

# ERSTELLEN UND BEREITSTELLEN DIGITALER ZWILLINGE IN DER PROZESSINDUSTRIE

**ARC Whitepaper,  
April 2019**

*Dieses Whitepaper bietet Orientierungshilfen zur Digital Readiness und bereitet die Prozessindustrie auf eine erfolgreiche digitale Transformation vor. Die Readiness umfasst einen Mindestschwellenwert für den digitalen Reifegrad von Ressourcen, Systemen, Organisation und Kultur, auf dessen Grundlage digitale Aktivitäten konzipiert und an der Geschäftsstrategie ausgerichtet werden können. Die Erstellung von digitalen Zwillingen als Teil des Digitalisierungsprozesses kann unter anderem die Leistung in den Bereichen Engineering, Betrieb und Wartung verbessern, sofern ein unternehmensweiter, konsistenter Ansatz vorhanden ist, der von der digitalen Unternehmensstrategie unterstützt wird. In diesem Whitepaper werden Fähigkeiten und Kompetenzen sowie IT-Architekturen, Zusammenarbeit und Kulturwandel erörtert, die zur Unterstützung eines erfolgreichen Einsatzes digitaler Zwillinge erforderlich sind.*

Von Valentijn de Leeuw,  
Vice President



## INHALT

Überblick.....	4
Digital Readiness und digitale Zwillinge .....	6
Anlageninformationen als Grundlage für digitale Zwillinge .....	11
Eine Cloud-basierte Umgebung zur Zusammenarbeit.....	14
Denkweise, Kultur und Verhalten.....	17
Anwendungen und Vorteile .....	19
Empfehlungen.....	21
Anhang: Grundlegende Digital Readiness.....	23

## Überblick

---

Ein digitaler Zwilling ist die Darstellung einer physischen Anlage, die ein bestimmtes Maß an Vollständigkeit und Genauigkeit aufweist und Kontextinformationen enthält, mit denen der Anwender das Verhalten und die Leistung der Anlage nachvollziehen kann. Wir unterscheiden zwischen projektbezogenen digitalen Zwillingen, die im Bereich Engineering und im Baugewerbe verwendet werden, und leistungsbezogenen digitalen Zwillingen, die in den Bereichen Betrieb und Wartung eingesetzt werden.

Die Grundlage für einen digitalen Zwilling sind genaue, aktuelle und zugängliche Anlageninformationen. Wenn er ordnungsgemäß verwaltet und bereitgestellt wird, verändert sich der digitale Zwilling im Laufe des Anlagenlebenszyklus, um die Änderungen der Anlage widerzuspiegeln. So kann der Anwender wichtige Informationen zur aktuellen und vergangenen Leistung

---

*Dieses Whitepaper bietet Orientierungshilfen zur Digital Readiness und bereitet die Prozessindustrie auf eine erfolgreiche digitale Transformation vor. Die Readiness umfasst einen Mindestschwellenwert für den digitalen Reifegrad von Ressourcen, Systemen, Organisation und Kultur, auf dessen Grundlage digitale Aktivitäten konzipiert und an der Geschäftsstrategie ausgerichtet werden können. Die Erstellung von digitalen Zwillingen als Teil der Digitalisierung kann unter anderem die Leistung in den Bereichen Engineering, Betrieb und Wartung verbessern, sofern ein unternehmensweiter, konsistenter Ansatz vorhanden ist, der von der digitalen Unternehmensstrategie unterstützt wird. In diesem Whitepaper werden Fähigkeiten und Kompetenzen, IT-Architekturen, Zusammenarbeit und Kulturwandel erörtert, die zur Unterstützung der erfolgreichen Anwendung digitaler Zwillinge erforderlich sind.*

---

der Anlage in der realen Welt beobachten. Zusätzlich zu diesem einfachen digitalen Zwilling können komplexere Aspekte des Zwillings erstellt werden, wie z. B. technische Berechnungen, Prozesssimulationen, 3D-Modelle, Baumodellierungen und immersive Simulationen. Die verschiedenen Aspekte des digitalen Zwillings sind stark voneinander abhängig und ihre Genauigkeit und Aktualität wirken sich auf die Leistung der jeweils anderen Aspekte und damit auch auf die Projekt- oder Anlagenleistung aus. Aus diesem Grund müssen Integrität und Qualität der Daten, aus denen sich der digitale Zwilling zusammensetzt, im Rahmen von Data Governance effizient verwaltet werden<sup>1</sup>.

Unserer Ansicht verfügt ein Unternehmen über Digital Readiness, wenn es einen Mindestschwellenwert des digitalen Reifegrads in Bezug auf Ressourcen,

---

<sup>1</sup> DiStefano, R.S. und S.J. Thomas, „Asset Data Integrity Is Serious Business“, Industrial Press, 2010.

Systeme, Organisation und Kultur erreicht hat, der für das Erzielen von Erfolg durch das Durchlaufen einer digitalen Transformation erforderlich ist. Das Unternehmen kann diese digitale Grundlage nutzen, um eine digitale Infrastruktur und Aktivitäten zu konzipieren und so den digitalen Reifegrad zu erlangen, der für eine effiziente Umsetzung der Strategie und maximale Leistung durch Unterstützung digitaler oder nicht-digitaler Aktivitäten erforderlich ist. Jedes Unternehmen sollte bestimmen, welcher digitale Reifegrad und welche digitale Leistung für seine jeweilige Situation optimal ist.

In diesem Whitepaper gehen wir auf den Mindestschwellenwert des digitalen Reifegrads ein und erläutern, wie digitale Zwillinge auf der Grundlage von Anlageninformationen erstellt, gepflegt und konsistent gehalten werden. Da die Zusammenarbeit in Unternehmensnetzwerken und in Wertschöpfungsketten-Ökosystemen im digitalen Zeitalter an Bedeutung gewinnt, kann eine effektive IT-Architektur, die Zusammenarbeit und Datenverknüpfung (statt Replikation) erleichtert, nur aus offenen, vernetzten Datenumgebungen bestehen. Dieses Whitepaper beschreibt, was Kultur ist und wie sie die digitale Transformation ermöglichen oder vernichten kann. Wir schlagen Ansätze für eine Veränderung der Kultur, der Denkweise und des Verhaltens vor. Das Whitepaper behandelt die Fähigkeiten und Kompetenzen, die für die Erstellung, Bereitstellung und Wartung eines Systems mit digitalen Zwillingen erforderlich sind. Abschließend gehen wir auf die möglichen Anwendungen und zu erwartenden Vorteile der Verwendung digitaler Zwillinge ein, darunter:

- Verbesserte Betriebs- und Anlagenleistung
- Verbesserte Effizienz bei Konstruktion und Wartung
- Mehr Zeit für das Engineering dank eines geringeren Zeitaufwands für Daten- und IT-Aufgaben
- Weniger Ausfallzeiten, weniger Geräteschäden und höchstwahrscheinlich eine Reduzierung von informationsbezogenen Vor- und Unfällen
- Geringere Betriebs- und IT-Risiken

## Digital Readiness und digitale Zwillinge

Bevor wir uns mit dem Konzept digitaler Zwillinge auseinandersetzen, sollten wir überlegen, wie sich digitale Zwillinge in die digitale Strategie eines Unternehmens einfügen. Die Strategie sollte den erforderlichen digitalen Reifegrad definieren, der für die Umsetzung der allgemeinen Strategie des

---

*Fähigkeiten sind einzeln betrachtete Potenziale, während Kompetenzen aus einer ganzen Reihe von Verhaltensweisen bestehen, die durch eine Absicht motiviert und so ausgewählt werden, dass sie optimal zu einer Situation passen. Fähigkeiten umfassen etwa technisches Können, während eine Kompetenz die Art und Weise beschreibt, wie diese Fähigkeiten eingesetzt werden, um ein optimales Ergebnis zu erzielen<sup>2</sup>.*

---

Unternehmens nötig ist. Die digitale Strategie muss daher ein Teil der allgemeinen Strategie sein. Sie sollte sich auf die Wertschöpfung für das Unternehmen konzentrieren und nicht auf die Implementierung oder Verwendung von Technologien beschränkt sein.

Es ist eine digitale Grundlage erforderlich, um digitale Aktivitäten zur Unterstützung digitaler und nicht-digitaler Aktivitäten zu entwickeln. Zusammen werden diese als „digitale Transformation“ bezeichnet. Diese Grundlage bzw. der digitale Mindestreifegrad wurden bisher von einigen Unternehmen unterschätzt. Die

Grundlage umfasst:

- Digitale Kompetenzen der Mitarbeiter
- Digitale Informationen, die von Ressourcen in Forschung, Entwicklung, Produktion und Lieferkette sowie von Ökosystempartnern und intelligenten Produkten bereitgestellt werden.
- Informationssysteme, die eine ausreichende Qualität und Menge an Informationen bereitstellen, um Entscheidungen in allen Funktionsbereichen zu ermöglichen, d. h. eine ausreichende vertikale und horizontale Integration bieten. Diese Systeme sollten das Unternehmen und die Prozesse dabei unterstützen, Informationen lokal oder zentral zu analysieren und relevante, kontextualisierte und rollenbasierte Informationen für diejenigen zu visualisieren, die sie benötigen.
- Im Hinblick auf Organisation und Management sind zur Erreichung der Agilität und Flexibilität, die globale und transparente Lieferketten erfordern, flexible Ökosysteme vonnöten – sowohl innerhalb des Unternehmens als auch in seinem Lieferkettennetzwerk.

---

<sup>2</sup> Boyatzis, R.E., „Competencies as a behavioral approach to emotional intelligence“, J. Management Development, 28 (9), S. 749-770, 2009.

- Agile, flexible Ökosysteme können nur effektiv sein, wenn sie weniger auf die Hierarchie und mehr auf Prozesse, Regeln, Leistungsziele, Autonomie, Entscheidungsfreiheit und -grenzen sowie die Verantwortung der Mitarbeiter in diesen Ökosystemen ausgelegt sind. Die Kosten für eine zentrale Entscheidungsfindung und Optimierung sind gerechtfertigt, wenn dadurch globale Synergien erzielt werden können. In anderen Fällen sind jedoch Kosteneffizienz und Geschwindigkeit der lokalen Entscheidungsfindung vorzuziehen.
- Kultur ist ein wichtiger Bestandteil von Industrie 4.0 oder Smart Manufacturing. Zusammenarbeit und eine offene Kommunikation waren früher ein Vorteil, entwickeln sich mittlerweile aber zu wichtigen Voraussetzungen. Diese Verhaltensmuster basieren auf Vertrauen, Gruppenidentität und Gruppenwirksamkeit und erfordern moderne Ansätze für das Personalmanagement.
- Die Mitarbeiter müssen bereit sein, ihr Verhalten als Reaktion auf eine sich verändernde Umgebung zu überprüfen und anzupassen. Möglicherweise müssen sie ihre Fähigkeiten und Kompetenzen in nicht vorhersehbaren Bereichen anpassen, was im Widerspruch zu ihrer beruflichen Identität stehen kann. Die Bereitschaft zur Veränderung kann nicht erzwungen, sondern nur gefördert werden, was eine Aufgabe des Managements zur Unterstützung der digitalen Transformation von Unternehmen darstellt.
- Die Mitarbeiter müssen bereit sein, sich von Daten und faktenbasierten Systemen leiten zu lassen. Dazu muss auf Erfahrung beruhendes Spezialwissen geprüft und in beobachtungs-basierte Standards umgewandelt werden. Um Akzeptanz und eine optimale Nutzung zu erreichen, müssen die Mitarbeiter verstehen, wie Systeme Empfehlungen generieren, und ihnen die Möglichkeit geben, diese zu ergänzen und verbessern.

Wir haben die Elemente der Digital Readiness besprochen, angefangen bei technischen Aspekten bis hin zu menschlichen und kulturellen Aspekten. Eine Roadmap für die Implementierung sollte in umgekehrter Reihenfolge erstellt werden, um das Unternehmen auf die Implementierung der technischen und organisatorischen Änderungen vorzubereiten. Eine Zusammenfassung der Kriterien für Digital Readiness finden Sie im Anhang.

Auf dieser Grundlage können Unternehmen wählen, für welche Themen oder Projekte sie den idealen digitalen

---

*Bentley Systems stellt für die Bereiche Prozessindustrie, Energieerzeugung, Versorgung, Bergbau und Transportinfrastruktur sowie intelligente Städte Funktionen zur digitalen Modellierung während des gesamten Projekt- und Anlagenlebenszyklus bereit.*

*Digitale Konstruktionsmodelle können für Design, Strukturanalyse, Bauplanung oder Anlageninformationen, Integritäts- und Leistungsmodellierung genutzt werden. Neben der Engineering-Technologie (ET) sind diese Modelle auch mit Informationen und Prozessen in der Unternehmensinformationstechnologie (IT) und der Betriebstechnologie (OT) verknüpft.*

*Bentley Systems bietet eine Reihe von Produkten für die Prozessindustrie an, darunter PlantSight™, OpenPlant, PlantWise, AssetWise™, ProjectWise™, ContextCapture und iTwin™ Services.*

---

Reifegrad erreichen möchten: Digitalisierung, Konnektivität, Transparenz, Prognosefähigkeit oder selbstoptimierende Anpassungsfähigkeit. Ein systematischer Ansatz könnte eine Reifegradbewertung und eine Roadmap umfassen<sup>3</sup>. Verhalten, Normen und Kultur wurden vom Autor auf der „Year in Infrastructure“-Konferenz von Bentley 2018 besprochen.<sup>4</sup>

Die digitale Strategie muss auf die Governance abgestimmt sein, die Ressourcen und Finanzierungsmöglichkeiten identifiziert, Ergebnisse überprüft und Input für die Strategieanpassung liefert. Es ist wichtig, sich nicht vom breiten Angebot an Technologien verwirren zu lassen<sup>5</sup>,

sondern mit einem geschäftlichen Schwerpunkt zu experimentieren, Innovationen zu entwickeln und vielversprechende Machbarkeitsnachweise zu skalieren, um Vorteile auf Unternehmensebene zu erzielen. Dazu gehören Kosten-Nutzen-Schätzungen, Cashflow-Berechnungen und die Priorisierung von Digitalisierungsprojekten.

Digitale Projekte oder Initiativen können die Implementierung neuer Technologien zur Verbesserung oder Innovation von Geschäftsprozessen, neuen, möglicherweise intelligenten Produkten und Services umfassen. Letzteres kann neue Einkommensquellen eröffnen. Die Erstellung und Verwaltung digitaler Zwillinge kann eine der Initiativen sein, die ein Unternehmen

---

<sup>3</sup> Schuh, G. et al. (Hrsg.), „Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies“ (Studie von acatech), Herbert Utz Verlag, 2017.

<sup>4</sup> De Leeuw, V., „Digital transformation In The Process Industry.“ Präsentation „Asset Lifecycle Information Management“ im Rahmen der „Year In Infrastructure“, London, 2018.

<sup>5</sup> Guilfoyle, M., „Developing and Executing Digital Transformation Strategies“, ARC Advisory Group, Januar 2019.

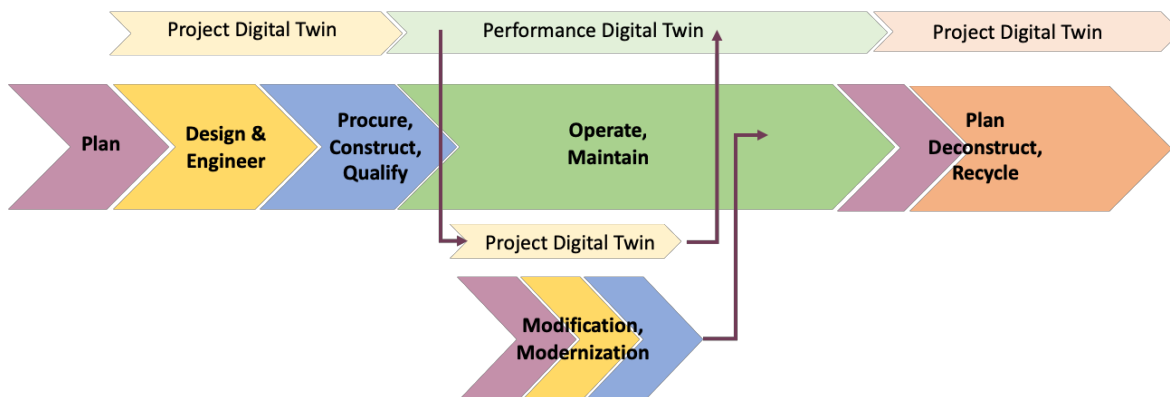


einleitet. Worum genau es sich bei diesen handelt, wie sie erstellt und gewartet werden können und welche wertschöpfenden Anwendungen einen digitalen Zwilling nutzen können, ist das Thema des restlichen Whitepapers.

## Digitale Zwillinge

Die digitale Darstellung eines physischen Objekts ist ein Ausgangspunkt für die Digitalisierung. Jeden Tag scannen wir Dokumente oder nehmen Bilder von Dokumenten und Ressourcen mit unseren Smartphones auf. Dabei handelt es sich jedoch nicht um digitale Zwillinge. Um als Zwilling zu gelten, müssen die Inhalte ein bestimmtes Maß an Vollständigkeit und Genauigkeit aufweisen und Kontextinformationen enthalten, mit denen der Anwender das Verhalten und die Leistung der jeweiligen Anlage nachvollziehen kann. Ein digitaler Zwilling kann fortlaufend über mehrere Quellen synchronisiert werden, einschließlich Sensoren und kontinuierlicher Überwachung, um den Status, den Betriebszustand oder die Position nahezu in Echtzeit darzustellen. Eine digitale Darstellung, die den Status einer Anlage zu einem früheren Zeitpunkt widerspiegelt, kann nützliche Informationen liefern, anhand derer sich nachvollziehen lässt, welche Entscheidungen und Maßnahmen zum aktuellen Status geführt haben.

Der Lebenszyklus einer industriellen Anlage lässt sich in die Phasen „Planung und Konstruktion“, „Betrieb und Wartung“ und ggf. „Dekonstruktion und Recycling“ unterteilen. In diesem Artikel unterscheiden wir zwischen *projektbezogenen digitalen Zwillingen*, die in der Konstruktions- und Dekonstruktionsphase verwendet werden, und *leistungsbezogenen digitalen Zwillingen*, die in der Betriebsphase zum Einsatz kommen. Im Falle von neuen Anlagen, die in den Industrieländern seltener und in Entwicklungsländern häufiger vorkommen, kann der projektbezogene digitale Zwilling nahtlos zu seiner Rolle als leistungsbezogener digitaler Zwilling übergehen.



**Nutzung digitaler Zwillinge im gesamten Lebenszyklus industrieller Anlagen**

Die technischen Informationen, die durch detaillierte Informationen zu Ausrüstung und Qualifikation ergänzt wurden, werden an den Betrieb übergeben und dort mit Betriebs- und Wartungsinformationen weiter bestückt. Dieser Prozess ist bei der großen Mehrheit der Übergaben bei Weitem nicht perfekt und es herrscht Einigkeit darüber, dass die durchschnittlichen Kosten einer schlechten Übergabe sich auf mehrere Prozent des gesamten Investitionsaufwands belaufen!<sup>6</sup>

Heute ist es möglich, einen vollständigen digitalen Zwilling zu übergeben und dauerhaft zu pflegen. Dieser *leistungsbezogene digitale Zwilling* beginnt im Laufe der Zeit, vom projektbezogenen digitalen Zwilling zu abweichen, beispielsweise aufgrund von neuen oder ersetzten Ausrüstungsgegenständen oder einer verminderten Leistung aufgrund von Verschmutzung, Verschleiß usw. Wenn geplante Änderungen, Modernisierungen, Beseitigungen von Engpässen oder Laufzeiten auftreten, muss ein neuer projektbezogener digitaler Zwilling erstellt werden (basierend auf dem aktuellen leistungsbezogenen digitalen Zwilling), damit die Änderungen parallel zum Betrieb der Anlage bis zur Abschaltung abgestimmt werden können. In der Konstruktions- und Qualifizierungsphase werden alle Konstruktionsänderungen gegenüber dem Design im projektbezogenen Zwilling erfasst. Danach kann eine Abstimmung erforderlich sein, um die aktuellen Änderungen am leistungsbezogenen Zwilling mit den Informationen aus dem projektbezogenen Zwilling zu kombinieren und als Ausgangspunkt für den aktualisierten leistungsbezogenen Zwilling zu nutzen. Dies erfolgt durch einen direkten Vergleich der Unterschiede und im Rahmen eines Schritt-für-Schritt-Prozesses zur Genehmigung oder Ablehnung von Änderungen.

---

<sup>6</sup> Gallaher et al., „Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry“, NIST-Bericht GCR 04-867, 2004.

## Anlageninformationen als Grundlage für digitale Zwillinge

Die Grundlage eines digitalen Zwillings sind Anlageninformationen, die zum Verständnis und zur Modellierung der Anlage erforderlich sind. Wie in Tabelle 1 dargestellt, berücksichtigt ARC Anlagen auf möglichst umfassende Weise<sup>7</sup>, um sicherzustellen, dass alle Abhängigkeiten im Hauptgeschäftsprozess-Portfolio sowie im Projekt- und Anlagenleistungsmanagement berücksichtigt werden. Neben den physischen Anlagen betrachten wir auch personelle und geistige Ressourcen. Aktuelle technische Informationen sind für das Verständnis der Anlagenleistung und für Wartungsentscheidungen zwar entscheidend, doch ein digitaler Zwilling enthält neben den technischen Informationen auch noch andere virtuelle Ressourcen.

Physische Anlagen		Personelle Ressourcen		Virtuelle Werte	
<i>Primär</i>	<i>Unterstützung</i>	<i>Programmorientiert</i>	<i>Anlagenorientiert</i>	<i>Referenzdaten</i>	<i>Aktivitätsdatensätze</i>
Einrichtungen	IT-Hardware/Software	Projektmanagement	Betrieb	Funktionales Design	Gewerblicher Status
Ausrüstung	Mobil	Konstruktionsentwurf	Verfahrenstechnik	Prozessbezogen	Verlauf
Remote	MRO	Beschaffung	Wartung		
	Material	Konstruktion	Zuverlässigkeit		

**Tabelle 1: Anlagenkategorien**

In Tabelle 2 sind Beispiele für Anlageninformationstypen aufgeführt, die von Geschäftsprozessen benötigt werden. Sobald dieser grundlegende digitale Zwilling vollständig, aktuell und exakt ist, kann das Unternehmen die Informationen nutzen. Um nutzbar zu sein, müssen die Informationen für alle, die sie benötigen, leicht zugänglich sein. Hinsichtlich des Zugriffs gibt es mehrere Aspekte, die berücksichtigt werden müssen:

<sup>7</sup> De Leeuw, V.V. und S.R. Snitkin, „Asset Information Management, From Strategy to Benefit“, In: Proceedings of the 7th International Conference on Product Lifecycle Management, Berlin, 2010.

Projektleistungsmanagement	Anlagenleistungsmanagement	Portfoliomanagement
Zeitpläne	Betriebsdaten	Anlagen- und Projektleistung
Budgets	Analysen	Risikoprofile
Analysen	Genehmigungen	Ressourcenverfügbarkeit
Konstruktions- und Gerätedaten	Verfahren und Praktiken	Unternehmensstrategie
Stücklisten	Rezepte	usw.
Bestellungen	Materialien	usw.
Verträge	Gerätedaten	
Status	Verträge und Garantien	
usw.	Wartungsverlauf	
	usw.	

**Tabelle 2: Benötigte Anlageninformationen nach Geschäftsprozess**

- In der Phase *Planung und Konstruktion* interagieren Anlagenbetreiber mit Konstruktions-, Beschaffungs- und Bauunternehmen, Anlagenbauern, Erd- und Straßenbauunternehmen, Aufsichtsbehörden und Auditoren usw. In der Phase *Betrieb und Wartung* können Gerätehersteller, Wartungsdienstleister, Lizenzgeber, Anbieter von Instrumenten- und Automatisierungslösungen und andere in einer Netzwerkumgebung interagieren. Da viele Parteien und Interessenvertreter zu den Anlageninformationen (projekt- oder leistungsbezogener Zwilling) beitragen, ist es wichtig, Vereinbarungen über Eigentums-, Zugriffs- und Entscheidungsrechte zu treffen, die im Idealfall in der eingesetzten Softwarelösung durchsetzbar sind (siehe: [Eine Cloud-basierte Umgebung zur Zusammenarbeit](#)).
- Um die Effektivität zu verbessern und die Kosten für den Austausch von Anlageninformationen zu senken, kann ein standardisiertes Datenmodell eingesetzt werden, das den Inhalt bestimmter Informationen und deren Speicherort angibt. Die steigende Zahl an aktuellen Veröffentlichungen zu diesem Thema zeigt seine Bedeutung in allen Branchen. Der vorherrschende internationale Standard ist ISO 15926. In [diesem](#) Artikel haben wir kürzlich den Status von Standardisierungsaktivitäten in diesem Bereich zusammengefasst. Derzeit werden viele Varianten und Erweiterungen von ISO 15926 erarbeitet, von denen viele branchenspezifisch sind. Die meisten davon behandeln wir in [dieser](#) Übersicht, die auch Standards für das Anlagenleistungsmanagement enthält. ISO 15926

und seine Erweiterungen lassen sich zwar noch weiter perfektionieren, erweitern und ausrichten, können aber bereits in ihrem aktuellen Zustand Vorteile bieten.<sup>8</sup>

Da die Datenmenge für einen einfachen digitalen Zwilling enorm ist und Genauigkeit und Aktualität von entscheidender Bedeutung sind, ist ein Data-Governance-Prozess erforderlich, um den Grad der Vollständigkeit, Genauigkeit, Integrität und Aktualität einschließlich des Änderungsmanagements zu überwachen. Mit modernen Dashboard-Tools ist diese Aufgabe nicht so abschreckend, wie sie scheinen mag. Der Aufwand zahlt sich in Form von präziseren Entscheidungen zu Betrieb und Wartung aus, die die Leistung verbessern, die Prozess- und Arbeitssicherheit erhöhen sowie die Umweltbelastung senken. Mit gewisser Wahrscheinlichkeit erhöht sich die Zuverlässigkeit, während die Wartungskosten sinken.

### **Konsistenz zwischen verschiedenen Aspekten digitaler Zwillinge**

Basierend auf diesem grundlegenden projekt- oder leistungsbezogenen digitalen Zwilling kann der Anwender mit der Gestaltung anspruchsvollerer Aspekte des digitalen Zwillings beginnen. Abhängig von den Prioritäten und den erwarteten Vorteilen des Unternehmens kann dies eine kontinuierliche Prozesssimulation und -optimierung, transiente Prozessmodelle, vorausschauendes Instandhaltungs- und Anlagenleistungsmanagement, umfassende Bedienschulungen, Realitätsraster auf Basis von Vermessungen bzw. 3D-Modellen oder Lieferkettenmodellen umfassen. Diese Aspekte basieren alle auf einem grundlegenden digitalen Zwilling<sup>9</sup> (siehe auch: [Anwendungen und Vorteile](#)).

In neuen Anlagen besteht die Möglichkeit, nach Abschluss des grundlegenden digitalen Zwillings anspruchsvolle Aspekte des Zwillings zu gestalten. Anhand der Aspekte des Zwillings lassen sich gemeinsame Parameter miteinander verknüpfen, sodass die Konsistenz über einen längeren Zeitraum hinweg sichergestellt wird. Viele bestehende Anlagen haben möglicherweise bereits einige dieser anspruchsvollen Modelle entwickelt, bevor der grundlegende digitale Zwilling vorhanden war. Anlageninformationen sind häufig über verschiedene Systeme, Dateien, Papierdokumente und andere nicht vernetzte Quellen verteilt. Es ist eine Investition erforderlich, um diese

---

<sup>8</sup> De Leeuw, V., „Standards-based Asset Management, Information and Performance Management“, ARC Strategies, Oktober 2016.

<sup>9</sup> Otten, W. et al., „Engineering without structured Data?“ Präsentation bei der NAMUR General Assembly, November 2018.

Modelle mit dem grundlegenden digitalen Zwilling abzugleichen, Parameter zu verknüpfen und die Konsistenz wiederherzustellen. Diese zahlt sich durch einen höheren Wert dieser bereits vorhandenen Modelle und eine verbesserte Genauigkeit ihrer Ergebnisse aus. Außerdem wird die Konsistenz der verschiedenen Detailmodelle sichergestellt. Wenn beispielsweise ein transientes Modell so lange läuft, bis ein stabiler Zustand erreicht wird, sollten die Ergebnisse identisch mit denen sein, die in der Prozesssimulation im stabilen Zustand unter den gleichen Bedingungen ermittelt wurden. Dies ist nur dann der Fall, wenn die verwendeten Anlagen- und Materialdaten identisch sind, d. h. auf ein und demselben grundlegenden digitalen Zwilling beruhen. Das Management der Konsistenz dieser Modelle sollte Teil der Data-Governance-Aktivitäten sein.

## Eine Cloud-basierte Umgebung zur Zusammenarbeit

*Die iTwin Services von Bentley System ermöglichen es Anwendern, technische Daten, Realitätsdaten und andere zugehörige Informationen aus verschiedenen Designtools und anderen Quellen in einen lebendigen digitalen Zwilling zu integrieren, ohne dabei die aktuellen Tools oder Prozesse zu beeinträchtigen. Anwender können Änderungen verfolgen und visualisieren, einschließlich der realen Bedingungen von Instrumenten, Sensoren, IoT-Geräten oder Drohnen. iTwin Services liefern Entscheidungsträgern während des gesamten Projekt- und Anlagenlebenszyklus verwertbare Erkenntnisse. So können Anwender bessere und fundiertere Entscheidungen treffen, Probleme erkennen und vermeiden, noch bevor sie auftreten, und schneller und genauer reagieren, was zu Kosteneinsparungen, verbesserter Serviceverfügbarkeit, geringeren Umweltauswirkungen und einer verbesserten Sicherheit führt.*

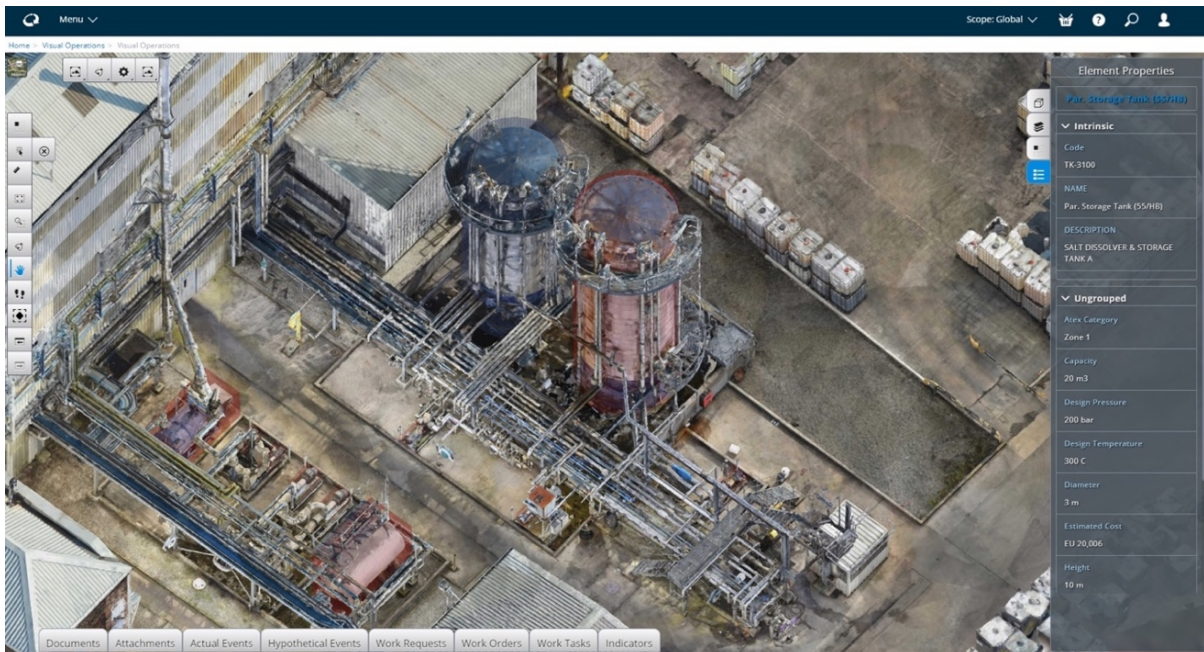
Wenn wir die verschiedenen Anforderungen für das Management von Anlageninformationen und digitalen Zwillingen betrachten, kommen wir zu dem Schluss, dass wir eine Cloud-basierte Umgebung benötigen, in der die verschiedenen Interessengruppen und Partner in den Ökosystemen effizient und sicher zusammenarbeiten können. Dabei spielen auch Cybersicherheit und der Schutz von geistigem Eigentum und Daten eine Rolle.

Bentley Systems hat iTwin™ Services als offene, skalierbare Plattform für digitale Zwillinge entwickelt. Diese Cloudservices ermöglichen es Unternehmen, digitale Zwillinge von Projekten und Anlagen zu erstellen, zu visualisieren und zu analysieren. iTwin™ Services umfassen Reality Modeling, 3D-Webvisualisierung und Technologien zur 4D-Änderungssynchronisierung in einer offenen, vernetzten Datenumgebung (CDE) für eine effiziente und sichere Zusammenarbeit.

In der Hauptprojektphase können verschiedene Parteien mit den Daten arbeiten, die sie sehen, verwenden oder ändern dürfen, interne Informationen hinzufügen, die nach Bedarf teilweise für andere Anwender verborgen bleiben, und Teile ihrer Arbeitsergebnisse im Einklang mit den vereinbarten Bedingungen weitergeben. Jede Partei greift je nach ihren Rechten auf eine andere Teilmenge der insgesamt verfügbaren Informationen zu.

In der Betriebsphase haben Engineering, Betrieb und Wartung Zugriff auf eine verbundene Quelle von Anlageninformationen und können mehrere Bedingungen aus herkömmlichen und mit dem IoT-vernetzten Geräten erfassen und analysieren. So erhalten Entscheidungsträger im gesamten Unternehmen und über den gesamten Anlagenlebenszyklus hinweg verwertbare Erkenntnisse, Probleme werden noch vor ihrer Entstehung vorhergesehen und vermieden und es wird schneller und mit Zuversicht gehandelt. Dies führt zu Kosteneinsparungen, verbesserter Serviceverfügbarkeit, geringeren Umweltauswirkungen und höherer Mitarbeitersicherheit.

Bentley Systems und Siemens haben gemeinsam PlantSight™ entwickelt, um eine digitale Zwillingsumgebung für die Prozessindustrie bereitzustellen, die auf iTwin™ Services basiert. PlantSight umfasst als eine Reihe von Microservices, darunter eine Webportal-Ansicht für die gemeinsame



**Ein Realitätsrastermodell mit funktionalem Kontext: hervorgehobene Bereiche sind identifizierte Prozesseinheiten mit Eigenschaften (Bild mit freundlicher Genehmigung von Bentley Systems)**

Prozessentwicklung und das Management von Informationen zu funktionalen Anlagen (d. h. 1D-Informationen wie Spezifikationen und Datenblätter sowie 2D-Schemata), für das 3D-Design und zur Modellierung physischer Ressourcen (z. B. physisches Layout, Positionen und Standort). Darüber hinaus bietet die Lösung Einblicke aus Anlagen- und Projektmanagementsicht, einschließlich Designspezifikationen, Wartungsverlauf, Zuverlässigkeitsdaten und Fehlermodusanalysen, sowie Analysedienste, die zeitnahe und fundierte Entscheidungen unterstützen.

Viele Funktionalitäten basieren auf der Software, dem gesammelten Fachwissen und den Erfahrungswerten, die sowohl Bentley Systems als auch Siemens heute mitbringen. Der Anwender kann bereits vorhandene 3D-Anlagenmodelle oder Projekte, die in gängigen verfügbaren 3D-Konstruktionswerkzeugen erstellt wurden, nutzen und diese mit Modellen kombinieren, die auf Fotogrammetrie oder 3D-Punktwolken basieren, um ein „Realitätsraster“ zu erstellen.<sup>10</sup>

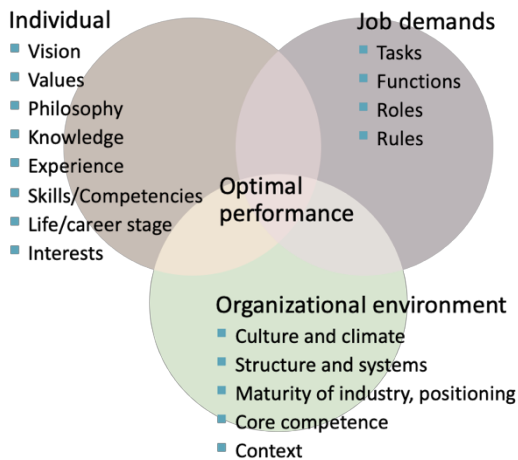
Die Lösung erleichtert die Konstruktion des digitalen Zwillings als Zusammenschluss aus vielen Quellen, darunter nicht nur Projekt- und Betriebsrepositorien und -dateien, sondern auch Informationen in IT-Systemen, wie z. B. Enterprise Anlagenverwaltungssysteme, die in der Regel Bestandteil des ERP-Systems sind. Die Betreiberanlage hat die Möglichkeit, den digitalen Zwilling mit Betriebstechnologien (OT) zu vernetzen, wie z. B. Automatisierungssoftware oder Dashboards zur Anlagenintegrität oder Produktionsleistung, oder eigene Apps auf der Grundlage der im Zwilling enthaltenen Informationen zu erstellen.

---

<sup>10</sup> De Leeuw, V., „Bentley’s and Siemens’ [Vision for Cloud-based Distributed Engineering and Operations](#)“, Whitepaper, ARC Advisory Group, Juni 2018.



Die iTwin™ Services erfassen die im Laufe der Zeit vorgenommenen Änderungen am digitalen Zwilling und Anwender können zu einem beliebigen Zeitpunkt in der Zeitleiste zurückspringen. Die Lösung verfügt über mehrere Tools zur Anzeige schwer zugänglicher Daten sowie Mechanismen zur Bestätigung (oder Ablehnung) dieser Daten, wodurch das Vertrauen in die Informationen gestärkt und die Data Governance erleichtert wird.



Ein Kontingenzmodell zur Performance (Quelle: R. Boyatzis)

nicht mit Kultur- oder Teamnormen im Einklang sind, drohen Widerstand, mangelnde Motivation, Fluktuation, Abwesenheit und Produktivitätseinbrüche, was selbst die besten Pläne zunichtemachen kann. Dies geschieht, wenn die individuellen oder Gruppenmerkmale, die beruflichen Anforderungen und die Organisationsumgebung sich voneinander wegbewegt haben<sup>11</sup>. Es wird beispielsweise oft betont, dass Fehlertoleranz und die Bereitschaft, aus Fehlern zu lernen, im Zeitalter der Digitalisierung von entscheidender Bedeutung sind, aber die Angst, als unangemessen wahrgenommen zu werden, zu zerstreuen, ist leichter gesagt als getan.

Die Herausforderung in Bezug auf Kultur und Denkweise besteht darin, dass diese Aspekte tiefgreifende Werte, Überzeugungen, Gewohnheiten und Regeln betreffen, von denen die meisten implizit oder unterbewusst sind. Diese unterbewussten Inhalte lassen sich mit „Dark Data“ zu Industrieanlagen vergleichen. Es ist nicht unmöglich, auf sie zuzugreifen und sie zu

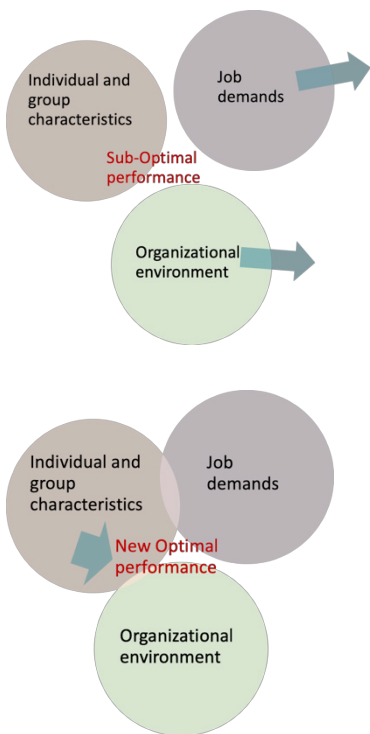
<sup>11</sup> Boyatzis, R.E. „The Competent Manager, A Model for Effective Performance“, John Wiley & Sons, 1982.

## Denkweise, Kultur und Verhalten

Die Denkweise und Kultur sind wesentliche Bestandteile intelligenter Fertigungsabläufe. Bei der Einführung von Lean Manufacturing und Six Sigma wurden ähnliche Effekte beobachtet. Wenn Pläne für Veränderungen wie die Einführung von Industrie 4.0 oder kollaboratives Cloud-basiertes Engineering

überprüfen; dies erfordert jedoch eine methodische Herangehensweise und einen gewissen Aufwand.

Engagierte Führungskräfte sind in der Lage, offene Gespräche mit Einzelpersonen und Teams zu führen und unterbewusste Überzeugungen, Werte, Identitäten und implizite Regeln explizit zu machen<sup>12</sup>. Die individuellen und kollektiven Überzeugungen, Werte und Betriebsphilosophien können durch Berücksichtigung, Coaching, Schulung, Rollenmodellierung, angemessene Leistungsziele und Vergütungssysteme sowie durch menschenorientierte Arbeitsgestaltung, bei der den Mitarbeitern Aufgaben zugewiesen werden,



zu denen sie einen einzigartigen Mehrwert beitragen, diskutiert und geändert werden. Unternehmen sind komplexe Systeme mit mehreren Ebenen, was darauf hindeutet, dass sie sich nicht linear verhalten, sondern ihr Verhalten basierend auf Wendepunkten ändern können<sup>13</sup>. Dies bedeutet, dass die Unternehmenskultur im gesamten Unternehmen geändert werden sollte und Führungskräfte auf allen Ebenen ein hohes Kompetenzniveau<sup>14</sup> im Bereich des modernen Managements benötigen, um diesen Wendepunkt der globalen Verhaltensänderung zu erreichen.

Mit diesem Ansatz ist es möglich, die Denkweisen, Werte und Identitäten von Personen zu ändern und ihre Bereitschaft zu steigern, ihr Verhalten als Reaktion auf eine sich verändernde Umgebung zu überprüfen und anzupassen. Mitarbeiter können so beispielsweise leichter akzeptieren, dass ihre Arbeit mehr IT-Inhalte als zuvor umfasst und dass einzelne Mitglieder in Ökosystemen, die einem ständigen Wandel unterliegen, stärker voneinander abhängig sind. Sie werden leichter akzeptieren, dass sie sich nicht auf ihr traditionelles, auf Erfahrung beruhendes Spezialwissen verlassen können, sondern auf den digitalen Zwilling vertrauen und konsequenter basierend auf Fakten und Daten handeln müssen. Das Unternehmen muss ein höheres Vertrauensniveau entwickeln, das eine offene Kommunikation ermöglicht<sup>15</sup>, die für ein agiles Unternehmen in einem zunehmend

<sup>12</sup> Goleman, D. et al., „Primal Leadership“, HBR Press, Boston, 2004, K. 9.

<sup>13</sup> Boyatzis, R.E., „Coaching Teams For Sustained Desired Change“, In: De Vries, M.K und L. Guillen (Hrsg.), „Beyond Coaching; Creating Better Leaders, Teams, and Organizations“, S. 168-180, 2010.

<sup>14</sup> Boyatzis, R.E., „Competencies as a behavioral approach to emotional intelligence“, J. Management Development, 28 (9), S. 749-770, 2009.

<sup>15</sup> Druskat, V.U. und S.B. Wolff, „Building Emotional Intelligence of Groups“, HBR, Ausgabe vom März 2001.

transparenten Wertschöpfungsnetzwerk und Markt erforderlich ist. Daher muss sich die Qualität der Beziehungen zwischen Einzelpersonen, Teams, dem Unternehmen und externen Beteiligten verbessern. Erst dann können die Menschen eigenverantwortlicher handeln, mehr Entscheidungen lokal treffen, im Einklang mit den Einschränkungen, Regeln, der Ethik und den Entscheidungsgrenzen arbeiten, anstatt explizite Anweisungen zu befolgen, oder Probleme bei Bedarf eskalieren.

## Anwendungen und Vorteile

Die meisten Funktionen, die von der Umgebung und ihren Services bereitgestellt werden, können mit den Tools und der Infrastruktur von heute

### **Kompetenzen und Fähigkeiten zur Verwaltung und Bereitstellung digitaler Zwillinge**

*Mitarbeiter, die digitale Zwillinge erstellen und verwalten, benötigen technische Fachkenntnisse (Engineering, Wartung, Compliance, Finanzen usw.) sowie digitale und IT-Kenntnisse. Damit Teams erfolgreich zusammenarbeiten können, müssen sie gewisse Kompetenzen erlangen, wie z. B. effektive Kommunikation, Beziehungsmanagement und Konfliktlösung, und das eigene Verhalten sowie das Verhalten anderer und Gruppen bei der sozialen Interaktion verstehen.*

*Da Daten in einer kollaborativen Umgebung von vielen Beteiligten genutzt werden und sich auf ihre Ergebnisse auswirken, müssen Mitarbeiter, die diese Informationen verwalten, ein hohes Maß an Integrität und Verantwortung sowie ein Verständnis des Systemdenkens aufweisen<sup>16</sup>.*

umgesetzt werden. Der Durchbruch? Ein offenes CDE ermöglicht Effizienzsteigerungen beim Aufbau und bei der Pflege eines digitalen Zwillings mit einer Vielzahl von Parteien.

In der Phase *Planung und Konstruktion* können konzeptionelle und detaillierte Planungsentwürfe zwischen Ingenieurbüros und Anlagenbetreibern ausgetauscht und für technische Prüfungen genutzt werden. 3D-Modelle können in Teams mit mehreren Teilnehmern mühelos verglichen werden, wobei Punktwolken den Fortschritt des Konstruktionsvorgangs protokollieren. Die aktuellen und zugänglichen Informationen erleichtern die interdisziplinäre und systemübergreifende Zusammenarbeit und verringern den Zeitaufwand für die Fehlersuche sowie die Fehlerrate im Zusammenhang mit veralteten

Informationen erheblich. Projektbasierte digitale Zwillinge können zur Risikosenkung durch die Simulation von Logistik- und Konstruktionsvorgängen eingesetzt werden. Die Dauer bis zur Einsatzbereitschaft lässt sich durch umfassende Bedienschulungen vor der Inbetriebnahme verringern. Während

<sup>16</sup> Boyatzis, R.E., „Competencies as a behavioral approach to emotional intelligence“, J. Management Development, 28 (9), S. 749-770, 2009.

der Qualifizierung kann die Einhaltung behördlicher Auflagen effizienter gestaltet werden, indem Bestandsentwicklung und Fortschritt mit den Anforderungen verglichen werden. Abweichungen und Aufgaben können problemlos zwischen dem Anlagenbetreiber und der Regulierungsbehörde ausgetauscht werden. Bei der Inbetriebnahme wird auch der Vergleich zwischen der Konstruktion und der finalen Anlage erleichtert.

In der Phase *Betrieb und Wartung* unterstützen umfassende Bedienschulungen oder situationsbezogene 3D-Informationen das Wartungs- und Betriebspersonal, das einen Standort mittels technischer oder betrieblicher Informationen problemlos abgleichen kann. Wenn kontinuierliche Überwachungsinformationen zur Überprüfung der Anlagenintegrität als Realitätsraster angezeigt werden, sind die Folgen von Materialverschlechterungen oder Leckagen leichter zu erkennen und überwachen als mit herkömmlichen Methoden. Anlagenleistungsanalysen können schnell und bequem mit Konstruktionsdaten und situationsbezogenen Kontextinformationen verglichen werden. Dank der Vertrauenswürdigkeit der Informationen können Mitarbeiter Daten und faktenbasierte Entscheidungen treffen, anstatt Fakten erst überprüfen oder sich auf implizites Wissen verlassen zu müssen. Anwendungen für künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen, die bei einem digitalen Zwilling zum Einsatz kommen, optimieren den Betrieb und unterstützen das Personal dabei, Verhaltensweisen vorherzusehen und vorbeugende Maßnahmen zu ergreifen. Der leistungsstarke digitale Zwilling kann daher die Operational Excellence und Zuverlässigkeitsinitiativen unterstützen. Technische Studien und Projekte sowie erweiterte Prozesssteuerungsanwendungen werden schneller durchgeführt bzw. ausgeführt.

In der Phase *Dekonstruktion und Recycling* winken ähnliche Vorteile wie in der Phase *Planung und Konstruktion*. Darüber hinaus sind 4D-Dekonstruktionsstudien und Studien zu Umweltauswirkungen natürlich miteinander verknüpft, was eine kombinierte Optimierung ermöglicht.

Die Kombination von 1D, 2D und 3D in einer einzigen Umgebung liefert einen funktionalen Kontext für physische Darstellungen und umgekehrt. Je mehr „Dark Data“ sichtbar, gekennzeichnet, validiert und mit anderen verfügbaren Informationen verknüpft werden können, desto wertvoller und kontextbezogener die Daten. Der Zugriff auf Betriebs-, Geschäfts-, Projekt-, Portfolio- oder Produktdatenmanagement-Software bietet sogar noch mehr Kontext. Dieser Kontext ermöglicht gemeinsam mit vollständigeren und genaueren Informationen fundiertere Entscheidungen. Aus den oben

genannten Punkten ergeben sich nach Auffassung von ARC mindestens die folgenden finanziellen Vorteile:

- Verbesserte Betriebs- und Anlagenleistung
- Verbesserte Effizienz bei Konstruktion und Wartung
- Mehr Zeit für das Engineering dank eines geringeren Zeitaufwands für Daten- und IT-Aufgaben
- Weniger Ausfallzeiten, weniger Geräteschäden und höchstwahrscheinlich eine Reduzierung von informationsbezogenen Vor- und Unfällen
- Geringere Betriebs- und IT-Risiken

## Empfehlungen

---

Strategien zur digitalen Transformation müssen flexibel sein und regelmäßig aktualisiert werden. Sie müssen einen wichtigen Bestandteil der Gesamtstrategie des Unternehmens bilden. Technologien dienen als Unterstützung und die geschäftlichen Ziele müssen die digitale Transformation vorantreiben.

Um digitale Aktivitäten zu schaffen, die eine erfolgreiche digitale Transformation ermöglichen, ist eine digitale Grundlage erforderlich. Digital Readiness umfasst einen Mindestschwellenwert für den digitalen Reifegrad von Ressourcen, Systemen, Organisation und Kultur. Unternehmen sollten all diese Punkte in ihrer digitalen Strategie berücksichtigen. Der Erfolg der digitalen Transformation und der Wert des digitalen Zwillinges hängen von ihrem Reifegrad ab.

Digitale Zwillinge sind digitale Darstellungen physischer Anlagen. In ihrer grundlegenden Form bieten sie präzise, aktuelle und zugängliche Anlageninformationen. Unternehmen sollten überlegen, welche Informationen ihnen bereits vorliegen und welche Erträge sie aus der Investition in den digitalen Zwilling erwarten können. Diese sind wahrscheinlich erheblich.

Unternehmen sollten zudem untersuchen, welche verfügbaren Informationen als Grundlage für einen digitalen Zwilling verwendet und als „vertrauenswürdig“ eingestuft werden können, welche Informationen überprüft oder aktualisiert werden müssen und welche zusätzlichen Informationen benötigt werden. Effizienzsteigerungen im Zusammenhang mit der Verwendung vertrauenswürdiger Daten können die Validierung nicht vertrauenswürdiger Informationen und das Hinzufügen neuer Informationen finanziell rechtfertigen.

Komplexe Aspekte digitaler Zwillinge, wie Simulation oder 3D-Modellierung, sind eng miteinander verknüpft. Sie sollten mindestens mit dem grundlegenden digitalen Zwilling und untereinander konsistent sein.

Die Qualität des digitalen Zwillings steht in direktem Zusammenhang mit der Projekt-, Anlagen- und Betriebsleistung. ARC empfiehlt eine interne Data Governance, um den Wert des digitalen Zwillings zu schützen.

Cloudservicelösungen wie PlantSight™ bieten eine optimale IT-Architektur zur Unterstützung einer sicheren und effizienten Zusammenarbeit über Fachbereiche und Wertschöpfungsketten hinweg.

Denkweise und Kultur sind wesentliche Bestandteile der digitalen Transformation. Im gesamten Unternehmen sind bestimmte Führungsqualitäten erforderlich, um eine optimale Abstimmung zwischen den Eigenschaften von Einzelpersonen und Gruppen, den Arbeitsanforderungen und den Unternehmensumgebungen wiederherzustellen. Diese Abstimmung kann zur Prognose der Unternehmensleistung herangezogen werden.

## Anhang: Grundlegende Digital Readiness

Informationen	Systeme	Organisation und Prozesse	Menschen, Normen und Kultur
Mitarbeiter, Prozesse und Geräte liefern digitale Informationen in allen Unternehmensbereichen (F&E, Fertigung, Vertrieb, ...).	Systeme sind technisch (IT und Automatisierung), soziotechnisch (in Zusammenarbeit mit Menschen) oder managementorientiert (z. B. Governance, Anlagenverwaltung, Qualitätsmanagement).	Starre und hierarchische Systeme werden zugunsten von Ökosystemen und lokale Entscheidungsfindungsprozesse zugunsten von Flexibilität, Geschwindigkeit und Agilität abgelöst.	Die Vielfalt der Kompetenzen einer einzelnen Person nimmt zu und umfasst technische/fachliche Kompetenz, IT- und Automatisierungsfähigkeiten sowie zwischenmenschliche, organisatorische und kulturelle Kompetenzen.
Direkte Informationsquellen sind Sensoren, Instrumente, Handgeräte und Algorithmen (berechnete Daten).	Systeme sind horizontal und vertikal integriert.	Die Organisationsformen können traditionell hierarchisch sein und umfassen zunehmend flexible, interne oder unternehmensübergreifende Ökosysteme, die je nach Anforderungen angepasst werden.	Mitarbeiter verstehen, wie die Systeme, die sie verwenden, funktionieren, und tragen zu deren Verbesserung bei. Sie sind bereit, sich anleiten zu lassen, um faktenbasierte Entscheidungen zu treffen.
Indirekte Informationsquellen können aus gemeinsam genutzten Datenumgebungen abgerufen werden.	Die horizontale Integration erfolgt zwischen den Anlagen und den Mitgliedern des Wertschöpfungsnetzwerks.	Die Hierarchie tritt in den Hintergrund, während Prozesse, Leistungsmanagement und Entscheidungsfreiheit in den Vordergrund treten, damit verantwortungsbewusste Mitarbeiter Entscheidungen nach Möglichkeit eigenständig treffen können (in Ökosystemen am Rand).	Mitarbeiter werden über automatisierte Systeme, Fernunterstützung unter Einbeziehung von Mitarbeitern sowie persönliche Schulungen und Coaching je nach Art der Kompetenz und den individuellen Bedürfnissen geschult und unterstützt.
Daten stammen aus dem Unternehmen und aus dem Wertschöpfungsnetzwerk.	Die vertikale Integration verbindet den Netzwerkrand mit Unternehmenssystemen, in der Regel auf mehreren Ebenen, z. B. Produktionslinie, Anlage, Standort, Unternehmen, Wertschöpfungsnetzwerk.	Auf Erfahrung beruhendes Spezialwissen wird von Communitys of Practice diskutiert, bestätigt oder abgelehnt und je nach Entscheidung in Best Practices umgewandelt.	Offene Kommunikation und Zusammenarbeit werden durch die Entwicklung von Standards für Vertrauen, Gruppenidentität und Gruppeneffizienz gefördert.
Schwer zugängliche Informationen werden nach und nach überprüft und zugänglich gemacht.	Informationen werden so weit wie möglich lokal verarbeitet.		Mitarbeiter sind bereit, ihr Verhalten, ihre Fähigkeiten und ihre Kompetenzen zu überprüfen und entsprechend den Anforderungen des Unternehmens zu ändern bzw. anzupassen.

Daten sind vertrauenswürdig und aktuell und ihre Integrität ist Teil der Governance-Aufgaben.	Bei Bedarf erfolgen eine Optimierung und Entscheidungsfindung auf höherer Ebene, um einzelne Aspekte zu koordinieren Synergien zu schaffen.		Mitarbeiter verstehen und teilen die Vision und Ziele des Unternehmens.
			Die Bereitschaft zu Veränderung wird nicht auferlegt, sondern gefördert.
			Normen und Kultur werden zum Bewusstsein gebracht und durch Diskussionen und Coaching beeinflusst.

**Analyst:** Valentijn de Leeuw

**Redakteur:** Sharada Prahladrao

### Liste der Abkürzungen:

<b>ALM</b>	Anlagenlebenszyklus-Management	<b>ISO</b>	Internationale Organisation für Normung (International Standards Organization)
<b>APM</b>	Anlagenleistungs-Management	<b>IT</b>	Informationstechnologie
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning	<b>MES</b>	Fertigungsausführungssystem (Manufacturing Execution System)
<b>ET</b>	Engineering-Technologie	<b>OT</b>	Betriebstechnologie (Operational Technology)
<b>IIoT</b>	Industrielles Internet der Dinge (Industrial Internet of Things)	<b>PLM</b>	Produkt-Lebenszyklusmanagement
<b>IoT</b>	Internet der Dinge (Internet of Things)		

Die ARC Advisory Group wurde 1986 gegründet und ist das führende Technologieforschungs- und Beratungsunternehmen für Industrie, Infrastruktur und Städte. ARC zeichnet sich durch eine umfassende Abdeckung von Themen in den Bereichen Informationstechnologie (IT), Betriebstechnologie (OT), Engineering-Technologie (ET) sowie von zugehörigen Geschäftstrends aus. Unsere Analysten und Berater verfügen über umfassendes Branchenwissen und praktische Erfahrungen, um unseren Kunden dabei zu helfen, die besten Antworten auf die komplexen geschäftlichen Herausforderungen zu finden, denen Unternehmen heute gegenüberstehen. Wir stellen Technologieanbietern strategische Marktforschungsdaten bereit und helfen Endanwendern, geeignete Akzeptanzstrategien zu entwickeln sowie die besten Technologielösungen für ihre Anforderungen zu bewerten und auszuwählen.

Sämtliche Informationen in diesem Bericht sind Eigentum von ARC und urheberrechtlich geschützt. Kein Teil dieses Dokuments darf ohne vorherige Genehmigung von ARC reproduziert werden. Diese Studie wurde teilweise von Bentley Systems gesponsert. Die in diesem Artikel von ARC zum Ausdruck gebrachten Meinungen basieren jedoch auf einer unabhängigen Analyse durch ARC.

Nutzen Sie die umfangreichen Forschungsergebnisse von ARC sowie die Erfahrung unserer Mitarbeiter über unsere Advisory Services. Die Advisory Services von ARC wurden speziell für Führungskräfte entwickelt, die für die Entwicklung von Strategien und Richtungsvorgaben in ihren Unternehmen verantwortlich sind. Informationen zur Mitgliedschaft erhalten Sie telefonisch, per Post oder auf unserer Website:

ARC Advisory Group, Three Allied Drive, Dedham, MA 02026 USA • 781-471-1000 • [www.arcweb.com](http://www.arcweb.com)





3 ALLIED DRIVE DEDHAM, MA 02026 USA 781-471-1000

---

USA | DEUTSCHLAND | JAPAN | KOREA | CHINA | INDIEN | SINGAPUR | BAHRAIN UND VAE | BRASILIEN