktor für DT-Projekte. Während die zuvor genannten Kategorien bereits eine Vielzahl an komplexen Herausforderungen umfassen, zeigt eine vertiefte Analyse, dass gerade in der Interaktion zwischen den verschiedenen Beteiligten innerhalb eines Unternehmens erhebliche Hürden bestehen. Die Notwendigkeit, interdisziplinäre Teams zu koordinieren, Erwartungen abzugleichen und ein gemeinsames Verständnis zu schaffen, führt zu zusätzlichen Herausforderungen, die oft unterschätzt werden. Diese Kommunikationshürden erfordern eine eigenständige Betrachtung, da sie sich auf sämtliche Phasen der DT-Implementierung auswirken und maßgeblich den Erfolg oder Misserfolg solcher Projekte beeinflussen:

- Interdisziplinäre Zusammenarbeit: Die Entwicklung und Implementierung von DTs erfordert Expertise aus verschiedenen Domänen, darunter Ingenieurwesen, IT, Datenwissenschaft und Betriebswirtschaft. Die Koordination dieser Expertengruppen ist eine große Herausforderung, da sie unterschiedliche Fachsprachen sprechen und oft verschiedene Erwartungen an das Projekt haben.
- Erwartungshaltung der Stakeholder: Verschiedene Akteure haben unterschiedliche Vorstellungen von der Leistungsfähigkeit und dem Nutzen von DTs. Während einige unrealistische Erwartungen haben, unterschätzen andere das Potenzial der

Technologie. Diese Diskrepanz kann zu Frustration und Widerstand führen.

- Fehlende gemeinsame Sprache: Unterschiedliche Fachbereiche verwenden teils widersprüchliche Terminologien, was zu Missverständnissen führt und die Abstimmung in Teams erschwert.
- Hierarchiebedingte Kommunikationslücken: Führungskräfte haben oft eine abstraktere Vorstellung von DTs als operative Mitarbeitende, was die Kommunikation sowie eine einheitliche Strategie erschwert.
- Fehlende ganzheitliche Sichtweise: Spezialisierte Teams konzentrieren sich häufig auf technische Details, während eine übergreifende Perspektive auf das Gesamtprojekt fehlt. So kann der Nutzen eines Projekts in anderen Unternehmensbereichen entstehen als der eigentliche Aufwand, was wiederum zu Spannungen unter den Führungskräften führen kann.

Die Herausforderungen bei der Entwicklung und Implementierung von DTs sind vielschichtig. Während technische Hürden wie Standardisierung und Datenqualität eine wesentliche Rolle spielen, wurde in der Studie deutlich, dass insbesondere die organisatorischen und methodischen Herausforderungen eine erfolgreiche Implementierung stark beeinflussen. Zudem zeigt sich, dass die Kommunikation zwischen den Stakeholdern eine zunehmend zentrale Herausforderung darstellt, welche für die erfolgreiche Nutzung von DTs adressiert werden muss.

Für eine breite und nachhaltige Anwendung von DTs müssen Unternehmen nicht nur technische Lösungen entwickeln, sondern auch eine klare Strategie zur Bewältigung der organisatorischen und methodischen Herausforderungen erarbeiten. Besonders wichtig ist die Förderung eines gemeinsamen Verständnisses über den Nutzen und die Zielsetzungen von DTs, um Akzeptanz und eine erfolgreiche Integration in bestehende Strukturen zu gewährleisten. Dabei kann das Digital Twin Stakeholder Communication Model (DT-SCM) Endanwender unterstützen [15].

4 Maßnahmen in der Entwicklung und Implementierung von Digital Twins

Zur erfolgreichen Bewältigung der zuvor erläuterten Hürden haben sich in der Praxis verschiedene Maßnahmen bewährt, die aus Expertenbefragungen und industriellen Fallstudien abgeleitet wurden. Diese Maßnahmen sind nicht als strikte Anweisungen zu verstehen, sondern als qualitative Leitlinien, die je nach Anwendungsfall angepasst werden können.

4.1 Allgemeine Maßnahmen zur Überwindung von DT-Herausforderungen

Zur erfolgreichen Einführung von DTs sind klare strategische Maßnahmen erforderlich, die sich auf die Definition von Zielen, die Demonstration von Vorteilen, die Evaluierung von Ergebnissen sowie die kontinuierliche Verbesserung konzentrieren:

- Konkrete Zielsetzungen: Die Einführung von DTs sollte auf messbaren Zielen basieren, die durch geeignete KPIs verfolgt werden. Eine flexible, aber konsistente Zielsetzung trägt zur Erfolgsmessung und nachhaltigen Implementierung bei. Unternehmen sollten außerdem sicherstellen, dass Zielsetzungen regelmäßig überprüft und an aktuelle Marktanforderungen angepasst werden.
- Pilotprojekte mit realistischen Demonstrationen: Um den Mehrwert von DTs greifbar zu machen, sollten initial kleine,

kontrollierte Anwendungsfälle umgesetzt werden. Solche Pilotprojekte ermöglichen einen schrittweisen Wissenstransfer und steigern die Akzeptanz innerhalb der Organisation. Die Integration von Lessons Learned aus diesen Projekten kann zukünftige Implementierungen effizienter gestalten.

- **Retrospektive Bewertung:** Insbesondere nach Abschluss eines DT-Projekts sollten erzielte Ergebnisse systematisch analysiert und validiert werden. Die Einbeziehung der Endnutzer ist entscheidend, um die Akzeptanz zu fördern und Lernpotenziale für zukünftige Projekte zu identifizieren. Dabei kann eine Kombination aus qualitativen Interviews und quantitativen Messungen helfen, fundierte Erkenntnisse zu gewinnen.
- **Unterstützung durch das Management:** Die Einführung von DTs benötigt eine klare strategische Vision, die von der Unternehmensführung aktiv unterstützt wird. Dies erhöht die Akzeptanz und fördert die bereichsübergreifende Zusammenarbeit. Die Implementierung von DT-Initiativen sollte daher durch gezielte Schulungen und Sensibilisierungsmaßnahmen auf allen Hierarchieebenen begleitet werden.
- **Datengestützte Entscheidungsfindung etablieren:** Organisationen sollten eine Kultur fördern, in der datenbasierte Analysen in den Entscheidungsprozess integriert werden. Dies erfordert eine gezielte Weiterbildung der Mitarbeiter sowie eine transparente Kommunikation über die Vorteile datengetriebener Ansätze. Zudem kann die Einrichtung interner Kompetenzzentren für DT-Methoden eine nachhaltige Wissensbasis schaffen.

4.2 Maßnahmen zur Verbesserung der Stakeholder-Kommunikation

Eine effektive Kommunikation zwischen den verschiedenen Stakeholdern ist entscheidend für den Erfolg von DT-Initiativen. Neben der Definition klarer Ziele müssen Sprachbarrieren überwunden und interdisziplinäre Zusammenarbeit gefördert werden:

- **Eindeutige Kommunikation:** Die klare Definition des DT sowie eine zielgruppenorientierte Ansprache sind essenziell, um Missverständnisse zu vermeiden. Produktionsmitarbeiter, Ingenieure und Führungskräfte haben unterschiedliche Informationsbedarfe, die entsprechend adressiert werden müssen. Eine gezielte interne Kommunikationsstrategie kann helfen, eine gemeinsame Verständnisbasis zu schaffen.
- **Verständnis des Mehrwerts schaffen:** Eine transparente Erfolgskommunikation mit greifbaren Beispielen kann zudem das Vertrauen in DT-Projekte stärken. Die schrittweise Einführung und eine enge Verknüpfung mit übergeordneten Unternehmenszielen erleichtern den Wandel.
- **Präzise Terminologie und Sprachabstraktion:** Unterschiedliche Fachbereiche nutzen unterschiedliche Begriffe für ähnliche Konzepte, was zu Missverständnissen führen kann. Eine angepasste Kommunikation, die sowohl technische als auch nicht-technische Stakeholder erreicht, ist nötig. Ein gemeinsames Glossar kann helfen, Missverständnisse zu vermeiden und eine kohärente Sprache zu etablieren.
- **Visuelle und praxisnahe Darstellungen:** Die Nutzung visueller Elemente wie Simulationen oder digitale Modelle erleichtert das Verständnis komplexer DT-Konzepte und trägt zur besseren Vermittlung der Technologie bei. Storytelling-Techniken können helfen, komplexe Sachverhalte anschaulich und verständlich zu machen.

- **Klare Definition von Verantwortlichkeiten:** Durch die frühzeitige Festlegung von Rollen und Zuständigkeiten in interdisziplinären Teams wird die Zusammenarbeit erleichtert und Entscheidungsprozesse optimiert. Es kann hilfreich sein, Kommunikationsprozesse formell zu dokumentieren, um Verbindlichkeit und Transparenz zu gewährleisten.
- **Strategische Verwendung des Begriffs DT:** Der Begriff DT kann gezielt genutzt werden, um die Aufmerksamkeit der Stakeholder zu gewinnen. Gleichzeitig ist es notwendig, spezifischere Begriffe für konkrete Anwendungsfälle zu verwenden, um Missverständnisse zu vermeiden. Der strategische Einsatz von Begrifflichkeiten sollte flexibel gehandhabt werden, um den optimalen Nutzen zu erzielen.
- **Förderung interdisziplinärer Zusammenarbeit:** Die Koordination von Experten aus verschiedenen Bereichen erfordert eine gemeinsame Sprache und ein einheitliches Verständnis der Ziele. Durch gezielte Moderation und Workshops kann eine effektive Zusammenarbeit gefördert werden. Zusätzlich können interdisziplinäre Projektteams dazu beitragen, Synergien zwischen unterschiedlichen Fachdisziplinen besser zu nutzen.

Die erfolgreiche Einführung von DTs erfordert eine Kombination aus technischen, organisatorischen und kommunikativen Maßnahmen. Neben einer klaren Zieldefinition und der Demonstration des Mehrwerts sind vor allem eine zielgerichtete, individuelle Kommunikation und eine enge Einbindung der Stakeholder entscheidend. Durch den gezielten Wissenstransfer und die Verankerung datengetriebener Entscheidungsprozesse können Unternehmen langfristig von den Potenzialen der DT-Technologie profitieren. Eine kontinuierliche Anpassung der Strategien an neue Herausforderungen stellt sicher, dass DTs nachhaltig in bestehende Unternehmensstrukturen integriert werden können.

Zusätzlich zu den beschriebenen Maßnahmen sollten Unternehmen ein langfristiges Monitoring ihrer DT-Initiativen etablieren. Dies kann durch regelmäßige Statusmeetings, Fortschrittsberichte und iterative Verbesserungszyklen geschehen. Weiterhin ist es essenziell, die Rückmeldungen von Nutzern systematisch zu erfassen und in zukünftige Implementierungen einzubeziehen.

Letztlich zeigt sich, dass der Erfolg von DT-Projekten in Fertigungsunternehmen maßgeblich von der Fähigkeit eines Unternehmens abhängt, eine datengetriebene Denkweise zu etablieren und eine unternehmensweite Kultur der Innovation zu fördern. Unternehmen, die DTs nicht nur als technologische, sondern auch als kulturelle Transformation begreifen, haben langfristig eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit in der Implementierung und Nutzung dieser Technologie.

5 Zusammenfassung

Die Implementierung von Digital Twins (DTs) stellt Unternehmen vor große technische, organisatorische und methodische Herausforderungen. Dennoch bieten DTs immense Potenziale zur Optimierung von Geschäfts- und Produktionsprozessen. In diesem Beitrag wurden die zentralen Herausforderungen systematisch erfasst und praxiserprobte Maßnahmen zur Überwindung dieser Hürden identifiziert und zusammengefasst.

Technische Herausforderungen, darunter Standardisierung, Interoperabilität und Datenqualität, erfordern eine verstärkte Harmonisierung von Schnittstellen, die Einführung robuster Datenmanagementsysteme sowie kontinuierliche Investitionen in IT-Sicherheit. Organisatorische Herausforderungen wie Kosten,

Akzeptanz und kultureller Wandel verdeutlichen die Notwendigkeit einer strategischen Führung, die die digitale Transformation aktiv fördert und unterstützt. Methodische Herausforderungen, vor allem die effiziente Modellierung und Bewertung des Nutzens von DTs, zeigen, dass klare Zielsetzungen und kontinuierliche Erfolgsmessungen entscheidend für eine nachhaltige Implementierung sind.

Die Maßnahmen zur Überwindung dieser Herausforderungen lassen sich in zwei Hauptbereiche unterteilen: allgemeine strategische Maßnahmen und spezifische Maßnahmen zur Verbesserung der Stakeholder-Kommunikation. Während erstere sich auf klare Zieldefinitionen, Pilotprojekte und die retrospektive Bewertung konzentrieren, zielen letztere darauf ab, Sprachbarrieren zu überwinden, Missverständnisse zu vermeiden und interdisziplinäre Zusammenarbeit zu fördern. Eine strategische Verwendung des Begriffs DT sowie der gezielte Einsatz visueller Hilfsmittel erleichtern die interne Kommunikation und fördern die Akzeptanz.

Die Untersuchung zeigt, dass Unternehmen, die DTs erfolgreich implementieren möchten, nicht nur technische Lösungen entwickeln müssen, sondern auch eine integrative Strategie zur Bewältigung organisatorischer und methodischer Herausforderungen erarbeiten sollten. Die Förderung eines gemeinsamen Verständnisses über den Nutzen von DTs ist ein zentraler Erfolgsfaktor, um eine reibungslose Integration in bestehende Prozesse zu gewährleisten.

6 Ausblick

Die zukünftige Entwicklung von DTs wird maßgeblich von Fortschritten in den Bereichen Künstliche Intelligenz (KI), Internet der Dinge (IoT) und Cloud-Technologien beeinflusst. Die Automatisierung und intelligente Analyse von Daten werden DTs in den kommenden Jahren noch leistungsfähiger machen und neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen. Unternehmen, die frühzeitig in diese Technologien investieren, können langfristige Wettbewerbsvorteile erzielen.

Ein wesentlicher Trend ist die verstärkte Integration von DTs in digitale Ökosysteme. Durch die Vernetzung mit anderen Systemen entstehen umfassendere digitale Abbilder von Produktionsprozessen und gesamten Lieferketten. Dies ermöglicht nicht nur eine optimierte Prozesssteuerung, sondern auch eine verbesserte vorausschauende Wartung und Fehlererkennung. Unternehmen sollten daher anstreben, ihre DTs effizient in größere digitale Plattformen einzubetten, um Synergien zu nutzen und den vollen Mehrwert des Konzepts auszuschöpfen.

Ein weiteres zentrales Thema ist die zunehmende Notwendigkeit der Standardisierung. Aktuell gibt es zahlreiche proprietäre DT-Lösungen, die eine nahtlose Integration erschweren. Die Entwicklung einheitlicher Standards und offener Schnittstellen wird entscheidend sein, um die Interoperabilität zwischen verschiedenen DT-Systemen und Unternehmensanwendungen zu gewährleisten. Initiativen wie das Digital Twin Consortium [24] spielen hierbei eine Schlüsselrolle und bieten Unternehmen die Möglichkeit, aktiv an der Gestaltung zukünftiger Standards mitzuwirken.

Zudem nimmt die Bedeutung der ethischen und rechtlichen Dimensionen von DTs zu. Datenschutz, Sicherheit und die verantwortungsvolle Nutzung von Daten werden stärker in den Fokus rücken. Unternehmen müssen sicherstellen, dass sie nicht nur technische, sondern auch regulatorische Anforderungen erfüllen. Der Aufbau von Governance-Strukturen, die sowohl ethische

als auch rechtliche Aspekte berücksichtigen, wird für eine nachhaltige Nutzung von DTs unerlässlich sein.

Schließlich wird der Faktor Mensch eine entscheidende Rolle bei der weiteren Verbreitung von DTs spielen. Die Akzeptanz der Technologie innerhalb von Unternehmen hängt stark von der Bereitschaft der Mitarbeitenden ab, neue digitale Arbeitsweisen zu übernehmen. Schulungen, transparente Kommunikation, effektive Weiterbildungsprogramme und die Förderung einer datengetriebenen Unternehmenskultur sind essenziell, um die digitale Transformation mittel DTs erfolgreich voranzutreiben.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass DTs einen fundamentalen Wandel in der industriellen Wertschöpfung bewirken können. Konzepte wie das Kober Digital Twin Framework (KDTF) tragen dazu bei, den Entwicklungsprozess von DTs gezielt zu strukturieren und Unternehmen bei der Einführung sowie Optimierung ihrer Digital-Twin-Strategie zu unterstützen [15]. Unternehmen, die DTs strategisch und mit einem ganzheitlichen Ansatz einführen, werden in der Lage sein, ihre Effizienz zu steigern, Kosten zu senken und sich zukunftssicher aufzustellen. Entscheidend wird sein, nicht nur die technologische Entwicklung voranzutreiben, sondern auch die Menschen frühzeitig einzubeziehen, ihre Akzeptanz zu fördern und sie gezielt auf die neuen digitalen Arbeitsweisen vorzubereiten, um das volle Potenzial von DTs auszuschöpfen.

FÖRDERHINWEIS

Die Autoren bedanken sich im Rahmen des Projekts „LaiLa – Labor für intelligente Leichtbauproduktion“ für die Förderung bei dtec.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr. dtec.bw wird von der Europäischen Union – NextGenerationEU finanziert. Ebenso gilt der CTC GmbH – Composite Technology Center (An Airbus Company) – Dank für die Unterstützung dieser Arbeit.

LITERATUR

- [1] Bloching, B. et al.: The digital transformation of industry. Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI). Stand: 2015. Internet: www.landberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_digital_transformation_of_industry_20150315.pdf. Zugriff am 17.04.2025
- [2] Kritzinger, W.; Karner, M.; Traar, G. et al.: Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-Papers-OnLine 51 (2018) 11, pp. 1016–1022
- [3] VanDerHorn, E.; Mahadevan, S.: Digital Twin: Generalization, characterization and implementation. Decision Support Systems 145 (2021), #113524
- [4] Jones, D.; Snider, C.; Nassehi, A. et al.: Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 29 (2020) 5, pp. 36–52
- [5] Boschert, S.; Rosen, R.: Digital Twin – The Simulation Aspect. In: Hehenberger, P.; Bradley, D. (eds.): Mechatronic Futures: Challenges and Solutions for Mechatronic Systems and their Designers. Cham: Springer International Publishing 2016, pp. 59–74
- [6] Grieves, M.: Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Whitepaper. Stand: 2014. Internet: www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf. Zugriff am 17.04.2025

- [7] Sun, Z.; Zhang, R.; Zhu, X.: The progress and trend of digital twin research over the last 20 years: A bibliometrics-based visualization analysis. *Journal of Manufacturing Systems* 74 (2024) 6, pp. 1–15
- [8] Mendi, A. F.: A Digital Twin Case Study on Automotive Production Line. *Sensors* 22 (2022), #6963
- [9] Li, L.; Aslam, S.; Wileman, A. et al.: Digital Twin in Aerospace Industry: A Gentle Introduction. *IEEE Access* 10 (2022), pp. 9543–9562
- [10] Semeraro, C.; Lezoche, M.; Panetto, H. et al.: Digital twin paradigm: A systematic literature review. *Computers in Industry* 130 (2021), #103469
- [11] Fuller, A.; Fan, Z.; Day, C. et al.: Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. *IEEE Access* 8 (2020), pp. 108952–108971
- [12] Kober, C.; Buxbaum-Conradi, S.; Fette, M. et al.: Digital Twins: A Critical Perspective and Research Trends. 2024 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bangkok/Thailand, 2024, pp. 749–754
- [13] Kober, C.; Fette, M.; Wulfsberg, J. P.: Challenges of Digital Twin Application in Manufacturing. 2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Kuala Lumpur/Malaysia, 2022, pp. 162–168
- [14] Kober, C.; Medina, F. G.; Benfer, M.; Wulfsberg, J. P.; Martinez, V.; Lanza, G.: Digital Twin Stakeholder Communication: Characteristics, Challenges, and Best Practices. *Computers in Industry* 161 (2024), #104135
- [15] Kober, C.: Zielorientierte und nutzenzentrierte Entwicklung und Implementierung von Digital Twins in Fertigungsunternehmen. Dissertation, Helmut Schmidt Universität Hamburg, 2024, doi.org/10.24405/17085
- [16] Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. Weinheim: Julius Beltz Verlag 2022
- [17] Kruse, J.: Qualitative Interviewforschung: ein integrativer Ansatz. Weinheim: Beltz Juventa 2015
- [18] Mayring, P.: Qualitative Content Analysis: A Step-by-Step Guide. Thousand Oaks/USA: SAGE Publications Ltd 2021
- [19] Hu, W.; Zhang, T.; Deng, X. et al.: Digital twin: a state-of-the-art review of its enabling technologies, applications and challenges. *Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment* 2 (2021) 1, pp. 1–34
- [20] Melesse, T. Y.; Pasquale, V. D.; Riemma, S.: Digital Twin models in industrial operations: State-of-the-art and future research directions. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing* 3 (2021) 1, pp. 37–47
- [21] Kober, C.; Fette, M.; Wulfsberg, J. P.: A Method for Calculating Optimum Digital Twin Fidelity. *Procedia CIRP* 120 (2023), pp. 1155–1160
- [22] Kober, C.; Algan, B. N.; Fette, M.; Wulfsberg, J. P.: Relations of Digital Twin Fidelity and Benefits: A Design-to-Value Approach. *Procedia CIRP* 119 (2023), pp. 809–815
- [23] Kober, C.; Adomat, V.; Ahanpanjeh, M.; Fette, M.; Wulfsberg, J. P.: Digital Twin Fidelity Requirements Model For Manufacturing. *Proceedings of the 3rd Conference on Production Systems and Logistics (CPSL)*, Vancouver/Kanada, 2022, pp. 595–611
- [24] Digital Twin Consortium: Digital Twin Consortium – About Us. Internet: www.digitaltwinconsortium.org/about-us/. Zugriff am 17.04.2025

Dr.-Ing. Christian Kober 

christian.kober@hsu-hh.de

Tel. +49 40 / 6541-3844

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

www.hsu-hh.de/laft

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)