

Technische Dokumentation

Anforderungskatalog: Interoperabler, skalierbarer und kollaborativer industrieller digitaler Zwilling

Stand. 15.08.2025

Zielsetzung

Das Ziel dieses Dokuments ist die Definition von funktionalen und architekturellen Anforderungen an ein digitales Zwillingssystem für den industriellen Einsatz. Das System soll interoperabel, modular erweiterbar, organisationsübergreifend nutzbar und für domänenübergreifende Kollaboration ausgelegt sein. Es dient als technische Grundlage für die Umsetzung einer belastbaren, zukunftsfähigen Digital-Twin-Plattform im Produktions-, Entwicklungs- und Fertigungskontext, einschließlich konkreter Anwendungsszenarien wie Variantenoptimierung, Shopfloor-Management, virtuelle Inbetriebnahme, vorausschauende Instandhaltung, Schulungssimulationen und Entscheidungsunterstützung entlang des gesamten Produktlebenszyklus.

Systemarchitektur

Modulare Architektur

- REQ: Die Systemarchitektur muss in klar getrennte Module strukturiert sein:
 1. Kernfunktionen des digitalen Zwillings (Zustandssynchronisation, Historisierung)
 2. Schnittstellenebene (API, Datenbus)
 3. Anwendungsebene (Simulation, Analyse, Visualisierung)
- REQ: Die Architektur muss eine modulare Integration mit externen Systemen ermöglichen, insbesondere:
 1. IIoT-Plattformen
 2. Simulationsumgebungen
 3. CAD/PLM-Systeme
- REQ: Module dürfen systemseitig unabhängig weiterentwickelbar und austauschbar sein.

Datenaufnahme & Übersetzung

CAD- und 3D-Datenintegration

- REQ: Expertentools, die im Entstehungsprozess digitaler Assets verwendet werden, sollen nach Möglichkeit über eigene Exportfunktionen verfügen, um relevante Inhalte direkt und medienbruchfrei in das digitale Zwillingssystem überführen zu können.
 - REQ: Ist ein direkter Export nicht möglich, muss ein domänenübergreifendes, standardisiertes Datenaufnahmemodul zur Verfügung stehen, das verschiedene 3D- und CAD-Formate (z. B. STEP, JT, IGES, FBX, STL) akzeptieren und verarbeiten kann.
 - REQ: Zusätzlich muss das System eine Echtzeit-Anbindung über einen Live-Connector unterstützen. Dieser ermöglicht eine direkte, bidirektionale Synchronisation zwischen Expertentools und digitalem Zwilling und erlaubt somit die laufende Inhaltserzeugung, Modifikation und Abstimmung über Systemgrenzen hinweg.
- REQ: Das Datenaufnahmemodul muss die automatisierte Übersetzung der Eingangsdaten in das OpenUSD-Format (Universal Scene Description) ermöglichen. Dabei sind Variantenbildung, Geometrieauflösung und semantische Anreicherung zu unterstützen.
- REQ: Die erzeugten USD-Dateien müssen versionsverwaltet, referenzierbar und schichtenbasiert (OpenUSD Layers) strukturiert sein. Änderungen sollen nachvollziehbar und nicht-destruktiv integrierbar sein, um eine kontinuierliche Weiterverarbeitung im System zu gewährleisten.
 - REQ: Vor der Integration von Daten in das System muss eine automatisierte Validierung hinsichtlich Datenvollständigkeit, Strukturkonsistenz und semantischer Kohärenz erfolgen.

- REQ: Das System muss den Rückexport von berechneten Zuständen, Simulationsergebnissen und Optimierungsparametern in die Originaltools (z. B. CAD, Simulationsumgebungen) unterstützen.

Detailtiefe und Informationsmodellierung

Levels of Detail (LOD) und Levels of Functionality (LOF)

- REQ: Das System muss verschiedene Informations- und Funktionsstufen (LOD/LOF) für alle digitalen Assets unterstützen. Diese Stufen müssen kontextabhängig nutzbar und konfigurierbar sein (z. B. für Visualisierung, Simulation, Produktionssteuerung, Diagnosefunktionen).
- REQ: Das Konzept von LOD/LOF soll gezielt zur Ermöglichung organisationsübergreifender Interoperabilität eingesetzt werden. Niedrigere Stufen stellen abstrahierte, eingeschränkte Funktionalität und reduzierte Datenmodelle bereit (ähnlich einem Black-Box-Prinzip), wodurch ein sicherer Austausch zwischen Unternehmen ohne Preisgabe sensibler Informationen möglich wird.
- REQ: Höhere LOD/LOF-Stufen müssen selektiv und dynamisch freischaltbar sein. Die Freischaltung erfolgt auf Basis konkreter Rollen, Aufgabenstellungen oder vertraglich definierter Kollaborationskontexte.
- REQ: Die Zuweisung und Steuerung von LOD/LOF muss systematisch dokumentiert, versioniert und auditierbar sein.
 - REQ: Die Definition jeder LOD/LOF-Stufe muss dokumentiert, standardisiert und für Nutzer maschinenlesbar verfügbar sein.

Zugriffssteuerung und Kollaboration

Rollen- und aufgabenbasiertes Rechtemanagement (RBAC)

- REQ: Zugriffsrechte müssen sowohl rollen- als auch aufgabenbasiert konfigurierbar sein:
 - Leserechte für passive Analyse
 - Schreibrechte für aktive Modifikation
 - Export-/Importrechte für systemübergreifende Datenbewegungen
 - Temporäre oder kontextabhängige Freischaltungen je nach konkreter Aufgabenstellung oder Projektsituation
- REQ: Benutzer dürfen nur auf jene Teilsysteme und Daten zugreifen, die ihrer Rolle, Organisation oder ihrem aktuellen Aufgabenkontext entsprechen.

Variantenmanagement & OpenUSD-Kompatibilität

Asset-Komposition

- REQ: Die Systemplattform muss OpenUSD als Primärformat unterstützen, inklusive:

- Layering
 - Referenzierung
 - Variantenbildung
- REQ: Änderungen an Assets müssen nachvollziehbar, reversibel und versionsverwaltet sein.

Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit

- REQ: Das System muss bestehende Werkzeuge (Best-of-Breed) aus den Fachdomänen integrieren können, ohne diese zu ersetzen (z. B. Simulations-Engines, CAD-Tools, Analyseplattformen).
- REQ: Wiederverwendbare Komponenten (z. B. Sensorikmodelle, Verhaltenslogiken) müssen ohne Datenduplikation kompositionsfähig bleiben.

Echtzeitsynchronisation und Kollaboration

- REQ: Die Plattform muss Simulations- und Zustandsdaten in Echtzeit mit angeschlossenen Anwendungen synchronisieren können.
- REQ: Kollaboratives Arbeiten mehrerer Nutzer und Organisationen an einem definierten Bereich eines digitalen Abbild muss gleichzeitig, konfliktfrei und nachvollziehbar möglich sein.

Governance, Sicherheit und Datenhoheit

- REQ: Das System muss mehrschichtige Sicherheitsmechanismen implementieren:
 - Authentifizierung & Autorisierung
 - Datenverschlüsselung
 - IP-Schutz durch differenzierte Freigaben
 - Back-up und Recovery-Fähigkeiten
- REQ: Anpassungen an digitalen Assets (z. B. durch Simulationsergebnisse) müssen versioniert, dokumentiert und rückverfolgbar sein. Grundlage für Erklärbarkeit muss gewährleistet sein.

Versionskontrolle

Version	Datum	Änderungen	Autor
1.0	07.07.2025	Erstdokumentation	Michael Hernández
1.1	29.01.2026	Formatierung	Michael Hernández

Dieses Dokument wird regelmäßig überarbeitet, um neue Entwicklungen im Projekt Industrial Metaverse zu berücksichtigen.