INDUSTRIAL METAVERSE

HANDLUNGSLEITFÄDEN FÜR DEN EINSTIEG IN DAS INDUSTRIAL METAVERSE

ARENA2036

Stuttgart, Deutschland

Dezember 2025

Gefördert durch
Baden-Württemberg
Ministerium für Wirtschaft,
Arbeit und Tourismus

Metadaten	Details
Projekt	Reallabor für ein Industrial Metaverse in der ARENA2036
Stand	28.01.2026
Version	1.1
Herausgeber	ARENA2036 e.V.
Sprache	Deutsch
Umfang	Technische Dokumentation

Inhaltsverzeichnis

TEIL A: STRATEGIE UND FUNDAMENT 6

KAPITEL 1: HANDLUNGSLEITFÄDEN FÜR DEN EINSTIEG 7
Einleitung 7
Motivation 8
Unsere Ziele 8
Wie Sie dieses Dokument nutzen 9
Navigation durch die Module 9
KAPITEL 2: KONZEPTE & REIFEGRADMODELL 10
Einleitung 10
Schlüsselkonzepte 10
Reifegradmodell digitaler Daten 13
Strategische Leitlinien für KMU 14
Fazit 15
KAPITEL 3: OMNIVERSE GRUNDLAGEN UND ARCHITEKTUR 16
Einleitung 16
Ziel dieses Kapitels 16
Omniverse erklärt: Die Office365-Analogie 17
Download und Installation 18
Lizenzmodelle 18
Rollen- und Rechtekonzept 19
Fazit 19

TEIL B: INFRASTRUKTUR UND ZUGANG 20

KAPITEL 4: ZUGRIFFSKONZEPT 21
Einleitung 21
Motivation und Bedarf 21
Zugriffsszenarien 22
Portfreigaben und Protokolle 25
KAPITEL 5: GOVERNANCE-MODELL UND KOLLABORATION 27
Einleitung 27
Governance und Schutz von geistigem Eigentum (IP) 28
Der Marktplatz für externe Agenten 29
Interne Kollaboration: Von Silos zu Synergien 29
Externe Kollaboration im Ökosystem 30
Technische Umsetzung: Workflows & Sicherheit 31
KAPITEL 6: STRUKTUR DER DIGITALEN RESSOURCEN 32
Einleitung 32
Motivation und Bedarf 33
Struktur der digitalen Ressourcen 34

TEIL C: WORLD BUILDING 38

Kapitel 7: Workflows zur Erstellung und Integration von 3D-Assets (draft) 39
Einleitung 39
Motivation und Bedarf 39
Datenaufnahme auf einen Blick 40
Kapitel 8: Technische Leitlinie zur Integration von Punktwolken (draft) 43
Einleitung 43
Motivation 43
Schritt-für-Schritt Workflow 43
Kapitel 9: Anleitung zur Asset-Erstellung mit Rhino 44
Einleitung 44
Motivation und Bedarf 45
Erstellung und Bearbeitung von Assets 45
Kapitel 10: (DRAFT) Grundlagen der Kinematisierung 51
10.1 Einleitung 51
10.2 Workflow 51

TEIL D: BETRIEB UND KONNEKTIVITÄT 52

Kapitel 11: Workflows zur Asset-Connectivity 53
Einleitung 53
Ziel des Kapitels 53
Motivation und Bedarf 53
Referenzarchitektur 55
MQTT Omniverse Extension 58
Vorgehensweise am Beispiel einer industriellen Roboteranlage 58
Fazit 60
Kapitel 12: Operations, Backup und Pflege des Datenmodells 61
12.1 Einleitung 61
12.2 Provisorisches Backup-Verfahren (Workstation) 61
12.3 Pflege des Datenmodells (Lifecycle) 61

TEIL E: PRAXIS- WORKFLOWS 62

Kapitel 13: Anwendungsfälle im Detail 63
13.1 Kollisionsprüfung (Quick Win) 63
13.2 Engpassanalyse (Big Win) 63
13.3 Visuelle Shopfloor-Digitalisierung 63
Anhang A: Glossar 64
Anhang B: Onboarding Checkliste 65
Schnellstart für neue Partner 65
Anhang C: Pseudo-Code 66

Vorwort

Das Industrial Metaverse steht für den nächsten großen Entwicklungsschritt in der digitalen Transformation industrieller Prozesse. Es verknüpft physische und digitale Welten in Echtzeit und ermöglicht dadurch neue Formen der Visualisierung, Simulation, Kollaboration und Automatisierung. Unternehmen können auf dieser Basis ihre Effizienz, Innovationsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit gezielt steigern – beispielsweise durch vorausschauende Planung und virtuelle Inbetriebnahmen in realitätsnahen Umgebungen. Für KMUs bietet das Industrial Metaverse eine konkrete Chance, bestehende Daten nutzbar zu machen und Investitionen in Digitalisierung gezielt in messbare Mehrwerte zu überführen.

Der vorliegende Handlungsleitfaden richtet sich speziell an Verantwortliche in kleinen und mittleren Unternehmen der produzierenden Industrie – etwa an Digitalisierungsbeauftragte, technische Leiterinnen und Leiter oder Innovationsmanager/-innen. Ziel ist es, Unternehmen ein praxisnahes Grundverständnis zu geben, um die ersten Schritte im Industrial Metaverse zu gestalten – unabhängig davon, ob sie erste Ideen konkretisieren oder bereits an einem Pilotprojekt arbeiten.

Während der Begriff „Metaverse“ häufig mit immersiven 3D-Welten und Konsumenten-Anwendungen assoziiert wird, steht das Industrial Metaverse für reale industrielle Anwendungsfälle auf Basis präziser Datenmodelle, Simulation und Echtzeitkollaboration. NVIDIA Omniverse wird oft als Synonym verwendet, ist jedoch nicht gleichzusetzen. Vielmehr ist es eine Plattform, die zentrale Elemente zur Realisierung eines digitalen Zwillings bereitstellt. Das Industrial Metaverse selbst geht darüber hinaus: Es ist das strategische Ziel, während Omniverse ein wichtiges Werkzeug ist.

ABBILDUNG 1 UNSER REALLABOR

ARENA2036

TEIL A:
STRATEGIE UND FUNDAMENT

INDUSTRIAL METAVERSE

ARENA2036 e.V. • Pfaffenwaldring 19 • 70569 Stuttgart
Industrial Metaverse • arena2036.de/metaverse/

Kapitel 1:
Handlungsleitfäden für den Einstieg

Einleitung

Willkommen im **Reallabor für das Industrial Metaverse**. Hier in der ARENA2036 entsteht die Zukunft der industriellen Produktion, nicht als theoretisches Konzept, sondern als greifbare Realität.

Das Industrial Metaverse ist die nächste Evolutionsstufe der Digitalisierung: Es ist die Verschmelzung von physischer Fabrik und virtuellem Zwilling in Echtzeit. Wo früher statische CAD-Modelle lagen, interagieren heute kognitive Avatare, IoT-Datenströme und KI-Agenten.

> Diese Dokumentation ist Ihr Baukasten. Sie fasst die Erfahrungen, Workflows und technischen Standards zusammen, die wir im Reallabor entwickelt haben, um diese Technologie für den Mittelstand und die Industrie nutzbar zu machen.

Motivation

Viele KMUs verfügen bereits über digitale Daten, nutzen diese jedoch nicht systematisch für Simulation, Planung oder Optimierung. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Effizienz, Flexibilität und Innovationsgeschwindigkeit. Dieses Dokument zeigt, wie vorhandene Daten Schritt für Schritt in Mehrwerte überführt werden können. Es soll helfen, Einstiegshürden abzubauen, Investitionen besser zu begründen und langfristig Wettbewerbsvorteile zu sichern.

> Großunternehmen realisieren bereits erste Leuchtturmprojekte, doch **dem Mittelstand fehlt oft der Zugang zu den notwendigen Technologien und Methoden.**

Unsere Ziele

> **Befähigung:** Wir senken die Eintrittshürden für KMU durch klare, nachmachbare Anleitungen.
>
> **Demonstration:** Wir zeigen echte Use Cases statt Marketing-Versprechen.

Nutzen Sie diese Leitfäden, um Ihre eigenen Investitionen in Digitalisierung in messbare Mehrwerte zu verwandeln, sei es durch schnellere Planung, fehlerfreie Inbetriebnahme oder neue Geschäftsmodelle.

Wie Sie dieses Dokument nutzen

Diese Gesamtdokumentation ist modular aufgebaut. Sie müssen nicht alles von vorne bis hinten lesen. **Orientieren Sie sich an Ihrer Rolle**:

ROLLE	FOKUS	EMPFOHLENE MODULE
MANAGEMENT & STRATEGIE	Vision, Nutzen, Roadmap	Teil A (Kapitel 1-3) & Teil E (Use Cases)
IT & ADMINISTRATION	Sicherheit, VPN, Server-Setup	Teil B (Kapitel 4-6) & Teil D (Backup)
INGENIEURE & 3D-ARTISTS	Erstellung von Modellen (CAD, Scan)	Teil C (Kapitel 7-10)
ENTWICKLER & IOT	Datenanbindung, Skripte, Sensorik	Teil B (GitHub) & Teil D (Connectivity)

Navigation durch die Module

Die Dokumentation ist in fünf logische Teile gegliedert:

- **TEIL A: STRATEGIE UND FUNDAMENT**: *Das "Warum" und "Was"*. Hier verstehen Sie die Vision und die Plattform-Architektur (Omniverse).
- **TEIL B: INFRASTRUKTUR UND ZUGANG**: *Das "Wo"*. Wie Sie sicher auf die Daten zugreifen und wo was gespeichert wird.
- **TEIL C: WORLD BUILDING**: *Das "Wie"*. Schritt-für-Schritt-Anleitungen, um die virtuelle Welt zu bauen (vom Laserscan zum 3D-Asset).
- **TEIL D: BETRIEB UND KONNEKTIVITÄT**: *Das "Leben"*. Wie der Zwilling durch Echtzeitdaten lebendig wird.
- **TEIL E: PRAXIS**: *Die Anwendung*. Konkrete Rezepte für alltägliche Probleme wie Kollisionsprüfung oder Layout-Planung.

Kapitel 2:
Konzepte & Reifegradmodell

Einleitung

Dieses Kapitel dient als Grundlagenteil und erklärt die wichtigsten Konzepte sowie das Reifegradmodell für digitale Daten. Es bildet die Basis für die nachfolgenden praxisorientierten Kapiteln.

Schlüsselkonzepte

Digital Twin (Digitaler Zwilling)

Ein vollständiges, virtuelles Abbild eines physischen Objekts, Prozesses oder Systems fungiert als präzise Kopie der Realität und geht über die reine Visualisierung hinaus. Es integriert Geometrie, Daten und Verhalten, um komplexe Simulationen, detaillierte Analysen und gezielte Optimierungen zu ermöglichen.

Beispielsweise können Produktionsabläufe getestet, Energieverbräuche analysiert oder Wartungsbedarfe vorhergesagt werden, noch bevor sie in der physischen Welt auftreten.

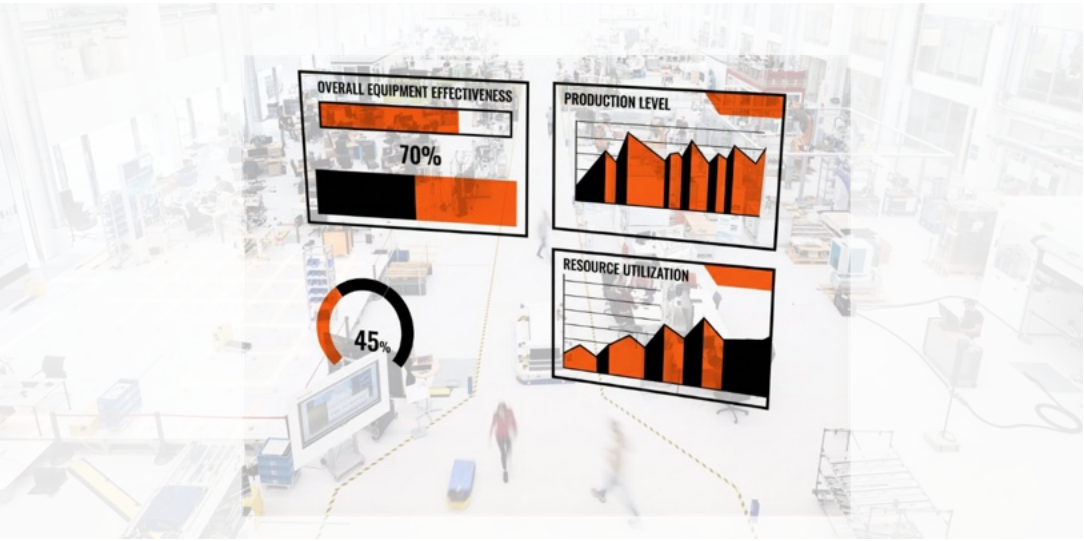


ABBILDUNG 2 VISUALISIERUNG EINES DIGITAL TWINS

Mehrwert für KMU:

- Reduktion von Planungsfehlern
- Simulation von Prozessen vor der physischen Umsetzung
- Basis für Prädiktive Maintenance und kontinuierliche Verbesserung

Industrial Metaverse

Ein virtueller Raum, in dem multiple Digital Twins aus verschiedenen Geschäftsbereichen interagieren, schafft eine umfassende digitale Repräsentation ganzer Wertschöpfungsketten. Ziel ist eine realitätsnahe, physikalisch exakte Abbildung von Prozessen, die eine nahtlose interdisziplinäre Zusammenarbeit ermöglicht und fundierte Entscheidungen auf Basis von Echtzeitdaten unterstützt.

Durch die Vernetzung von Planung, Produktion und Logistik können Teams über Standorte hinweg gemeinsam Lösungen entwickeln, Szenarien simulieren und Prozesse optimieren, was zu gesteigerter Effizienz und Innovationskraft führt.

Strategischer Nutzen:

- Plattform für funktionsübergreifende Zusammenarbeit
- Neue Geschäftsmodelle und datengetriebene Services
- Bessere Entscheidungsqualität durch konsistente Daten

ABBILDUNG 3 MEHRWERT DURCH DIGITALISIERUNG

OpenUSD

Das offene Datenformat (.usd), ursprünglich von Pixar Animation Studios für die Filmproduktion entwickelt und 2016 als Open-Source-Projekt veröffentlicht, bildet heute die technische Grundlage für kollaborative, interoperable Workflows weit über die Unterhaltungsindustrie hinaus. Es erlaubt die nahtlose Integration von 3D-Daten aus unterschiedlichen Expertensystemen, indem es nicht nur als statisches Dateiformat, sondern als mächtiges Framework für die Komposition komplexer Szenen fungiert.

Für das Industrial Metaverse ist USD von entscheidender Relevanz, da es das „Layering" von Daten ermöglicht: Änderungen aus verschiedenen Disziplinen (sei es CAD-Konstruktion, Simulation oder Materialdesign) können non-destruktiv übereinandergelegt werden, ohne die Originaldaten zu verändern.

Kernpunkte:

- Standardisierte Datenbasis für 3D-Workflows
- Vermeidung von Datensilos
- Erweiterbar durch Layer, Variants und Metadaten

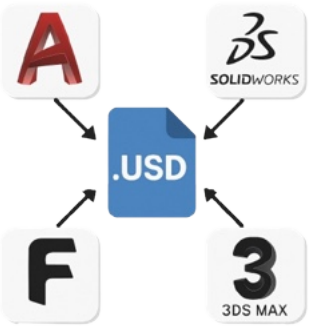


ABBILDUNG 4 USD ALS BASIS FÜR DIE 3D DARSTELLUNG

Expertensysteme, -Tools

Spezialisierte Softwarelösungen, die Modelle erzeugen (z. B. CAD-Systeme, Simulations-Tools, BIM). Das Industrial Metaverse nutzt deren Ergebnisse, ersetzt sie aber nicht.

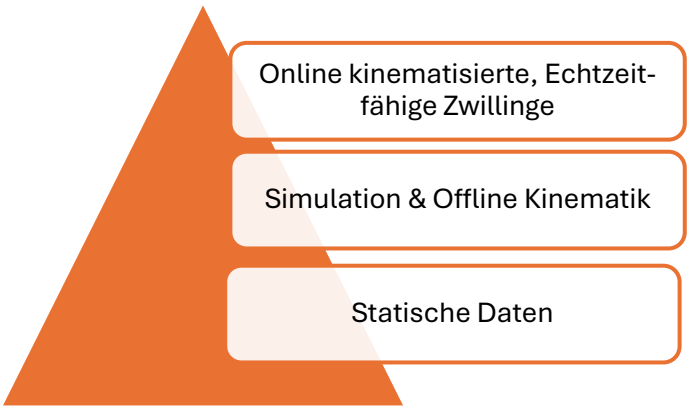
Beispiele:

- CAD: Catia, SolidWorks
- Simulation: Process Simulate, Visual Components, ANSYS
- Scan: FARO, Artec

Reifegradmodell digitaler Daten

Die Qualität und Nutzbarkeit der Daten bestimmt, welche Szenarien im Industrial Metaverse möglich sind.

Stufenmodell:



1. **Statische Daten**
   - Reine Geometrie (z. B. CAD ohne Metainformationen)

     Quick Wins: Kollisionsprüfung, Visualisierung, Präsentationen.
2. **Statische Daten + Metainformationen**
   - Zusatzinfos wie Materialeigenschaften, Spezifikationen, BIM-Daten

     Big Wins: Kontextbezogene Analysen, genauere Simulationen
3. **Simulationsdaten**
   - Modellierte Abläufe zur Analyse und Optimierung

     Big Wins: Zykluszeitberechnung, Engpassanalyse
4. **Kinematisierte Daten**
   - Bewegungslogiken, entkoppelt von Echtzeitdaten

     Big Wins: Szenariotests, Prozessoptimierung ohne Risiko
5. **Online kinematisierte Daten**
   - Echtzeitintegration durch Sensorik und IoT-Anbindung

     Big Wins: Predictive Maintenance, Fernsteuerung, Echtzeit-Optimierung

Strategische Leitlinien für KMU

Quick Wins

- Start mit vorhandenen CAD-Daten → einfache Visualisierungen und Kollisionsprüfungen.
- Nutzung externer Bibliotheken (z. B. NVIDIA Asset Packs) für fehlende Assets.
- Photogrammetrie/3D-Scans für schnelle Modellierung realer Objekte.

Big Wins (mittelfristig)

- Aufbau eines integrierten digitalen Fabriklayouts.
- Nutzung von Simulation zur Engpassanalyse und Optimierung der Taktzeit.
- Einbindung von Lieferantendaten für ganzheitliche Planung.

Langfristige Perspektive

- Echtzeitintegration mit IoT-Daten.
- Predictive Maintenance und autonome Prozesse.
- Entwicklung neuer digitaler Geschäftsmodelle (z. B. virtuelle Services, Fernüberwachung).

Empfehlung

Pragmatisch starten: mit kleinen, überschaubaren Use Cases.

Datenqualität sichern: Metainformationen standardisieren, Namenskonventionen einführen.

Rollen klar definieren: Zuständigkeiten für Datenpflege festlegen.

Langfristig planen: Roadmap entwickeln (Monat 1–3 Quick Wins, Monat 6–12 Big Wins, ab Jahr 1 Echtzeitintegration).

Fazit

Das Reifegradmodell bietet KMUs eine Orientierung, um schrittweise ins Industrial Metaverse einzusteigen. Entscheidend ist, die vorhandenen Daten realistisch einzuschätzen und passende Use Cases auszuwählen. Mit einem klaren Fokus auf Quick Wins und einer strategischen Roadmap können KMUs langfristig Effizienz, Transparenz und Innovationskraft steigern.

Kapitel 3:
Omniverse Grundlagen und Architektur

Einleitung

Dieses Kapitel dient als Grundlagenteil zur Nutzung von NVIDIA Omniverse im Industrial Metaverse. Hier liegt der Fokus auf der technischen und organisatorischen Umsetzung: von Installation und Lizenzierung bis hin zu Rollenmodellen.

Wichtig ist, dass obwohl dieses Projekt auf Basis der Technologien von NVIDIA entwickelt wurde, diese nicht mit dem Industrial Metaverse gleichgesetzt werden dürfen. Es handelt sich um **einen ersten praktischen Ansatz, der aus der Community im Rahmen unseres Tech Forums entstand**, bei dem Industrievertreter den Bedarf nach Referenzimplementierungen mit dieser Technologie deutlich machten. NVIDIA Omniverse wurde hierbei gewählt, da es sich aufgrund der Offenheit durch USD und seiner aktuellen Reife als die vielversprechendste Plattform herausgestellt hat.

Ziel dieses Kapitels

- Unternehmen eine praxisnahe Anleitung zur Einführung von NVIDIA Omniverse geben.
- Technische Voraussetzungen, Installationswege und Lizenzmodelle transparent darstellen.
- Rollen- und Rechtekonzepte für kollaborative Szenen erläutern.
- Technische Grundlagen vermitteln.

Omniverse erklärt: Die Office365-Analogie

Omniverse lässt sich am besten verstehen, wenn man es mit bekannten Plattformen wie Office365 vergleicht. Auch hier handelt es sich um ein Ökosystem aus einzelnen Anwendungen, die auf einer gemeinsamen Infrastruktur basieren und miteinander verknüpft sind.

- **Nucleus = OneDrive/SharePoint:** Zentrale Datenablage und Versionierung. Alle Dateien (USD-Modelle) werden dort gespeichert und synchronisiert, ähnlich wie Dokumente in OneDrive oder SharePoint.
- **Omniverse USD Composer = Word/PowerPoint:** Ein Tool zum Erstellen und Bearbeiten von Inhalten (3D-Szenen statt Text oder Präsentationen). Mehrere Nutzer können gleichzeitig an einer Datei arbeiten.
- **Connectors = Office Add-ins:** Schnittstellen zu externen Programmen wie CAD- oder Simulationssoftware. Ähnlich wie Add-ins in Office, die Daten von außen integrieren.
- **Extensions = Makros/Apps:** Kleine Zusatzfunktionen, die den Funktionsumfang erweitern, ähnlich wie Makros oder Apps in Office.
- **Live Sessions (Live Sync) = Co-Authoring in Word/Excel:** Gleichzeitiges Arbeiten mehrerer Personen an demselben Modell in Echtzeit.
- **Omniverse Farm = Office365 Cloud Services:** Rechenintensive Aufgaben wie Rendering oder Simulation werden im Hintergrund verteilt, ähnlich wie Cloud-Services von Microsoft.

Diese Analogie zeigt, dass Omniverse wie eine Plattform funktioniert, die verschiedene Anwendungen bündelt und über eine zentrale Datenbasis zusammenführt.

Download und Installation

Für die technische Einrichtung der Arbeitsplätze gelten folgende Voraussetzungen und Schritte:

- **Workstation-Anforderungen:** Prüfen Sie die Hardware-Kompatibilität unter Empfohlene Systeme für Omniverse Enterprise.
- **Technische Voraussetzungen:** Details zu Netzwerk und Treibern finden Sie unter Technical Requirements.

Hinweis zur Installation: Da der klassische "Omniverse Launcher" ab Oktober 2025 eingestellt wurde, nutzen Sie bitte folgende alternative Installationswege:

- **Samples & Templates:** Verfügbar über GitHub und den NGC Catalog.
- **OpenUSD & SimReady Content:** Dokumentation unter NVIDIA Docs.
- **Connectors und Extensions:** Über den NGC Catalog oder das OpenUSD Ecosystem.
- **Kostenloser Download:** Die Standard-Version für Einzelnutzer finden Sie unter Omniverse Platform for OpenUSD | NVIDIA.

Lizenzmodelle

Für den Einstieg im Mittelstand ist die Wahl der richtigen Lizenz entscheidend. Im Projekt nutzen wir je nach Phase unterschiedliche Modelle:

LIZENZTYP	LEISTUNGSUMFANG	EMPFEHLUNG
KOSTENLOS	Zugang zu OpenUSD, Basisfunktionen, Community-Support.	Erste Tests und kleine Pilotprojekte (lokal).
TESTLIZENZ (90 TAGE)	Vollumfänglicher Zugang zu Omniverse Enterprise, eingeschränkter Support.	Proof-of-Concepts, interne Evaluierung.
ENTERPRISE LIZENZ	Kollaborative Nutzung (Nucleus Server), Rollenverwaltung (SSO/LDAP), voller Support.	Langfristiger Einsatz, produktive Umgebung.

Empfehlung für KMU: Starten Sie mit der Testlizenz, führen Sie eine ROI-Analyse durch und steigen Sie bei messbarem Mehrwert auf die Enterprise Lizenz um.

Weitere Informationen finden Sie im NVIDIA Omniverse Enterprise Pricing and Licensing Guide.

Rollen- und Rechtekonzept

Unterschiedliche Stakeholder benötigen differenzierte Zugriffe auf den Nucleus Server, um die Datenintegrität zu wahren. Die Umsetzung erfolgt durch:

1. **Stakeholder-Analyse** vor Projektstart.
2. Erstellung einer **Rollenmatrix** mit klarer Dokumentation.
3. Einsatz von **Access Control Lists (ACLs)** für Datei- und Ordnerebene.
4. Integration bestehender Verzeichnisdienste (z. B. LDAP, SSO).

ROLLE	RECHTEUMFANG	BEISPIELE
ADMIN	Lese-, Schreib- und Adminrechte (Vollzugriff)	IT, Tech Lead, Projektleitung
PLANER	Lesen + Schreiben (voll in Projektordnern)	Interne Fachabteilung, Konstruktion
LIEFERANTEN	Schreiben (nur eigene Assets), sonst eingeschränkt	Externe Zulieferer, Partner
MANAGEMENT	Lesen (gesamte Szene)	Geschäftsführung
KUNDE	Lesen (eingeschränkt, Präsentationen)	Projektkunde

Weitere Informationen zur technischen Umsetzung von Rechten finden Sie unter ACLs and Permissions Management — Omniverse Nucleus.

Fazit

Omniverse ist ein zentrales Werkzeug für das Industrial Metaverse. Es bietet Organisationen die Möglichkeit, ihre bestehenden Datenbestände zu integrieren, Kollaboration zu verbessern und die Basis für digitale Zwillinge zu schaffen. Mit einem klaren Einstieg über Pilotprojekte, strukturierten Rollenmodellen und einer skalierbaren Nutzung können Unternehmen den Nutzen früh realisieren und ihre digitale Transformation nachhaltig beschleunigen.

ARENA2036

TEIL B:

INFRASTRUKTUR UND ZUGANG

INDUSTRIAL METAVERSE

ARENA2036 e.V. • Pfaffenwaldring 19 • 70569 Stuttgart
Industrial Metaverse • arena2036.de/metaverse/

Kapitel 4:
Zugriffskonzept

Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt das Zugriffskonzept zum digitalen Zwilling. Ziel ist es, einen klar strukturierten Überblick über mögliche Zugriffsszenarien zu geben und Verantwortlichkeiten eindeutig darzustellen.

Motivation und Bedarf

Die zunehmende Vernetzung im Industrial Metaverse erfordert klare Regelungen zum Zugriff auf digitale Ressourcen

Unterschiedliche Rollen benötigen differenzierte Rechte. Von vollständiger Administration über Partnerzugriffe bis hin zu reinen Visualisierungen für externe Interessierte. Dieses Kapitel beschreibt die technischen und organisatorischen Maßnahmen, die diesen Bedarf abdecken.

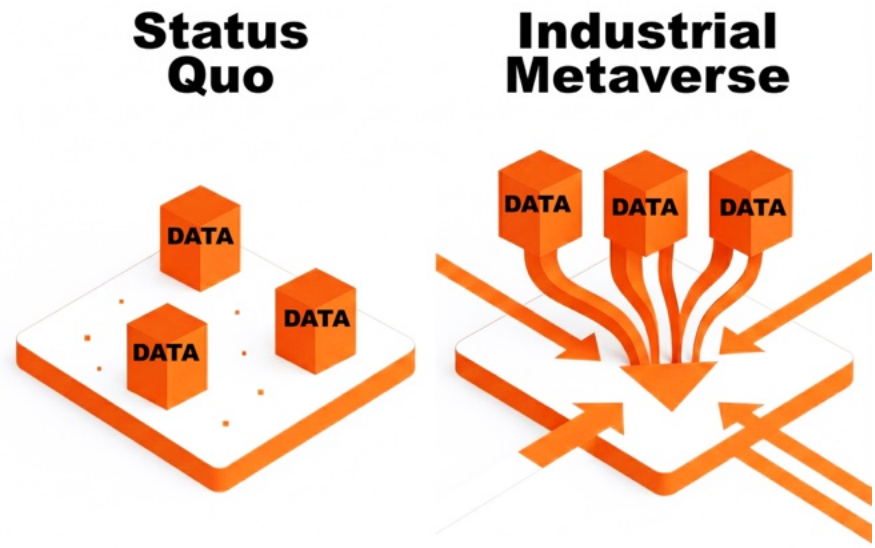


ABBILDUNG 5 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER DATENVERWALTUNG

Zugriffsszenarien

Use Case 1: Direkter Zugriff (Remote-Desktop und Vor-Ort-Server)

Dieser Anwendungsfall betrifft **den direkten Zugriff auf einen Server oder eine Workstation über Remote-Desktop oder direkt vor Ort**. Dies ist die höchste Zugriffsebene und wird nur Personen mit umfassender technischer Verantwortung gewährt. Dazu zählen Aufgaben wie das Erstellen neuer Assets für das gesamte digitale Zwillingsmodell (z. B. Rhino-Lizenzen auf der Workstation) sowie die Konfiguration und Verwaltung zentraler Nucleus-Tools, Backups und Wartung.

- **Technik:** Nutzer auf dieser Ebene haben vollen Zugriff auf Management- und Infrastrukturwerkzeuge. Der Zugriff wird einem kleinen Kreis von Personen zugewiesen, die Konfigurationen und Wartungsaufgaben durchführen, Checkpoints erstellen und sicherstellen, dass zentrale Elemente des digitalen Zwillings für andere Partner zugänglich bleiben.
- **Zugriff für:** Administratoren und zentrale technische Manager.
- **Vorteile:** Volle Kontrolle und direkte Administration.
- **Zugangsverantwortliche**: IT-Administrationsteam.

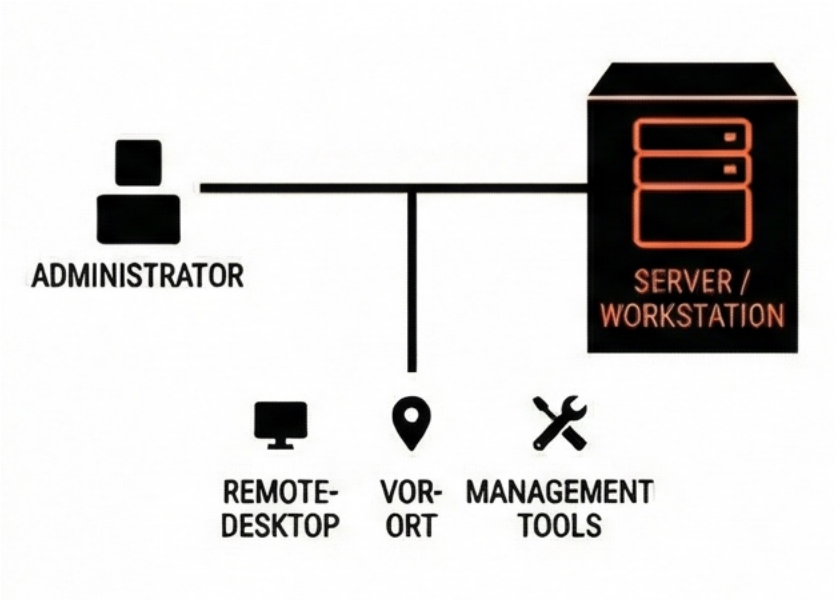


ABBILDUNG 6 DIREKTER ZUGRIFF

Use Case 2: Partnerzugriff (VPN oder lokales Netzwerk)

Dieser Anwendungsfall beschreibt den **Zugriff über VPN oder lokales Netzwerk**, der für Partnerorganisationen bereits eingerichtet wurde. Im VPN-Szenario erfolgt die Verbindung verschlüsselt über einen Tunnel. Im lokalen Netzwerk sind direkte interne Zugriffe auf Server oder Workstations möglich. In beiden Fällen sind Portfreigaben auf den beteiligten Servern notwendig.

- **Technik:** Der Zugriff erfolgt über VPN-Konfigurationen oder über das lokale Netzwerk mit entsprechenden Portfreigaben auf den Servern. Damit können Partner auf die benötigten Ressourcen zugreifen.
- **Zugriff für**: Partnerorganisationen mit VPN- oder LAN-Zugang
- **Zugangsverantwortliche**: IT-Administrationsteam

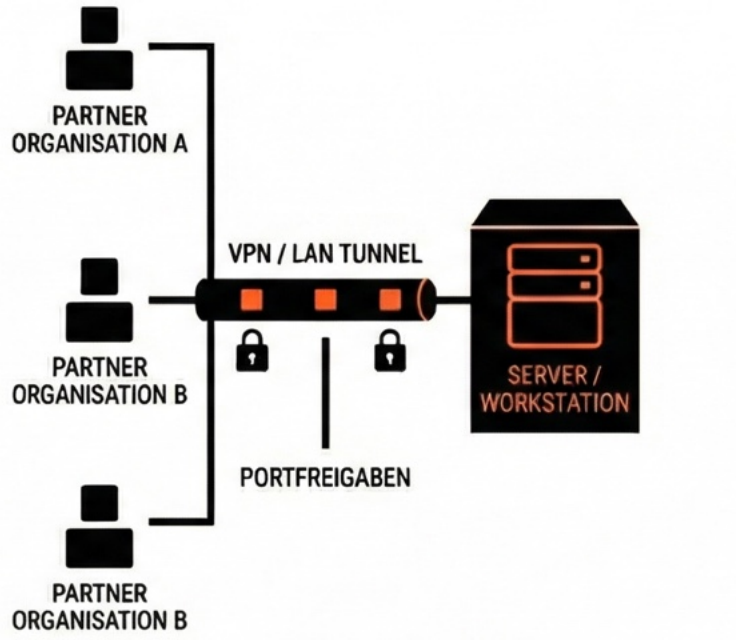


ABBILDUNG 7 PARTNERZUGRIFF

Use Case 3: Öffentlicher Zugriff als Nucleus-Cloud-Instanz

In diesem Szenario wird eine Instanz von Nucleus so betrieben, **als ob sie in der Cloud wäre**. Externe Nutzer können wie im Use Case 2 mit denselben Rollen auf die Plattform zugreifen, jedoch ohne die Einschränkungen einer Doppel-VPN-Struktur. Zusätzlich können bestimmte Zonen als Read-Only Bereiche für Demo-Nutzer freigegeben werden. Der restliche Teil der Umgebung bleibt weiterhin rollenbasiert eingeschränkt. So können Inhalte für Präsentationen oder Tests zugänglich gemacht werden, ohne die Integrität des Gesamtsystems zu gefährden.

- **Technik:** Der Zugriff erfolgt über WAN über einen Cloud-Endpoint. Nutzer authentifizieren sich über einen zentralen Authentifizierungsdienst. Demozonen werden mit Leserechten konfiguriert, während produktive Bereiche nur mit den zugewiesenen Rollen bearbeitet werden können.
- **Zugriff für**: Externe Partner und Demonutzer (Read-Only) sowie autorisierte Rollen mit erweiterten Rechten.
- **Vorteile:** Geeignet für Unternehmensumgebungen. Erlaubt Demonstrationen und externe Visualisierungen ohne zusätzliche Clientinstallation. Gleiche Rollenlogik wie beim Partnerzugriff, jedoch ohne Einschränkungen durch Doppel-VPN
- **Limitierungen:** Erfordert WAN-Portforwarding, wie im nächsten Kapitel beschrieben
- **Zugangsverantwortlicher**: das IT-Administrationsteam in Abstimmung mit der Universitäts-IT.

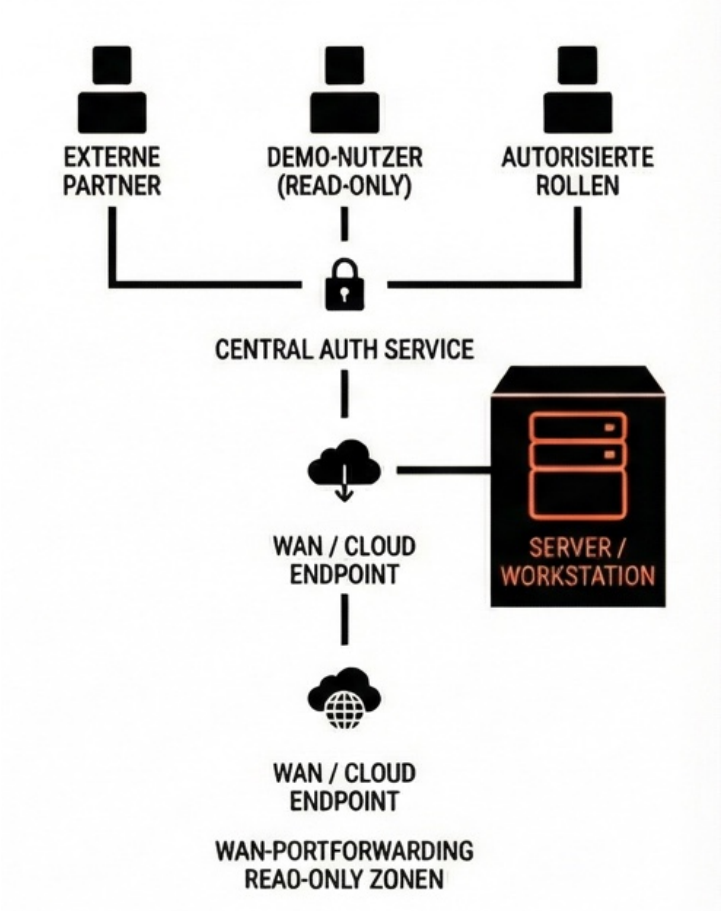


ABBILDUNG 8 CLOUD-INSTANZ

Portfreigaben und Protokolle

Die folgende Übersicht listet die relevanten Ports aus der Omniverse Nucleus Dokumentation. Für Use Case 2 (Partnerzugriff via VPN) gelten diese Anforderungen am Server und Workstation. Für Use Case 3 (Cloud/Öffentlich) gelten die gleichen Anforderungen plus zusätzliches Port Forwarding auf WAN-Ebene.

Quelle: **https://docs.omniverse.nvidia.com/nucleus/latest/ports_connectivity.html**

Nucleus Workstation (Tarox – Windows Rechner)

Zweck	TCP Port
Nucleus Core und Discovery API	3001, 3009, 3333
Prometheus Metrics	3010
Nucleus Tagging Service	3020
Nucleus System Monitor	3080, 3085
Authentication Service	3100
Authentication Web	3180
Search Service	3400
Cache Service	8891
Cache API	8892
Nucleus Navigator (Launcher)	34080

Enterprise Nucleus Server (Linux Server)

Zweck	TCP Port
Web Port*	8080 (oder 80 ohne TLS)
API Ports	3009, 3019
Prometheus Metrics	3010
Tagging Service	3020
Large File Transfer	3030
Authentication Services	3100, 3180
Discovery	3333
Search Service	3400
Service API	3006
Meta Dump	5555

Kapitel 5:
Governance-Modell und Kollaboration

Einleitung

Vision und Zielsetzung

Das Industrial Metaverse in der ARENA2036 ist weit mehr als eine 3D-Visualisierung oder ein Spielplatz für Entwickler. Es ist ein **operatives Betriebssystem für industrielle Zusammenarbeit**.

In der traditionellen Industrie arbeiten Abteilungen und Partner oft in isolierten "Silos": Das Marketing wartet auf Fotos vom fertigen Produkt, der Einkauf schätzt Materialkosten auf Basis veralteter Excel-Listen, und Ingenieure simulieren in geschlossenen Systemen. Das führt zu Missverständnissen, Verzögerungen und hohen Kosten, da Fehler oft erst in der physischen Produktion entdeckt werden.

Unser Lösungsansatz:

Wir schaffen eine "**Single Source of Truth**" (eine einzige Quelle der Wahrheit). Anstatt Daten zu kopieren, zu konvertieren und per E-Mail zu versenden, greifen alle Beteiligten – vom Ingenieur bis zum Marketingleiter – auf denselben digitalen Datensatz zu. NVIDIA Omniverse dient hierbei als die zentrale Plattform, die diese verschiedenen Welten verbindet, ohne die bestehenden Expertentools zu ersetzen.

Die Kernziele für das Business:

1. **Time-to-Market verkürzen:** Fehler werden digital behoben, bevor sie physisch existieren (Front-Loading).
2. **IP-Schutz garantieren:** Wir ermöglichen Zusammenarbeit mit externen Partnern, ohne Geschäftsgeheimnisse preiszugeben.
3. **Neue Geschäftsmodelle:** Marktplatz für digitale Dienstleistungen, in dem externe Experten (z.B. KI-Optimierer) Mehrwert liefern können.

Governance und Schutz von geistigem Eigentum (IP)

In einem offenen Innovations-Ökosystem wie der ARENA2036 kooperieren Partner, Wettbewerber und Startups. Die größte Sorge hierbei ist oft:

"Wie teile ich meine Innovation, ohne mein Know-how zu verlieren?"

Unsere Governance-Strategie löst dieses Dilemma durch das Prinzip der **selektiven Transparenz**.

Das Konzept: "Deep Twin" vs. "Digital Shadow"

Wir unterscheiden technisch und organisatorisch zwischen dem, was *ist* (Deep Twin), und dem, was *gezeigt wird* (Digital Shadow).

Der Volle Digitale Zwilling (The Deep Twin):

Dies ist das "Gehirn" des Produkts. Es enthält den Quellcode, patentierte Algorithmen und die exakte Materialzusammensetzung.

- **Sicherheitsstatus:** Streng vertraulich. Verlässt niemals den Server des Eigentümers.

Der Digitale Schatten (The Exchange Shadow):

Dies ist die "Hülle". Stellen Sie es sich wie das Gehäuse eines Smartphones vor: Man sieht die Form, die Anschlüsse und den Bildschirm, aber nicht die verschalteten Mikrochips im Inneren.

- Der Schatten enthält nur Geometrie (für Kollisionstests) und definierte Schnittstellen.
- **Funktion:** Er ermöglicht Partnern, das Gerät in ihre Fabrik einzuplanen, ohne das geistige Eigentum dahinter zu verstehen.

ABBILDUNG 9 "DEEP TWIN" VS. "DIGITAL SHADOW"

Der Marktplatz für externe Agenten

Durch diese Trennung verwandelt sich die Plattform in einen Marktplatz. Externe Experten (KI-Startups, Design-Agenturen) können ihre *Skills* auf den "Schatten" anwenden.

Beispiel: Ein KI-Startup optimiert die Bewegungsabläufe eines Roboters, indem es nur Zugriff auf dessen Gelenkdaten (Schatten) erhält, aber nicht auf die proprietäre Steuerungssoftware des Herstellers.

Interne Kollaboration: Von Silos zu Synergien

Die Einführung des Industrial Metaverse bricht die internen Grenzen auf. Daten fließen nicht mehr linear (von A nach B), sondern zirkulär um das Produkt herum.

- **Engineering und R&D (Forschung & Entwicklung):**
  Nutzen die Plattform für physikalisch korrekte Simulationen. Wenn ein Bauteil hier geändert wird, ändert es sich für alle.
- **Marketing und Vertrieb:**
  Müssen nicht mehr auf physische Prototypen warten. Sie nutzen den "Deep Twin", um fotorealistische Bilder (Virtual Photography) oder interaktive Kundendemos zu erstellen, noch bevor das Produkt physisch gebaut wurde.
- **Procurement (Einkauf) und Planung:**
  Der "Hidden Champion" der Plattform. Da der digitale Zwilling alle Metadaten enthält, kann der Einkauf in Echtzeit sehen: "*Wenn wir das Design ändern, benötigen wir 20% mehr Aluminium*."

Externe Kollaboration im Ökosystem

Die Kollaboration über Unternehmensgrenzen hinweg (z.B. zwischen einem Autohersteller und einem Zulieferer) wird durch das oben genannte Governance-Modell sichergestellt.

- **Szenario:** Ein Zulieferer stellt eine neue Produktionsanlage als "Digitalen Schatten" bereit.
- **Workflow:** Der Integrator lädt diesen Schatten in seine Fabrikplanung. Er kann Taktzeiten und Reichweiten simulieren und prüfen, ob der Roboter in die Zelle passt.
- **Ergebnis:** Sichere Co-Innovation im "Omniverse". Der OEM plant sicher, und der Zulieferer behält sein Betriebsgeheimnis.

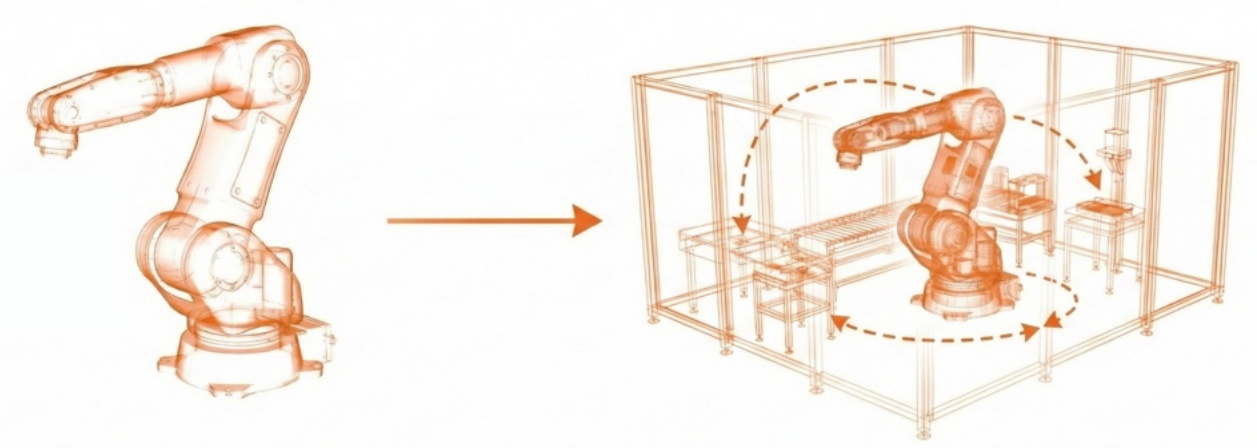


ABBILDUNG 10 EXTERNE KOLLABORATION

Technische Umsetzung: Workflows & Sicherheit

Damit diese Vision Realität wird, setzen wir auf robuste Technologien, die im Hintergrund laufen.

Sicherheit durch Rollen und Zonen (RBAC)

Wir nutzen ein Sicherheitsmodell, das vergleichbar mit modernen Cloud-Speichern ist, aber für 3D-Daten optimiert wurde.

- **Rollenbasierter Zugriff (RBAC):** Jeder Nutzer hat genau definierte Rechte (Lesen, Schreiben, Administrieren).
- **Zonen-Freigabe:** Wir können den Zugriff räumlich begrenzen. Ein externer Architekt darf beispielsweise Wände verschieben, aber nicht die Maschinen in der Halle berühren.

Der Gold-Standard: LiveSync (Synchroner Workflow)

Omniverse LiveSync ist die bevorzugte Methode für Echtzeit-Kollaboration bei vertrauenswürdigen Partnern oder internen Teams.

- **Funktionsweise:** Verschiedene Nutzer arbeiten in ihren gewohnten Tools (z.B. Maya, Unreal Engine, Revit). Über "Omniverse Connectors" werden Änderungen bidirektional synchronisiert.
- **Vorteil:** "What you see is what you get" für alle Beteiligten ohne Export-Verluste.

Asynchrone Workflows & Import

Für externe Partner oder Tools ohne LiveSync-Anbindung greifen Import-Pipelines basierend auf USD (Universal Scene Description).

- **Daten-Ingest:** Daten aus Nischen-Software werden in USD konvertiert.
- **Schatten-Erstellung:** In diesem Schritt kann automatisiert der "Deep Twin" auf den "Exchange Shadow" reduziert werden, bevor er externen Partnern zur Verfügung gestellt wird.

für Entwickler, um Anwendungen zu entwickeln, die auf Real-Time-Daten reagieren.

Kapitel 6:
Struktur der digitalen Ressourcen

Einleitung

Dieses Kapitel bietet eine umfassende Übersicht über die technische Struktur und Organisation des Projekts **Industrial Metaverse** in ARENA2036. Ziel ist es, sowohl technischen als auch nicht-technischen Akteuren einen klaren Überblick darüber zu geben, wie Ressourcen organisiert sind und wie der Zugriff auf verschiedene Dateitypen innerhalb der digitalen Umgebung erfolgt.

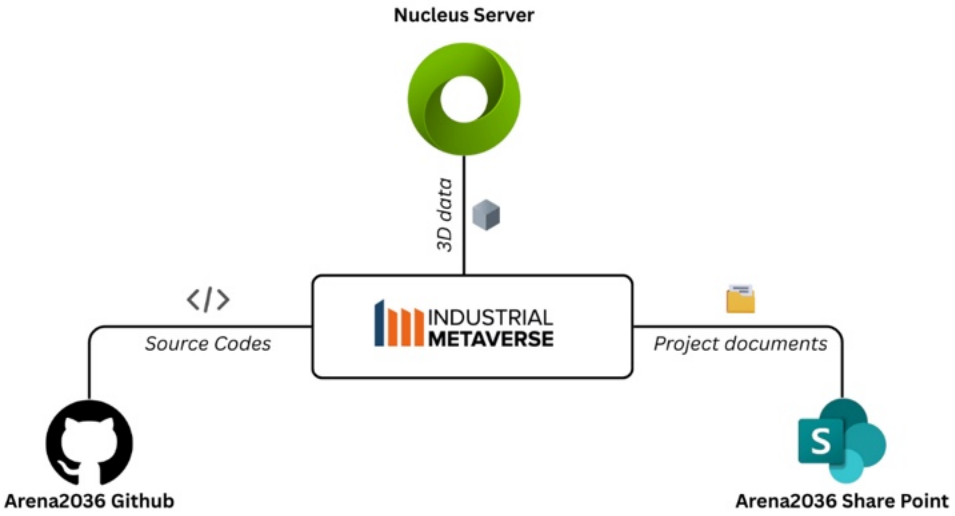


ABBILDUNG 11DIAGRAMM DES PROJEKT-ÖKOSYSTEMS MIT BEZIEHUNGEN ZWISCHEN NUCLEUS, GITHUB UND SHAREPOINT)

Motivation und Bedarf

Das Projekt **Industrial Metaverse** verwendet die Plattform **Omniverse** von NVIDIA als erste technische Lösung zur Umsetzung eines digitalen Zwillings. Die zugrunde liegende Struktur orientiert sich an den Anforderungen moderner kollaborativer Industrieprojekte und fördert die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure: Entwickler, Ingenieure, Forscher und Stakeholder.

Diese Struktur vermeidet unnötige Komplexität, indem jeder Rolle genau die Werkzeuge und Plattformen zugeordnet werden, die ihren Anforderungen entsprechen.

Die Entscheidung für bestimmte Werkzeuge und Speicherorte wurde bewusst getroffen, basierend auf der Expertise der Beteiligten, dem Projektumfang und der geplanten Skalierung.

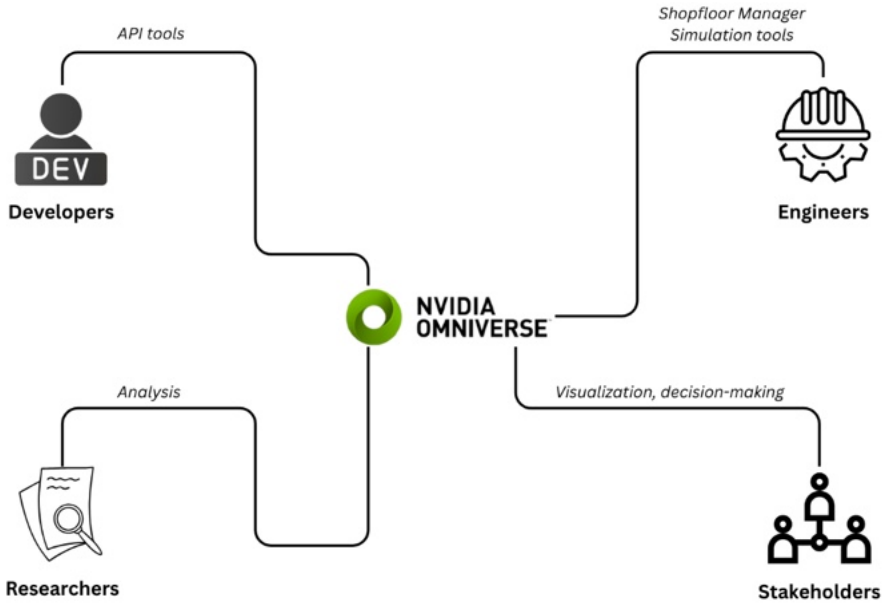


ABBILDUNG 12 ZUORDNUNG VON ROLLEN ZU PLATTFORMEN

Struktur der digitalen Ressourcen

SharePoint und Management Share Folder

SharePoint dient als zentrale Plattform für allgemeine Projektdokumente: Einführungsunterlagen, Leitfäden, Prozessdiagramme und technische Anleitungen. Zusätzlich befinden sich hier Anleitungen zur Nutzung des Nucleus Servers sowie relevante Präsentationen.

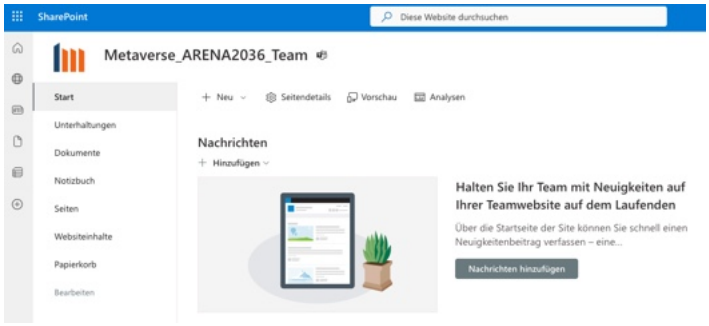


ABBILDUNG 13 ORDNERSYSTEMS IN SHAREPOINT

- **Zugriff für:** ARENA2036-Mitarbeiter, Mitglieder, externe Dienstleister. (Projektmanager, nicht-technische Rollen)
- **Nicht erforderlich für:** Entwickler, die ausschließlich mit Quellcode arbeiten
- **Zugangsverantwortliche:** Metaverse Koordination

Nucleus Server

Der Nucleus Server dient als zentrales Repository für 3D-Modelle und digitale Szenen innerhalb des Omniverse-Ökosystems. Technische Anwender nutzen diesen Speicherort zur Bearbeitung, Versionierung und Verwaltung digitaler Assets.

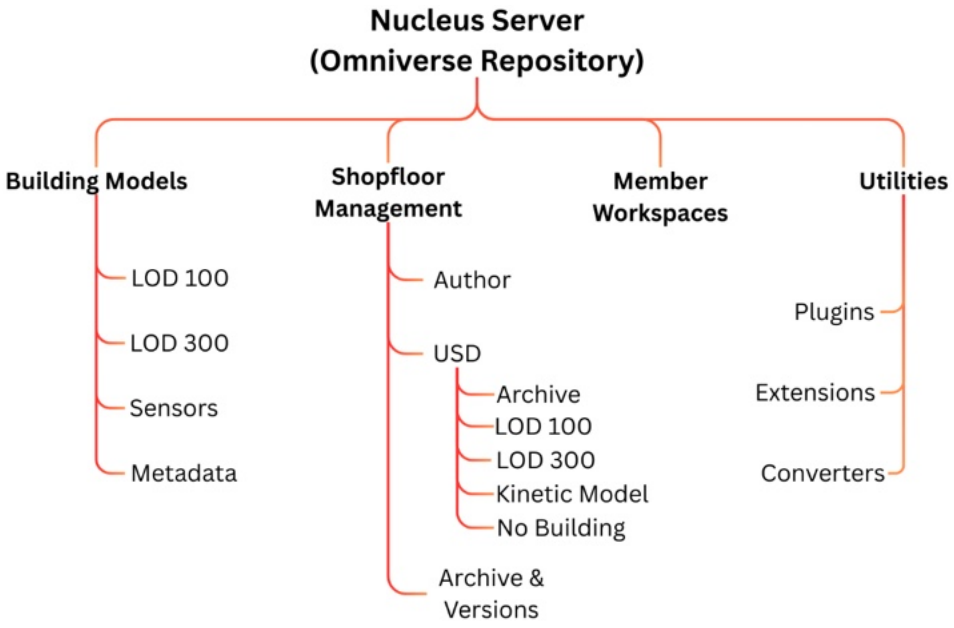


ABBILDUNG 14 FLUSSDIAGRAMM ZUR ASSET-VERWALTUNG IM NUCLEUS SERVER

- **Zugriff für:** Entwickler, Simulationstechniker, 3D-Artists
- **Nicht erforderlich für:** Nicht-technische Rollen
- **Zugangsverantwortlicher:** Technische Koordination

GitHub (Organisation ARENA2036)

GitHub wird als Plattform für die Verwaltung von Quellcode, Skripten und Entwicklungsprojekten verwendet. Technische Nutzer können Repositories klonen, Issues verfolgen und gemeinsam Softwarekomponenten pflegen.

Ein öffentliches Repository für die Generierung synthetischer Daten (Replicator, IsaacSim) dient bereits als funktionierendes Beispiel.

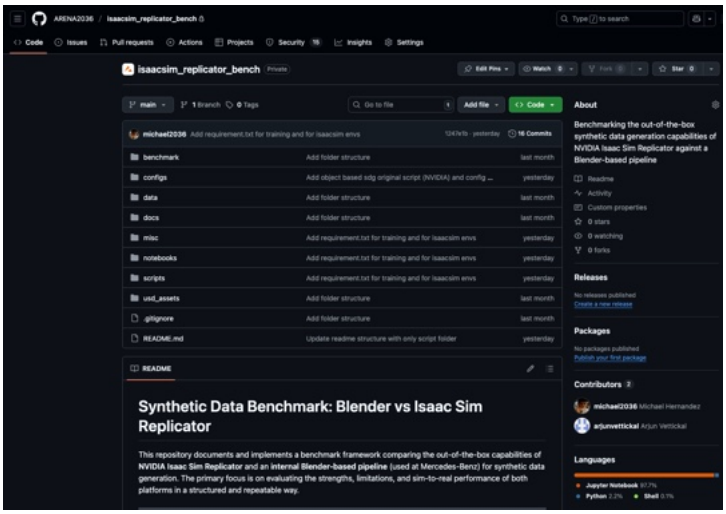


ABBILDUNG 15 GITHUB-REPOSITORIES MIT README UND ORDNERSTRUKTUR

- **Zugriff für**: Entwickler, Data Engineers, Systemintegratoren
- **Nicht erforderlich für**: Management, Stakeholder ohne technischen Hintergrund
- **Zugangsverantwortlicher**: Technische Koordination

Arbeitsflüsse und Zugangslogik

Die Arbeitsprozesse sind so gestaltet, dass jeder Beteiligte die für seine Rolle relevante Plattform effizient nutzen kann:

- Entwickler nutzen GitHub zur Verwaltung von Code und Workflows.
- Techniker arbeiten im Nucleus Server mit digitalen Zwillingen.
- Stakeholder greifen über SharePoint auf strukturierte Informationen zu.

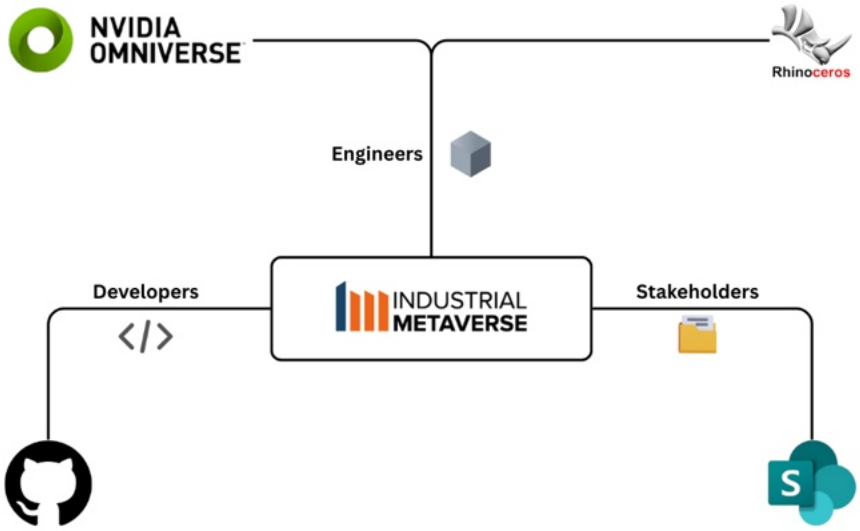


ABBILDUNG 16 VISUELLES DIAGRAMM MIT ROLLEN UND ZUGRIFFSPFADEN

Diese klare Trennung sorgt für Transparenz, Ressourcenschutz und Effizienz.

ARENA2036

TEIL C:

WORLD BUILDING

INDUSTRIAL METAVERSE

ARENA2036 e.V. • Pfaffenwaldring 19 • 70569 Stuttgart
Industrial Metaverse • arena2036.de/metaverse/

Kapitel 7:
Workflows zur Erstellung und Integration von 3D-Assets (draft)

Einleitung

Diese Leitlinie beschreibt die zentralen Workflows zur Erstellung, Bearbeitung und Integration von 3D Assets im Industrial Metaverse der ARENA2036. Sie stellt die beiden Ansätze Brown Field (Bestandserfassung) und White Field (Neuentwicklung) dar und erläutert, welche Alternativen für Generierung, Import, Bearbeitung und Speicherung der Daten zur Verfügung stehen

Ziel dieses Kapitel ist es, eine klare Orientierung für alle Projektbeteiligten zu schaffen, wie 3D Assets erstellt, aufbereitet, importiert und im Industrial Metaverse abgelegt werden können. Es zeigt die unterschiedlichen Workflows auf und stellt sicher, dass für jede Situation – ob Bestandserfassung oder Neuentwicklung – ein geeigneter Pfad zur Verfügung steht.

Grundlage bilden die Anforderungen des Anforderungskatalogs.

Motivation und Bedarf

Die wachsende Komplexität industrieller Digital Twin Szenarien erfordert flexible Wege zur Erstellung und Integration von 3D Assets. Unterschiedliche Anwendungsfälle, von der Bestandserfassung bis zur CAD gestützten Neuentwicklung, müssen unterstützt werden.

Ein einheitlicher Rahmen ist notwendig, um:

- Medienbrüche zu vermeiden.
- Interoperabilität zwischen verschiedenen Tools zu gewährleisten.
- Daten konsistent im Nucleus zu verwalten.
- Governance und Freigabeprozesse transparent zu regeln.

Datenaufnahme auf einen Blick

Für das Projekt stehen drei gleichwertige Wege der Datenaufnahme zur Verfügung. Alle drei werden unterstützt und sind kombinierbar:

Direkt in Omniverse

Import von 3D Daten mit dem CAD Converter innerhalb von Omniverse. Unterstützt gängige Austauschformate und ermöglicht einen direkten und einfachen Weg in den Zwilling.
Referenz: Omniverse CAD Converter.

- Über ein Proxy Expertentool
- Nutzung eines DCC Werkzeugs wie Blender zur Aufbereitung, Optimierung oder Konvertierung. Der Export erfolgt danach direkt als USD zur Ablage in Nucleus.
- Andere Suiten mit Live Verbindung oder direktem USD Export. Mehrere CAD und DCC Suiten bieten native Connectoren für Live Sync oder einen direkten USD Export. So können Modelle ohne Zwischenschritt in den Zwilling übertragen werden.
  Referenz: Omniverse Connectors.

Workflow 1: Brown Field (Bestandserfassung durch Scanning)

Dieser Ansatz dient zur Erfassung bestehender Objekte, Anlagen oder Gebäude.

Schritte zur Geometrieerzeugung

1. Laser Scanning: Erstellung präziser Punktwolken.
2. Photogrammetrie: Nutzung von Bildsequenzen zur Rekonstruktion komplexer Formen.
3. Gaussian Splats: Moderne Methode zur dichten 3D Rekonstruktion für immersive Umgebungen.

Verarbeitung

4. Import der Punktwolken oder Meshes in Expertentools wie Blender oder MeshLab.
5. Retopologie und Vereinfachung, um optimierte Geometrien zu erzeugen.
6. Generierung von parametrischen Geometrien auf Basis der Scan Referenz, um die Datenmenge zu reduzieren und die Interoperabilität zu erhöhen.
7. Import in das Industrial Metaverse

Direkter Import in Omniverse über den CAD Converter.

Nutzung von Proxy Tools wie Blender für Aufbereitung und USD Export.

Speicherung im User Space von Nucleus oder Integration in den allgemeinen digitalen Zwilling nach Freigabe.

Texturen und Materialien

UV Mapping für die korrekte Platzierung von Texturen.

PBR Materialien für photorealistische Darstellung (Albedo, Roughness, Metallic, Normal, AO).

Materialbibliotheken werden in Nucleus bereitgestellt.

Workflow 2: Green Field (Neuentwicklung und Konstruktion)

Dieser Ansatz dient zur Erstellung von Geometrien in Planung und Design.

Schritte zur Geometrieerzeugung

CAD Modelle aus Planung und Konstruktion, zum Beispiel Rhino, Revit, CATIA, SolidWorks.

Direkte Modellierung in DCC Tools wie Blender oder Maya.

Nutzung parametrischer Modellierung für flexible Variantenbildung.

Verarbeitung

Modellierung im nativen Tool.

Export in Standardformate wie STEP, IGES, JT, FBX, STL.

Direkter USD Export oder Live Sync über Connectoren, wenn verfügbar.

Import in das Industrial Metaverse

Direkter Import in Omniverse über CAD Converter.

Nutzung von Live Connectoren für Echtzeit Synchronisation, zum Beispiel Rhino Connector.

Speicherung im User Space von Nucleus oder Integration in den globalen Zwilling nach Abstimmung.

Texturen und Materialien

Optionales UV Mapping und PBR Materialien auch für CAD Modelle, um photorealistische Szenen zu erzeugen.

Nutzung gemeinsamer Materialbibliotheken.

Gebäudemodell und Bearbeitung

Das Gebäudemodell des Projekts wurde ursprünglich in Rhino erstellt. Bearbeitungen erfolgen über die bestehende Rhino Lizenz, zugänglich auf der Tarox Workstation via RDP.

Speicherung, Nutzerbereiche und Freigabe

Nach dem Import stehen folgende Speicheroptionen zur Verfügung:

Lokal auf der genutzten Workstation für Tests und Zwischenstände.

User Space in Nucleus (privater Bereich pro Nutzer) für eigene Modelle und Arbeitsstände.

Soll eine Geometrie für den allgemeinen digitalen Zwilling freigegeben werden, ist Michael Hernández zu kontaktieren, damit die Integration strukturiert und konsistent erfolgt. Weitere Hinweise zu Backups finden sich in der Dokumentation zum Thema Sicherung.

Zusammenfassung

Das Industrial Metaverse der ARENA2036 unterstützt sowohl den Brown Field Ansatz mit Scanning und Rekonstruktion als auch den White Field Ansatz mit CAD und Design. Für beide Fälle stehen klare Alternativen zur Generierung, Aufbereitung und Datenaufnahme bereit.

Kapitel 8:
Technische Leitlinie zur Integration von Punktwolken (draft)

Einleitung

Der Fokus liegt auf der korrekten Übernahme, Strukturierung und Konvertierung von Punktwolken (.e57, .las, .laz) und ihrer Einbettung.

Motivation

Punktwolken liefern die realitätsnächste Erfassung. Eine standardisierte Vorgehensweise ist notwendig, um Dateigrößen zu optimieren (Milliarden Punkte) und Kompatibilität mit Omniverse sicherzustellen.

Schritt-für-Schritt Workflow

1. **Datenquelle prüfen:** Formate prüfen (.e57 bevorzugt). Dokumentation sichern. Ablage im Ordner "00_Author".
2. **Vorbereitung:** Dateien eindeutig benennen (z.B. PC_Halle1_Scan01_...).
3. **Import & Sichtprüfung:** Öffnen in CloudCompare/ReCap. Prüfung auf Vollständigkeit und Ausrichtung (Z-Up).
4. **Datenreduktion (Kritisch):** Anwendung von Filtern (Rauschunterdrückung), Reduktion der Punktdichte (Subsampling), Segmentierung (Clipping).
5. **Konvertierung:** Export als .usd via Omniverse Pointcloud Extension. Ablage in 01_USD.
6. **Integration:** Laden in USD Composer. Prüfung des Maßstabs (1:1).

[BILD: Screenshot aus CloudCompare - Vor/Nach Bereinigung]

Kapitel 9:
Anleitung zur Asset-Erstellung mit Rhino

Einleitung

Diese technische Leitlinie beschreibt die Vorgehensweise zur Erstellung und Bearbeitung von 3D-Assets mit Rhino im Rahmen des Projekts Industrial Metaverse an der ARENA2036. Sie dient als Orientierung für alle Beteiligten, die neue Inhalte in den digitalen Raum einbringen oder bestehende Strukturen anpassen möchten.

Der Fokus dieses Dokuments liegt auf der Generierung und Bearbeitung von statischen Objekten. Gemeint sind Elemente, die sich im digitalen Zwilling nur selten oder gar nicht dynamisch verändern und somit keiner kontinuierlichen Aktualisierung bedürfen. Beispiele sind architektonische Bauelemente, Möbel oder Maschinengehäuse.

Hinweis: Dieses Dokument ist keine Einführung in die Nutzung von Rhino als Expert-Tool. Es beschreibt ausschließlich den Workflow zur Erstellung und Integration statischer Objekte für das Industrial Metaverse.

(Obwohl dieser Leitfaden Rhino als primäres Beispiel für den Workflow der ARENA2036 verwendet, gelten die Prinzipien des USD-Exports und der strikten Namenskonventionen gleichermaßen für andere CAD-Tools wie SolidWorks, Catia oder Revit.)

Das Ziel ist es, Beteiligten eine klare Anleitung zur Erstellung von 3D-Inhalten für die ARENA-Struktur zu geben. Im Fokus stehen:

- Hinzufügen statischer Objekte zur Erweiterung des Modells
- Änderungen oder Verbesserungen an der architektonischen Struktur

Das Dokument beschreibt außerdem:

- Speicherort der Quelldateien auf dem **Nucleus-Server**
- Ablage der exportierten **USD-Dateien** für Omniverse
- Es dient somit als Leitfaden zur gezielten Erweiterung und Anpassung des digitalen Raums der Arena.

Motivation und Bedarf

Die Erstellung standardisierter Assets ist notwendig, um die Konsistenz und Qualität der im Industrial Metaverse genutzten 3D-Inhalte sicherzustellen. Eine saubere Struktur, klare Abläufe und nachvollziehbare Schritte helfen:

- Fehler bei Export und Integration zu reduzieren,
- eine effiziente Zusammenarbeit zwischen Partnern zu gewährleisten,
- und die Nachhaltigkeit der Datenhaltung zu sichern.

Gerade bei statischen Objekten ist es wichtig, eine einheitliche Vorgehensweise zu haben, da diese in der Regel langfristig Bestand haben und als Fundament für dynamischere Szenarien dienen. **Dabei ist es imperativ, die vorgegebene Ordnerstruktur einzuhalten, damit das Rhino-Plugin fehlerfrei funktioniert** und automatische Updates sowie Sicherungsfunktionen korrekt ausgeführt werden.

Erstellung und Bearbeitung von Assets

Übersicht Workflow

Schritt	Ziel	Ergebnis
0	Omniverse Drive prüfen und einbinden	Zugriff auf Nucleus-Dateien wie auf Laufwerk O:
1	Vorbereitung in Rhino	Modell geladen, Arbeitsumgebung definiert
2	Modellierung der Assets	Fertiges 3D-Modell in Rhino, statische Objekte nach Unreal-Namenskonvention
3	Speicherung der Quelldateien	.3dm-Dateien im Author-Verzeichnis
4	Export in USD	USD-Dateien im USD-Verzeichnis
5	Integration und Prüfung in USD Composer	Überprüfung von Maßstab, UV-Maps, NURBS und Materialien
6	Freigabe	Asset synchronisiert, im Projekt für alle zugänglich

0. Omniverse Drive prüfen und einbinden

Zunächst wird geprüft, ob der Omniverse Drive bereits als Laufwerk O: eingebunden ist. Falls dies nicht der Fall ist, erfolgt die Einbindung über den Omniverse Launcher. Dabei wird das Tool Omniverse Drive installiert, ein Server hinzugefügt und ein lokaler Ordner als Zielmontagepunkt ausgewählt. Anschließend erscheinen die Inhalte des Nucleus-Servers wie ein normales Laufwerk im Windows Explorer.

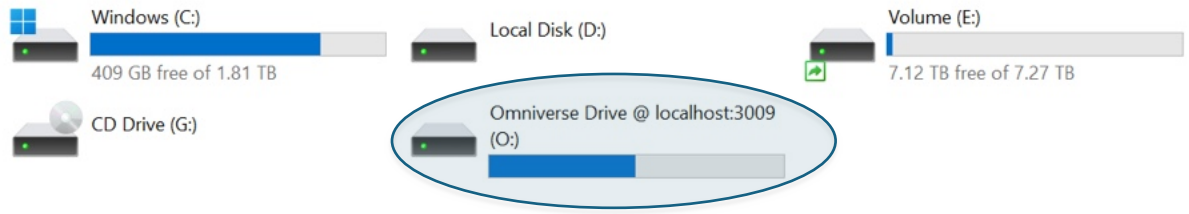


ABBILDUNG 17 OMNIVERSE DRIVE IM WINDOWS EXPLORER

1. Vorbereitung in Rhino

Das Architekturmodell wird geöffnet, und die aktuelle Version wird aus dem Nucleus-Server geladen. Zusätzlich wird die Projektstruktur überprüft, um den relevanten Arbeitsbereich auszuwählen.

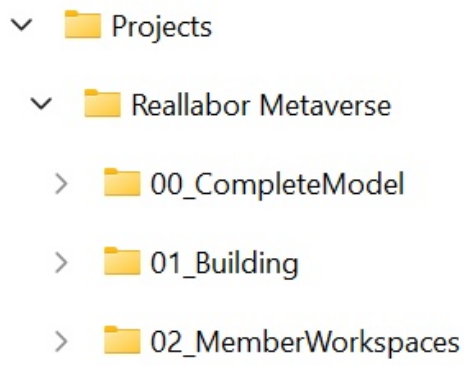


ABBILDUNG 18 PROJEKTSTRUKTUR IM EXPLORER

2. Modellierung der Assets

In dieser Phase werden neue Assets im Rhino-Format erstellt oder bestehende Objekte angepasst. Wichtige Punkte:

- Einheitliche Benennung und Layer-Struktur verwenden.
- Maßstab und Einheiten gemäß Projektvorgaben einhalten.
- Statische Objekte modellieren, die keine dynamischen Veränderungen erfordern.

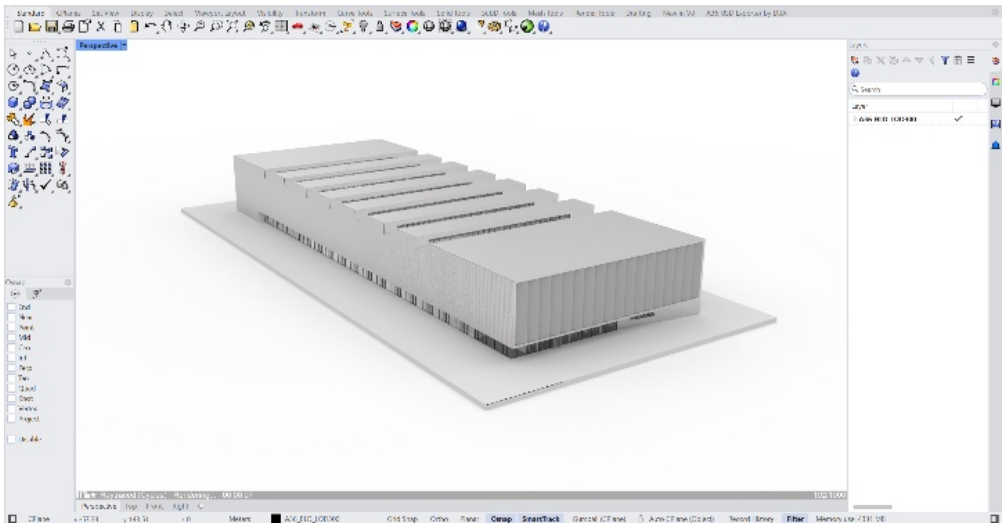


ABBILDUNG 19 RHINO-ARBEITSBEREICH MIT MODELLIERUNG

3. Speicherung der Quelldateien

Für die Speicherung der Quelldateien wird die Namenskonvention von Unreal Engine angewendet. Da es sich bei den meisten Rhino-Objekten um statische Meshes handelt, wird der Präfix „SM_“ verwendet. Beispiele:

- SM_Table_v01.3dm
- SM_MachineHousing_v02.3dm

Die nativen .3dm-Dateien werden im Author-Verzeichnis des Nucleus-Servers gespeichert.

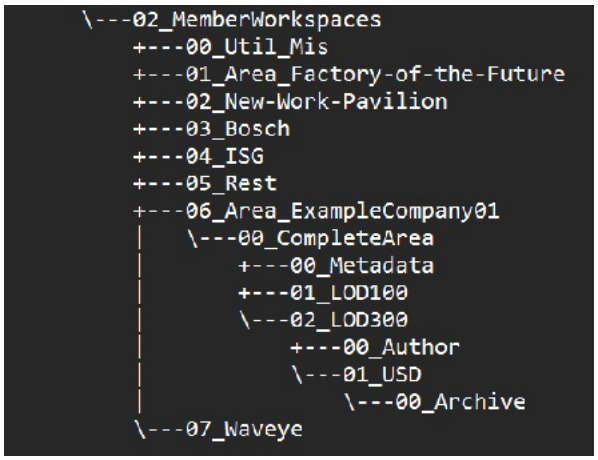


ABBILDUNG 20 ORDNERSTRUKTUR MIT AUTHOR-VERZEICHNIS

4. Export in USD

Mit Hilfe des Rhino-Plugins wird das Asset ins USD-Format exportiert.

Die exportierte Datei wird im USD-Verzeichnis auf dem Nucleus-Server abgelegt.

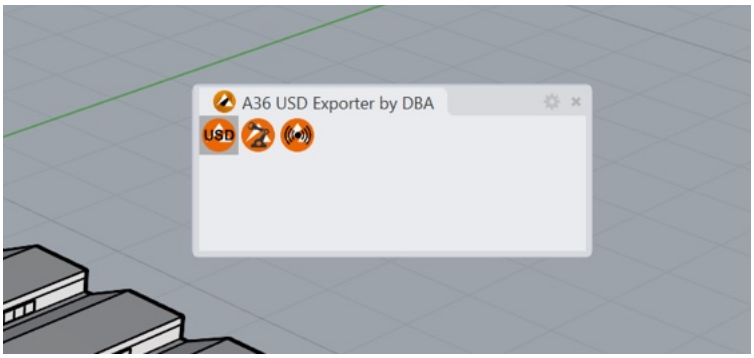


ABBILDUNG 21 RHINO-PLUGIN UND EXPORT-BUTTON

5. Integration und Prüfung in USD Composer

Das exportierte Asset wird in USD Composer geöffnet und kurz überprüft. Wichtig ist dabei, dass Maßstab, UV-Maps, NURBS und Materialien korrekt übernommen wurden. Falls Probleme auftreten, erfolgt eine Anpassung in Rhino und ein erneuter Export.

ABBILDUNG 22 ASSET IN USD COMPOSER GEÖFFNET MIT SICHTBARER MAßKONTROLLE UND MATERIALDARSTELLUNG

Quick-Check-Liste:

1. Maßstab und Abmessungen korrekt
2. UV-Maps sauber exportiert
3. NURBS und Geometrie fehlerfrei
4. Materialien und Texturen korrekt
5. Asset im richtigen Verzeichnis
6. Benennung nach Unreal-Konvention: z.B „SM_“ Präfix für Static Meshes

6. Freigabe

Wenn der Schritt 0 zur Einbindung des Omniverse Drive durchgeführt wurde und alle weiteren Schritte wie beschrieben umgesetzt sind, ist das Asset automatisch im gemeinsamen Bereich des Nucleus-Servers verfügbar. Die Dateien bleiben direkt mit dem Nucleus synchronisiert und sind somit für alle Personen mit Zugriff auf das Projekt RealLabor der ARENA2036 zugänglich.

Kapitel 10: (DRAFT)
Grundlagen der Kinematisierung

10.1 Einleitung

Damit Assets bewegt werden können (z.B. Roboterarme), müssen sie kinematisiert werden. Ein statisches Mesh aus Rhino reicht hierfür nicht aus.

10.2 Workflow

1. **Hierarchie:** Teile logisch strukturieren (Base -> Link_1 -> Link_2). Xform Container nutzen.
2. **Physics:** Rigid Body und Colliders (Convex Hull) hinzufügen.
3. **Joints:** Gelenke definieren (Revolute für Drehung, Prismatic für Schieben). Limits setzen.
4. **Root:** Articulation Root auf das Basis-Objekt setzen.
5. **Test:** "Play" drücken und Gelenke manuell bewegen.

ARENA2036

TEIL D:

BETRIEB UND KONNEKTIVITÄT

INDUSTRIAL METAVERSE

ARENA2036 e.V. • Pfaffenwaldring 19 • 70569 Stuttgart
Industrial Metaverse • arena2036.de/metaverse/

Kapitel 11:
Workflows zur Asset-Connectivity

Einleitung

Ein bidirektionaler Informationsfluss zwischen physischen Assets und ihren virtuellen Abbildern ist für viele zentrale Anwendungsszenarien des Industrial Metaverse Grundvoraussetzung. Erst durch den automatisierten, kontinuierlichen und bidirektionalen Datenaustausch[1] können Zustände präzise abgebildet, Prozesse in Echtzeit überwacht und Entscheidungen datenbasiert unterstützt werden. Dadurch entstehen nicht nur Effizienzgewinne, sondern auch neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Mensch, Maschine und digitalen Services.

Ziel des Kapitels

Dieses Kapitel soll interessierten Lesern eine Orientierung darüber geben, wie ein bidirektionaler Datenfluss zwischen dem Industrial Metaverse und Assets umgesetzt werden kann. Ein solcher Prozess wird am Beispiel einer Roboteranlage mit industrieller Steuerung exemplarisch, jedoch mit Referenzcharakter, dargestellt. Die Software Collectu (**https://collectu.de**) bildet dabei die Grundlage für die Umsetzung der Asset-Connectivity. Sie fungiert als verbindendes Element zwischen den verschiedenen Schnittstellen und Systemen.

Motivation und Bedarf

Die kontinuierlich zunehmende Komplexität industrieller Produktionsprozesse macht neue Ansätze erforderlich, um Daten aus physischen Assets effizient zu nutzen und in wertschöpfende Prozesse zu überführen. Für die Erfüllung der steigenden Anforderungen an Effizienz, Robustheit und Flexibilität sind klassische Datenerfassungssysteme, die lediglich Informationen sammeln und visualisieren, nicht mehr ausreichend. Dies betrifft nicht nur die vertikale Vernetzung von der Fertigungsebene bis zur Managementebene, sondern insbesondere auch die horizontale, unternehmensübergreifende Vernetzung, also die Verbindung von Prozessen und Systemen entlang der Wertschöpfungskette.

---

[1] Kritzinger et al. definieren Digitale Modelle, Digitale Schatten und Digitale Zwillinge. Die Ausprägungen unterscheiden sich hinsichtlich des Datenaustausches zwischen dem digitalen und dem physischen Objekt. Beim Digitalen Modell findet ausschließlich ein manueller Datenfluss statt. Beim Digitalen Schatten findet ein automatisierter Datenfluss vom physischen zum digitalen Objekt statt. Eine Änderung am physischen Objekt bewirkt somit eine Änderung des Digitalen Schattens. Beim Digitalen Zwilling hingegen findet ein bidirektionaler automatisierter Datenaustausch statt.

In diesem Kontext ist der Aufbau geschlossener Regelkreise entscheidend. In diesen werden Daten nicht nur erfasst, sondern auch automatisiert verarbeitet, interpretiert und in Form von Rückmeldungen an die Assets und die beaufsichtigenden Personen übermittelt. Dieser bidirektionale Informationsfluss bildet die Grundlage für kognitive Automatisierung und ist somit ein differenzierender, effizienzsteigernder und folglich wettbewerbsentscheidender Faktor im Kontext des Industrial Metaverses.

Der konkrete Bedarf ergibt sich aus mehreren Dimensionen:

- **Transparenz:** Durchgängige Sichtbarkeit von Maschinenzuständen und Produktionsfortschritten schafft die Basis für datengetriebene Entscheidungen.
- **Effizienz:** Virtuelle Modelle ermöglichen es, Optimierungen vorab zu testen und sicher in reale Produktionsprozesse zu übertragen.
- **Flexibilität:** Steuerungsänderungen und Parametrierungen können ohne Eingriffe in die physische Anlage simuliert und validiert werden.
- **Sicherheit:** Frühzeitige Erkennung von Anomalien oder Fehlfunktionen erlaubt präventives Handeln und reduziert Ausfallrisiken.

Über den aktuellen Nutzen hinaus eröffnet die Asset-Connectivity auch Perspektiven für die zukünftige Nutzung von KI-Agenten und selbstlernenden Systemen. Diese können beispielsweise als autonome Akteure innerhalb des Industrial Metaverse auftreten:

- **KI-Agenten** analysieren kontinuierlich Betriebsdaten, leiten Handlungsempfehlungen ab oder stoßen eigenständig Maßnahmen an.
- **Multi-Agenten-Systeme** koordinieren komplexe Produktionsketten und reagieren flexibel auf Störungen oder Nachfrageänderungen.
- In Kombination mit **generativen KI-Modellen** können neue Prozessvarianten entworfen und automatisiert validiert werden.

Mittelfristig entsteht somit eine Vision, in der physische Anlagen, digitale Zwillinge und KI-Agenten in einem selbstorganisierten Ökosystem zusammenwirken. Dadurch sind nicht nur hochgradig resiliente Produktionsnetzwerke möglich, sondern auch völlig neue Geschäftsmodelle wie Pay-per-Use von Produktionskapazitäten oder adaptive Serviceangebote.

Damit wird deutlich, dass Workflows zur Asset-Connectivity ein erster, unverzichtbarer Baustein für die Verwirklichung dieser Visionen sind. Unternehmen, die frühzeitig auf diese Entwicklung setzen, sichern sich operative Effizienzgewinne und einen strategischen Vorsprung in der zukünftigen industriellen Wertschöpfung.

Referenzarchitektur

Die Referenzarchitektur zur Umsetzung der Asset-Connectivity im Kontext des Industrial Metaverse basiert auf einem ereignisgesteuerten Kommunikationsparadigma. Zentrale Elemente sind MQTT-Broker (Message-Oriented Middleware), über die Nachrichten veröffentlicht und abonniert werden können. Sie bilden die Grundlage für einen flexiblen und skalierbaren Datenaustausch zwischen den verschiedenen Systemkomponenten.

Die Assets bzw. die dazugehörigen Steuerungssysteme werden über die No-Code-Plattform Collectu angebunden. Collectu fungiert dabei als zentrale Datendrehscheibe (vgl. Voraussetzungen

- Asset mit PC/Edge Device (hier Industrie-PC mit Windows 11 und Beckhoff TwinCAT 3)
- NVIDIA Omniverse (ISAAC Sim)
- 3D-Modell des Assets im USD-Format (**U**niversal **S**cene **D**escription).

ACHTUNG:

Das 3D-Modell muss kinematisiert sein. Das bedeutet, dass die einzelnen Submodelle entsprechend ihrer Bewegungsbeziehungen gruppiert und in einer korrekten hierarchischen Struktur angeordnet werden müssen.

Schritt-für-Schritt-Anleitung

1. **Infrastruktur vorbereiten (MQTT-Broker)**

Richten Sie zunächst einen MQTT-Broker ein.

> **TIPP**: Verwenden Sie Eclipse Mosquitto™ (https://mosquitto.org) in einem Docker-Container für maximale Flexibilität (auf Port-Freigabe achten) – oder greifen Sie direkt auf den managed MQTT-Broker des Collectu Hub zurück, um Setup-Aufwand zu sparen.

2. **Collectu Core installieren**

Installieren Sie den Collectu Core auf dem Asset-PC gemäß der offiziellen Anleitung: **https://collectu.de/docs**

3. **Datenpipeline im Collectu Core konfigurieren**

    1. ADS-Client anlegen, um Positionsdaten aus der Beckhoff-Steuerung auszulesen. Alternativ stehen Module für verschiedene Steuerungen und Schnittstellen zur Verfügung.
    2. Mit Pfadnamen des im Modell zu bewegenden Prims anreichern und falls erforderlich Einheiten konvertieren.
    3. Anschließend einen MQTT-Client konfigurieren, der die aufbereiteten Positionsdaten an den MQTT-Broker überträgt.

4. **ISAAC Sim vorbereiten**

    1. Installieren Sie in ISAAC Sim die MQTT-Client-Extension, um Daten aus dem MQTT-Broker zu empfangen.
    2. Laden Sie das passende USD-Modell in ISAAC Sim und aktivieren Sie die Extension.

). Collectu ermöglicht die Definition von Datenmappings, sodass Steuerungsdaten aus proprietären Formaten in standardisierte Strukturen überführt und auf den MQTT Brokern veröffentlicht werden können. Darüber hinaus lassen sich mit Collectu direkt OPC UA-Server und Verwaltungsschalen (Asset Administration Shells, AAS) erstellen oder bestehende Systeme nahtlos integrieren. **Durch eine Synchronisation mit den Steuerungen wird sichergestellt, dass physische Assets und ihre digitalen Repräsentationen jederzeit konsistent und aktuell sind.**

Auf diese Weise übernimmt Collectu die Rolle einer Integrationsplattform, die unterschiedliche Schnittstellen harmonisiert, Daten bidirektional austauscht und eine herstellerunabhängige, standardisierte Beschreibung der Assets gewährleistet. Dadurch wird die Interoperabilität

zwischen verschiedenen Systemen erhöht und die Grundlage für durchgängige Datenflüsse entlang des gesamten Lebenszyklus eines Assets geschaffen.

Die Kombination aus MQTT, OPC UA und Verwaltungsschalen führt zu einer skalierbaren, flexiblen und zukunftsfähigen Architektur. Diese eignet sich gleichermaßen für die Zustandsüberwachung, die aktive Steuerung und die kontinuierliche Optimierung industrieller Prozesse. Die Architektur bildet somit nicht nur ein robustes Fundament für aktuelle Industrie-4.0-Szenarien, sondern auch für zukünftige Anwendungen im Industrial Metaverse, in denen die Grenzen zwischen physischer und digitaler Welt zunehmend verschwimmen.

MQTT Omniverse Extension

Die Anbindung an NVIDIA Omniverse erfolgt über eine speziell entwickelte MQTT-Client-Extension[2] (vgl. Code 1). Diese dient als Schnittstelle zwischen der Simulationsumgebung und den Datenquellen. Über diese Erweiterung können Zustandsinformationen von physischen Assets abonniert und in Omniverse verarbeitet werden. Die Informationen werden über einen MQTT-Broker veröffentlicht. So lassen sich Maschinenzustände, Sensordaten oder Bewegungsparameter nahtlos in das virtuelle Abbild integrieren.

Um eine realitätsnahe und flüssige Visualisierung von Bewegungen sicherzustellen, werden die eingehenden Positionsdaten bei Bedarf mit Zeitstempeln versehen. Mithilfe der Analyse der Datenübertragungsfrequenz auf Basis dieser Zeitstempel kann die Bewegungsausführung linear interpoliert und somit hochaufgelöst visualisiert werden.

Vorgehensweise am Beispiel einer industriellen Roboteranlage

Voraussetzungen

- Asset mit PC/Edge Device (hier Industrie-PC mit Windows 11 und Beckhoff TwinCAT 3)
- NVIDIA Omniverse (ISAAC Sim)
- 3D-Modell des Assets im USD-Format (**U**niversal **S**cene **D**escription).

ACHTUNG:

Das 3D-Modell muss kinematisiert sein. Das bedeutet, dass die einzelnen Submodelle entsprechend ihrer Bewegungsbeziehungen gruppiert und in einer korrekten hierarchischen Struktur angeordnet werden müssen.

[2] Weitere Informationen zur Erstellung von Extensions in NVIDIA Omniverse finden Sie unter folgendem Link: https://docs.omniverse.nvidia.com/extensions

Schritt-für-Schritt-Anleitung

5. **Infrastruktur vorbereiten (MQTT-Broker)**

Richten Sie zunächst einen MQTT-Broker ein.

TIPP: Verwenden Sie Eclipse Mosquitto™ (https://mosquitto.org) in einem Docker-Container für maximale Flexibilität (auf Port-Freigabe achten) – oder greifen Sie direkt auf den managed MQTT-Broker des Collectu Hub zurück, um Setup-Aufwand zu sparen.

6. **Collectu Core installieren**

Installieren Sie den Collectu Core auf dem Asset-PC gemäß der offiziellen Anleitung: **https://collectu.de/docs**

7. **Datenpipeline im Collectu Core konfigurieren**

    4. ADS-Client anlegen, um Positionsdaten aus der Beckhoff-Steuerung auszulesen. Alternativ stehen Module für verschiedene Steuerungen und Schnittstellen zur Verfügung.
    5. Mit Pfadnamen des im Modell zu bewegenden Prims[3] anreichern und falls erforderlich Einheiten konvertieren.
    6. Anschließend einen MQTT-Client konfigurieren, der die aufbereiteten Positionsdaten an den MQTT-Broker überträgt.

8. **ISAAC Sim vorbereiten**

    3. Installieren Sie in ISAAC Sim die MQTT-Client-Extension, um Daten aus dem MQTT-Broker zu empfangen.
    4. Laden Sie das passende USD-Modell in ISAAC Sim und aktivieren Sie die Extension.

[3] Ein Prim bezeichnet einen grundlegenden Baustein oder ein Element einer Szene innerhalb des USD-Frameworks. Prim ist die Abkürzung für „primitive“ und steht für ein einzelnes Objekt oder eine einzelne Entität innerhalb der Szenenhierarchie.

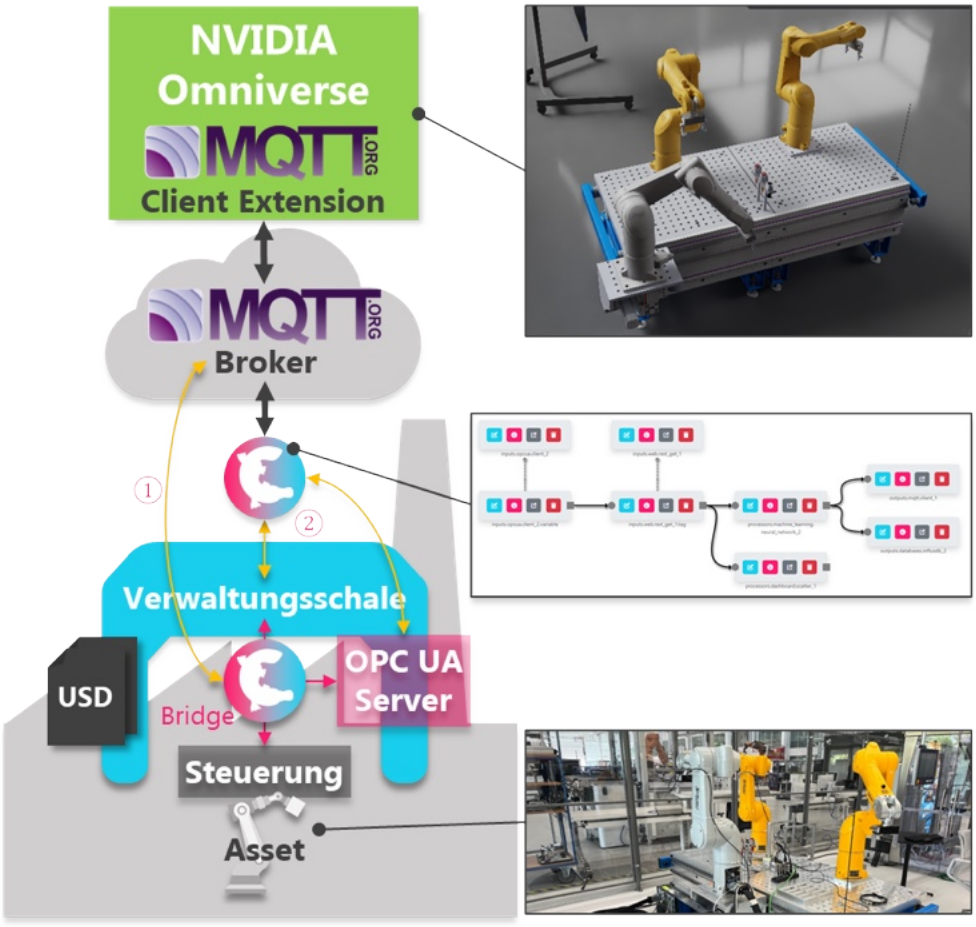


ABBILDUNG 23 REFERENZARCHITEKTUR FÜR DIE ASSET-CONNECTIVITY.

Fazit

Die Umsetzung eines bidirektionalen Datenflusses zwischen physischen Assets und dem Industrial Metaverse ist entscheidend, um digitale Zwillinge zu mehr als nur statischen Abbildern zu machen. Mithilfe von Collectu, der Verwaltungsschale, sowie standardisierten Protokollen wie OPC UA und MQTT und durch die direkte Anbindung an Omniverse entsteht eine skalierbare Architektur. Diese eignet sich sowohl für einzelne Anlagen als auch für komplexe Produktionssysteme und Wertschöpfungsnetzwerke.

Die Verbindung von Echtzeitdaten, virtueller Simulation und steuernder Rückkopplung eröffnet Unternehmen neue Potenziale in den Bereichen Effizienzsteigerung, Fehlerminimierung, Nachhaltigkeit und Innovationsgeschwindigkeit.

Kapitel 12:
Operations, Backup und Pflege des Datenmodells

12.1 Einleitung

Ein digitales Datenmodell behält seinen Wert nur durch strukturierte Pflege und Sicherung.

12.2 Provisorisches Backup-Verfahren (Workstation)

Da die Workstation keine nativen Backups bietet:

1. **Kopie:** Wöchentlich das gesamte Root-Verzeichnis lokal kopieren (Tarox Workstation & Lenovo Messe-Rechner).
2. **Komprimierung:** Erstellung eines .zip-Archivs.
3. **Checksummen:** MD5-Checksumme zur Verifizierung erstellen.
4. **Dokumentation:** Metadaten (Datum, Autor) protokollieren.

12.3 Pflege des Datenmodells (Lifecycle)

Die Pflege ist eine strategische Daueraufgabe.

- **Verantwortlichkeiten:** Klare Zuordnung (Data Owners).
- **Zyklen:** Regelmäßiger Abgleich mit der physischen Welt (z.B. nach Umbauten).
- **Standards:** Nutzung von USD-Layern für Varianten, um das Master-Modell zu schützen.

ARENA2036

TEIL E:

PRAXIS-WORKFLOWS

INDUSTRIAL METAVERSE

ARENA2036 e.V. • Pfaffenwaldring 19 • 70569 Stuttgart
Industrial Metaverse • arena2036.de/metaverse/

Kapitel 13:
Anwendungsfälle im Detail

13.1 Kollisionsprüfung (Quick Win)

Ziel: Prüfen von Kollisionen zwischen Maschinen und Gebäude während der Planung.

Vorgehen:

1. Modelle in Omniverse zusammenführen.
2. Extension "Clash Detection" aktivieren.
3. Berechnung starten und Report exportieren.

13.2 Engpassanalyse (Big Win)

Ziel: Identifikation von Engpässen im Materialfluss.

Vorgehen:

1. Simulationsdaten (Abläufe) importieren oder Animation in Omniverse erstellen.
2. Timeline abspielen.
3. Visuelle Analyse: Wo staut sich Material?

13.3 Visuelle Shopfloor-Digitalisierung

Ziel: Digitales Abbild des Layouts mit Verortung von Maschinen.

Vorgehen:

- Hallenmodell (LOD 100) laden.
- Maschinen-Assets per Drag-and-Drop platzieren.
- Metadaten (Seriennummer, Hersteller) an die Assets heften.

Anhang A:
Glossar

- **Digital Twin:** Vollständiges virtuelles Abbild eines physischen Objekts.
- **Industrial Metaverse:** Virtueller Erfahrungsraum für vernetzte Digital Twins.
- **Nucleus:** Datenbank- und Kollaborationsplattform von Omniverse.
- **Connector:** Middleware/Plug-in für die Verbindung von Client-Anwendungen (CAD) mit Omniverse.
- **USD (OpenUSD):** Open-Source-3D-Szenenbeschreibung, Basis für Omniverse.
- **Isaac Sim:** Applikation für Robotersimulationen (KI-basiert).

Anhang B:
Onboarding Checkliste

Schnellstart für neue Partner

- [ ] **1. Zugang:** VPN-Client installiert und verbunden?
- [ ] **2. Account:** Nucleus-Zugangsdaten erhalten und getestet?
- [ ] **3. Tools:** Omniverse Launcher, USD Composer und Omniverse Drive installiert?
- [ ] **4. Drive:** Omniverse Drive als Laufwerk (O:) gemountet?
- [ ] **5. Struktur:** Eigenen Ordner unter /Member_Workspaces gefunden?
- [ ] **6. Hello World:** Erstes Test-Asset (SM_Test.usd) erfolgreich hochgeladen?

Anhang C:
Pseudo-Code

```
import omni.ext
import omni.usd
from omni.kit.app import get_app
import paho.mqtt.client as mqtt
import json
from queue import Queue

class CollectuExtension(omni.ext.IExt):
    def __init__(self):
        self.client = mqtt.Client()
        self.client.on_message = self.on_message
        self.message_queue = Queue()
        # Subscribe to Omniverse update events
        get_app().get_update_event_stream().create_subscription_to_push(
            self.on_update, name="CollectuUpdate")

    def on_startup(self, ext_id):
        self.client.connect(HOST_IP, PORT)
        self.client.loop_start()

    def on_message(self, client, userdata, msg):
        data = json.loads(msg.payload.decode("utf-8"))
        self.message_queue.put(data)

    def on_update(self, event):
        # Access current USD stage
        stage = omni.usd.get_context().get_stage()
        # Process all pending messages
        while not self.message_queue.empty():
            data = self.message_queue.get()
            prim = stage.GetPrimAtPath(data.get("prim_path"))
            prim.GetAttribute("xformOp:translate").Set(data.get("position"))
            prim.GetAttribute("xformOp:rotateXYZ").Set(data.get("rotation"))
            self.message_queue.task_done()
```

CODE 1: PSEUDO-CODE DER OMNIVERSE-EXTENSION