

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-06-18
 Datum der Einreichung: 31.03.2026
 Datum der Annahme: 10.04.2026
 Datum der Veröffentlichung: 27.07.2026

Von technischen Assets zum Menschen: Mitarbeitende in der Verwaltungsschale (AAS)

Abbildung des Menschen in der Verwaltungsschale

J. Lentes, J. Mäule, S. Frey, N. Scheder, M. Hayek

ZUSAMMENFASSUNG Die Verwaltungsschale wird heute vor allem zur Abbildung technischer Assets genutzt, der Mensch bleibt im AAS-Ökosystem dagegen weitgehend unterrepräsentiert. Der Beitrag zeigt, wie Mitarbeitende im Fraunhofer-Leitprojekt „EMOTION“ als Asset modelliert werden können: auf Basis realer Anwendungsmodulen, mit modularen Submodellen, datensparsamen Templates und integrierter DSGVO-konformer Datenschutzdokumentation.

STICHWÖRTER

Digitalisierung, Industrie 4.0, Mensch und Technik

Representing humans in the asset administration shell

ABSTRACT Today's AAS implementations primarily model machines and other technical resources; human workers are rarely treated as first-class assets. Based on application modules of the Fraunhofer flagship project "EMOTION", this paper presents a structured AAS representation of workers, including constitutional, qualification, and state data, plus GDPR-compliant templates for interoperable use in production systems.

1 Einleitung

Die digitale Transformation unterstützt Unternehmen dabei, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. Doch der Mensch bleibt ein zentraler Wertschöpfungsfaktor, dessen Abbildung in der digitalen Welt deutlich hinter der Repräsentation technischer Assets zurückbleibt. AAS (Asset Administration Shell)-Standards sind primär auf die Abbildung technischer Assets ausgerichtet. Es fehlt ein konsistenter Mitarbeitenden-AAS-Ansatz mit interoperablen, standardisierten Modellen für Mitarbeitende. Ein solcher Ansatz muss zwingend datenschutzrechtlichen Anforderungen genügen, da er personenbezogene heterogene Daten wie Physiologie, Qualifikation und Arbeitszustand umfasst.

Im Fraunhofer Leitprojekt „EMOTION – empathische technische Systeme für die resiliente Produktion“ werden auch Sensorik und künstliche Intelligenz mit digitalen Zwillingen und der Verwaltungsschale verknüpft, um menschenzentrierte, empathische Assistenzsysteme zu schaffen. Anwendungsfälle aus „EMOTION“ sind ein Schraubassistentensystem mit Ergonomie- und Prozessdatenanalyse sowie eine empathische Personaleinsatzplanung für die Instandhaltung. Betroffene Mitarbeitenden-Daten sind dabei, wie in **Bild 1** dargestellt, Körperposen, Vitaldaten, Arbeitszustände und Qualifikationen und damit auch sensible personenbezogene Daten mit entsprechenden rechtlichen Anforderungen.

Ziel des Beitrags ist die systematische Abbildung von Mitarbeitenden in der Verwaltungsschale (AAS) mit Submodellen für Aspekte wie Konstitution, Qualifikation, Physiologie, Zustand und Aktivität für eine datensparsame DSGVO (Datenschutz-Grundverordnung)-konforme Modellierung mit interoperablen Templates beziehungsweise Submodellen, die wiederverwendet und in realen Demonstratoren des Leitprojekts validiert werden können.

Im Folgenden werden zunächst Grundlagen der AAS und Anforderungen aus den Anwendungsfällen des Projekts EMOTION dargestellt, die Mitarbeitenden-AAS erst in Form von Submodellen konzipiert und dann implementiert – unter Berücksichtigung des zwingend erforderlichen Datenschutzes. Anschließend werden die Ergebnisse diskutiert. Es folgen schließlich eine Zusammenfassung und ein Ausblick.

2 Grundlagen und Anforderungen

Nachfolgend werden die technischen Prinzipien und Strukturelemente der AAS eingeführt, bevor die spezifischen Anforderungen aus dem Projekt EMOTION abgeleitet werden.

2.1 Verwaltungsschale: AAS-Grundlagen

Ein digitaler Zwilling als digitale Repräsentation eines physikalischen Assets verbindet die physische mit der digitalen Welt [1]. Die Verwaltungsschale (englisch: Asset Administration Shell, AAS) ist der standardisierte digitale Zwilling der Industrie 4.0. Wie in **Bild 2** dargestellt, vereint die AAS Datencontainer und standardisierte Zugriffsschicht.

Der Datencontainer speichert Merkmale strukturiert, während definierte Application Programming Interfaces (API) den standardisierten Zugriff ermöglichen. Die Literatur kennt verschiedene Typen der AAS: AAS-Instanzen können passiv als Datei oder reaktiv als laufender Softwaredienst realisiert werden. Über die APIs können einzelne Werte oder ganze Teilmodelle gelesen oder geschrieben werden.

Die Entwicklung der Standards erfolgt durch die Industrial Digital Twin Association (IDTA). In fünf „Specifications“ werden

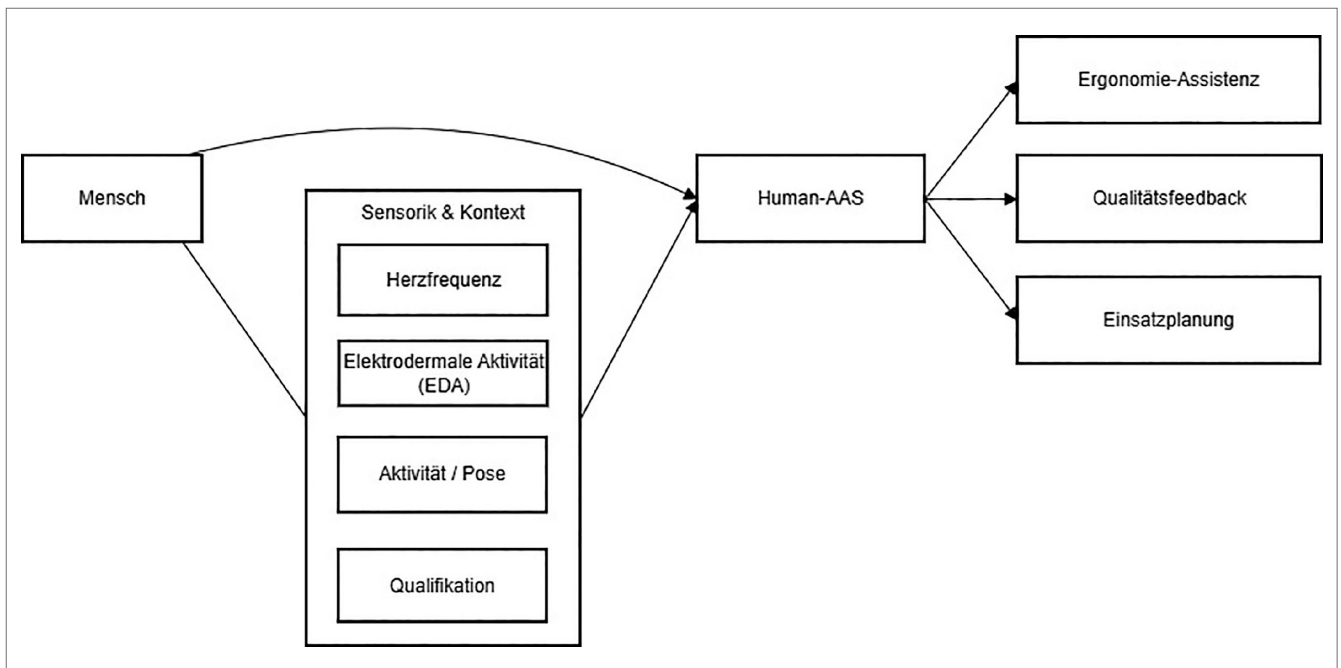


Bild 1 Mitarbeitenden-Verwaltungsschale in „Emotion“-Anwendungsfällen. Grafik: Fraunhofer IAO

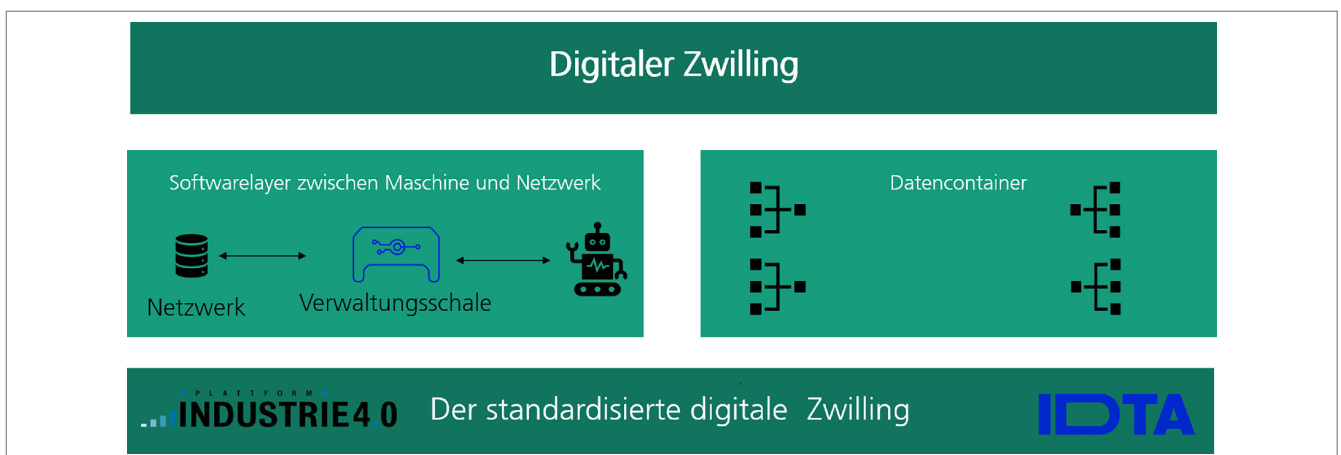


Bild 2 Asset Administration Shell (AAS). Grafik: Fraunhofer IFF

dort Struktur, Sicherheit, APIs und Datenmodellierung wie JSON beschrieben [2]. Eine AAS besteht aus einem Asset-Objekt und mehreren Submodellen [2]. Submodelle bestehen aus Merkmalen und gegebenenfalls weiteren Submodellen. Wesentliche Merkmale sind Properties für Einzelwerte, Reference Elements für Verweise auf Elemente, Collections für strukturierte Gruppen und Operations für das Ausführen spezifischer Operationen (vergleiche [3]). Mit semanticIDs kann auf möglichst standardisierte Semantikquellen wie „Eclass“ oder „IEC CDD“ verwiesen werden [4, 5].

Je nach Asset Klasse muss eine AAS bestimmte Submodelle wie das Digital Nameplate [6] enthalten. Sofern das Asset physikalischer Natur ist, sollte eine AAS auch das Teilmodell Technical Data [7] aufweisen. Zudem können freie Submodelle modelliert werden [8]. In dieser Arbeit werden auch die IDTA-Submodelle Asset Interface Description (AID) [9] und das Asset Interface Mapping Configurator (AIMC) [10] verwendet, siehe Bild 3.

Mit AID werden Datenquellen beschrieben. Dies ermöglicht es, diese Datenquelle zu finden und auf sie zuzugreifen. AIMC verbindet Properties mit einer externen Datenquelle. Bild 3 zeigt,

dass dies durch zwei Reference Elemente geschieht: Eines referenziert auf das Property und das andere auf die im AID beschriebene Datenquelle.

Der Vergleich typischer Merkmale technischer Assets und menschenbezogener Daten in Tabelle 1 verdeutlicht die besonderen Anforderungen an eine Mitarbeitenden-AAS, deren Daten deutlich heterogener und sensibler sind und daher eine eigene Submodellarchitektur erfordern, wie sie in Kapitel 3 entwickelt wird.

2.2 Projekt- und Anwendungskontext „EMOTION“

Im Projekt EMOTION werden empathische technische Systeme entwickelt, die Informationen von Mitarbeitenden nutzen, um Produktions- und Instandhaltungsprozesse resilienter und menschenzentrierter zu gestalten. Die Anwendungsmodul- und -fälle des Projekts decken arbeitsnahe Szenarien ab und liefern damit die fachliche Grundlage für die notwendigen Merkmalsgruppen der Mitarbeitenden-AAS. Im Folgenden werden diese Module vorgestellt, um die jeweils benötigten menschenbezogenen Daten

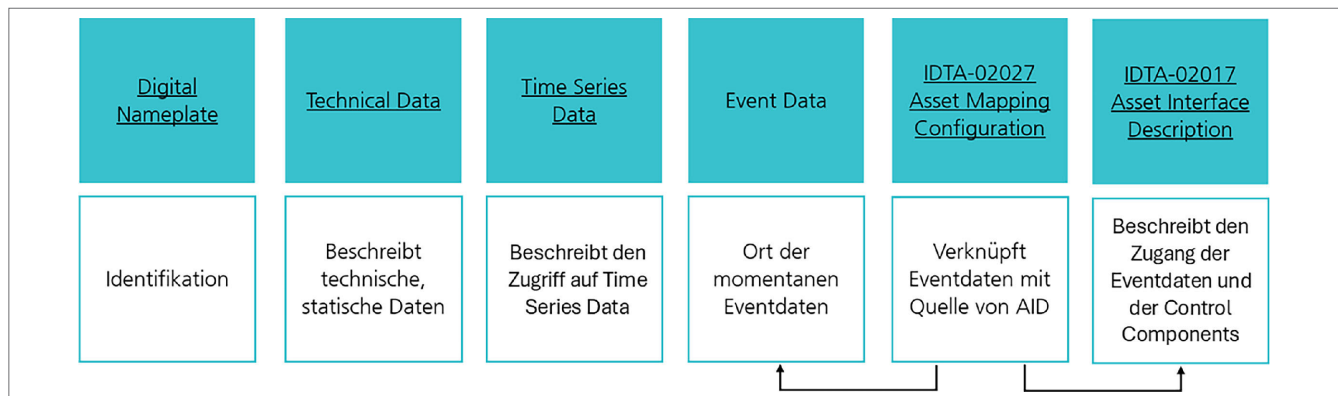


Bild 3 AAS-Teilmodelle. Grafik: Fraunhofer IFF

Tabelle 1 Vergleich Maschinen-AAS und Mitarbeitenden-AAS.

Kategorie	Typische Maschinen-AAS-Daten	Typische Mitarbeitenden-AAS-Daten
Stammdaten	Hersteller, Seriennummer	Körpergröße, Qualifikation
Zustandsdaten	Temperatur, Drehzahl	Herzfrequenz, Belastungsindex
Aktivität	Betriebsmodus	Aktion, Position
Besonderheiten	selten sensibel	personenbezogen, Art9Daten

und deren Bedeutung für die spätere Submodellarchitektur der AAS herzuleiten.

Das Fraunhofer IAO entwickelt ein empathisches Assistenzsystem zur Überwachung der Belastung und Ergonomie von Mitarbeitenden bei Schraubprozessen, dargestellt in Bild 4.

Dabei werden die Schraubvorgänge anhand der Drehmoment-Drehwinkel-Kurven mithilfe von Machine-Learning-Algorithmen analysiert und überwacht. Das Assistenzsystem stellt den Mitarbeitenden über ein Human-Machine-Interface Informationen zur Qualität der Verschraubung bereit. Zusätzlich werden der Belastungszustand sowie die Ergonomie der Arbeitshaltung durch eine Posenerkennung erfasst. Dafür wird eine Tiefenbildkamera eingesetzt, die Gelenkpunkte des Mitarbeitenden im dreidimensionalen Raum verfolgt. Das Tracking erfolgt mit einer Frequenz von 10 Hertz, sodass Veränderungen der Körperhaltung, etwa beim Auffangen des Gegenmoments während des Schraubvorgangs, erkannt werden können. Damit kann der aktuelle Belastungszustand bestimmt werden. Darüber hinaus werden Gelenkwinkel und -rotationen berechnet, um eine Bewertung nach der RULA-Methode (Rapid Upper Limb Assessment) durchzuführen. Auf Basis des ermittelten Belastungs- und Ergonomiezustands werden den Mitarbeitenden Handlungsempfehlungen gegeben. Bei einer hohen Belastung können beispielsweise Pausen oder eine Arbeitsplatzrotation vorgeschlagen werden. Bei einer ergonomisch ungünstigen Haltung wird eine ergonomisch vorteilhaftere Position empfohlen.

Durch die Kombination aus Verschraubungsqualitätsanalyse, Belastungserkennung und ergonomischer Bewertung können menschliche Fehler reduziert und Mitarbeitende bei körperlich anspruchsvollen manuellen Tätigkeiten gezielt entlastet werden.

Im Rahmen des Anwendungsmoduls 1, verantwortet durch Fraunhofer Austria, wird, wie in Bild 5 simulativ dargestellt, die Instandhaltung eines Kühlaggregats, eine Komponente, die in den Straßenbahnen der Wiener Verkehrsbetriebe (Wiener Linien) verbaut ist, untersucht. Die Instandhaltungstätigkeiten umfassen

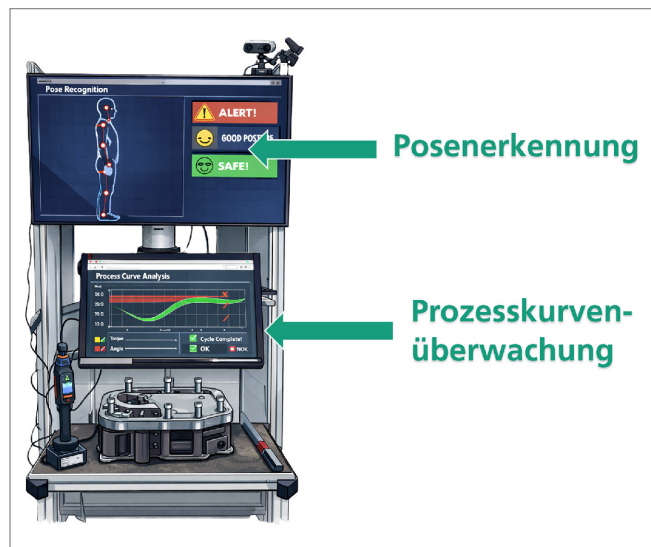


Bild 4 Visualisierung des Schraubassistentensystems. Grafik: Fraunhofer IAO

verschiedenste manuelle Montagen und Demontagen von Unterbaugruppen (zum Beispiel Pumpe). Zudem werden Schrauben getauscht oder Sichtprüfungen auf vorhandenem Rost durchgeführt. Dabei werden die Mitarbeitenden durch einen Chatbot mit Informationen zu den Instandhaltungsaufgaben unterstützt.

Weiterhin werden die Herzfrequenz und die elektrodermale Aktivität der Mitarbeitenden zur kontinuierlichen Erfassung arbeitsbedingter Beanspruchung in einem empathischen Arbeitssystem genutzt. Über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle werden physiologische Daten während der Instandhaltung eines Kühlaggregats erfasst und mit subjektiven Belastungseinschätzungen kombiniert. Der Zustand des Mitarbeitenden dient wiederum als Entscheidungsgrundlage für eine faire Personaleinsatzplanung. Ist ein Mitarbeitender beispielsweise überlastet, kann die Planung

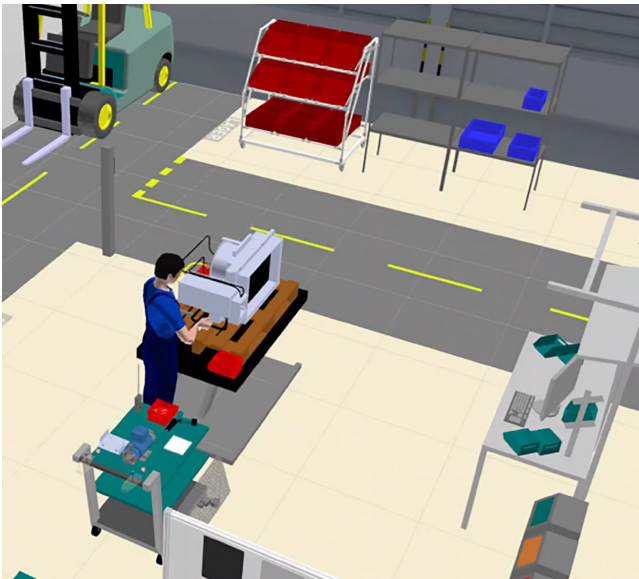


Bild 5 Simulation der K hlaggregatstandhaltung.
Grafik: Fraunhofer Austria

ihn durch die Zuweisung eines Assistenzsystems, sofern dieses verfügbar ist, entlasten.

Wesentliche Anforderungen aus den Anwendungsfällen sind in **Tabelle 2** mit benötigten Merkmalen, relevanten Submodellen und Besonderheiten dargestellt. Sie bilden die Grundlage für die Submodellarchitektur der Mitarbeitenden-AAS, die in Kapitel 3 beschrieben wird.

2.3 Funktionale und rechtliche Anforderungen an die Mitarbeitenden-AAS in EMOTION

Neben den später dargestellten rechtlichen Anforderungen wurden bei der Entwicklung der Mitarbeitenden-AAS zunächst funktionale Anforderungen betrachtet. Die funktionalen Anforderungen wurden auf Basis der Anwendungsfälle des Vorhabens ermittelt. Dabei wurden identifizierte Merkmale strukturiert und gruppiert. Dies resultierte in Merkmalsgruppen zur Abbildung von Konstitution, Qualifikation, Physiologie, Zustand und Aktivität der Mitarbeitenden. Nach *He et al.* führt die Abdeckung heterogener Datentypen zu der Notwendigkeit, passende Submodell-element-Typen festzulegen [11]. Für die Interoperabilität, auch im Hinblick auf die Anbindung betrieblicher Informationssysteme sind semantische IDs erforderlich, um die Wiederverwendbarkeit von Daten beziehungsweise Informationen sicherzustellen [12]. Die Integration von Human Resources (HR)-Systemen, Sensorik

und Manufacturing Execution Systemen (MES) bedingt erweiterbare Submodelle [13]. Dynamische Menschmodelle erfordern die Verarbeitung von Echtzeitdatenstr men [14] und die Unterstützung kontinuierlicher Belastungs- und Erm dungsmodelle [15]. Mitarbeitendenzentrierte Ansätze für digitale Zwillinge betonen zudem die Bedeutung ergonomischer und zustandsbezogener Modelle für Assistenz- und Planungssysteme [16].

Die Abbildung von Mitarbeitenden führt zu rechtlichen und akzeptanzbezogenen Anforderungen. Die betroffenen Daten entsprechen zumindest teilweise personenbezogenen und besonderen Kategorien der DSGVO [17], sodass eine strenge Trennung nötig wird [15]. Dies resultiert in Anforderungen an Einwilligungen, Datenschutzfolgenabschätzung, Zweckbindung, Löschfristen sowie Transparenz und Nachvollziehbarkeit mit der AAS als Audit Container. Dabei ist auch das Gebot der Datensparsamkeit zu berücksichtigen, das hier dazu führt, dass anwendungsfallbezogene Minimaldatens tze zu betrachten sind. Ein Ansatz zur Realisierung entsprechender Anforderungen kann die Unterscheidung personenbezogener und arbeitsplatzbezogener Daten sein, etwa Körpergrößen versus Ergonomiewinkel, die für bestimmte Anwendungsfälle ausreichend sein können, auch wenn dieser „asset-unspezifische“ Ansatz Grundgedanken der Verwaltungsschale wie der Abbildung spezifischer Assets oder Ressourcen zuwiderläuft. Die menschenzentrierte Forschung im Kontext digitaler Zwillinge betont, dass Akzeptanz durch Transparenz und Erklärung geschaffen [18] und auch eine ergonomie-begründete Datennutzung klar kommuniziert werden müssen [19]. Zudem sind auch ethische oder soziale Risiken zu berücksichtigen [11, 15].

3 Konzeption der Mitarbeitenden-AAS

Die Konzeption der Mitarbeitenden-AAS folgt einem modularen Ansatz, in dem strukturierte Merkmalsgruppen systematisch abgebildet werden. Im Folgenden werden prinzipielle Entwurfsentscheidungen, die Submodellarchitektur, die semantische Ausgestaltung, das Datenschutzkonzept sowie mögliche Varianten der AAS dargestellt.

3.1 Prinzipielle Entwurfsentscheidungen

Die Asset Administration Shell wurde primär für technische Assets entwickelt. Die Integration des Menschen in cyber-physische Produktionssysteme und damit die Realisierung der adressierten Anwendungsfälle in EMOTION erfordert eine digitale Abbildung von Mitarbeitenden, damit entsprechende heterogene Datenquellen nutzbar gemacht werden können.

Tabelle 3 Submodelle der Mitarbeitenden-AAS.

Submodell	Merkmalsgruppe	Beispiele	Typ
ConstitutionData	Konstitution	Körpergröße	Property
Qualifications	Qualifikation	Zertifikate, Skills	ElementCollection
PhysiologicalData	Physiologie	HeartRate, Elektrodermale Aktivität (EDA)	Property
WorkState	Arbeitszustand	Fatigue, WorkStateIndex	Property
ActivityTracking	Aktivität	X/Y/Z, CurrentAction	Collection

Tabelle 2 Anforderungen aus EMOTION-Anwendungsfällen.

Anwendungsfall	Benötigte Merkmale	Submodell(e)	Besonderheiten
Schraubassistentz	Pose, Gelenkwinkel, Ergonomie	WorkState	ML-basierte Posenerkennung
Instandhaltung Kühlaggregat	Herzfrequenz, Elektrodermale Aktivität, Qualifikation	PhysiologicalData, Qualifications	Art-9-Daten
Aktivitätstracking	Position, Ermüdung	ActivityTracking, WorkState	Echtzeit-Analyse

Menschen weisen strukturelle Merkmale, wie die Körperkonstitution, und auch dynamische Eigenschaften wie Aktivität und Belastungszustände auf. Diese Daten stammen aus verschiedenen Quellen, wie Tiefenkameras, HR (Human Resources)-Systemen und Wearables, und müssen in einem interoperablen Datencontainer semantisch eindeutig zugänglich gemacht werden. Die AAS mit ihren klar definierten Submodellen, standardisierten Schnittstellen und global referenzierten Semantiken bietet dafür einen erfolgversprechenden etablierten Ansatz.

Für die Modellierung ergeben sich zwei Varianten: Einerseits können die Mitarbeitenden durch individuelle AAS abgebildet werden. So können personenbezogene Werte, wie Körpergröße, Qualifikation, Vitalparameter oder Belastungszustände, repräsentiert und damit die adressierte individuelle Assistenz realisiert werden. Allerdings stellt dieser Ansatz sehr hohe Anforderungen an den Schutz der betroffenen Daten. Andererseits kann die Modellierung arbeitsplatzbezogen oder pseudonymisiert erfolgen. Dies reduziert die datenschutzbezogenen Anforderungen, weicht allerdings vom Grundprinzip „ein Asset hat eine AAS“ ab.

Unabhängig vom gewählten Modellierungsansatz gelten drei Entwurfsprinzipien. Durch Modularität erfolgt die Trennung der Daten in logisch zusammenhängende Submodelle, beispielsweise für Konstitution, Qualifikation und Zustand. Damit werden das Gebot der Datensparsamkeit anwendungsfallbezogen sowie Wiederverwendbarkeit und die Festlegung klarer Verantwortlichkeiten unterstützt. Durch den Einsatz global referenzierbarer semantischer IDs wird die Interoperabilität gewährleistet. Und durch Datensparsamkeit wird sichergestellt, dass nur Merkmale modelliert werden, die für den jeweiligen Anwendungsfall zwingend erforderlich sind.

3.2 Submodellarchitektur und Merkmalsgruppen

Ausgangspunkt der Erarbeitung der Submodellarchitektur zur Abbildung von Mitarbeitenden in der AAS ist eine systematische Erfassung aller in den Anwendungsfällen von EMOTION relevanten Daten mit ihrer Verwendung. Die identifizierten Merkmale lassen sich fünf zentralen Merkmalsgruppen zuordnen: Konstitution, Qualifikation, Physiologie, Arbeitszustand und Aktivität, die als Grundlage der Submodellstruktur eingesetzt werden. Die fünf Merkmalsgruppen ergeben sich aus den Anforderungen der Anwendungsfälle und decken sowohl statische als auch dynamische Aspekte menschlicher Arbeit ab. Merkmale werden nicht nach ihrer Quelle gruppiert, sondern nach ihrer Funktion im Gesamtsystem. Für die Gestaltung der Submodelle ist entscheidend, dass die AAS keiner reinen Datenspeicherlogik folgt, sondern ein Informationsmodell bereitstellt, in dem Merkmale eindeutig semantisch abgebildet sind und das somit maschinell interpretierbar ist.

Die Merkmalsgruppe Konstitution umfasst vor allem statische Eigenschaften wie die Körpergröße. Diese Werte sind typischerweise konstant, sodass das zugehörige Submodell Constitution-Data eine klare Trennung zwischen personenbezogenen Stammdaten und dynamischen Belastungsinformationen ermöglicht.

Die Gruppe Qualifikation umfasst Merkmale wie Deutscher Qualifikationsrahmen (DQR)-Level und formale Zertifikate sowie operative Kenntnisse und Skills. Das Submodell Qualifications unterstützt dadurch sowohl interne Bedarfsszenarien im HR-Kontext als auch operative Einsatzplanungen im Produktionsumfeld wie die Personaleinsatzplanung im Instandhaltungsmanagement.

Vitalparameter wie Herzfrequenz und elektrodermale Aktivität werden in der Merkmalsgruppe Physiologie erfasst. Diese Daten sind dynamisch, eng mit Beanspruchungszuständen verknüpft und unterliegen hohen Datenschutzanforderungen. Das Submodell PhysiologicalData bildet daher nicht nur die Werte, sondern auch Zeitstempel und Herkunft der Daten ab.

Die Gruppe Arbeitszustand enthält abgeleitete oder berechnete Einschätzungen wie den WorkStateIndex oder die MuscularFatigue. Diese Größen entstehen aus Daten aus mehreren Quellen und sind typischer Bestandteil ergonomiebezogener digitaler Zwillinge.

Die Merkmalsgruppe Aktivität umfasst sowohl Bewegungs- wie Positionsdaten als auch erkannte Aktionen. Das entsprechende Submodell ActivityTracking beschreibt beispielsweise die Position eines Mitarbeitenden sowie die aktuelle, maschinell erkannte Aktivität.

Jedes Submodell ist in sich geschlossen, semantisch eindeutig beschrieben und unabhängig von den anderen wiederverwendbar. Durch Kombination der Submodelle können anwendungsfall-spezifische Varianten erzeugt werden.

Die fünf Submodelle der Mitarbeitenden-AAS lassen sich den Merkmalsgruppen eindeutig zuordnen. **Tabelle 3** bietet eine Übersicht über ihre funktionale Rolle und typische Beispiele. Diese Struktur dient als Grundlage für die im folgenden Abschnitt behandelte semantische Modellierung, in der die Submodelle detailliert werden.

3.3 Semantische Modellierung und AAS-Elementarten

Durch die semantische Modellierung wird der Übergang von einer reinen Datenhaltung hin zu einem formal interpretierbaren Informationsmodell möglich. Im Gegensatz zu klassischen AAS-Instanzen technischer Assets, deren Merkmale überwiegend deterministisch und normativ vorgegeben sind, umfasst die Mitarbeitenden-AAS auch multimodale Sensordaten und berechnete Zustandsgrößen. Ähnliche Erweiterungen technischer digitaler Zwillinge um menschenbezogene Merkmale wurden bereits für Fabrikumgebungen beschrieben, wobei gezeigt wurde, dass die

Kombination aus Sensordaten und semantisch strukturellen Modellen eine konsistente Abbildung menschlicher Eigenschaften ermöglicht [20].

Durch die resultierende Vielfalt in der Interpretation der abgebildeten Merkmalsausprägungen ist deren eindeutige, konsistente semantische Modellierung unerlässlich. Dazu wird jedem Element seine Bedeutung über eine semanticID zugewiesen. Diese semanticID verweist entweder auf global referenzierbare Indikatoren aus Katalogen wie „Loinc“ [21] und „Eclass“ oder auf projektspezifische Internationalized Resource Identifier (IRI). Die damit modellierte Semantik unterstützt nicht nur die Eindeutigkeit der Merkmale, sondern auch die Interpretierbarkeit der Daten unabhängig von ihrer Herkunft oder Quelle. Beispielsweise wird für die Herzfrequenz auf Loinc 8867 4 und für die elektrodermale Aktivität (EDA) auf NCIt C154866 verwiesen. Positionsdaten im Submodell ActivityTracking sind über W3C SOSA Observable-Property (positionX/Y/Z) [22] festgelegt und projektspezifische Konzepte wie WorkStateIndex über eine projektspezifische Ontologie.

Für die Mitarbeitenden-AAS werden insbesondere drei AAS-Elementarten eingesetzt:

1. Property für atomare Werte wie Körpergröße, Herzfrequenz oder die berechnete Ermüdung.
2. SubmodelElementCollection für strukturierte Gruppen wie die 3D-Position eines Mitarbeitenden oder die Bündelung von Zertifikaten und Skills im Qualifikations-Submodell.
3. ElementList wird sehr ausgewählt eingesetzt, da in den Anwendungsfällen von EMOTION eine hohe Datenfrequenz vorherrscht und die Zeitreihenverarbeitung in externen Analysensystemen erfolgt.

Die resultierende Struktur basiert nicht nur auf technischen Gründen, sondern auch auf den funktionalen Anforderungen aus den EMOTION-Anwendungsfällen und erlaubt deren datensparsame Realisierung mittels AAS.

In EMOTION erfolgt die Abbildung von Zeitreihendaten in der eher einzelwertorientierten Verwaltungsschale durch die Kombination aus AAS-Einzelwertrepräsentation und der im entsprechenden Kapitel dieses Beitrags beschriebenen Anbindung externer Datenquellen über REST-Schnittstellen. Die AAS hält die semantisch eindeutigen aktuellen Werte, während Messreihen in anderen Informationssystemen gespeichert werden.

3.4 Datenschutz und DSGVO-Konzept im AAS-Modell

Die Abbildung von Mitarbeitenden in der Verwaltungsschale führt zu besonderen datenschutzrechtlichen Anforderungen, da ein wesentlicher Teil der betrachteten Merkmale in die Kategorie personenbezogener und insbesondere sensibler Daten gemäß Artikel 9 DSGVO fällt. Dies betrifft zum Beispiel physiologische Messgrößen wie Herzfrequenz und elektrodermale Aktivität sowie abgeleitete Belastungs und Ermüdungsmerkmale. Die Mitarbeitenden-AAS muss daher die entsprechende Transparenz, Zweckbindung und Datensicherheit sicherstellen. Dazu wird das Privacy-by-Design-Prinzip eingesetzt, in dem Datenschutz nicht nachträglich angewandt wird, sondern Bestandteil der AAS ist. Diese Integration erfolgt klassifikationsbasiert durch die Kennzeichnung der Submodelle mit ihrem Datenschutzstatus, strukturell durch die Trennung personenbezogener, arbeitsplatzbezogener und berechneter Daten und dokumentationsorientiert durch

Einwilligungs- und Verarbeitungsnachweise innerhalb des AAS-Metamodells.

Jedem Submodell-Element können Privacy Qualifiers zugeordnet werden. Zum Beispiel wird der Qualifier DataPrivacyLevel genutzt, um Merkmale, die unter Art. 9 DSGVO fallen, eindeutig zu klassifizieren: GDPR_ART9_HEALTH. Außerdem wird durch ConsentRequired und DataRetentionHours markiert, ob für die Erhebung eines Merkmals eine ausdrückliche Einwilligung erforderlich ist und wann die entsprechenden Daten gelöscht werden müssen. Durch Anwendung dieser Qualifier können zum Beispiel Submodelle bei fehlender Einwilligung ausgeblendet oder das automatische Löschen abgelaufener Daten mit einem spezifischen Softwaredienst realisiert werden.

Durch die Einführung zweier datenschutzbezogener Submodelle werden die Dokumentationspflichten nach Art. 6 und Art. 30 DSGVO erfüllt. Im Submodell-Element GDPR_Consent-Dokumentation wird die Einwilligung der Mitarbeitenden, einschließlich ID, Datum, Zweckbindung und Rechtsgrundlage, festgehalten. Ergänzend dokumentiert das Submodell GDPR_ProcessingRecord die verantwortlichen Rollen (Controller und Processor), die Datenkategorien sowie die Art der Verarbeitung. Damit wird die AAS zu einem Container, der rechtlich relevante Informationen nicht in externen Dokumenten verstreut, sondern maschinenlesbar in der digitalen Repräsentation des Assets selbst verankert.

Der resultierende Datenschutzansatz basiert direkt auf den Anforderungen des Projekts EMOTION, möglicherweise können aber die hier verfolgten Lösungsansätze als Anregung bei der Realisierung allgemeingültigerer Lösungen dienen.

3.5 Variantenbildung für die gegebenen Anwendungsfälle

Die im Projekt EMOTION entwickelten Submodelle erlauben eine Modularisierung der Mitarbeitenden-AAS, die sich so an Anwendungsfälle und datenschutzbezogene Anforderungen anpassen lässt. Durch Kombination der entwickelten fünf Submodelle ConstitutionData, Qualifications, PhysiologicalData, WorkState und ActivityTracking können kontextspezifische AAS-Konfigurationen erzeugt werden:

- Variante 1: MinimalAAS umfasst nur das Submodell ConstitutionData und ist damit für ergonomische Grundmodelle wie das Rapid Upper Limb Assessment (RULA) geeignet.
- Variante 2: HRAAS fokussiert auf das Submodell Qualifications und bildet Qualifikationsstufen, Zertifikate und Skills ab. Diese Variante ist für organisatorische Planungsprozesse relevant, etwa bei der Kompetenzverwaltung oder Einsatzplanung. Da sie keine Vital oder Belastungsdaten enthält, unterliegt sie geringeren datenschutzrechtlichen Anforderungen und kann in bestehende HR-Prozesse integriert und an die entsprechenden Systeme angebunden werden.
- Variante 3: Full-Worker-AAS umfasst alle fünf Submodelle und resultiert daher in den höchsten datenschutzrechtlichen Anforderungen. Sie ist die umfassendste Variante und ermöglicht empathische Unterstützungssysteme, die auf individuelle Zustände reagieren können und alle Submodelle nutzen.
- Variante 4: Arbeitsplatzbezogene AAS bildet keine personenbezogenen Daten ab, sondern risikoreduzierte, aggregierte Merkmale. Die Variante eignet sich für Anwendungsfälle, in denen keine individuelle Unterstützung geboten, sondern bei-

spielsweise allgemeine Belastungsfaktoren oder ergonomische Faktoren analysiert werden sollen.

4 Implementierung und Templates

4.1 Implementierung der python-basierten Architektur

Die technische Umsetzung der Mitarbeitenden-AAS folgt einem generativen Ansatz, mit dem Submodelle programmatisch erzeugt werden. Dies stellt die konsistente, wiederholbare Modellierung sicher. Eine python-basierte Template-Fabrik auf Basis des BaSyx-Frameworks erzeugt vollständige AAS-Instanzen und Teilmodelle automatisiert und fehlerarm. Dabei werden Daten bereits bei der Modellierung anhand ihrer Art oder Herkunft zum Beispiel als Stammdaten oder Sensordaten gekennzeichnet. Datenschutzqualifizier wie DataPrivacyLevel, ConsentRequired und DataRetentionHours werden automatisch ergänzt.

Die Template-Fabrik unterstützt die Bildung von Varianten, beispielsweise minimaler oder vollständiger Mitarbeitenden-AAS, und damit die flexible Nutzung von Mitarbeitenden-AAS in verschiedenen Anwendungsfällen.

4.2 Datenschutz-Integration in der technischen Umsetzung

Die Mitarbeitenden-AAS integriert Datenschutzmechanismen direkt in das Modell. Ihre Umsetzung basiert auf dem Privacy-by-Design-Prinzip, bei dem Datenschutz als strukturelle Eigenschaft der AAS-Modelle verstanden wird. Die Template-Fabrik setzt dieses Prinzip konsequent um, indem sie relevante Datenschutzinformationen automatisiert einbettet und so eine nachvollziehbare und potenziell auditable Datenverarbeitung sicherstellt. Mit automatisch ergänzten Privacy-Qualifiern werden Sensitivität, Einwilligungspflicht und Löschfristen definiert. Daher werden beispielsweise Vitaldaten anders behandelt als weniger sensitive Qualifikationsdaten. Die Qualifiers schaffen damit eine maschinenlesbare Basis, auf der AAS-Server, Assistenzsysteme oder Visualisierungstools entscheiden können, ob und in welchem Umfang Daten angezeigt, verarbeitet oder gelöscht werden dürfen.

Zudem werden datenschutzbezogene Submodell-Dokumentationen wie GDPR_ConsentDocumentation und GDPR_ProcessingRecord automatisch eingebunden. Die Template-Fabrik kann Submodelle, die sowohl die Einwilligungen der Mitarbeitenden als auch die Verarbeitungstätigkeiten nach Art. 30 DSGVO direkt in der AAS abbilden, erzeugen. Damit wird die Verwaltungsschale selbst zum Träger der erforderlichen Transparenz und Dokumentationsinformationen. Bei fehlender Einwilligung können Submodelle ausgeblendet, pseudonymisiert oder in weniger sensible arbeitsplatzbezogene Datenmodelle überführt werden. Damit unterstützt die technische Umsetzung sowohl hochgradig personenbezogene Szenarien als auch datensparsame Ansätze.

4.3 Asset Interfaces

Eine zweckmäßige Einbindung der Mitarbeitenden-AAS in reale Informationssysteme muss die Verarbeitung dynamischer Daten ermöglichen. Sie erfolgt daher über die standardisierten Asset-Schnittstellenmodelle Asset Interface Description (AID) und Asset Interface Mapping Configuration (AIMC) der IDTA. Mit dem AID-Teilmodell werden externe Datenquellen formal mit

ihren Schnittstellennamen, verwendetem Kommunikationsprotokoll, im Fall der Mitarbeitenden-AAS meist REST, sowie Adresse oder Basis-URL beschrieben. Damit wird für Datenquellen eindeutig definiert, wie aktuelle Werte abgerufen werden können.

Mit dem AIMC-Teilmodell wird auf der Grundlage der AID das Mapping zwischen Submodellelementen der Mitarbeitenden-AAS und den entsprechenden REST-Endpunkten der Datenquelle beschrieben. Für die gemappten Elemente werden der Submodel-ElementPath, die http-Methode wie „GET“ und der relative Pfad spezifiziert. Im Fall von EMOTION ist das zum Beispiel PhysiologicalData.Heartrate → GET /{(workerID)}/physiological/heart-rate.

Über die durch AID und AIMC realisierte Abbildung können Assistenz- und weitere Softwaresysteme aktuelle Messwerte automatisiert abrufen und verarbeiten. Außerdem ermöglicht dieses Mapping eine datensparsame Realisierung dynamischer Menschmodelle, da die AAS lediglich semantisch eindeutige Einzelwerte abbildet, während Zeitreihendaten in den Quellsystemen verbleiben.

4.4 Integration der Submodelle in Tools und Demonstratoren

Die Template-Fabrik erlaubt die strukturierte Erzeugung der Mitarbeitenden-AAS und eine einfache Integration in EMOTION-Demonstratoren. Die erzeugten AAS-Instanzen können direkt als AASX-Dateien exportiert werden. Sie entsprechen dem Austauschformat der IDTA und können unmittelbar geprüft werden. Dies erleichtert die strukturelle und semantische Qualitätssicherung, vor allem in Hinblick auf eine korrekte Submodellstruktur, konsistente semanticIds und DSGVO-relevante Einbettungen.

In EMOTION können die generierten AAS-Instanzen in verschiedenen Demonstratoren eingesetzt werden. Beispielsweise werden ergonomische Belastungs- und Aktivitätsdaten über die AAS bereitgestellt. Im Anwendungsszenario der Kühlaggregat-Instandhaltung können physiologische und qualifikationsbezogene Daten als Entscheidungsgrundlage eingesetzt werden.

Ein weiterer Vorteil der Template-Fabrik ist ihre Flexibilität durch Variantenbildung der AAS, wodurch deren Nutzung in verschiedenen Softwaresystemen erleichtert wird. Zugleich wird sichergestellt, dass alle Varianten dieselbe semantische Grundstruktur teilen und dadurch interoperabel bleiben.

5 Diskussion

Mit der Template-Fabrik kann gezeigt werden, wie die Mitarbeitenden-AAS in der Praxis eingesetzt und in bestehende Produktions- und Assistenzsysteme eingebunden werden kann. Auch wenn die Mitarbeitenden-AAS aktuell noch in der Evaluierungsphase ist, werden im Folgenden die Ergebnisse des Beitrags diskutiert.

Die datenschutzkonform entwickelte Mitarbeitenden-AAS erlaubt die interoperable Nutzung von Menschdaten in Produktion, Ergonomie und Instandhaltungsplanung. Sie vereinheitlicht die Darstellung von Menschdaten über technische Systeme hinweg und reduziert Integrationsaufwände zwischen Assistenz-, HR- und cyber-physikalischen Systemen (CPS). Die gebotene Unterstützung der Mensch-Technik-Interaktion ermöglicht belastungs- und ergonomieadaptive Assistenzfunktionen bei Produktionsaktivitäten und Echtzeit-Rückmeldungen mittels objektiver Daten.

Belastungs-, Ergonomie- und Zustandsmodelle schaffen eine Grundlage für empathische Produktionssysteme und eine belastungsorientierte Personaleinsatzplanung.

Herausforderungen bestehen bei Akzeptanz, technischer Komplexität sowie rechtlichen und organisatorischen Aspekten. Zur Steigerung der Akzeptanz sind eine hohe Transparenz sowie Erklärbarkeit sicherzustellen und die Mitarbeitenden bei der Entwicklung und Einführung von mitarbeitenden-AAS-basierten Lösungen einzubinden. Technische Herausforderungen sind die Echtzeit-Sensorintegration, eine semantisch korrekte Modellierung sowie die Skalierung in größeren Produktionssystemen. Rechtlich sind klare Rollen und Prozesse nach DSGVO nötig, vor allem für Einwilligungen, Zugriffskontrollen und Löschkonzepte. Mitarbeitenden muss die Möglichkeit zu freiwilliger Einwilligung und Widerruf ihrer Abbildung in Verwaltungsschalen angeboten werden.

Die Ergebnisse bilden eine mögliche Grundlage für ein generisches Mitarbeitenden-AAS-Referenzmodell und können tendenziell in Standardisierungsaktivitäten einfließen.

6 Fazit und Ausblick

Um die Lücke bei der digitalen Abbildung von Menschen zu schließen und eine Mitarbeitenden-AAS als konsistentes Modell zu erarbeiten, wurde eine systematische Herleitung der Merkmalsgruppen Konstitution, Qualifikation, Physiologie, Zustand, Aktivität vorgenommen. Diese wurden durch klar definierte Submodelle abgebildet und erlauben eine semantisch strukturierte, interoperable Datenrepräsentation.

Zentral war ein datenschutzorientiertes Modellierungskonzept mit Privacy-Qualifiern, Consent- und ProcessingRecord-Submodellen. Damit wurde eine DSGVO-konforme Trennung personenbezogener und arbeitsplatzbezogener Daten möglich. Für den praktischen Einsatz sind Zugriffskontrollen und Löschkonzepte sicherzustellen.

Die AAS-Instanzen werden von einer Template-Fabrik mit Python/BaSyx erzeugt. AID und AIMC nach IDTA ermöglichen die Kopplung der AAS mit Sensorik und weiteren Systemen per REST. Die erstellten Verwaltungsschalen können in Demonstratoren der Anwendungsmodul des Leitprojekts EMOTION eingesetzt und erprobt werden. Dabei können ergonomische, belastungsorientierte und qualifikationsbezogene Daten genutzt werden.

Auf Basis der Evaluierung sind Erweiterungen der Merkmalsgruppen und weitere Anbindungen an betriebliche Informationssysteme geplant. Diese Erweiterungen betreffen kognitive, kontextbezogene und psychosoziale Merkmale. Technisch sind weitere Submodelle, zusätzliche semantische Referenzen und bidirektionale Kommunikation vorgesehen. Geplant ist außerdem die Anbindung an HR- sowie MES-Systeme.

Trotz der angestrebten, und im Rahmen der Möglichkeiten innerhalb des Projekts erreichten allgemeinen Einsetzbarkeit der entwickelten Submodelle und Templates sollte eine Abbildung von Mitarbeitenden in der Verwaltungsschale von Grund auf verallgemeinert vorgenommen werden, wofür sich die mittlerweile gegründeten entsprechenden Arbeitsgruppen der IDTA anbieten. Bei einem betrieblichen Einsatz der Mitarbeitenden-AAS sind rechtliche, ethische und soziale Aspekte zwingend angemessen zu berücksichtigen.

FÖRDERHINWEIS

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts „EMOTION“ gefördert.

Literatur

- [1] Grieves, M.: Origins of the Digital Twin Concept. Whitepaper. Stand: 2016, doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609
- [2] Industrial Digital Twin Association: Specification of the Asset Administration Shell – Part 1: Metamodel, Version 3.1.2. Berlin: IDTA 2025, <https://doi.org/10.62628/IDTA.01001-3-1-2>
- [3] Mäule, J.; Kutzler, T.; Leich, T. et al.: Unified Namespace and Asset Administration Shell: A Winning Combination for Digital Production. In: 2024 IEEE 29th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), pp. 1–7, <https://doi.org/10.1109/ETFA61755.2024.10710821>
- [4] ECLASS e.V.: ECLASS Datenstandard für Waren & Dienstleistungen – ECLASS. Stand: 2026. Internet: www.eiclass.eu. Zugriff am 17.04.2026
- [5] International Electrotechnical Commission: IEC 61360-7 – IEC/SC 3D – Common Data Dictionary (IEC CDD), IEC. Stand: 2024. Internet: cdd.iec.ch. Zugriff am 17.04.2026
- [6] Industrial Digital Twin Association: IDTA 02006 – Digital Nameplate for Industrial Equipment, Version 3.0.1. Stand: 2025. Internet: industrialdigitaltwin.org/en/wp-content/uploads/sites/2/2025/10/IDTA-02006-3-0-1_Submodel_Digital-Nameplate.pdf. Zugriff am 17.04.2026
- [7] Industrial Digital Twin Association: IDTA 02003 – Generic Frame for Technical Data for Industrial Equipment in Manufacturing, Version 2.0. Stand: 2025. Internet: industrialdigitaltwin.org/en/wp-content/uploads/sites/2/2025/03/IDTA-02003_Generic-Frame-for-Technical-Data.pdf. Zugriff am 17.04.2026
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Verwaltungsschale in der Praxis. Stand: 2020. Internet: www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-verwaltungsschale-in-der-praxis.html. Zugriff am 17.04.2026
- [9] Industrial Digital Twin Association: IDTA 02017-1-0 – Asset Interface Description (AID), Version 1.0. Stand: 2024. Internet: industrialdigitaltwin.org/en/wp-content/uploads/sites/2/2024/01/IDTA-02017-1-0_Submodel_Asset-Interfaces-Description.pdf. Zugriff am 08.04.2026
- [10] Industrial Digital Twin Association: IDTA 02027-1-0 – Asset Interface Mapping Configuration (AIMC), Version 1.0. Stand: 2025. Internet: industrialdigitaltwin.org/en/wp-content/uploads/sites/2/2024/06/IDTA-02027-1-0_Submodel_AssetInterfacesMappingConfiguration.pdf. Zugriff am 17.04.2026
- [11] He, Q.; Li, L.; Li, D. et al.: From Digital Human Modeling to Human Digital Twin. Chinese Journal of Mechanical Engineering 37 (2024), <https://doi.org/10.1186/s10033-024-00998-7>
- [12] Xia, Y.; Xiao, Z.; Jazdi, N. et al.: Generation of Asset Administration Shell With Large Language Model Agents. ArXiv 2024, arXiv:2403.17209, 2024
- [13] Gupta, P. K.; Heller, J.; Lüdemann Ravit, B.: Asset Administration Shell – Deutschlands Standard für Digitale Zwillinge. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 120 (2025), <https://doi.org/10.1515/zwf-2025-1121>
- [14] Afolabi, A.; Yusuf, A.; Akanmu, A.: Human in the Loop Digital Twin Framework for Ergonomic Assessment of Exoskeletons in Construction. Journal of Information Technology in Construction (2024), <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.048>
- [15] Pan, R.; Sun, H.; Chen, X. et al.: Human Digital Twin: Data, Models, Applications, and Challenges. ArXiv 2025, arXiv:2508.13138
- [16] Mordaschew, V.; Latos, B.; Tackenberg, S.: A Human Digital Twin for Worker Centric Production. Procedia Computer Science 253 (2025), pp. 2137–2146, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.274>
- [17] Europäische Union: Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-

- Grundverordnung). Stand: 2016. Internet: eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679. Zugriff am 17.04.2026
- [18] de Angelis, M.; San Román Niaves, M.; Pietrantonio, L.: Applications of Digital Twin in Human Factors, Ergonomics and Organisational Dynamics. *International Journal of Human Factors and Ergonomics* 12 (2025) 5, doi.org/10.1504/IJHFE.2025.10074824
- [19] Brunner, S.; Knott, V.; Bengler, K.: Lean Ergonomics – Are Relevant Synergies of Digital Human Models and Digital Twins Defining a New Emerging Subdiscipline? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 76 (2022), pp. 401–415. <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00344-4>
- [20] Cutrona, V.; Bonomi, N.; Montini, E.; Ruppert, T.; Delinavelli, G.; Pedrazzoli, P.: Extending Factory Digital Twins through Human Characterisation in Asset Administration Shell. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 37 (2024) 10–11, pp. 1214–1231, <https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2278108>
- [21] Regenstrief Institute, Inc.: Home – LOINC. Stand: 2026. Internet: www.loinc.org. Zugriff am 17.04.2026
- [22] W3C: Semantic Sensor Network Ontology (SSN) / SOSA Ontology. W3C Recommendation. Stand: 2017. Internet: www.w3.org/TR/vocab-ssn/. Zugriff am 17.04.2026

Dr.-Ing. Joachim Lentjes 
joachim.lentjes@iao.fraunhofer.de

Simon Frey, M.Sc. 

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO 
 Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Johannes Mäule, M.Sc. 

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung 
 Sandtorstr. 22, 39106 Magdeburg
www.iff.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Noël Scheder

Dipl.-Ing. Matthias Hayek

Fraunhofer Austria Research GmbH
 Theresianumgasse 7, 1040 Wien
www.fraunhofer.at

LIZENZ



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