

Beschreibungsmittel für die modellbasierte KI-Entwicklung in Automatisierungssystemen

Marvin Schieseck*, Philip Topalis*, René Heesch*, Julian Putzke*, Alexander Fay*

*Institut für Automatisierungstechnik

Helmut Schmidt Universität

Hamburg, Deutschland

Email: marvin.schieseck@hsu-hh.de

Zusammenfassung—KI-Anwendungen für Automatisierungssysteme sind komplexe und meist verteilte Systeme, an deren Entwicklung und Integration mehrere Fachdisziplinen beteiligt sind. Jede Fachdisziplin verwendet eigene, domänenspezifische Beschreibungsmittel zur Modellierung der Systemelemente. Ein interdisziplinäres Beschreibungsmittel, welches eine für alle Fachdisziplinen verständliche Modellierung der KI-Anwendung als Gesamtsystem ermöglicht, existiert bisher nicht. Häufig mangelt es deshalb an einem interdisziplinären Systemverständnis, was einen erhöhten Entwicklungs-, Integrations- und Wartungsaufwand zur Folge hat.

In diesem Beitrag wird deshalb ein Beschreibungsmittel vorgestellt, das eine konsistente, grafische Modellierung von KI-Anwendungen für Automatisierungssysteme auf Systemebene erlaubt. Dadurch wird es möglich, einzelne Teilbereiche in domänenspezifische Teilsysteme zu untergliedern und so die bestehenden Aufwände zu reduzieren.

Schlagerworte—Systemmodell, Beschreibungsmittel, KI-Anwendung

I. EINLEITUNG

Die Digitalisierung und Automatisierung von technischen Anlagen, Fertigungsprozessen und Produkten nimmt weiter zu und erhält neue Impulse durch moderne Informationstechnologien. Unternehmen sind dazu gezwungen, neue Technologien wie beispielsweise künstliche Intelligenz (KI) zu adaptieren, um auf dem internationalen Markt wettbewerbsfähig zu bleiben. [1]

Deshalb wird in den letzten Jahren vermehrt der Ansatz verfolgt, KI-Anwendungen in Automatisierungssysteme zu integrieren [2]. Es wurden bereits zahlreiche Anwendungsfälle identifiziert, in denen durch die Integration von KI die Effizienz der bisherigen Lösungen gesteigert oder überhaupt erst ermöglicht wurde [3]. Beispiele dafür finden sich im Bereich der Instandhaltung, der Qualitätskontrolle, der Bedarfsplanung oder der Anlagenplanung [4].

Trotz dieser vielversprechenden Anwendungsfälle wird KI in der Industrie insgesamt vergleichsweise noch wenig eingesetzt [1]. KI-Anwendungen werden häufig im Rahmen von Forschungsprojekten erarbeitet und können bisher oft nur in geringem Umfang wirtschaftlich in der Praxis integriert werden [4]. Dies ist zum Teil darin begründet, dass die Software-Entwicklung von KI-Systemen im Vergleich zur traditionellen Software-Entwicklung mit zusätzlichen Herausforderungen konfrontiert ist, welche eine wirtschaftliche Weiterentwicklung

und Integration von experimentellen KI-Lösungen häufig verhindern. [5], [6]

In [5] wird darauf hingewiesen, dass die meisten dieser Herausforderungen auf der Systemebene und nicht auf der Codeebene gelöst werden müssen. Die Autoren zeigen auf, dass eine Möglichkeit für die abstrakte Systemmodellierung von KI-Systemen fehlt. In [7], [8] und [9] wird beschrieben, dass für produzierende Unternehmen kein interdisziplinärer Kommunikationsrahmen existiert, welcher ein einheitliches Verständnis von KI-Systemen ermöglicht und die grundsätzlichen Funktionen und Komponenten definiert. Der Handlungsbedarf für die Forschung wird in [10] zusammengefasst. Demnach mangelt es an interdisziplinären und leicht verständlichen Modellen für die Entwicklung von KI-Anwendungen, welche die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Anlagenkomponenten, Softwarekomponenten und Prozessen gemeinsam modellieren und die Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachdisziplinen fördern können.

Eine Möglichkeit, um diesen Handlungsbedarf zu adressieren, bietet eine grafische Darstellung des Systems. Dadurch kann der Kern eines Problems formal und verständlich für unterschiedliche Beteiligte modelliert und dargestellt werden [11], [12]. Im Bereich der Automatisierungstechnik und der Informatik werden grafische Darstellungen von Systemen deshalb häufig eingesetzt [13]. Ein Beschreibungsmittel ermöglicht die Definition der Symbole, der Regeln und der Semantik dieser Darstellung und dadurch eine für alle Fachdisziplinen verständliche Modellierung. Ein geeignetes Beschreibungsmittel für die Modellierung von KI-Anwendungen für Automatisierungssysteme existiert bisher nicht. Zur Schließung dieser Lücke wird in diesem Beitrag ein neues Beschreibungsmittel vorgestellt.

In Abschnitt II werden die Anforderungen aus dem Handlungsbedarf und den Herausforderungen abgeleitet. Außerdem wird ein Überblick über verwandte Arbeiten gegeben und offene Punkte der aktuellen Ansätze werden aufgezeigt. Anschließend wird in Abschnitt III das entwickelte Beschreibungsmittel vorgestellt. In Abschnitt IV werden zur Validierung KI-Anwendungen für zwei unterschiedliche industrielle Anwendungsfälle modelliert. Die Ergebnisse werden in Abschnitt V diskutiert und in Abschnitt VI zusammengefasst. Abschließend werden in Abschnitt VII zukünftige Forschungsthemen aufgezeigt.

II. ANFORDERUNGEN UND VERWANDTE ARBEITEN

Die Software-Entwicklung von KI-Anwendungen ist im Vergleich zur traditionellen Software-Entwicklung mit zusätzlichen Herausforderungen konfrontiert. Diese sind unter anderem unklare Systemgrenzen, Rückkopplungsschleifen, nicht deklarierte Datenabhängigkeiten, Konfigurationsprobleme, Veränderungen in der Außenwelt sowie Anti-Patterns auf Systemebene, um nur einige zu nennen. Der geschriebene Code für die datenbasierten KI-Modelle besteht zu meist nur aus wenigen Zeilen Programmcode und ist im Verhältnis zur gesamten Software nur ein kleiner Teil. Der Großteil des KI-Systems besteht aus Konfiguration, Automatisierung, Testing, Ressourcenmanagement, Prozess- und Metadatenmanagement, Einsatzinfrastruktur sowie Datenerfassung, -speicherung, -übermittlung und -überprüfung. Ein weiteres Problem bei KI-Systemen besteht darin, dass alle Änderungen, die dazu führen, dass sich die zukünftigen Daten von den historischen Daten unterscheiden, negative Auswirkungen auf das gesamte KI-System haben. Das bedeutet, dass die Anpassung von Hardwarekomponenten wie beispielsweise einer Datenquelle, auch wenn dadurch die Datenqualität insgesamt verbessert wird, trotzdem negative Auswirkungen auf die gesamte KI-Anwendung haben kann. [5]

Erschwerend kommt hinzu, dass die meisten KI-Systeme für technische Anlagen dezentrale und verteilte Systeme darstellen, bei denen verschiedene Soft- und Hardwarekomponenten über das technische System verteilt sind [14].

A. Anforderungen an das Beschreibungsmittel

Aus dem Handlungsbedarf und den aufgezählten Herausforderungen für KI-Anwendungen werden nachfolgend die Anforderungen an das Beschreibungsmittel abgeleitet:

A1: Interdisziplinär leicht verständlich: Es muss branchenneutral und für alle beteiligten Fachdisziplinen leicht verständlich sein, um den Aufwand und die Hürde für die Anwendung gering zu halten und um eine einheitliche Kommunikationsgrundlage zu schaffen [10].

A2: Reduzierung der Symbolik: Es muss alle für die Entwicklung und den Betrieb notwendigen Informationen und Komponenten der KI-Anwendung, der Anlage und des Prozesses eindeutig und strukturiert darstellen können [10]. Es ist eine formale Reduktion auf eine definierte Menge von Symbolen für die Darstellung von Systemkomponenten erforderlich, ebenso wie Regeln für deren zulässige Verbindung [15]. Es muss eine symbolisch und semantisch verständliche Darstellung ermöglichen und dabei die Komponenten, Funktionen, Relationen berücksichtigen [11].

A3: Darstellen wechselseitiger Abhängigkeiten: Es muss physikalische und informationelle Abhängigkeiten zwischen Anlagenkomponenten, KI-Komponenten und dem Prozess erfassen und darstellen können, um die aufgezeigten Probleme für KI-Anwendungen auf Systemebene zu verhindern [10].

A4: Darstellung von unterschiedlichen KI-Softwarearchitekturen: Es muss die konzeptionelle Darstellung und Modellierung von unterschiedlichen KI-Softwarearchitekturen ermöglichen, um verschiedene,

verteilte KI-Systeme als Lösung berücksichtigen zu können [5].

A5: Integration in KI-Vorgehensmodelle: Es muss entlang etablierter KI-Vorgehensmodelle verwendet und in diese integriert werden können, um den Mehraufwand so gering wie möglich zu halten [9]. Dies erfordert ein Zusammenspiel aus Vorgehensmodell und Beschreibungsmittel [13].

B. Vorgehensmodelle

Für die Entwicklung von komplexen technischen Systemen ist es üblich, Vorgehensmodelle einzusetzen. Diese definieren eine zeitlich logische Folge von Handlungen und unterstützen bei der Projektplanung und der zielorientierten Festlegung der Schritte eines Entwicklungsprozesses [13]. Als de facto-Standard für KI-Projekte hat sich hier der *Cross-Industry Standard Process for Data-Mining* (CRISP-DM) durchgesetzt [8], [16]. CRISP-DM ist ein domänenunabhängiges Vorgehensmodell, welches den Entwicklungsprozess in sechs Schritte unterteilt: *Business Understanding, Data Understanding, Data Preparation, Modelling, Evaluation und Deployment*. Es sind Iterationen und Rücksprünge zwischen einzelnen Schritten erlaubt [17]. CRISP-DM wird häufig als Basis für die Entwicklung von domänen- oder anwendungsfallspezifischen Vorgehensmodellen verwendet [16], [18]–[23].

C. Verwandte Modellierungssprachen und -konzepte

In [7] werden vier Komponenten beschrieben, aus denen ein KI-System aufgebaut ist und welche als Grundlage zur Modellierung verwendet werden: *Datenquelle, Datenverarbeitungs-komponente, datengetriebenes Modell und KI-Service/Agent*. Für die grafische Darstellung werden Rechtecke und Kreise verwendet, welche entsprechend der Komponenten bezeichnet werden. Diese werden über Pfeile miteinander verbunden, um den Informations- und Datenfluss darzustellen. Die Datenquelle zeichnet die geforderten Daten auf und übersendet diese an andere Komponenten. Die Datenverarbeitungskomponente ist im engeren Sinne eine Funktion, welche die Eingabedaten in Ausgabedaten eines gewünschten Formats umwandelt. Das datengetriebene Modell wandelt ebenfalls Eingabedaten in Ausgabedaten, allerdings werden dafür ausschließlich datengetriebene Modelle eingesetzt, wie beispielsweise neuronale Netze, welche zuvor trainiert werden müssen. Der KI-Service/Agent verwendet für die Eingabedaten ausschließlich die Ausgabe eines datengetriebenen Modells und wandelt diese in Ausgabedaten oder Aktionen innerhalb des technischen Gesamtsystems um.

In [24] wird ein Konzept zur Entwicklung von Industrie 4.0 Lösungen, zu denen auch KI-Anwendungen zählen, vorgestellt. Dieses Konzept wird als *NAMUR Open Architecture* (NOA) bezeichnet. Es basiert auf einer Ergänzung der klassischen Automatisierungspyramide und definiert zwei getrennte Bereiche: einerseits eine deterministische Kern-Prozessautomatisierung und andererseits Monitoring- und Optimierungs-Bereich. Die grafische Darstellung erfolgt über Rechtecke, welche entsprechend der gewünschten Komponenten bezeichnet werden. Jede der bezeichneten Komponenten

wird in einen der beiden Bereiche eingruppiert und auf Basis der Automatisierungspyramide hierarchisch angeordnet. Die Modellierung der KI-Anwendung erfolgt dann, indem die Komponenten aus beiden Bereichen durch Datenschnittstellen mithilfe von Pfeilen miteinander verbunden werden.

Die Unified Modelling Language (UML) ist eine grafische Modellierungssprache, welche insbesondere im Bereich der Informatik zum Modellieren von Softwaresystemen verwendet wird. UML stellt 14 grafische Modellierungsarten (Diagramme) zur Verfügung, mit deren Hilfe Skizzen und Entwürfe eines Systems erstellt werden können. Für jedes Diagramm ist eine eigene Symbolik mit eigenen Regeln und eigener Semantik definiert. [25]

SysML ist eine auf UML basierende grafische Modellierungssprache, welche insbesondere im Bereich des Systems Engineering zur Modellierung verschiedener komplexer, technischer Systeme verwendet wird. SysML stellt, wie UML, diverse grafische Modellierungsarten (Diagramme) zur Verfügung, wobei die meisten auf UML basieren oder davon abgeleitet sind. [26]

In der VDI 3682 ist eine grafische Modellierungssprache definiert, welche zur Modellierung von technischen Prozessen im gesamten Lebenslauf technischer Systeme eingesetzt wird. Die Elemente dieser formalisierten Prozessbeschreibung sind Produkt (Kreis), Energie (Raute) und Prozessoperator (Rechteck), welche durch einen Flusspfeil (Volllinie mit Pfeil) miteinander verbunden werden. Durch den Prozessoperator werden Produkte und Energien entlang Flusspfeils umgewandelt. Der Prozessoperator realisiert diese Umwandlung mithilfe eines weiteren Elements, der technischen Ressource (Rechteck mit abgerundeten Ecken). Technische Ressourcen und Prozessoperatoren werden einander über einen Nutzungspfeil (Strichlinie mit Pfeilen) zugewiesen. [27]

D. Bewertung der verwandten Arbeiten

Die etablierten Vorgehensmodelle unterstützen bei der Planung der zeitlichen Abfolge der einzelnen Schritte innerhalb des Projekts, aber kaum beim Entwurf oder der Modellierung der KI-Anwendung. Keines der Vorgehensmodelle definiert ausreichend, wie das System entlang der einzelnen Schritte modelliert und dokumentiert werden sollte. Es wird auch nicht auf ein geeignetes Beschreibungsmittel oder eine Modellierungssprache verwiesen. [16], [18]–[23]

Deshalb werden nachfolgend die bereits vorgestellten Ansätze mit den Anforderungen verglichen, um deren Eignung bezüglich der Modellierung zu bewerten.

Die Modellierung nach [7] besteht aus wenigen Symbolen und Regeln und wird deshalb als leicht verständlich bewertet (A1). Der Fokus liegt auf der Darstellung der KI-Anwendung. Eine Einschränkung, welche grundlegenden Komponenten und Funktionen berücksichtigt werden müssen, erfolgt nur für die KI-Anwendung (A2). Die Anlagenkomponenten oder der technische Prozess werden nicht berücksichtigt, mit Ausnahme des Sensors. Deshalb können die Abhängigkeiten zwischen den KI-Komponenten selbst modelliert werden, aber nicht zwischen dem Prozess oder den Anlagenkomponenten (A3). Die

Darstellung von unterschiedlichen KI-Softwarearchitekturen ist nicht möglich, weil die Anlagenstruktur kaum berücksichtigt werden kann (A4). Die Autoren schlagen ein eigenes Vorgehensmodell vor, bestehend aus den Schritten: *Planen*, *Experimentieren*, *Implementieren* und *Optimieren*. Ein Vergleich dieser Schritte mit denen in CRISP-DM zeigt, dass der Ansatz bedingt integriert werden kann (A5).

Die Modellierung nach [24] mithilfe der NOA besteht aus wenigen Symbolen und Regeln und wird deshalb als leicht verständlich bewertet. Die Verständlichkeit wird dadurch gesteigert, dass die weit verbreitete Automatisierungspyramide als Basis verwendet wird (A1). Eine Einschränkung, welche grundlegenden Komponenten und Funktionen berücksichtigt werden müssen, erfolgt nur für einzelne Anlagenteile und KI-Komponenten (A2). In der NOA werden einzelne KI- und Anlagenkomponenten berücksichtigt, aber nicht der Prozess. Deshalb können die Abhängigkeiten zwischen KI-Komponenten und Anlagenkomponenten teilweise modelliert werden, aber nicht mit Bezug zum Prozess (A3). Auch die Darstellung von unterschiedlichen KI-Softwarearchitekturen ist nur eingeschränkt möglich, insbesondere durch Trennung in die zwei Bereiche. Dadurch wird vorwiegend eine Modellierung von Cloud-Architekturen unterstützt (A4). In [24] wird nicht beschrieben, wie das Konzept in etablierte Vorgehensmodelle integriert werden kann (A5).

Die grafische Modellierung mit UML oder SysML unter Verwendung und Kombination von verschiedenen Diagrammen ermöglicht prinzipiell die Modellierung von wechselseitigen Abhängigkeiten und von unterschiedlichen Softwarearchitekturen (A3)(A4). Beides sind allerdings umfangreiche Modellierungssprachen, welche zunächst von allen Beteiligten gelernt werden müssen, bevor sie verstanden und genutzt werden können. Jedes der Diagramme besitzt seine eigenen Symbole, Regeln und Semantik. Zusammenfassend werden diese Modellierungssprachen deshalb für die Entwicklung von KI-Anwendungen als interdisziplinär nicht leicht verständlich bewertet (A1). Die Symbolik der einzelnen Diagramme ist zwar definiert, allerdings ist diese nicht auf die wichtigen Komponenten für KI-Anwendungen reduziert (A2). Prinzipiell ist es möglich, verschiedene Diagramme in die einzelnen Schritte der etablierten Vorgehensmodelle zu integrieren (A5).

Die grafische Modellierung nach der VDI 3682 besteht aus wenigen Symbolen und Regeln und wird deshalb als leicht verständlich bewertet (A1). Die Symbolik ist reduziert auf grafische Elemente für Anlagenkomponenten und den Prozess, jedoch nicht für Software- oder KI-Komponenten (A2). Es werden wechselseitige Abhängigkeiten zwischen dem Prozess und den Anlagenkomponenten erfasst, jedoch nicht zu den KI-Komponenten. Durch eine Zuordnung von Software-Komponenten zu technischen Ressourcen mithilfe eines Informationsmodells kann nachvollziehbar dokumentiert werden, welcher Anteil von welcher Software auf welcher technischen Ressource läuft und welchem Prozessschritt dies zugeordnet ist [28]. Softwarekomponenten sowie Daten- und Informationsflüsse können nur eingeschränkt erfasst und nicht grafisch dargestellt werden (A3). Deshalb ist auch die Dar-

stellung von unterschiedlichen KI-Softwarearchitekturen nicht möglich (A4). Die VDI 3682 kann in den Schritt Business Understanding integriert werden, ist aber für die folgenden Schritte nicht geeignet (A5). In TABELLE I wird die Bewertung der bestehenden Ansätze tabellarisch zusammengefasst.

III. ERARBEITUNG DES BESCHREIBUNGSMITTELS

Nach [11] können allgemeine Systeme mithilfe der folgenden vier Elemente beschrieben werden: *Systemkomponenten*, *Systemfunktionen*, *Systemrelationen* und *Systemstrukturen*. Für das Beschreibungsmittel werden diese Systemelemente definiert, mit dem Ziel, die aufgelisteten Anforderungen zu erfüllen.

A. Systemkomponenten

Die Systemkomponenten definieren die Bausteine, aus denen das System aufgebaut ist [11]. Entsprechend der Anforderungen werden für das Beschreibungsmittel zwei Arten von Systemkomponenten definiert: Produkte und technische Ressourcen. Produkte sind die Materialien, die während eines Prozesses innerhalb der Automatisierungsanlage transformiert werden. Technische Ressourcen sind die Anlagenkomponenten, aus denen die reale Anlage aufgebaut ist und welche die Systemfunktionen ausführen. Für das Beschreibungsmittel werden sechs zulässige Kategorien von technischen Ressourcen definiert:

- Sensoren: Geräte, die Messwerte aus einem Prozess in der Anlage erfassen und digitalisieren.
- Aktoren: Geräte, die steuernd in einen Prozess in der Anlage eingreifen.
- Steuerungen: Geräte, welche für die gerichtete Beeinflussung des Verhaltens des technischen Systems verantwortlich sind. Die Verarbeitung von Signalen erfolgt in kurzen, bei Bedarf deterministischen, Zyklen.
- Edge-Geräte: Mikrocontroller oder Computer, die lokal in der Anlage und damit nahe am Prozess befindlich sind.
- Lokale Computersysteme: Unternehmensinterne Rechenzentren, die über das Unternehmensnetzwerk und ohne Internetverbindung erreichbar sind.
- Cloudsysteme: Unternehmensexterne Rechenzentren, die nur mit einer Internetverbindung erreichbar sind.

B. Systemfunktionen

Systemfunktionen wandeln eine Eingabemenge in eine Ausgabemenge um und ermöglichen es dadurch, die Ziele des Systems zu erreichen [11]. Funktionen können von technischen Ressourcen ausgeführt werden. Im Rahmen des Beschreibungsmittels werden sieben Kategorien von Systemfunktionen definiert:

- Automatisieren: Sensorwerte einlesen, verarbeiten und anschließend Aktoren ansteuern, um einen Prozess in der Anlage zielgerichtet zu beeinflussen. Diese Funktion beschreibt, dass ein Prozess automatisiert durch Ausführen von Steuerungscode in der Anlage abläuft.

- Transformieren: Reale Eingangsprodukte in Ausgangsprodukte umwandeln, zum Beispiel ein Halbzeug in ein Werkstück durch einen Zerspanungsprozess.
- Aufnehmen: Physikalische oder chemische Eigenschaften (Druck, Temperatur) erfassen und digitalisieren. Ebenfalls zur Aufnahmefunktion zählt das Erfassen von nicht physikalisch oder chemischen Daten, also beispielsweise Zeiten (Datum, Uhrzeit) oder wirtschaftlichen Daten (Kurse, Preise, Bestände).
- Speichern: Daten nach einer definierten Systematik, für eine definierte Zeit an einem definierten Speicherort ablegen.
- Verarbeiten: Eingabedaten oder -messwerte durch einen definierten Algorithmus in Ausgabedaten umwandeln. Beispielsweise zur Datenvorverarbeitung oder -nachverarbeitung. Es darf kein datengetriebener Algorithmus verwendet werden.
- Trainieren: Anpassen der Parameter eines datengetriebenen Algorithmus auf einen Anwendungsfall mithilfe von historischen Daten.
- Inferieren: Eingabedaten oder -messwerte durch einen datengetriebenen Algorithmus in Ausgabedaten umwandeln. Der datengetriebene Algorithmus muss bereits konfiguriert und parametrisiert sein, beispielsweise durch das Training.

C. Systemrelationen

Durch Systemrelationen werden die Verbindungen und Beziehungen zwischen Systemelementen beschrieben [11]. Dadurch können Abhängigkeiten ermittelt und dargestellt werden. Im Rahmen des Beschreibungsmittels werden drei Kategorien von Systemrelationen definiert:

- Kommunikation: Eine informationstechnische Verbindung zwischen zwei Systemkomponenten, welche den Informationsaustausch zwischen beiden beschreibt, beispielsweise zwischen Steuerung und Sensor.
- Zuordnungen: Eine strukturelle Verbindung zwischen Systemfunktionen und Systemkomponenten. Dadurch werden den Systemkomponenten die Systemfunktionen zugewiesen. Beispielsweise der Systemkomponente Sensor die Funktion Aufnehmen.
- Material- und Energiefluss: Eine energie- oder materialtechnische Verbindung zwischen Produkten und einer Transformationsfunktion.

D. Systemstruktur

Durch die Systemstruktur wird das Ordnungsprinzip, nachdem die einzelnen Komponenten des Systems strukturiert werden, definiert [11]. In der Automatisierungstechnik ist die Automatisierungspyramide eine akzeptierte, weit verbreitete und leicht verständliche Möglichkeit, die Anlagenstruktur zu ordnen und zu hierarchisieren [29], [30]. In Anlehnung daran wird für das Beschreibungsmittel eine vierstufige Systemstruktur definiert:

TABELLE I
BEWERTUNG VON MODELLIERUNGSSPRACHEN UND -KONZEPTEN FÜR KI-ANWENDUNGEN FÜR AUTOMATISIERUNGSSYSTEME

	A1: Interdisziplinär leicht verständlich	A2: Reduzierung der Symbolik	A3: Darstellen wechselseitiger Abhängigkeiten	A4: Darstellung unterschiedlicher KI-Softwarearchitekturen	A5: Integration in KI-Vorgehensmodelle
Kaymacki [7]	●	◐	◐	○	◐
NOA [24]	●	◐	◐	◐	○
UML/SysML	○	○	●	●	●
VDI 3682 [27]	●	◐	◐	○	◐

● Anforderung erfüllt ◐ Anforderung teilweise erfüllt ○ Anforderung nicht erfüllt

- Ebene 1 physikalische Prozesse: Hier werden Transformationsprozesse der Produkte innerhalb der Automatisierungsanlage beschrieben.
- Ebene 2 Feldgeräte: Hier werden die Sensoren und Aktoren beschrieben.
- Ebene 3 Steuerungs- und Kontrollsysteme: Hier werden die Steuerungen und Edge-Geräte beschrieben.
- Ebene 4 Computer- und Cloudsysteme: Hier werden lokale und externe Computer- und Cloudsysteme beschrieben.

E. Symbole des Beschreibungsmittels

Eine standardisierte Symbolik der definierten Systemelemente ermöglicht es, den Entwicklungsprozess zu vereinfachen. Außerdem können die Ergebnisse der Entwicklung präziser kommuniziert und dokumentiert werden [15]. Deshalb wird eine einheitliche Symbolik für die Systemfunktionen, Systemkomponenten und Systemrelationen definiert.

Für die Systemfunktionen werden Rechtecke verwendet. Für die technischen Ressourcen werden Rechtecke mit abgerundeten Ecken und für die Produkte werden Kreise verwendet. Die Kommunikationsbeziehungen werden durch Volllinien dargestellt, wobei die Kommunikationsrichtung durch Pfeile definiert wird. Die Zuweisung von Systemkomponenten und Funktionen erfolgt mithilfe einer Strichlinie. Der Materialfluss wird ebenfalls durch eine Strichlinie dargestellt, wobei der Pfeil die Flussrichtung definiert. Ein Überblick der Symbole ist in ABBILDUNG 1 abgebildet.

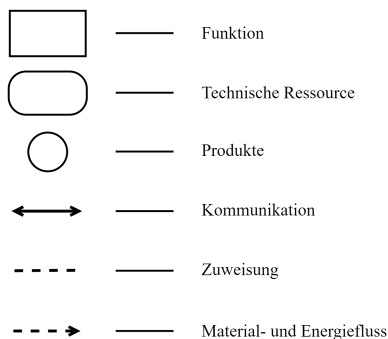


ABBILDUNG 1. ÜBERBLICK DER GRAFISCHEN SYMBOLE DES BESCHREIBUNGSMITTELS ZUR MODELLIERUNG.

F. Methodik zur grafischen Modellierung

Damit das Beschreibungsmittel in die etablierten Vorgehensmodelle integriert werden kann, muss es einzelne Schritte von

CRISP-DM unterstützen. Im ersten Schritt von CRISP-DM werden Business- und Projektziele definiert, beispielsweise, dass die Wartungskosten einer Teilanlage reduziert werden sollen. Gleichzeitig werden auch technische Zusammenhänge betrachtet und mit dem Business-Ziel verglichen, um technisch relevante Parameter zu definieren. Also zum Beispiel, dass ein Großteil der Wartungskosten auf die Reparatur einer bestimmten Anlagenkomponente zurückgeführt werden kann. Während dieses Schritts kann das Beschreibungsmittel zur Modellierung des Ist-Stands der Anlage und des Prozesses eingesetzt werden. Dies ermöglicht es, den Problemraum zu formalisieren, zu dokumentieren und zwischen allen Beteiligten zu kommunizieren. Anschließend kann gemeinsam von allen Beteiligten ein Lösungsraum erarbeitet werden. In den einzelnen Schritten des CRISP-DM kann das grafische Modell sukzessive erweitert und angepasst werden, um die KI-Anwendung zu entwickeln. Für die grafische Modellierung wird folgende Methodik empfohlen:

Es sollte zunächst der Ist-Stand des technischen Systems entlang der Ebenen von unten nach oben modelliert werden. Also beginnend bei der Prozessebene, über die Feldgerät und Steuerungsebene bis in die Computer- und Cloudsystemebene, jeweils mit den Systemkomponenten, -relationen und -funktionen, welche die technisch relevanten Parameter beeinflussen. Anschließend werden mögliche Lösungskonzepte für die KI-Anwendung auf Systemebene erarbeitet, indem zusätzliche Systemkomponenten, -funktionen und -beziehungen hinzugefügt oder bestehende geändert werden. Je nach Kombination und Verteilung von KI-Funktionen, Anlagenkomponenten und Kommunikationsbeziehungen können dann unterschiedliche KI-Softwarearchitekturen konzeptioniert und miteinander verglichen werden. Nachfolgend wird die vorgeschlagene Methodik zusammengefasst:

- Schritt 0: Businessziel, technisches Problem und relevante Parameter definieren.
- Schritt 1: Modellierung der Prozessschritte, der Produkte und des Materialflusses in der Prozessebene.
- Schritt 2: Modellierung der Feldgeräteebene mit Zuweisungen von technischem Prozess, Produkt und Funktion.
- Schritt 3: Modellierung der Steuerungs- und Kontrollsystemebene mit Kommunikationsbeziehungen und Zuweisung von Funktionen.
- Schritt 4: Modellierung der Computer und Cloudsystemebene mit Kommunikationsbeziehungen und Zuweisung von Funktionen.

- Schritt 5: Modellierung von Lösungskonzepten durch Ergänzen von erforderlichen Systemfunktionen, -komponenten und -beziehungen.

IV. VALIDIERUNG

Das Beschreibungsmittel wird zur Validierung in zwei Anwendungsfällen in einer Fertigungsanlage angewendet. Dafür werden zwei unterschiedliche KI-Anwendungen für zwei unterschiedliche technische Systeme modelliert.

A. Anwendungsfall 1: Predictive Maintenance

Im ersten Anwendungsfall sollen die Wartungskosten für einen Anlagenteil reduziert werden. Dieser Anlagenteil führt einen Prozess aus, bei dem eine Glasscheibe mit Polyurethan umschäumt wird. Ziel ist, die Instandhaltungsstrategie des Antriebsriemens zu optimieren, indem ein geeigneter Wartungszeitpunkt vorausgesagt wird. Gegenwärtig wird der Riemen in festen Intervallen gewartet. Eine Befragung des Anlagenbetreibers hat ergeben, dass ein wartungsbedürftiger Antriebsriemen eine Schwingung bei der Positionierung eines Werkzeugs hervorruft. Aus den Messwerten, die während des Positionierens dieses Werkzeugs aufgezeichnet werden, soll deshalb auf den Riemenverschleiß geschlossen werden. Für die automatisierte Analyse der Positionsdaten und einen Rückschluss auf den Zustand des Riemens soll eine KI-Anwendung entwickelt und in die Anlage eingebettet werden.

Die Anlage besteht aus einem Trägergestell, einem festen unteren Gesenk und einem beweglichen oberen Gesenk. Das obere Gesenk wird von zwei Elektromotoren bewegt, wobei jeweils rechts und links am Trägergestell ein Elektromotor montiert ist. Die Kraftübertragung erfolgt auf jeder Seite über die besagten Antriebsriemen und die Position des Gesenks wird über Positionssensoren gemessen. Das Schäumwerkzeug selbst besteht aus einer oberen und einer unteren Werkzeugform, wobei an jedem Gesenk eine Form montiert ist.

Modellierung der Prozessebene: Zu Beginn des Fertigungsprozesses wird eine Scheibe in die untere Werkzeugform eingelegt. Anschließend wird das obere Gesenk heruntergefahren und die beiden Werkzeugformen werden aufeinander abgesetzt. Sobald beide Werkzeugformen geschlossen aufeinander liegen, wird das Polyurethan eingeschossen und die Scheibe umschäumt. Nach einer definierten Zeit werden die Werkzeugformen geöffnet und die Scheibe zur Nachverarbeitung entnommen. Die Prozessebene ist in **ABBILDUNG 2** in der Ebene 1 abgebildet.

Modellierung der Feldgeräteebene: Die beiden Positionssensoren messen die Lage des oberen Gesenks während der Prozessschritte Schließen und Öffnen. Deshalb wird beiden Sensoren eine Aufnahmefunktion zugewiesen. In **ABBILDUNG 2** wird mit der Ebene 2 diese Feldebene modelliert.

Modellierung der Steuerungs- und Kontrollsystemebene: Die Lagesensoren übermitteln die Positionsdaten an die Motorsteuerung. Der Motorsteuerung wird eine Automatisierungsfunktion zugewiesen, welche die direkte Steuerung und Positionierung der Motoren und damit die Positionierung des Gesenks übernimmt. Die Maschinensteuerung koordiniert den

Fertigungsprozess, beispielsweise durch Vorgabe von Fertigungsparametern oder von Start- und Stop-Befehlen. Dazu kommuniziert sie unter anderem mit der Motorsteuerung. Der Maschinensteuerung wird deshalb ebenfalls eine Automatisierungsfunktion zugewiesen. Sie ist auch die Schnittstelle zum Anlagenbediener. Zusätzlich werden bei ihr die Zeitstempel aufgezeichnet, weshalb ihr eine Aufnahmefunktion zugewiesen wird. In **ABBILDUNG 2** wird mit der Ebene 3 der bisherigen Modellierung die Steuerungs- und Kontrollsystemebene hinzugefügt. Dadurch ist der Ist-Zustand des Systems modelliert.

Modellierung des Lösungskonzepts: Für den Betreiber ist es ausreichend, wenn das Ergebnis der Analyse der Riemenspannung bei Bedarf abgefragt werden kann. Es handelt sich nicht um eine Anwendung, die in Echtzeit bezogen auf den Prozess ausgeführt werden muss. Deshalb wird eine Cloud-Architektur für das Lösungskonzept gewählt. In der Cloud werden die Daten gespeichert und vorverarbeitet. Das Training des Modells und die Inferenz erfolgen auch in der Cloud. Das Ergebnis der Inferenz wird nachverarbeitet, sodass es von der Maschinensteuerung verwendet werden kann. Zusammengefasst werden der Cloud also Speicher-, Inferenz-, Trainings- und Verarbeitungsfunktionen zugewiesen. Über ein Edge-Gerät kommunizieren Maschinensteuerung und Cloud miteinander und tauschen Messdaten sowie Analyseergebnisse aus. Die Analyseergebnisse werden von der Maschinensteuerung auf einem Display für den Anlagenbediener dargestellt. Dafür wird der Maschinensteuerung eine Nachverarbeitungsfunktion zugewiesen. Das Lösungskonzept für die KI-Anwendung ist in **ABBILDUNG 2** dargestellt.

B. Anwendungsfall 2: Optische Qualitätssicherung

In diesem Anwendungsfall soll die Produktqualität der mit Polyurethan (PUR) umschäumten Glasscheiben erhöht und gleichzeitig dokumentiert werden. Das Umschäumen von Glasscheiben mit PUR erfordert den Auftrag eines Primers an den zu umschäumenden Flächen der Glasscheibe. Der Primer dient dabei als Haftvermittler für Glasoberflächen. Der Vorgang des Primerauftrags erfolgt in einer Fertigungszelle, welche einen Roboter, eine Auftragseinheit sowie eine Kamera umfasst. Die Auftragseinheit besteht aus einem Schwamm für den Auftrag des Primers auf die Scheibe, einer Dosiereinheit zu Befeuchtung des Schwamms sowie einer Dosiersteuerung zur Steuerung der Mengendosierung der Dosiereinheit.

Modellierung der Prozessebene: Zu Beginn des Prozesses nimmt der Roboter die mit einem RFID-Tag versehene Scheibe auf und führt diese an dem Schwamm der Auftragseinheit in einer Reihe von Fahraufträgen entlang. Hinter der Auftragseinheit ist eine Kamera stationiert, mit deren Hilfe der Primerauftrag über einen Bilderstrom aufgenommen und kontrolliert wird.

Modellierung der Feldgeräteebene: Während die Glasscheibe durch den Roboter am Schwamm entlang bewegt wird, befeuchtet die Dosiereinheit den Schwamm mit dem Primer. Dies führt dazu, dass der Primer auf die Glasscheibe aufgetragen wird. Die Kamera nimmt Bilder des Primerauftrags

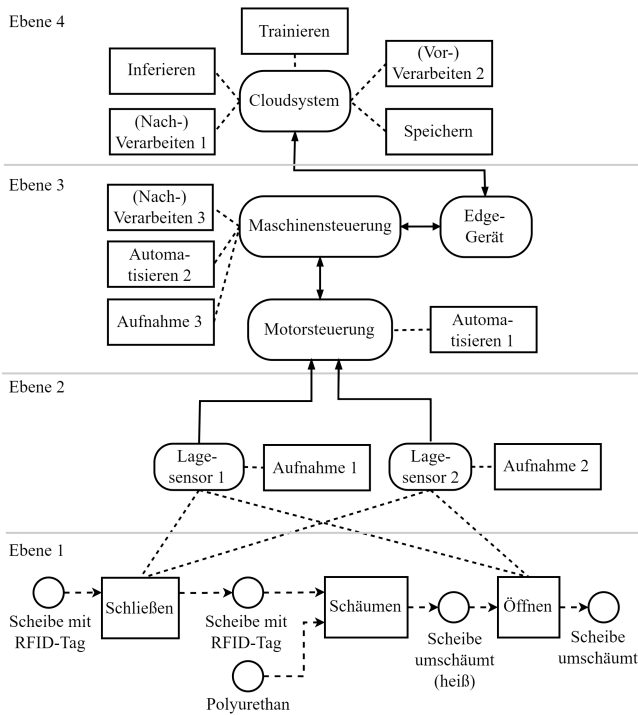


ABBILDUNG 2. MODELLIERUNG DES LÖSUNGSKONZEPTS FÜR DEN ERSTEN ANWENDUNGSFALL.

auf, sodass dieser eine Aufnahmefunktion zugewiesen wird. Zur Nachverfolgbarkeit der Produktqualität nimmt der RFID-Reader die Identifikationsnummer der Glasscheibe auf. Dies ermöglicht die eindeutige Zuordnung der aufgenommenen Bilder zu der entsprechenden Glasscheibe. Somit wird auch dem RFID-Reader eine eigene Aufnahmefunktion zugewiesen.

Modellierung der Steuerungs- und Kontrollsystemebene:

Der Robotersteuerung wird eine Automatisierungsfunktion zugeordnet, welche sowohl die direkte Steuerung des Roboters zur Ausführung der geplanten Trajektorien als auch die Steuerung der Dosiereinheit übernimmt.

Modellierung des Lösungskonzepts:

Um die Haftung des PUR auf der Glasscheibe zu gewährleisten, muss die Primer-auftragsfläche vollständig, das heißt ohne Fehlstellen, benetzt sein. Im Falle von zu wenig aufgetragenem Primer besteht die Gefahr, dass sich das PUR von der Glasscheibe löst. Dazu müssen die von der Kamera aufgenommenen Bilder ausgewertet werden. Diese Auswertung erfolgt über ein Edge-Steuergerät mithilfe einer KI-Anwendung. Dies erfordert ein rechenintensives Training des KI-Modells, welches nicht auf dem ressourcenbeschränkten Edge-Steuergerät ausgeführt werden kann. Aus diesem Grund werden die aufgenommenen Bilder über das Edge-Steuergerät in die Cloud übertragen und dort gespeichert. Innerhalb der Cloud werden die Bild-daten vorverarbeitet und das KI-Modell trainiert. Dementsprechend werden der Cloud eine Speicher-, Vorverarbeitungs- und Trainingsfunktion zugewiesen. Das Ziel ist die direkte Nacharbeitung bei der Erkennung von Fehlstellen, sodass es sich hierbei um eine Anwendung handelt, welche innerhalb

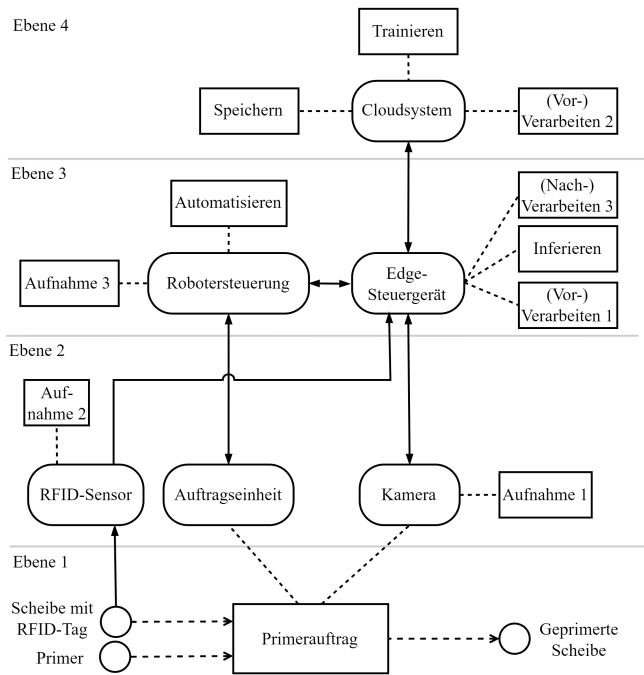


ABBILDUNG 3. MODELLIERUNG DES LÖSUNGSKONZEPTS FÜR DEN ZWEITEN ANWENDUNGSFALL.

eines Produktionszykluses erfolgen muss. Deshalb ist es sinnvoll, die Inferenz des KI-Modells auf dem Edge-Steuergerät auszuführen. Dazu ist neben dem Inferenzergebnis ebenfalls die Positionsinformationen des Roboters erforderlich, sodass der Robotersteuerung zur Ermittlung der Position eine Aufnahme-funktion zugewiesen wird. Durch die Kombination der Positionsinformationen des Roboters und der Ergebnisse der Inferenz, also der in den Bilddaten lokalisierten Fehlstellen, werden neue Fahraufträge zur punktuellen Nacharbeitung der Fehlstellen erzeugt. Dies erfolgt in der Nachverarbeitungs-funktion des Edge-Steuergerätes, welchem neben dieser Funktion auch eine Inferenz- sowie dieselbe Vorverarbeitungs-funktion wie der Cloud zugeordnet wird. Zur Dokumentation und Nachweisbarkeit der Produktqualität durch die bereits erwähnte eindeutige Zuordnung der lokalisierten Fehlstellen und der durchgeführten Nachbearbeitung zur entsprechenden Glasscheibe, ist die Kommunikation zwischen dem RFID-Reader und dem Edge-Steuergerät erforderlich. Das vollständige Systemmodell ist in ABBILDUNG 3 dargestellt.

V. DISKUSSION

Das Beschreibungsmittel definiert eine Symbolik und Regeln, welche leicht interdisziplinär verstanden werden können. Dies zeigte sich bei der Modellierung der beiden Anwendungs-fälle. Die vorgestellte Methodik zur Modellierung entlang der Ebenen förderte zusätzlich das interdisziplinäre Verständnis (A1).

Über die definierte Symbolik sind die KI-Komponenten, die Anlagenstruktur und der Prozess darstellbar und die Modellierung wird auf die relevanten Elemente begrenzt. (A2)

Durch die Verbindung von technischen Ressourcen über Kommunikationsverbindungen, die Zuweisung von Software zu technischen Ressourcen und die Zuweisung von technischen Ressourcen zu Prozessschritten werden die wechselseitigen Abhängigkeiten darstellbar. Wird beispielsweise im ersten Anwendungsfall der Lagesensor getauscht, ist sofort ersichtlich, dass die KI-Anwendung durch Wegfall einer Aufnahmefunktion betroffen ist. Oder wird beispielsweise im zweiten Anwendungsfall die Software der Robotersteuerung aktualisiert, so ist direkt erkennbar, dass die Automatisierungs- und Aufnahmefunktion sowie die Kommunikationsverbindungen zum Edge-Gerät oder zur Auftragseinheit betroffen sein könnten. (A3)

Das Beschreibungsmittel ermöglicht die Modellierung von unterschiedlichen KI-Softwarearchitekturen, weil die KI-Funktionen beliebigen technischen Ressourcen in Abhängigkeit der Systemanforderungen zugewiesen werden können. Beispielsweise wurden in den Anwendungsfällen zwei unterschiedliche Architekturen modelliert. Im ersten Anwendungsfall wird eine Cloud-Architektur und im zweiten Anwendungsfall eine Hybridform aus Cloud- und Edge-Architektur verwendet. (A4)

Die Methodik des Beschreibungsmittels unterstützt CRISP-DM in den ersten Schritten bei der Problemformulierung und in den späteren bei der Lösungsfindung und Dokumentation. Die einfache Darstellung hilft dabei, ein domänenübergreifendes Systemverständnis aufzubauen und ermöglicht die Verteilung der Aufgaben an die einzelnen Beteiligten entlang des CRISP-DM. (A5)

Die Schnittstellen zwischen den Funktionen sowie die Verteilung der Software auf die Hardware sind für alle Beteiligten erkennbar. Die Dokumentation auf Systemebene erleichtert die Integration und langfristige Wartung im Anlagen-Lebenszyklus.

In der aktuellen Form des Beschreibungsmittels können keine zeitlichen Abhängigkeiten erfasst werden. Zum Beispiel, dass die Datenvorverarbeitung vor der Inferenz ausgeführt werden muss. Aktuell besteht auch noch keine Möglichkeit, die einzelnen Systemelemente zu attributieren. Dadurch könnten wichtige Systemattribute, wie beispielsweise die Kommunikationsgeschwindigkeit, dokumentiert und dargestellt werden.

VI. SCHLUSSFOLGERUNG

In diesem Beitrag wird ein Beschreibungsmittel zur Modellierung von KI-Anwendungen für Automatisierungssysteme vorgestellt. Das Beschreibungsmittel erlaubt es, KI-Anwendungen für Automatisierungssysteme interdisziplinär und leicht verständlich zu modellieren. Dafür wird eine Symbolik sowie Regeln zur Kombination der Symbole und eine Semantik definiert. Das Beschreibungsmittel besteht aus Funktionen, technischen Ressourcen und Produkten, welche über Kommunikationsbeziehungen, Zuweisungen oder Material- und Energieflüsse miteinander verbunden werden. Dadurch wird es möglich, die Anlagenstruktur, die KI-Komponenten und den dazugehörigen Prozess inklusive der wechselseitigen

Abhängigkeiten grafisch darzustellen, auch für unterschiedliche KI-Systemarchitekturen. Die Schnittstellen zwischen den Elementen sowie die Verteilung der Software auf die Hardware sind für alle Beteiligten direkt ersichtlich. Dadurch wird ein interdisziplinärer Kommunikationsrahmen für domänenübergreifende Zusammenarbeit bereitgestellt, welcher die Kommunikation fördert und die Lösung auf verständliche Art und Weise dokumentiert. Das Beschreibungsmittel kann begleitend zu den etablierten Vorgehensmodellen wie CRISP-DM eingesetzt werden, um den Mehraufwand durch die Modellierung gering zu halten.

Insgesamt bietet die Modellierung auf Basis dieses Beschreibungsmittels das Potenzial, die Entwicklung, die Integration, den Betrieb sowie die Wartung von KI-Anwendungen im Anlagen-Lebenszyklus zu erleichtern.

VII. AUSBLICK

Im nächsten Schritt wird das Beschreibungsmittel um ein Informationsmodell ergänzt. Mithilfe des Informationsmodells können Funktionen, wie beispielsweise die Datenvorverarbeitung, systematisch in Form von Softwarekomponenten gekapselt und damit wiederverwendbar gemacht werden. Ein Beispiel für die Kapselung von Softwarekomponenten in Kombination mit einer grafischen Modellierung liefert die *Business Process Model and Notation* (BPMN) [31]. Außerdem könnten auf Basis eines Informationsmodells verschiedene Attribute für die modellierten Komponenten hinterlegt werden, welche beispielsweise automatisierte Konsistenzprüfungen erlauben würden. Ein weiterer Schritt könnte die Entwicklung und Bereitstellung von Entwurfsmustern für häufig auftretende Anwendungsfälle sein. Dadurch könnte der Entwicklungsaufwand von KI-Anwendungen weiter reduziert werden. Außerdem ist geplant, das Beschreibungsmittel in ein Werkzeug zu integrieren. Ein Beispiel für ein Web-basiertes Werkzeug wird von [32] für die formalisierte Prozessbeschreibung unter <https://demo.fpbjs.net/> gegeben. Wie auch in [32] könnten Assistenzfunktionen in das Werkzeug integriert werden, welche den Anwender bei der Modellierung unterstützen.

DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich für die Förderung bei dtcc.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr – Projekt EKI.

LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), *Wegweiser Industrie 4.0: Orientierung, Anwendungsbeispiele, Handlungsempfehlungen*, 2020.
- [2] Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 / acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, *Industrie 4.0 – Forschung für die Gestaltung der Zukunft: Impulsbericht des Forschungsbeirats der Plattform Industrie 4.0*, 2021.
- [3] R. S. Peres, X. Jia, J. Lee, K. Sun, A. W. Colombo, and J. Barata, "Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0-Systematic Review, Challenges and Outlook," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 220 121–220 139, 2020.
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), *Auf Künstliche Intelligenz kommt es an: Beitrag von KI zur Innovationsleistung und Performance der deutschen Wirtschaft*, 2020.

- [5] D. Sculley, G. Holt, D. Golovin, E. Davydov, T. Phillips, D. Ebner, V. Chaudhary, M. Young, J.-F. Crespo, and D. Dennison, "Hidden Technical Debt in Machine Learning Systems," *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 28, 2015.
- [6] M. W. Hoffmann, R. Drath, and C. Ganz, "Industrielle Anforderungen an Künstliche Intelligenz-Lösungen," in *Automation 2020*, ser. VDI-Berichte. Düsseldorf: VDI Verlag, 2020, pp. 617–628.
- [7] C. Kaymakci, S. Wenninger, and A. Sauer, "A Holistic Framework for AI Systems in Industrial Applications," in *Innovation Through Information Systems*, ser. Lecture Notes in Information Systems and Organisation, F. Ahlemann, R. Schütte, and S. Stieglitz, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2021, vol. 47, pp. 78–93.
- [8] C. Schröer, F. Kruse, and J. Marx Gómez, "A Systematic Literature Review on Applying CRISP-DM Process Model," *Procedia Computer Science*, vol. 181, pp. 526–534, 01 2021.
- [9] J. S. Saltz, "CRISP-DM for Data Science: Strengths, Weaknesses and Potential Next Steps," in *2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. IEEE, 12/15/2021 - 12/18/2021, pp. 2337–2344.
- [10] Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 / acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, *Modellierung- und Simulationsbedarfe der intelligenten Fabrik: Expertise des Forschungsbeirats der Plattform Industrie 4.0*, 2021.
- [11] R. Haberfellner, O. de Weck, E. Fricke, and S. Vössner, *Systems Engineering*. Cham: Springer International Publishing, 2019.
- [12] Verein Deutscher Ingenieure e.V., "Einordnung und Bewertung von Beschreibungsmitteln aus der Automatisierungstechnik," Oktober 2005.
- [13] E. Schnieder, *Methoden der Automatisierung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 1999.
- [14] C. P. Filho, E. Marques, V. Chang, L. Dos Santos, F. Bernardini, P. F. Pires, L. Ochi, and F. C. Delicato, "A Systematic Literature Review on Distributed Machine Learning in Edge Computing," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, no. 7, 2022.
- [15] P. Winzer, *Generic Systems Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [16] F. Martinez-Plumed, L. Contreras-Ochando, C. Ferri, J. Hernandez-Orallo, M. Kull, N. Lachiche, M. J. Ramirez-Quintana, and P. Flach, "CRISP-DM Twenty Years Later: From Data Mining Processes to Data Science Trajectories," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 33, no. 8, pp. 3048–3061, 2021.
- [17] R. Wirth and J. Hipp, "CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining," *Proceedings of the 4th International Conference on the Practical Applications of Knowledge Discovery and Data Mining*, 01 2000.
- [18] S. Huber, H. Wiemer, D. Schneider, and S. Ihlenfeldt, "DMME: Data mining methodology for engineering applications – a holistic extension to the CRISP-DM model," *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 403–408, 2019.
- [19] S. Studer, B. Bui, C. Drescher, A. Hanuschkin, L. Winkler, S. Peters, and K.-R. Müller, "Towards CRISP-ML(Q): A Machine Learning Process Model with Quality Assurance Methodology," *Machine Learning and Knowledge Extraction*, vol. 3, pp. 392–413, 04 2021.
- [20] S. Amershi, A. Begel, C. Bird, R. DeLine, H. Gall, E. Kamar, N. Nagappan, B. Nushi, and T. Zimmermann, "Software Engineering for Machine Learning: A Case Study," in *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP)*, 2019, pp. 291–300.
- [21] C. J. Costa and J. T. Aparicio, "POST-DS: A Methodology to Boost Data Science," in *2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. IEEE, 2020.
- [22] F. Plumed, L. Contreras-Ochando, C. Ferri, P. Flach, J. Hernandez-Orallo, M. Kull, N. Lachiche, and M. Ramírez-Quintana, "CASP-DM: Context Aware Standard Process for Data Mining," 09 2017.
- [23] J. Pfrommer, C. Frey, L. Wessels, and J. Beyerer, "ML4P: Ein Standard-Vorgehensmodell für die Anwendung Maschinellen Lernens in der industriellen Produktion," in *Automation 2020*, ser. VDI-Berichte. Düsseldorf: VDI Verlag, 2020, pp. 629–644.
- [24] NAMUR Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie e.V., "NAMUR Open Architecture (NOA): NOA Konzept," 2020.
- [25] M. Seidl, M. Scholz, C. Huemer, and G. Kappel, *UML @ Classroom*. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- [26] T. Weikens, *Systems Engineering mit SysML/UML: Anforderungen, Analyse, Architektur*, 3rd ed. Heidelberg: dpunkt.verl., 2014.
- [27] Verein Deutscher Ingenieure e.V., "Formalisierte Prozessbeschreibungen," September 2005.
- [28] A. Fay, C. Diedrich, M. Dubovy, C. Eck, C. Hildebrandt, A. Scholz, T. Schröder, and R. Wiegand, *Abschlussbericht - SemAnz40: Vorhandene Standards als semantische Basis für die Anwendung von Industrie 4.0*. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität Universität der Bundeswehr Hamburg, 2017.
- [29] A. Roth, Ed., *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis*. Berlin and Heidelberg: Springer Gabler, 2016.
- [30] T. Meudt, M. Pohl, and J. Metternich, "Die Automatisierungspyramide - Ein Literaturüberblick," 2017.
- [31] Object Management Group, "Business Process Model and Notation (BPMN)," 12/2013.
- [32] H. Nabizada, A. Köcher, C. Hildebrandt, and A. Fay, "Offenes, webbasiertes Werkzeug zur Informationsmodellierung mit Formalisierter Prozessbeschreibung," in *Automation 2020*, ser. VDI-Berichte. Düsseldorf: VDI Verlag, 2020.