



Einführung eines digitalen Zwillinges in die technische Produktentwicklung

Ein Leitfaden für die industrielle Praxis

Einführung eines digitalen Zwillings in die technische Produktentwicklung

Ein Leitfaden für die industrielle Praxis

Einführung eines digitalen Zwillings in die technische Produktentwicklung
Ein Leitfaden für die industrielle Praxis

© 2020 Schweigert-Recksiek / Trauer

Herausgeber

Prof. Dr. Markus Zimmermann, Dr.-Ing. Markus Mörtl

Redaktion

Sebastian Schweigert-Recksiek
Jakob Trauer

Autoren

Sebastian Schweigert-Recksiek, Jakob Trauer, Julian Wilberg, Bernd Stöhr,
Louis Mahlau, Murat Saygin, Dr.-Ing. Karsten Spreitzer, Carsten Engel

Umsetzung

Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau
Boltzmannstr. 15
D – 85748 Garching
www.mec.ed.tum.de/lpl/

3., überarbeitete Auflage

Bildnachweis Umschlag: Viessmann Werke Allendorf GmbH

Vorwort

Die sich schnell wandelnden Marktanforderungen an heutige technische Produkte resultieren aus internationalen und vernetzten Märkten und verlangen von Unternehmen, immer komplexere Produkte bei steigender Qualität zu entwickeln. Dies hat auch Auswirkungen auf die Berechnungs- und Simulationsmodelle, die im Laufe des Lebenszyklus eines Produkts erzeugt werden. Werden diese mit der wachsenden Menge an Entwicklungs-, Produktions- und insbesondere Nutzungsdaten verknüpft, bietet der so entstandene digitale Zwilling einerseits große Potentiale. Andererseits sind eine Konzeption und anschließende Implementierung aber auch eine Herausforderung für die Unternehmen.

Mit dem vorliegenden Leitfaden wollen die Autoren Unternehmen dazu befähigen, die daten- und simulationsgestützte Entwicklung ihrer Produkte effektiver und effizienter zu gestalten. Das entwickelte Vorgehensmodell zur Konzeptionierung und Einführung eines digitalen Zwillings für die technische Produktentwicklung stellt dabei in jedem Schritt die passenden Methoden und Templates zur Verfügung. Dabei liegt der Fokus auf der Weiterentwicklung der Produktentwicklungsprozesse, um zu hochwertigeren Produkten zu gelangen.

Der vorliegende Leitfaden ist aus einem Forschungsprojekt der Viessmann Werke Allendorf GmbH und des Lehrstuhls für Produktentwicklung und Leichtbau entstanden und bietet eine Anleitung zur praktischen Umsetzung in Unternehmen. Er dient daher nicht nur zur einmaligen Lektüre, sondern ist ein bedarfsbezogenes Nachschlagewerk während der kontinuierlichen Anwendung. Dafür sind neben einem übersichtlichen Anleitungsteil auch die wissenschaftlichen Grundlagen und Details zu den Methoden Bestandteil des Leitfadens.

Die Autoren wünschen Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre und viel Erfolg bei der individuellen Umsetzung.

Garching, im März 2020

A handwritten signature in black ink that reads "Markus Zimmermann". The script is cursive and fluid, with the first letters of the first and last names being capitalized and prominent.

Prof. Dr. Markus Zimmermann

Danksagung

Die Autoren danken Viessmann Werke Allendorf GmbH für die erfolgreiche Forschungskoooperation, in deren Rahmen dieser Leitfaden entstanden ist.



Inhaltsverzeichnis

Executive Summary.....	1
1 Einleitung	3
1.1 Ziele des Leitfadens	3
1.2 Nutzung des Leitfadens	3
1.3 Begriffe und Abgrenzung.....	4
2 Das Framework: Vorgehensmodelle zur Konzeption und Einführung eines digitalen Zwillings.....	5
2.1 Schritt 1: Projektinitiierung und Zieldefinition	7
2.2 Schritt 2: Situationsanalyse	8
2.3 Schritt 3: Soll-Konzeption	11
2.4 Schritt 4: Anbieteranalyse	13
2.5 Schritt 5: Implementierung	16
3 Template Use Cases	17
Literatur	24

Executive Summary

Durch die zunehmende Digitalisierung heutiger Produkte existieren neben dem physischen Produkt auch immer virtuelle Modelle verschiedenster Ausprägung, deren immer größere Datenmengen zudem oft eine hohe Vernetzung aufweisen und wiederum Vernetzungen mit anderen Produkten bzw. deren Modellen erzeugen. In allen Phasen des Produktlebenszyklus von Entwicklung über Produktion, Nutzung und Entsorgung entstehen dabei zunehmend Daten, die das **virtuelle Abbild** eines Produkts anreichern.

Um diesen „Datenschatz“ effektiv und effizient zu nutzen, bedarf es eines Abgleiches zwischen den real existierenden, physischen Produkten und den jeweiligen virtuellen Abbildern, eines sogenannten **digitalen Zwillinges**.

Für diesen Leitfaden wurde dabei die folgende Definition für einen *digitalen Zwilling* erarbeitet:

Bei einem digitalen Zwilling handelt es sich um ein virtuelles dynamisches Abbild eines physischen Systems, welches mit diesem über den gesamten Lebenszyklus zum bidirektionalen Datenaustausch verbunden ist.

Der vorliegende Leitfaden schlägt ein **Vorgehensmodell** vor, das ermöglicht, Schritt für Schritt einen solchen digitalen Zwilling aufzubauen und für die Produktentwicklung nutzbar zu machen. Der Fokus der Betrachtung dieses Leitfadens liegt deshalb hierbei auf der technischen Produktentwicklung, in der ein sogenannter *Engineering Twin* entsteht und Anwendung findet. Aspekte der Produktion (*Production Twin*) sowie die Einbindung von Nutzungsdaten aus Kundenanlagen (*Operation Twin*) werden nur angeschnitten.

Zentraler Bestandteil sind dabei Use Cases, die konsequent verschiedene Stakeholder einbinden und durch den Prozess leiten.

Das Vorgehensmodell gliedert sich dabei in fünf Schritte:

1. Projektinitiierung und Zieldefinition
2. Situationsanalyse
3. Soll-Konzeption
4. Anbieteranalyse
5. Implementierung

Diese werden per se sequentiell durchlaufen, es sind allerdings auch immer wieder Iterationen und Rücksprünge möglich. So wird beispielsweise durch die Konkretisierung der Erwartung an einen digitalen Zwilling in den Schritten zwei und drei auch die Zieldefinition aus Schritt eins an der ein oder anderen Stelle nachgeschärft werden.

Besonderes Augenmerk wird auf Schritt drei (Soll-Konzeption) gelegt. Er bildet das Herzstück des Vorgehensmodells, da hier ausgehend von der Analyse der aktuellen Ist-Prozesse im Unternehmen das gewünschte Zielbild des digitalen Zwillings erarbeitet wird. Es muss beispielsweise entschieden werden, welche der Tätigkeiten der Use Cases weiterhin von Menschen durchgeführt oder zumindest kontrolliert werden und an welchen Stellen Analysen und ggf. auch Interpretationen durch Computersysteme erfolgen. Dies birgt Risiken in Bezug auf Qualität und Marktzulassung der Produkte, eröffnet aber auch die Möglichkeit, neue Technologien wie Machine Learning und künstliche Intelligenz anzuwenden. Um dies zu ermöglichen, ist bereits im dritten Schritt eine Einbindung möglicher Implementierungspartner unerlässlich.

Die erläuterte Definition eines digitalen Zwillings, das vorgestellte Vorgehen sowie die entwickelten Vorlagen zur Aufnahme von Use Cases wurden auch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen verarbeitet.

Die Definition finden Sie in

Trauer, J., Schweigert-Recksiek, S., Engel, C., Spreitzer, K., Zimmermann, M. (2020). What is a Digital Twin? – Definitions and Insights from an Industrial Case Study in Technical Product Development. DESIGN 2020, 17th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia. ISSN: 2633-7762 (online zugänglich ab Mai 2020)

Die Case Study, aus der dieser Leitfaden hervorgegangen ist, wird beschrieben in

Schweigert-Recksiek, S., Trauer, J., Engel, C., Spreitzer, K. and Zimmermann, M. (2020), Conception of a Digital Twin in Mechanical Engineering – A Case Study in Technical Product Development. DESIGN 2020 17th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia. ISSN: 2633-7762 (online zugänglich ab Mai 2020)

1 Einleitung

Der vorliegende Leitfaden besteht aus einem fünfstufigen Vorgehensmodell, welches die strukturierte Einführung eines digitalen Zwillings für die Produktentwicklung unterstützt. Dabei werden verschiedene Methoden und Werkzeuge vorgeschlagen und Vorlagen bereitgestellt, die den gesamten Prozess von Projektinitiierung bis zur Vorbereitung der Implementierung ermöglichen.

1.1 Ziele des Leitfadens

Dieser Leitfaden richtet sich in erster Linie an produzierende Unternehmen, die komplexe und vernetzte Produkte anbieten und deren Umfeld einem ständigen Wandel, insbesondere durch Aspekte der Digitalisierung unterliegt. Von der Implementierung eines digitalen Zwillings ihrer physischen Produkte versprechen sich viele Unternehmen Vorteile sowohl intern durch effektivere Entscheidungen und effizientere Abläufe als auch extern bei der Neu- und Weiterentwicklung ihrer Produkte und im direkten Kontakt mit Kundinnen und Kunden. Häufig liegen bereits umfassende Datenmengen und zahlreiche unterschiedliche Produktmodelle (von Anforderungslisten über CAD- und FEM-Modelle bis hin zu Nutzungsdaten) vor, eine effiziente Vernetzung, die die Voraussetzung für die Nutzung dieser Daten wäre, fehlt jedoch.

1.2 Nutzung des Leitfadens

Dieser Leitfaden gibt einen Überblick über notwendige Schritte, Werkzeuge und Templates, die zur Konzeptionierung und erfolgreichen Implementierung eines digitalen Zwillings benötigt werden und liefert ein prototypisches Vorgehen. Er beinhaltet eine Sammlung an Tools und Templates, die das Vorgehen bei der Konzeptionierung eines digitalen Zwillings unterstützen.

In Kapitel 2 werden notwendige Schritte im Detail vorgestellt. Kapitel 3 präsentiert die entwickelten Use Case Templates. Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Zuge mehrerer Masterarbeiten bei Viessmann entwickelt. Da es sich um ein generisches Framework handelt, werden Abweichungen und Anpassungen stets nötig sein.

1.3 Begriffe und Abgrenzung

Der Begriff „Digital Twin“ (zu Deutsch digitaler Zwilling) erschien erstmals in einer Präsentation der Universität Michigan im Jahr 2002 (Grieves & Vickers, 2017, p. 93). Auf der „Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap“ der NASA im Jahre 2010 wurde der Begriff genauer definiert (Negri, Fumagalli, & Macchi, 2017, p. 941). In der Zwischenzeit wurden teils sehr unterschiedliche Definitionen vorgestellt. Diese wurden systematisch miteinander verglichen und zu einer gemeinsamen Definition zusammengefasst: *Bei einem digitalen Zwilling handelt es sich um ein virtuelles dynamisches Abbild eines physischen Systems, welches mit diesem über den gesamten Lebenszyklus zum bidirektionalen Datenaustausch verbunden ist.*

Es wurden bereits viele Anwendungsfälle und Potenziale digitaler Zwillinge in zahlreichen Veröffentlichungen dokumentiert. Die häufigsten sind in Abbildung 1-1 dargestellt. Hierbei ließen sich drei wesentliche Anwendungsfelder erkennen – Entwicklung, Produktion und Nutzung. Basierend auf dieser Erkenntnis wurde der Begriff des digitalen Zwillinges dementsprechend in die Begriffe „Engineering Twin“, „Production Twin“ und „Operation Twin“ unterteilt. Auch diese Zwillinge werden unter der oben genannten Definition zusammengefasst und unterscheiden sich durch deren Anwendungsgebiete, wie in Abbildung 1-1 dargestellt.

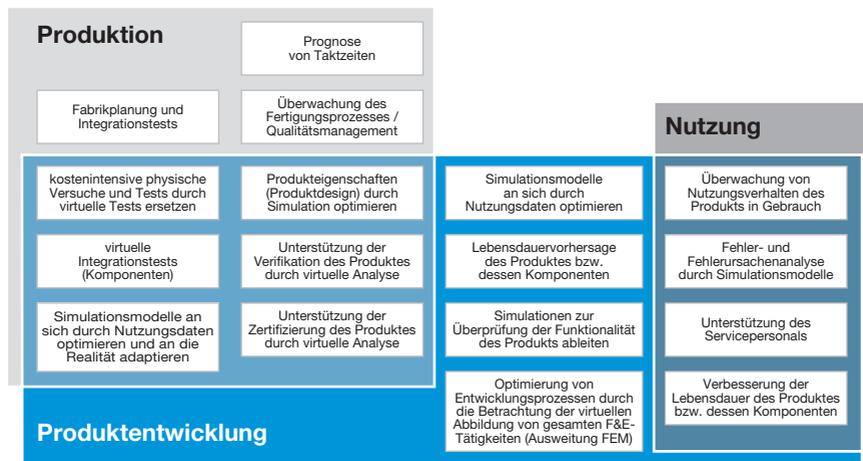
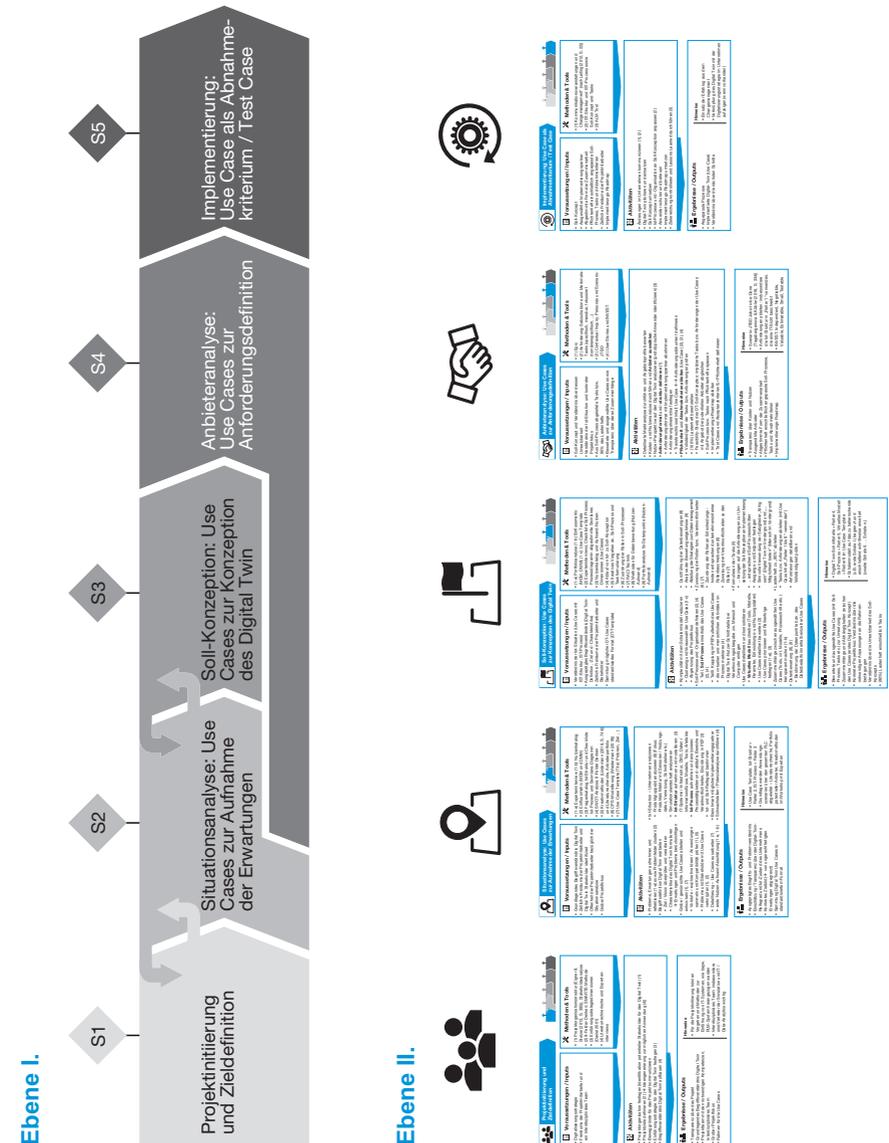


Abbildung 1-1: Sammlung typischer Anwendungsfälle digitaler Zwillinge in den Bereichen Entwicklung, Produktion und Nutzung (nach Trauer et al. 2020)

2 Das Framework: Vorgehensmodelle zur Konzeption und Einführung eines digitalen Zwillinges



In Kapitel 2 wird das generelle Vorgehensmodell zur Konzeption und Einführung eines digitalen Zwillings in fünf Schritten vorgestellt:

Schritt 1 – Projektinitiierung und Zieldefinition. Im ersten Schritt des Vorgehensmodells wird ein interdisziplinäres Team aufgestellt und es werden organisatorische Freiräume für die Mitglieder geschaffen. Unter den Mitgliedern wird ein grundlegendes Begriffsverständnis im Kontext digitaler Zwilling aufgebaut sowie Projektumfang und -ziel werden festgelegt.

Schritt 2 – Situationsanalyse. Basierend auf den soeben definierten Grundlagen wird mittels Use Cases zur Aufnahme der Erwartungen eine Situationsanalyse durchgeführt. Hierfür werden Probleme und Erwartungen identifiziert und reflektiert. Es werden sodann Use Cases für einen digitalen Zwilling in standardisiertem Format gesammelt und mit den Problemen und Erwägungen verknüpft. Es folgt eine erste Aufwand-Nutzen Abschätzung der Use Cases. Dabei wird parallel gezielt die Ist-Situation im Unternehmen weiter analysiert indem Ist-Prozesse und Ist-Strukturen, wie IT- und Simulationslandschaft aufgenommen werden. Ebenso wird mit der Anbieteranalyse begonnen und bereits ein Benchmark möglicher Implementierungspartner durchgeführt.

Schritt 3 – Soll-Konzeption. Hier werden auf Grundlage der identifizierten Ausgangslage und der damit einhergehenden Chancen und Risiken die Use Cases weiter konsolidiert und detailliert. Der Nutzen der jeweiligen Use Cases wird systematisch bewertet und ein Verständnis für die mit der Umsetzung verbundenen Aufwände geschaffen werden. Hierbei wird auch definiert welche Tätigkeiten zukünftig teilweise oder vollständig vom Computersystem übernommen werden sollen.

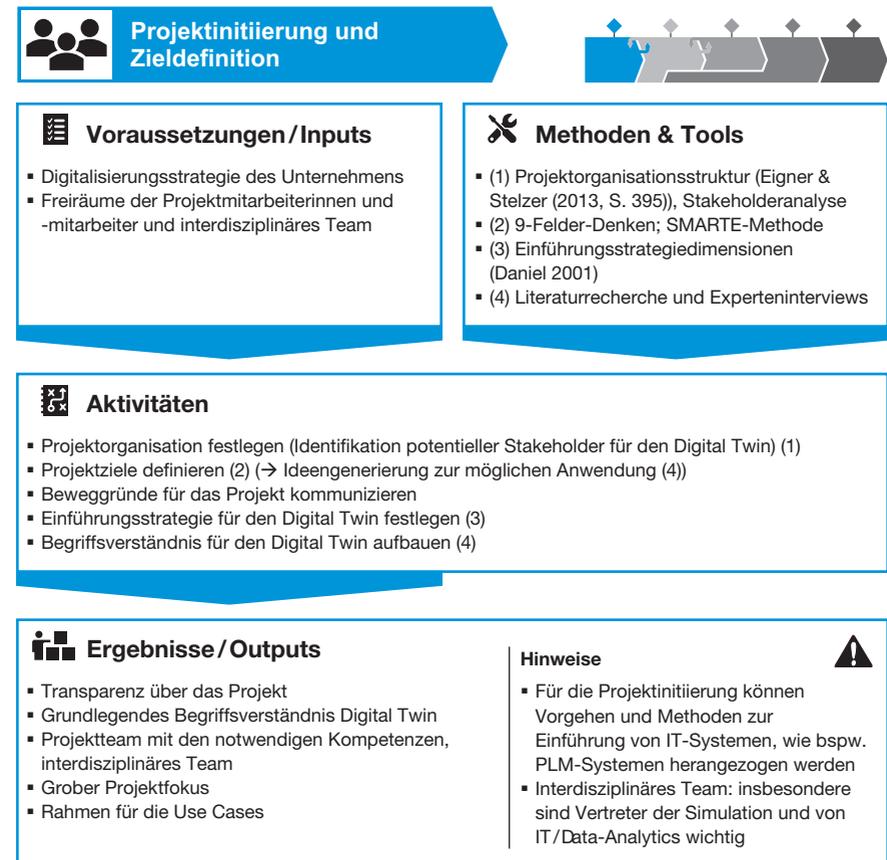
Schritt 4 – Anbieteranalyse. Mit dem Verständnis über die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den Use Cases, einem konkreten Projektfokus, und den Erkenntnissen über die notwendigen Anpassungen an die Rahmenbedingungen des Unternehmens wird die Anbieteranalyse durchgeführt. Die entwickelten Use Cases werden zur Anforderungsdefinition herangezogen.

Schritt 5 – Implementierung. Der letzte Schritt des Vorgehensmodells ist die Implementierung. Mit den Use Cases als Abnahmekriterium und Test Cases wird sukzessiv die Implementierungs-Roadmap in Schritt 5 umgesetzt. Dabei sollte die Zielerreichung stets kontrolliert werden. Durch wiederholte Lessons Learned wird das Verständnis für die nächsten Schritte aufgebaut und unter Umständen das Soll-Konzept ergänzt.

2.1 Schritt 1: Projektinitiierung und Zieldefinition

Der erste Schritt im Vorgehensmodell zur Einführung und Konzeption eines digitalen Zwillings beinhaltet die Initiierung eines Projekts und die Festlegung der Ziele. Dieser Schritt legt die notwendigen Grundlagen für die weiteren Schritte des Vorgehens und für den Erfolg der Einführung und Konzeption eines digitalen Zwillings. Der Umfang des Projektes, die notwendigen Kompetenzen und das Team, sowie die zu erreichenden Ziele werden definiert.

Insbesondere das Begriffsverständnis aller Stakeholder muss hier vereinheitlicht werden, wobei die eingangs eingeführte Definition helfen kann.



2.2 Schritt 2: Situationsanalyse Use Cases zur Aufnahme der Erwartungen

Der zweite Schritt des Vorgehensmodells ist die **Situationsanalyse**, in dem die aktuelle Lage des Unternehmens im Hinblick auf einen digitalen Zwilling im Fokus steht.

Ziele sind ein ausgeprägtes Begriffs- und Problemverständnis, eine Einschätzung über den Digital-Twin-Reifegrad im Unternehmen und eine Konkretisierung des Zielbilds des Gesamtprojekts. Mit einer Sammlung aus standardisierten Use Cases digitaler Zwillinge wird der folgende Schritt drei des Vorgehensmodells (Soll-Konzeption) vorbereitet. Der zweite Schritt bildet zusammen mit dem dritten Schritt den umfangreichsten Teil der Konzeption hin zu einem digitalen Zwilling.

Zunächst wird eine umfangreiche Sammlung durchgeführt, die die gewonnenen Ideen und Anwendungsszenarien der Literaturrecherche, die Erkenntnisse aus Workshops des ersten Schritts zu möglichen Einsatzzwecken eines digitalen Zwillinges im Unternehmen, sowie die vorangegangene Aufnahme von Problemen und Erwartungen nutzt. Dabei werden aktuelle Problemfelder, die davon betroffenen Stakeholder und mögliche Use Cases zur Adressierung des Problems verknüpft (Abbildung 2-1).

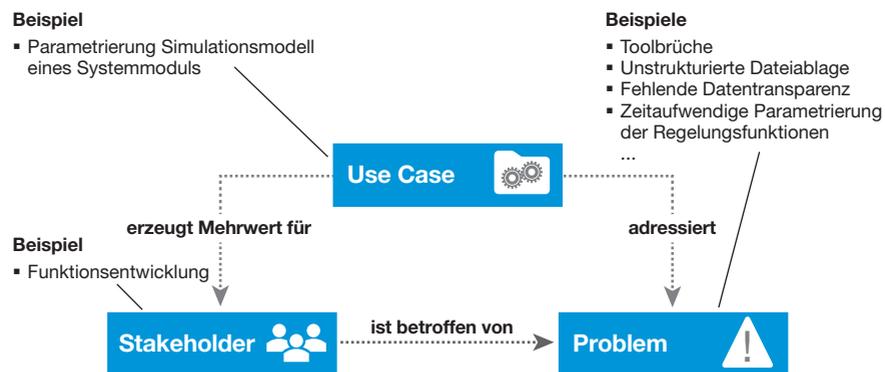


Abbildung 2-1: Verknüpfung von Problem, Stakeholder und Use Case

In Abschnitt 3 dieses Leitfadens befindet sich ein umfangreiches Template zur Dokumentation der Use Cases mit den Bereichen *Übersicht*, *Ist-Struktur*, *Ist-Prozess*, *Digital-Twin-Schnittstelle*, *Soll-Prozess* (Inhalt von Schritt 3) und *Hinweise*. Jeder Reiter des Use-Case-Templates ist dabei mit einer Frage überschrieben, die dabei unterstützt, welche Informationen auf dem jeweiligen Vorlagenblatt einzufügen sind.

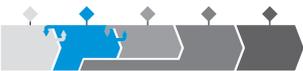
Insbesondere die Aufnahme der Ist-Prozesse ist dabei – je nach Vorbereitungsgrad des Unternehmens – mit großem zeitlichen Aufwand verbunden. In mehreren Runden von Experteninterviews müssen die Abläufe aufgenommen und der Abstrahierungsgrad immer justiert und zwischen den Use Cases vereinheitlicht werden. Dabei ist auch darauf zu achten, dass einheitliche Begriffe und vor allem dieselben Swimlanes bzw. Disziplinbezeichnungen verwendet werden, um Missverständnisse und unnötige Iteration in der Use-Case-Dokumentation zu vermeiden.

Ergänzt wird diese Aufnahme der Prozesse durch die Aufnahme der Ist-Struktur, die die aktuell verwendeten Tools, eingesetzten IT-Systeme, deren Verknüpfungen und die daraus resultierenden Daten- und Informationsflüsse abbildet. Des Weiteren werden die notwendigen Artefakte der Stakeholder der Use Cases aufgenommen.

In diesem Schritt erfolgt außerdem eine erste Aufwand-Nutzen-Abschätzung der erarbeiteten Use Cases. Zur Bewertung des Aufwands werden die drei Dimensionen Nutzungsdaten (z.B. Existiert der Datenpunkt bereits?), Vernetzung (z.B. Sind die notwendigen Daten- und Informationsmanagement-Systeme bereits miteinander verbunden?) und Simulation (z.B. Sind die entsprechenden Simulationsmodelle bereits vorhanden?) verwendet. Der Nutzen wird in den üblichen Dimensionen Qualität, Zeit, Kosten durch Experteninterviews abgeschätzt. Da der erwartete Nutzen bei der Einführung von neuen Technologien oder Werkzeugen in der Produktentwicklung schwierig zu quantifizieren ist, wird ein Nutzenkatalog angeboten, der dabei unterstützt, strukturiert den potentiellen Nutzen der Use Cases abzuschätzen.

Parallel zu den Aktivitäten der Situationsanalyse sollten auch schon erste Aktivitäten der Anbieteranalyse (Schritt 4) wie beispielsweise Vorbereitungen für eine Marktanalyse erfolgen, da sich daraus Vorgaben an die Form der Dokumentation ergeben können. Auch kann der Austausch mit möglichen Implementierungspartnern beispielsweise durch Einblicke in deren Referenzen eine Inspirationsquelle für weitere Use Cases sein.

Situationsanalyse: Use Cases zur Aufnahme der Erwartungen



- ### Voraussetzungen/Inputs
- Grundlegendes Begriffsverständnis Digital Twin
 - Zeitliche Freiräume der Projektmitarbeiter und Digital Twin Stakeholder identifiziert
 - Offenheit der Projektmitarbeiter bezüglich der Situationsanalyse
 - Grober Projektfokus

- ### Methoden & Tools
- (1-a) Experteninterview (1-b): Nutzenkatalog
 - (2) Einflussmatrix (MDM und DMM)
 - (3) Fragenkatalog Ist-Struktur und Checkliste Ist-Prozess und Swimlane-Diagramm
 - (4) SWOT-Analyse; 9-Felder Denken
 - (5) Kreativmethoden (Lindemann (2016, S. 744)) und Literaturrecherche, Anbieterportfolio
 - (6) CPS-Modellierung (Westermann (2018))
 - (7) Use Case Template (Titel, Problem, Ziel ...)

- ### Aktivitäten
- Probleme, Erwartungen aufnehmen und reflektieren (1-a) sowie Problemfelder clustern (2)
 - Begriffsdefinition Digital Twin erarbeiten
 - Ziel/Vision überprüfen und verarbeiten
 - Charakteristika des Digital Twin formulieren → Erwartungen und Probleme berücksichtigen
 - Grobe/gewünschte Use Cases ableiten und entwickeln (1), (7)
 - Vorstufe – explorative Ideen/Anwendungen sammeln und Kompatibilität prüfen (1), (5)
 - Probleme und Stakeholder mit Use Cases verknüpfen (1), (2)
 - Detaillierung – Use Cases ausarbeiten (7)
 - erste Nutzen-Aufwand-Abschätzung (1-a, 1-b)
 - Ist-Situation – Unternehmen analysieren
 - Produktgruppe(n) analysieren (6) (Fokus: Produktarchitektur mit Sensoren/Nutzungsdaten, Vernetzung, Schnittstellen etc.)
 - Simulationslandschaft analysieren
 - **Ist-Struktur** aufnehmen und modellieren: (3) IT-Systeme/-Infrastruktur, DMS, Daten-/Informationsflüsse, Modelle, Tools, Artefakte
 - **Ist-Prozess** aufnehmen und analysieren: Prozesstätigkeiten und -abläufe, Bereiche und Verantwortlichkeiten, Einordnung in PEP (3)
 - Ist- und Soll-Reifegrad bestimmen
 - Benchmark möglicher Implementierungspartner
 - Schwachstellen-/Potenzialanalyse durchführen (4)

- ### Ergebnisse/Outputs
- Ausgeprägtes Begriffs- und Problemverständnis
 - Einschätzung/Transparenz über den Digital-Twin-Reifegrad und Ist-Zustand des Unternehmens
 - Konkretes Zielbild (→ von ungerechtfertigten Erwartungen abgegrenzt)
 - Sammlung Digital Twin Use Cases in standardisiertem Format
- #### Hinweise

 - Use Case Template:
Ist-Struktur = Reiter 2
Ist-Prozess = Reiter 3

2.3 Schritt 3: Soll-Konzeption

In diesem Schritt des Vorgehensmodells wird die **Soll-Konzeption** mit Hilfe von **Use Cases** durchgeführt. Basierend auf der Use-Case-Sammlung und dem Ist-Zustand soll nun der Soll-Zustand des digitalen Zwillings abgeleitet werden. Die Eingangsgrößen hierfür sind das klare Verständnis der Ist-Situation im Unternehmen, das erarbeitete konkrete Begriffsverständnis des digitalen Zwillings, zeitliche Freiräume der Stakeholder bzw. des Teams und insbesondere die Sammlung der Use Cases in strukturierter Form.

Die Soll-Konzeption des digitalen Zwillings beginnt dabei zunächst mit der weiteren Eingrenzung des Projektfokus. Hierfür wurde die Strategie des Schalenmodells entwickelt und verfolgt (Abbildung 2-2). Ziel ist die Komplexitätsreduktion mit dem Schalenmodell zur effizienteren Implementierung des digitalen Zwillings. Daraufhin kann ein Soll-Prozess definiert werden. Abschließend werden die Use Cases detailliert und konsolidiert.

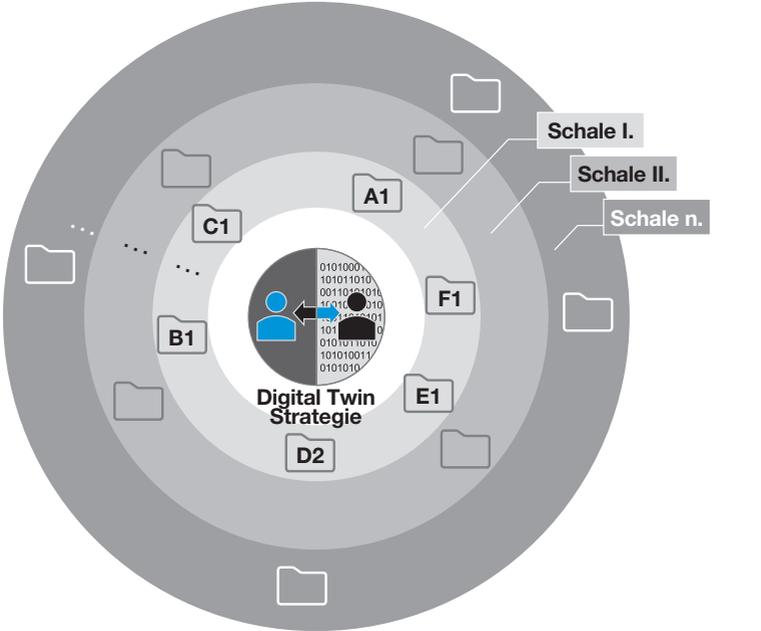
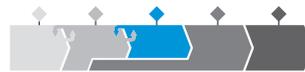


Abbildung 2-2: Schematische Darstellung des Schalenmodells (nach Trauer et al. 2020)



Soll-Konzeption: Use Cases zur Konzeption des Digital Twin



Voraussetzungen/Inputs

- Verständnis der Ist-Situation (Use Cases mit IST-Struktur, IST-Prozess)
- Ausgeprägtes Begriffsverständnis (Definition, Ziel und Charakteristika eines digitalen Zwillings)
- Zeitliche Freiräume der Projektmitarbeiter
- Sammlung möglicher Use Cases des digitalen Zwillings in standardisiertem Format (Use Case Template)

Methoden & Tools

- (1-a) Portfolioanalyse (1-b) Einflussmatrix (MDM, DMM); (1-c) Use Case Template
- (2) Experteninterviews; Checkliste Soll-Prozess; Prozessdiagramm mit abgestimmten Swimlanes
- (3) Nutzenkatalog und Aufwand-Nutzen-Dimensionen (Use Cases)
- (4) Ablauf von Ist- zu Soll-Konzeption
- (5) Iteratives Vorgehen zwischen Soll-Prozess und Taskformulierung
- (6) Zuordnung der Rollen in Soll-Prozessen
- (7) RACI-Methode
- (8) Methoden für Datenbewertung (Aufwand-Nutzen)
- (9) Portfolioanalyse für Datenpunkte (Aufwand-Nutzen)

Aktivitäten

- Komplexität mit dem Schalenmodell reduzieren
 - Clustering und Vorauswahl der Use Cases (1-c)
 - Abgrenzung des Projektfokus
- Soll-Prozesse und -Organisation definieren (2), (4)
 - Teil I. **Soll-Prozess** innerhalb des Use Cases (2), (4)
 - Teil II. Kopplung im PEP außerhalb des Use Cases
 - die virtuellen und menschlichen Aktivitäten im Prozess markieren (4)
 - Nutzer-Schnittstelle zum digitalen Zwilling sinnvoll bei Verantwortungsübergabe zwischen Mensch und Computer verwenden
- Use Cases detaillieren und konsolidieren
 - **Virtuelles Modell** beschreiben (Tools, Modelle, Parameter, Entwicklungs- und Nutzungsdaten)
 - Use Cases detailliert bewerten (3)
 - Use Cases priorisieren und Reihenfolge festlegen (1-a), (3)
- Zusammenhänge zwischen ausgewählten Use Cases (Tools, virtuelle Modelle, Prozessschritte etc.) transparent machen (1-b)
- Datenbewertung (8), (9)
 - Bestimmung der Datenpunkte bzw. des Datenbedarfs innerhalb einzelner Use Cases
- Durchführung der Datenbewertungen (8)
- Analyse der Bewertungsergebnisse (9)
- Ableitung von Strategien zum Datenmanagement
- Zuweisung der Rollen bzw. Verantwortlichkeiten für Soll-Zustand (6), (7)
 - Zuordnung der Rollen an Entscheidungsknoten entsprechend unternehmensinterner Rollenbeschreibungen (6)
 - Zuweisung der Verantwortlichkeiten zu den zugeordneten Rollen (7)
- Formulieren der Tasks (5)
 - ... bezogen auf die Anforderungen zur Umsetzung der Soll-Konzeption an Implementierung
 - ... entsprechend Soll-Prozessschritten
 - Ausgangs- und Endpunkt festlegen
 - Sinnvolle Verwendung der Satzglieder „fähig sein“ (digitaler Zwilling im Vordergrund) und „... Möglichkeit bieten“ (Mensch im Vordergrund)
- Lastenheft zu „90%“ ableiten
 - Tasks bzw. Anforderungen ableiten (mit Use Case Inhalt „Reiter 1 bis 6“ verwenden)
 - Anforderungen detaillieren und Vollständigkeit prüfen

Ergebnisse/Outputs

- Bewertete und ausgewählte Use Cases (mit Soll-Prozess, Tasks etc.) zur Umsetzung
- Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den Use Cases (erstes Konzept eines digitalen Zwillings)
- Konkreter Projektfokus: Verständnis über die notwendigen Anpassungen an die Rahmenbedingungen
- Verständnis über die Umsetzbarkeit des Soll-Konzepts
- (90%) Lastenheft einschließlich Tasks

Hinweise



- Digitaler Zwilling-Schnittstelle = Reiter 4, Soll-Prozess = Reiter 5, Virtuelles Modell = Reiter 6 im Use Case Template
- Schalenmodell auf den beherrschbaren Umfang (z.B. erste Schale I.) begrenzen und anschließend schrittweise erweitern (zweite Schale II. ... Schale-n.)

2.4 Schritt 4: Anbieteranalyse

Der vierte Schritt des Vorgehensmodells hat zum Ziel, einen geeigneten Anbieter auszuwählen und die Implementierung des digitalen Zwillings vorzubereiten. Hierfür sollten zunächst in einer ausführlichen Marktanalyse mögliche Anbieter akquiriert und verglichen werden. Nach einer Kosten-/ Nutzen-Analyse kann schließlich ein geeigneter Partner ausgewählt werden.

Als nächstes muss das Anforderungsformat mit dem Implementierungspartner abgestimmt werden. Die Anforderungshierarchie sollte eindeutig festgelegt werden und damit verknüpft sollte der „Transferschlüssel“ des Inhaltes der Use Cases erarbeitet werden. Letzteres ist die Vorbereitung der eigentlichen Ableitung der Anforderungen, welche in einem Lastenheft resultieren. Die wichtigen Informationen in den Use Case Templates werden mit den vorangegangenen Schritten der Situationsanalyse und der Soll-Konzeption des Vorgehensmodells gesammelt. Um das entwickelte Soll-Konzept zielgerichtet und effizient umzusetzen, ergeben sich hieraus spezifische Anforderungen an die Übergabe des Lastenheftes der Soll-Konzeption. Es muss sich auf ein bestimmtes Format und eine bestimmte Struktur verständigt werden. Zusätzlich ist das „Managen“ der Umsetzung und die Prüfung der einzelnen Anforderungen zu berücksichtigen. Zur Formulierung der Anforderungen können Satzschablonen nach Pohl & Rupp (2015) verwendet werden, wie in Abbildung 2-3 dargestellt.

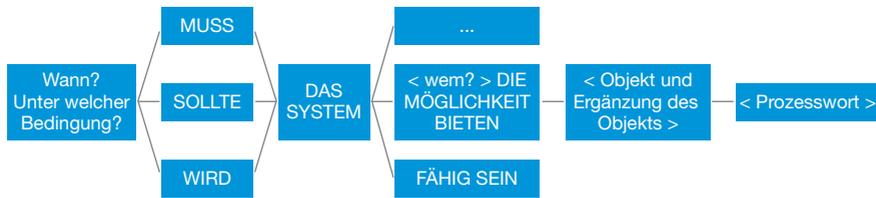


Abbildung 2-3: Beispiel einer Satzschablone (Pohl & Rupp, 2015)

Schließlich werden basierend auf dem Lastenheft zusammen mit dem Implementierungspartner ein Pflichtenheft und Abnahmekriterien ausgearbeitet. Zur Dokumentation können *Epics*, *User Stories* und *Tasks* verwendet werden. In der Anforderungshierarchie werden die User Stories aus den einzelnen Use Cases des betrachteten Custers zusammengeführt, und dem Epic untergeordnet. Für die Erhebung der einzelnen Tasks wird insbesondere die Ist-Struktur herangezogen. Die Ist-Struktur repräsentiert die IT-Sicht auf den Use Case mit der Tool- und Systemlandschaft. Dies ist der wesentliche, notwendige Input für den Implementierungspartner, dessen Hauptaufgabe die Verknüpfung dieser Tool- und Systemlandschaft darstellt. Die Umkehrung der Tasks ergibt die Akzeptanzkriterien, die dazu dienen die anschließende Implementierung zu überprüfen (Abbildung 2-4).

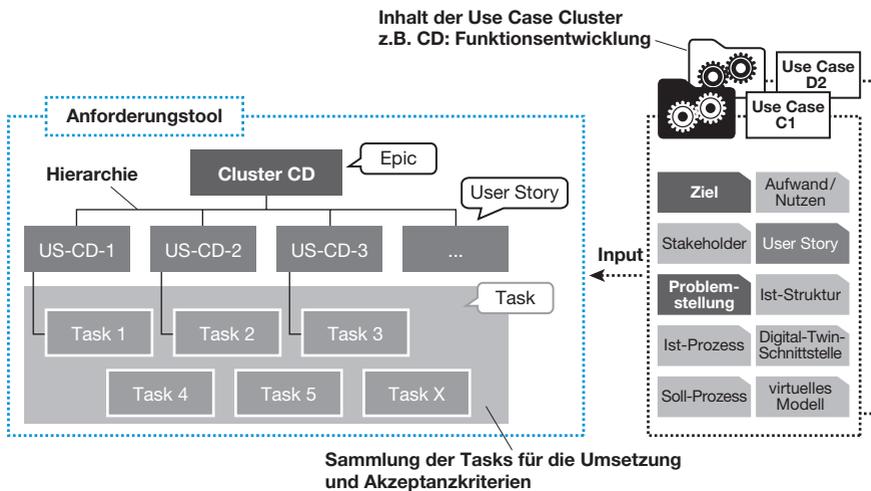


Abbildung 2-4: Hierarchie und Sammlung der Tasks für die Umsetzung der Use Cases

Anbieteranalyse: Use Cases zur Anforderungsdefinition

Voraussetzungen/Inputs

- Soll-Konzept und Verständnis über dessen Umsetzbarkeit
- Verständnis der Ist-Situation und konkreter Projektfokus
- Aus Soll-Prozess abgeleitete Tasks bzw. 90% Lastenheft
- Bewertete und ausgewählte Use Cases sowie Transparenz über deren Zusammenhänge

Methoden & Tools

- (1) Epic
- (2) Anforderung-Satzschablone
- (3) Contextual Inquiry, Personas und Szenario-JTBD
- (4) User Stories und INVEST

Aktivitäten

- Detaillierte Marktanalyse durchführen und Angebotsprofile bewerten
- Kosten- und Nutzenanalyse durchführen und **Anbieter auswählen**
- Nutzer-Perspektive auf den digitalen Zwilling analysieren (prototypische Anwender identifizieren) (3)
- **Anforderungsformat und -struktur definieren** (1)
 - Anforderungsformat mit Implementierungspartner abstimmen
 - Anforderungshierarchie festlegen
 - Transferschlüssel Inhalt Use Case ↔ Anforderungsdokument definieren
- **Pflichtenheft und Abnahmekriterien ableiten** (Use Case) (2), (3), (4)
 - Vollständigkeit der Tasks bzw. Anforderungen prüfen
 - 100% Lastenheft bereitstellen
 - Machbarkeits-Studie des Soll-Konzepts: Tasks bzw. Anforderungen der Use Cases mit Angebot der potentiellen Anbieter abgleichen
 - Implementierungs-Roadmap ableiten
 - Test Cases und Akzeptanzkriterien für Pflichtenheft definieren

Ergebnisse/Outputs

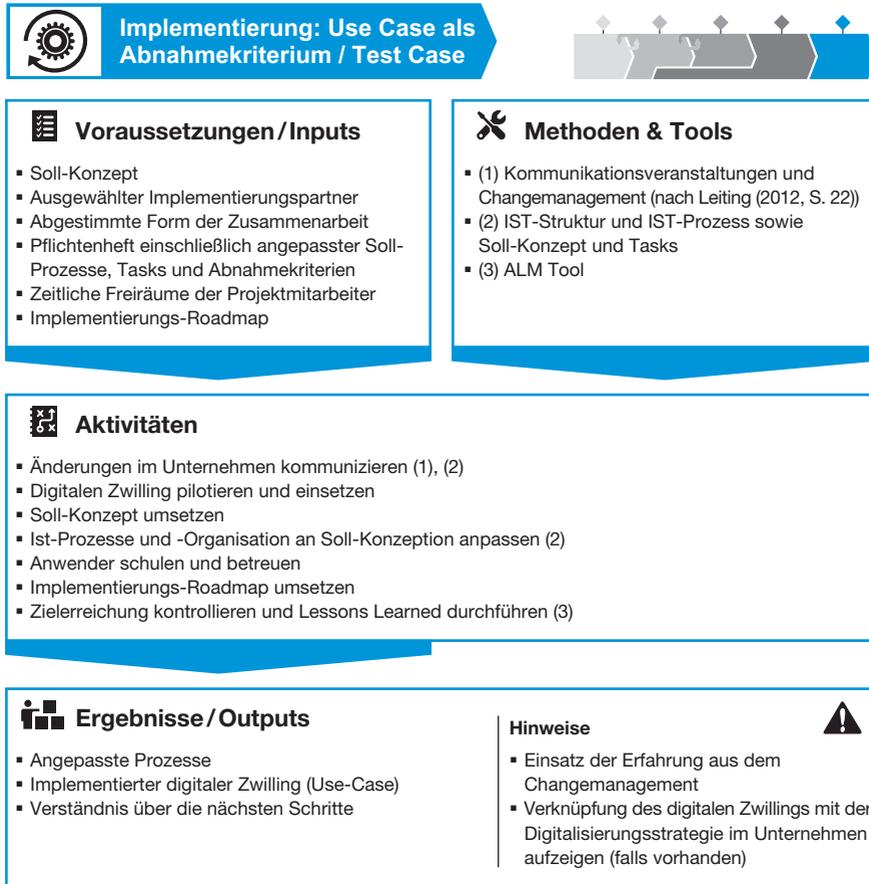
- Transparenz über Kosten und Nutzen
- Ausgewählte Anbieter
- Abgestimmte Form der Zusammenarbeit
- Pflichtenheft einschließlich angepasster Soll-Prozesse, Tasks und Abnahmekriterien
- Implementierungs-Roadmap

Hinweise

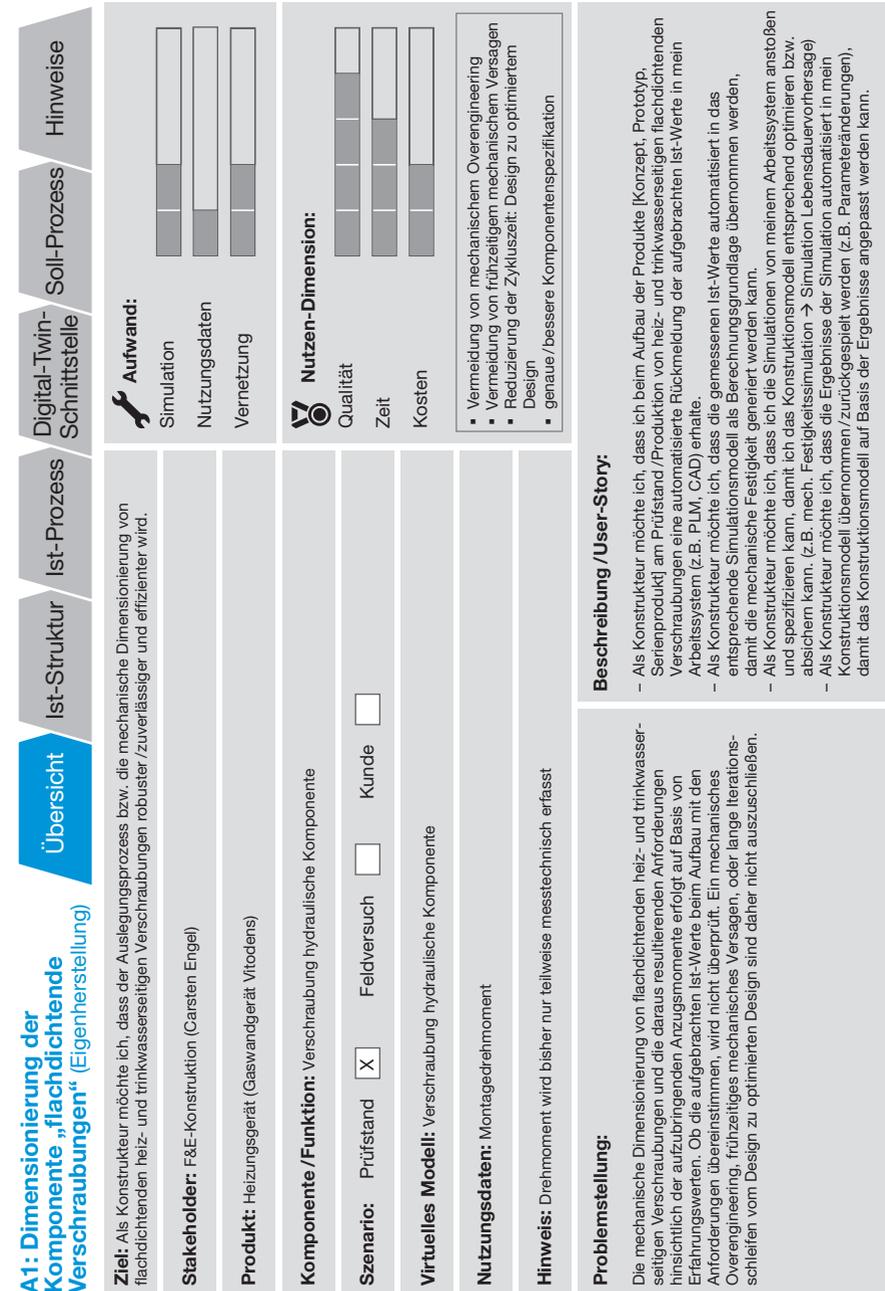
- Szenario-JTBD Jobs-to-be-Done (Tagabergnova & Köbler (2018, S. 334))
- Anforderungen ableiten: insbesondere die Ist-Struktur in „Reiter 1“ verwenden, die eine IT-Sicht beschreibt
- INVEST: Independent, Negotiable, Valuable, Estimatable, Small, Testable

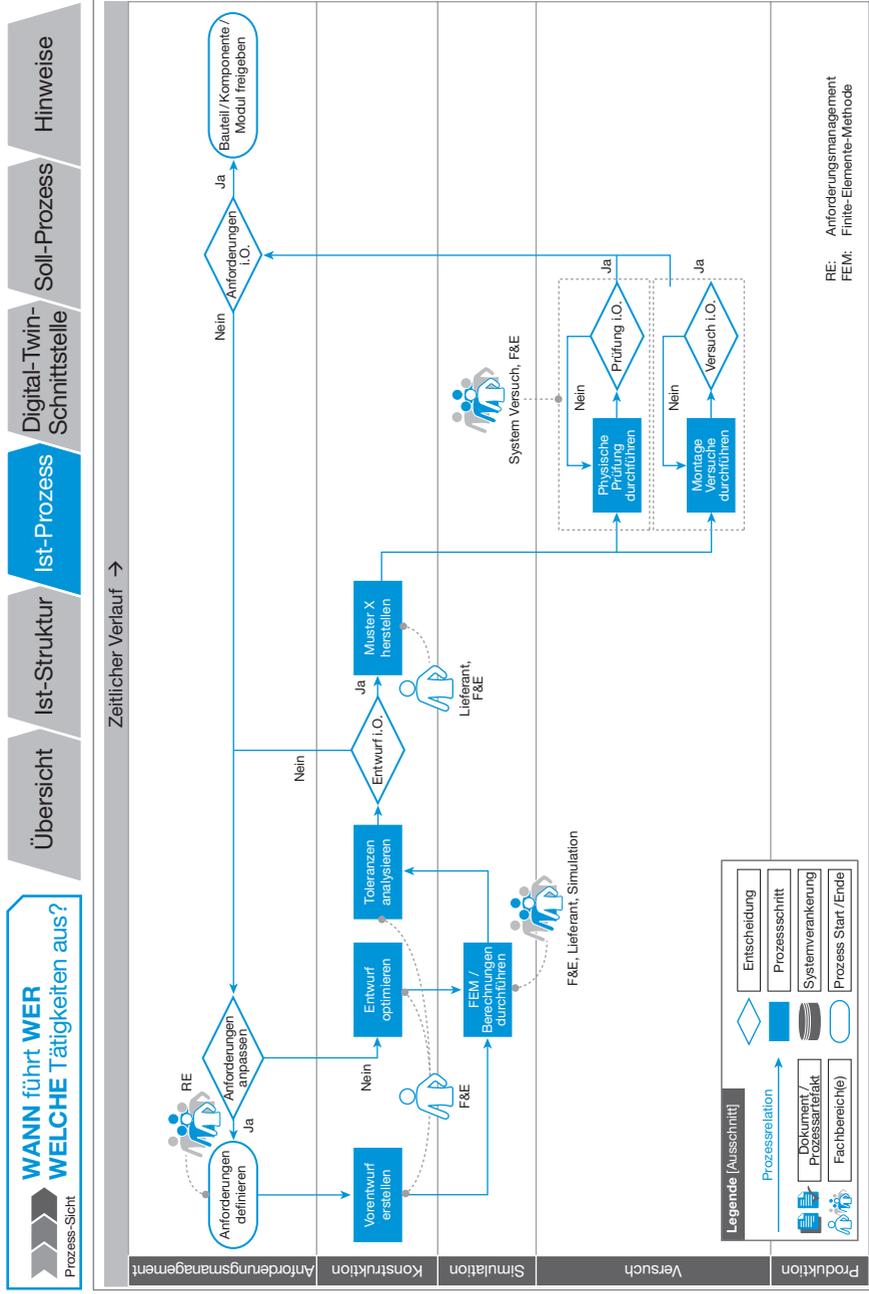
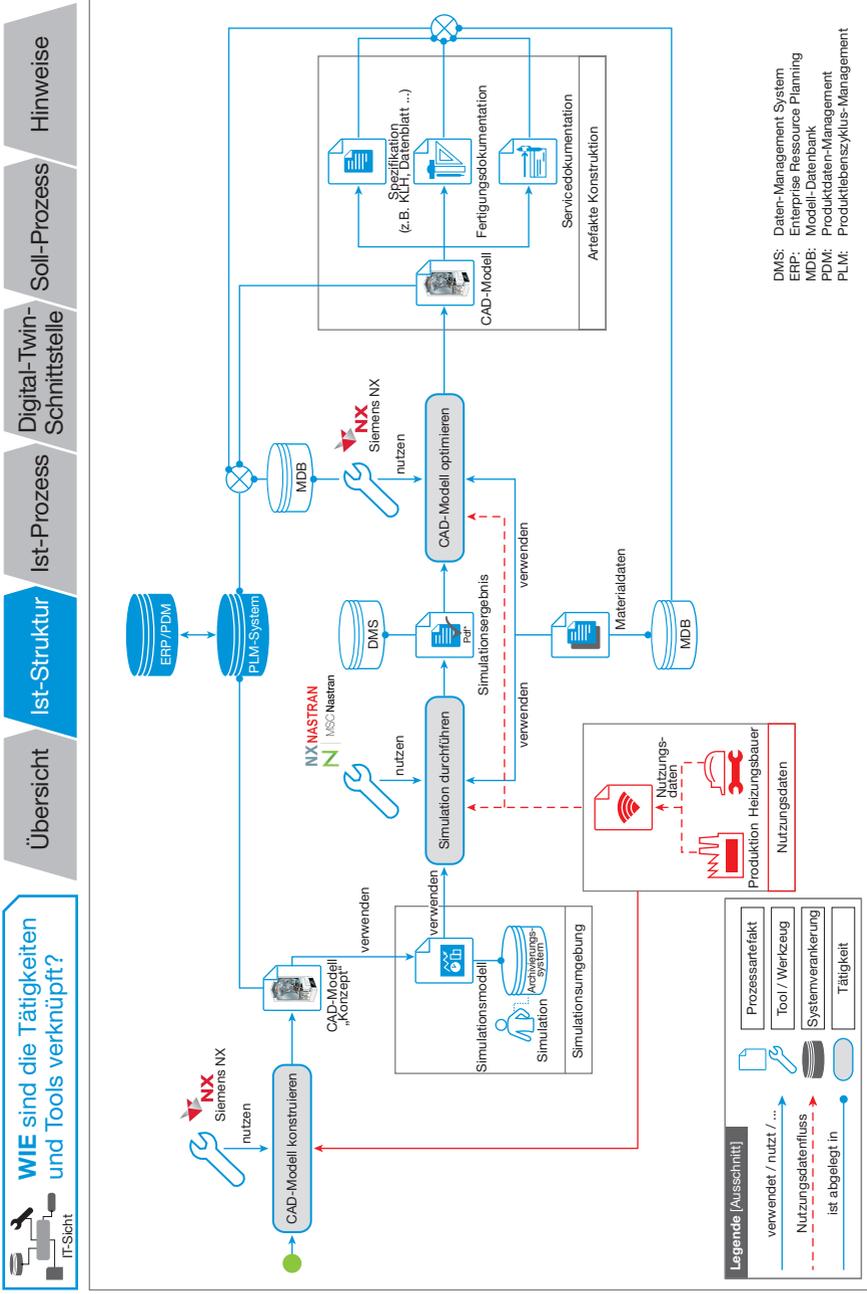
2.5 Schritt 5: Implementierung

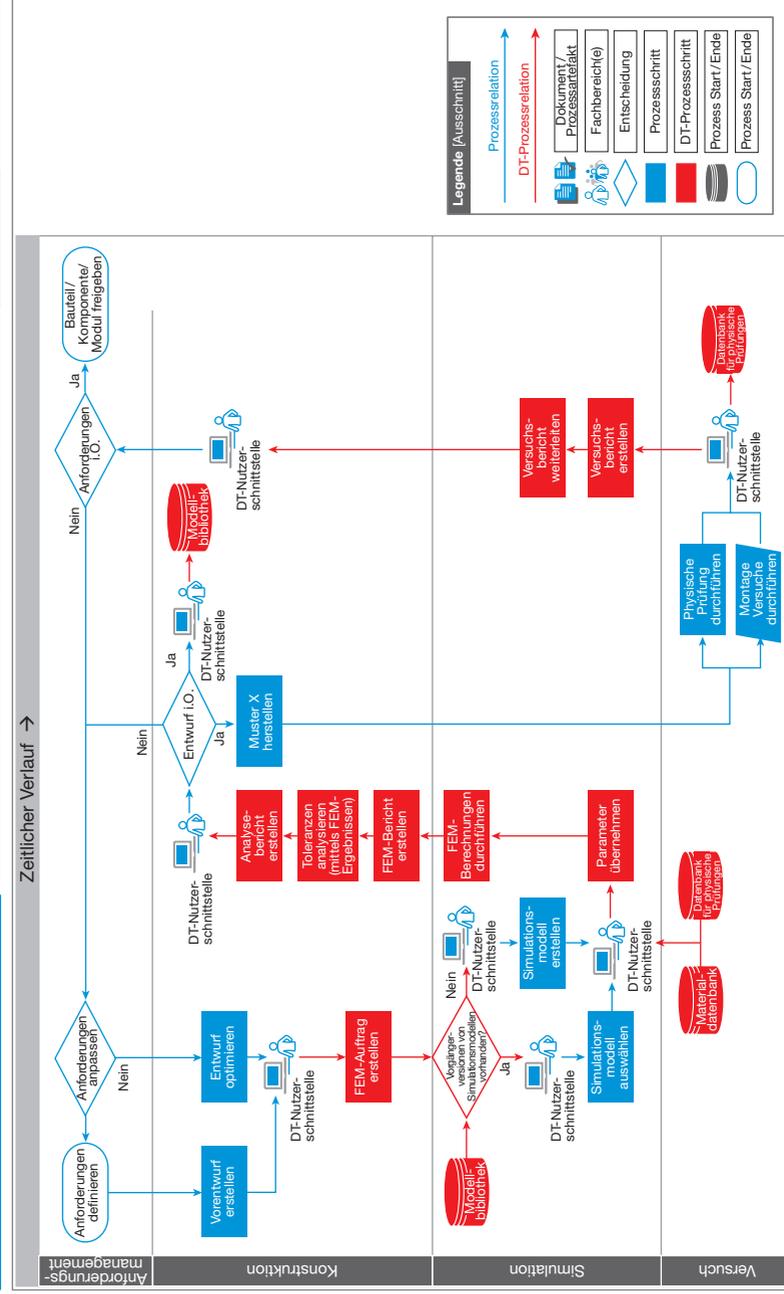
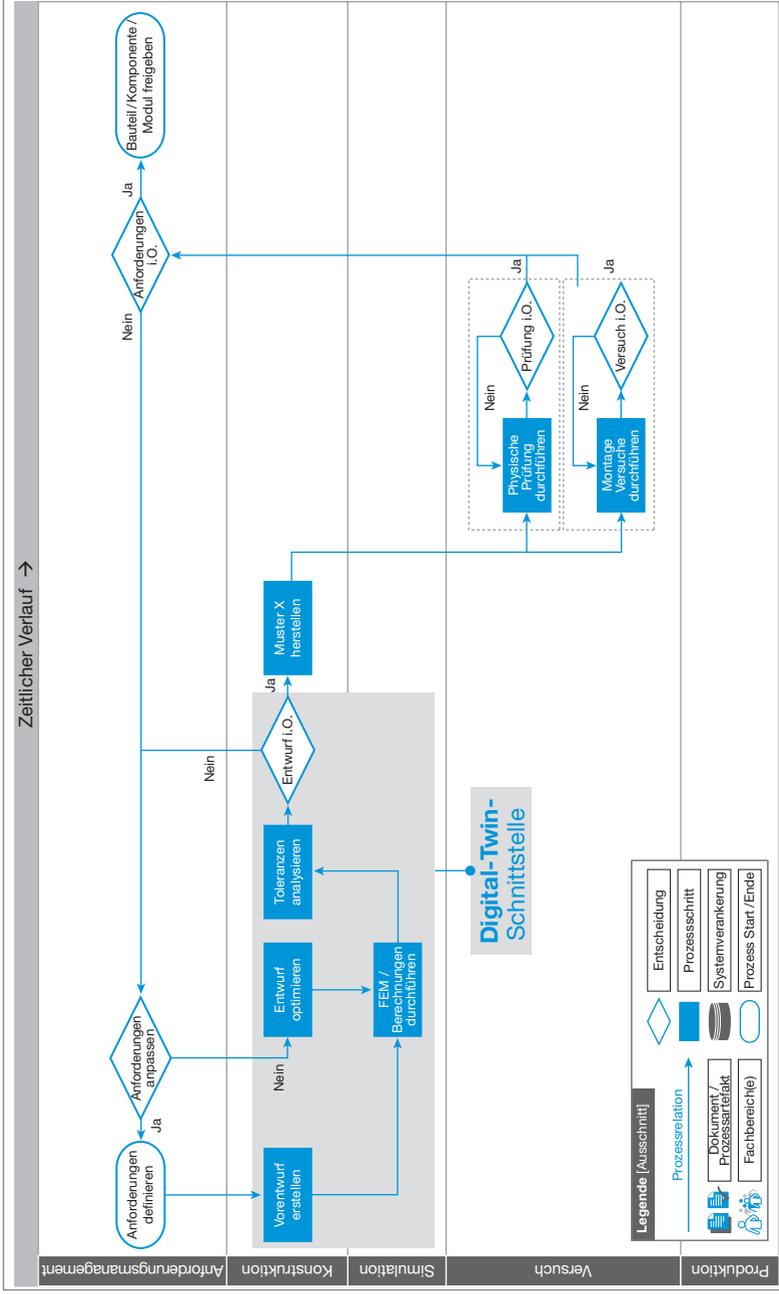
Der letzte Schritt des Vorgehensmodells ist die Implementierung. Mit den Use Cases als Abnahmekriterium und den Test Cases, wird sukzessiv die Implementierungs-Roadmap im Schritt 5 umgesetzt. Die Änderungen im Unternehmen werden kommuniziert (vgl. Leiting 2012, S. 22), Ist-Prozesse und -Organisation angepasst und der pilotierte digitale Zwilling wird erstmals eingesetzt. Dabei sollte die Zielerreichung kontrolliert werden. Durch stetige Lessons Learned wird das Verständnis über die nächsten Schritte aufgebaut und unter Umständen das Soll-Konzept ergänzt.



3 Template Use Cases (Beispiel Use Case A1)









Detailangaben Virtuelles Modell

Übersicht

Ist-Struktur

Ist-Prozess

Digital-Twin-
Schnittstelle

Soll-Prozess

Hinweise

Produkt: Heizungsgerät – Gaswandgerät Vitodens

Komponente / Funktion: hydraulische Komponente (Verschraubung Einstecknippel Kompakthydraulik)

Modell existiert

- Ja
 Nein (aber machbar)
 Nein (nicht machbar)

Anmerkungen

- CAD-Modell dient als „Basismodell“, da alle weiteren Artefakte/Modelle wie z.B. Servicedokumentation, Bauraumanalyse, Fertigungsdokumentation, etc. sich aus dem CAD-Modell ableiten.

Tools / Werkzeug Klasse

Bezeichnung:

- FEM (Siemens)
- Siemens NX
- Excel
- FEM: Nastran (MSC Software), Nastran (Siemens), LIMIT (CAE-Simulation-Solution)
- **Alterung:** MSC.Fatigue (MSC, Software), Glyphwork (HBM), CFD: Fluent (ANSYS), Cradle (MSC Software)
- Ziel: Analyse und Anpassung des Entwurfs, entwickelten Entwurf absichern

Verwenden für:

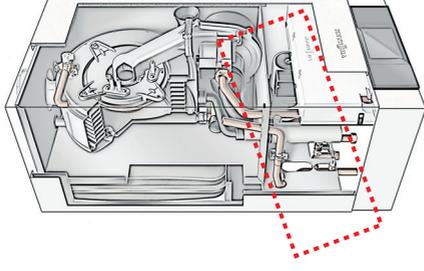
- vereinfachte Berechnung / Abschätzung (z.B. Festigkeitsberechnung)
- Geometreanalyse (z.B. Bauraum)
- grobe Berechnung / Abschätzung
- Nur in der Simulationsabteilung:
 - spezifische Berechnungen (z.B. Festigkeit, technische Berechnungen, Flächenverpressung)
- Nur in der Simulationsabteilung (in Ausnahmefällen):
 - Komplexe und spezifische Berechnungen (z.B.: Lebensdauer, Alterung, Strömung, Schwingung, Akustik, Wärmeübertragung und Fertigungsprozesse)

Beschreibung

- die kompletten Iterationschleifen des CAD-Konstruktionsmodells von der Auslegung über der Berechnungen bis hin zur Rückkopplung aus der Produktion
- Absicherung des Designs in der Entwicklungsphase
- Analyse und Anpassung des Designs bei Fehlerfällen (in Zukunft: des Heizungsbauers im Feld)

Notwendiger Parameter

- Wandstärke, (Druck)Belastungen, Werkstoffe/Materialkennwerte (Grundkörper, Dichtkörper), Geometrien



MSC Nastran
 NX
 CAE

Aufwand Simulation (Abschätzung Komplexität der digitalen Abbildung):

niedrig

Literatur

Daniel, A. (2001). *Implementierungsmanagement*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-89883-8>

Eigner, M., & Stelzer, R. (2009). *Product Lifecycle Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/b93672>

Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. Alves (Eds.), *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches / Franz-Josef Kahlen, Shannon Flumerfelt, Anabela Alves, editors* (pp. 85–113). Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4

Leiting, A. (2012). *Unternehmensziel ERP-Einführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-4462-7>

Lindemann, U. (2016). Kreativität in der Produktentwicklung. In U. Lindemann (Ed.), *Handbuch Produktentwicklung* (pp. 743–758). München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446445819.026>

Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. *Procedia Manufacturing*, 11, 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>

Pohl, K., & Rupp, C. (2015). *Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level* (4. Aufl.). EBL-Schweitzer. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Tagabergenova, D., & Köbler, F. (2018). Human Centered Design – Personas, Customer Journeys und Informationsarchitektur. In M. Wiesche, P. Sauer, J. Krimmling, & H. Krcmar (Eds.), *Informationsmanagement und digitale Transformation. Management digitaler Plattformen* (pp. 331–345). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21214-8_22

Westermann, T. (2018). *Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus* (Doktorarbeit). Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn.

Dieser Leitfaden richtet sich in erster Linie an produzierende Unternehmen, die komplexe und vernetzte Produkte anbieten und deren Umfeld einem ständigen Wandel, insbesondere durch Aspekte der Digitalisierung unterliegt.

Von der Implementierung eines digitalen Zwillings ihrer physischen Produkte versprechen sich viele Unternehmen Vorteile sowohl intern durch effektivere Entscheidungen und effizientere Abläufe als auch extern bei der Neu- und Weiterentwicklung ihrer Produkte und im direkten Kontakt mit Kundinnen und Kunden. Häufig liegen bereits umfassende Datenmengen und zahlreiche unterschiedliche Produktmodelle (von Anforderungslisten über CAD- und FEM-Modelle bis hin zu Nutzungsdaten) vor, eine effiziente Vernetzung, die die Voraussetzung für die Nutzung dieser Daten wäre, fehlt jedoch.

Gefördert durch:

VIESSMANN



Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau

www.mec.ed.tum.de/lpl/

