

BaSys System Industrie 4.2 (BaSys 4.2)

Ergebnispapier

D-2.2 Prozessbasierte und Produktbezogene Fähigkeitenanforderungen



Autoren:

Alexander David, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

William Motsch, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

Tobias Klausmann, Lenze Automation GmbH

Kathrin Evers, Festo SE & Co KG

Sönke Knoch, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

Karl Tröger, PSI Automotive & Industry GmbH

Gerrit Fachinger, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Prozessleittechnik

Torben Miny, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Prozessleittechnik

Gerhard Schaller, ZF Friedrichshafen AG

Thomas Hamann, ZF Friedrichshafen AG

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

D-2.2 Prozessbasierte und Produktbezogene Fähigkeitsanforderungen

Dokument-Version	0.2
Datum	01.10.2020
Verbreitungsgrad	Extern
Projekt	BaSys 4.2
Förderkennzeichen	01 IS 190 022
Laufzeit	1.7.2019 – 30.6.2022



Änderungsverzeichnis

Änderung			Geänderte Abschnitte	Autoren	Beschreibung
Nr.	Datum	Version			
1	13.05.20	0.1	Alle	A. David, W. Motsch	Struktur und Aufteilung
2	19.05.20	0.1	Validierung	K. Tröger	Erste Inhalte und Aufteilung
3	04.06.20	0.1	Validierung	G. Schaller, P. Johann, T.Hamann	Inhalte zum Validierungsthema
4	08.+26.06.20	0.2	Alle	S. Knoch	Restrukturierung und erste Inhalte prozessbasierte Fähigkeitsanforderung; Bsp. HAP
5	29.6.20	0.2	Anwendungsbeispiel	G.Schaller, T.Hamann, N.Kraemer	Beschreibung ZF Demonstrator im PPR Kontext und interaktiver Aktualität
6	15.07.20	0.2	Validierung (Einleitung)	Karl Tröger	Einleitung zu Gründen für eine Validierung von Abläufen
7	22.07.20	0.2	Kap. 3+4	Sönke Knoch	Ausbau der Inhalte
8	27.07.20	0.2	Kap. 2.3+6	G. Fachinger, T. Miny	Einarbeitung Praxisbeispiel Prozessindustrie und Besonderheiten kontinuierliche Prozesse
9	28.07.20	0.2	Kap. 5	T. Klausmann	Betrachtung aus VWS Sicht
10	19.08.20	0.2	Alle	W. Motsch	Review und Überarbeitung aller Kapitel
11	25.08.20	0.2	Alle	A. David	Überarbeitung aller Kapitel + Einleitung
12	01.09.20	0.2	Kap. 5	Kathrin Evers	Geradeziehen und Erweitern von Kapitel 5 (finale Version)
13	18.09.20	0.2	Kap. 4	S. Knoch	Abschluss von 4.3

Autoren

Alexander David, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

William Motsch, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

Tobias Klausmann, Lenze Automation GmbH

Kathrin Evers, Festo SE & Co KG

Sönke Knoch, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

Karl Tröger, PSI Automotive & Industry GmbH

Gerrit Fachinger, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Prozessleittechnik

Torben Miny, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Prozessleittechnik

Gerhard Schaller, ZF Friedrichshafen AG

Thomas Hamann, ZF Friedrichshafen AG

Peter Johann, ZF Friedrichshafen AG

Nicolai Kraemer, ZF Friedrichshafen AG

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG & MOTIVATION	6
2	ANWENDUNGSBEISPIELE	7
2.1	Handarbeitsplatz im MRK-Labor des DFKI	7
2.2	Handarbeitsplatz zur Endmontage eines Verteilergehäuses bei ZF	8
2.3	Beispiel aus der Prozessindustrie: Kryogene Luftzerlegung nach dem Linde-Fränk- Verfahren	9
3	PROZESSBASIERTE FÄHIGKEITSANFORDERUNG	11
3.1	Motivation	11
3.2	PPR-basierter Modellierungsansatz.....	12
3.3	Anforderung parametrisierter Fähigkeiten im Geltungsbereich	13
4	VALIDIERUNGSPROZESS	15
4.1	Motivation	15
4.2	Definition und Beispiel	16
4.3	Ansatz zur Validierung von Prozessschritten	18
5	PRODUKTBEZOGENE FÄHIGKEITSANFORDERUNG	20
5.1	Definition: Was verstehen wir unter einem Produkt?	20
5.2	Beschreibung von Zuständen und Übergängen	21
5.3	Ablauf, Aktivitäten und Kombination zu Merkmalen.....	22
5.4	Wechselwirkungen von Produktzuständen	23
5.5	Betrachtung aus VWS-Sicht	23
6	BESONDERHEITEN KONTINUIERLICHE PROZESSE	26
	LITERATUR	26

1 Einleitung & Motivation

Ein Kernaspekt von BaSys 4.2 ist die Wandelbarkeit in der Produktion voranzutreiben und zu ermöglichen. Dieser Punkt hängt zudem mit einer steigenden Flexibilität der Systeme und Umgebungen zusammen. Durch eine erhöhte Wandlungsfähigkeit ändern sich stetig die Anforderungen und Rahmenbedingungen an Produkte, Prozesse und Ressourcen der Produktion. Jedes dieser drei Aspekte beeinflusst sich gegenseitig und hat somit Auswirkungen auf das Gesamtsystem. Ändert sich eine Ressource muss dies im Prozess berücksichtigt werden. Wird das Produkt neu designt entstehen neue Anforderungen an die genutzten Technologien, an den Produktionsprozess und die Ressourcen.

Das Deliverable-2.2 behandelt die folgenden Themenbereiche. Hierbei werden verschiedene Anwendungsfälle aus den Bereichen der diskreten sowie der kontinuierlichen Fertigung beschrieben:

- Handarbeitsplatz im MRK-Labor des DFKI
- Handarbeitsplatz zur Endmontage eines Verteilergehäuses bei ZF
- Beispiel aus der Prozessindustrie: Kryogene Luftzerlegung nach dem Linde-Fränk-Verfahren

Diese Beispiele dienen dazu erste Anforderungen an Produkt und Prozess abzuleiten. Im Anschluss daran werden die prozessbasierte Fähigkeitsanforderungen im Rahmen des PPR-Kontextes bestimmt. Einen großen Teilbereich nimmt der Validierungsprozess ein, da dieser die Schnittstelle zwischen Produkt und Ressource widerspiegelt und an den besondere Anforderungen gerichtet sind. Zudem kann somit die Qualitätssicherung unterstützt werden und die Anforderungen von beiden Seiten frühzeitig abgeglichen werden.

Im Zusammenhang der produktbezogenen Fähigkeitsanforderungen werden zwei Kernaspekte betrachtet:

- Was ist ein Produkt und wie sehen dessen Zustände und Übergänge aus?
- Betrachtung aus Sicht der Verwaltungsschale (VWS)

Das Deliverable endet mit der Beschreibung der Besonderheiten kontinuierlicher Prozesse im Vergleich zu diskreten Prozessen. An dieser Stelle werden bestimmte Aspekte und Anforderungen genannt, die in Zukunft gesondert betrachtet werden müssen.

2 Anwendungsbeispiele

Im Folgenden werden Anwendungsbeispiele dargestellt, die als Grundlage für das in den weiteren Kapiteln vorgestellte Konzept der prozessbasierten und produktbezogenen Fähigkeitsanforderungen dienen. Dabei sind die Anwendungsbeispiele in den Kapiteln 2.1 und 2.3 der diskreten Fertigung und das Anwendungsbeispiel in Kapitel 2.3 der kontinuierlichen Fertigung zuzuordnen.

2.1 Handarbeitsplatz im MRK-Labor des DFKI

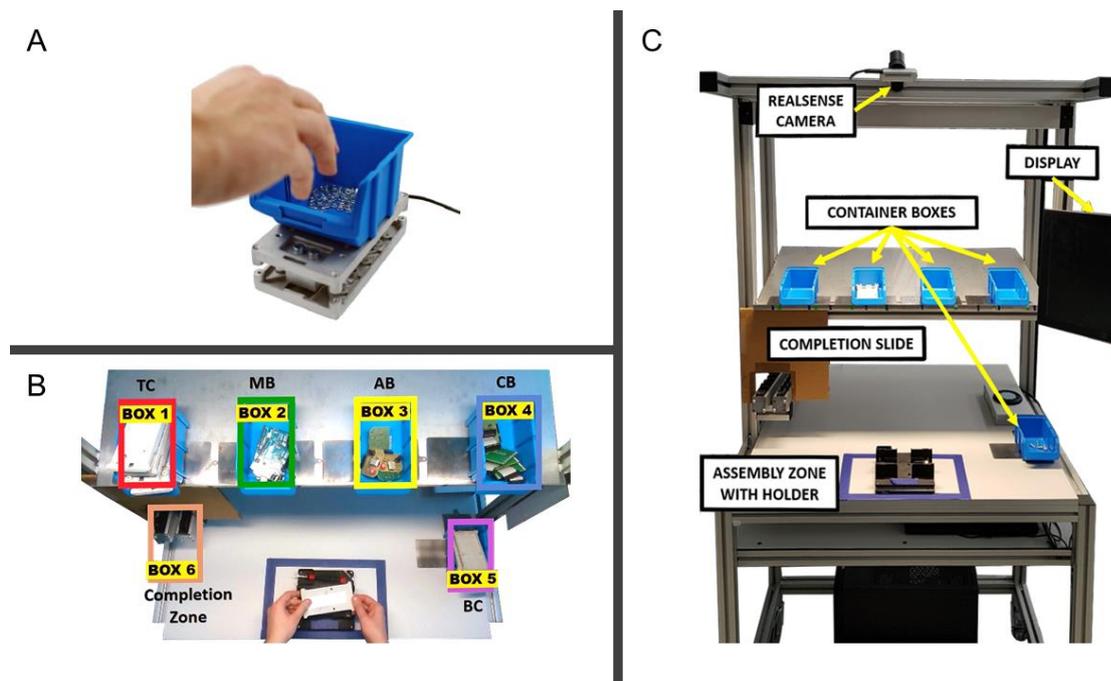


Abbildung 1: Prototypischer Handarbeitsplatz instrumentiert mit Kamera und Präzisionswaagen zur Erhebung und Validierung von manuellen Montageaktivitäten.

Der in Abbildung 1 C dargestellte Handarbeitsplatz ist Teil des Innovationslabors für Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) in Industrie 4.0 im Zentrum für innovative Produktionstechnologien „Power4Production“. Der Handarbeitsplatz dient als Testumgebung für die sensorbasierte Erhebung von manuellen Montageprozessen. Im vorgestellten Aufbau werden an diesem, gemäß Industriestandards aufgebauten Arbeitsplatz, die Materialien zur Montage in Kleinladungsträgern bereitgestellt. Anweisungen zur Montage können über einen Bildschirm angezeigt werden. Darüber hinaus wurde der Arbeitsplatz mit einer Kamera (siehe Abbildung 1 A oben) und mehreren Präzisionswaagen (siehe Abbildung 1 A) ausgestattet, die eine Validierung einzelner Prozessschritte während der Produktion ermöglichen.

Das zu fertigende Produkt war Gegenstand des Demonstrators im vom BMBF geförderten Projekt SmartF-IT [1]. Die Aufgabe des Werkers besteht in der sukzessiven Montage der einzelnen Bauteile. Das Produkt besteht aus fünf Teilen, TopCasing (TC), Mainboard (MB), ApplicationBoard (AB), ConnectingBoard (CB) und BottomCasing (BC). Die Anordnung, in der die Materialien bereitgestellt werden, kann Abbildung 1 B entnommen werden. Die Montage

ist in vier Arbeitsschritte unterteilt. Im ersten Schritt werden die Materialien TC und MB entnommen und gefügt, im zweiten Schritt die Materialien AB und CB. Im dritten Schritt wird die Verschaltung mit dem Bauteil BC geschlossen und im vierten, letzten Schritt das fertige Produkt in die Rutsche links der Station eingelegt, siehe Abbildung 1 C Mitte links. Der Ablauf ist unter Verwendung der Business Process Model and Notation (BPMN) [2] in Abbildung 2 dargestellt.

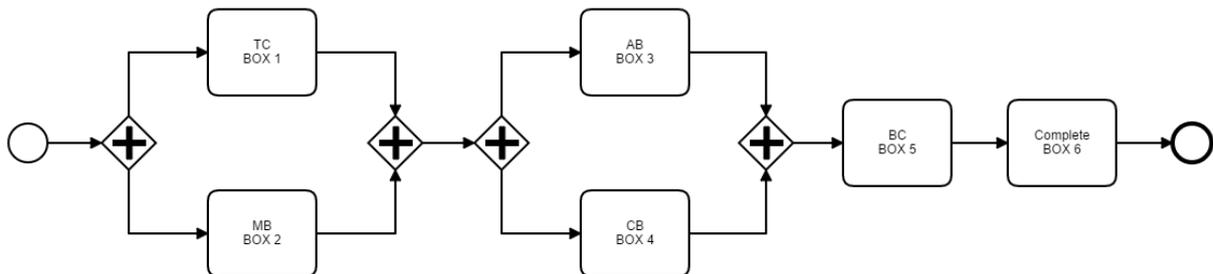


Abbildung 2: Montageprozess am Handarbeitsplatz dargestellt gemäß BPMN.

2.2 Handarbeitsplatz zur Endmontage eines Verteilergehäuses bei ZF

Die Montagestation stellt den ZF BaSys4.2 Versuchsträger dar. Zum Einsatz kommen typische Assets einer Montage. Die Assets sind in der schematischen Grafik benannt. Gezeigt wird ein von Anfang an durchgängiger Digitalisierungsprozess. Dieser startet von den Fähigkeitsanforderung einer Produktänderung und verläuft über das Engineering bis hin zum Plug & Produce. Dieser holistische Ansatz stellt mit Hilfe von BaSys die „Interaktive Aktualität“ aller Informationen im PPR Kontext dar. Im Engineering Prozess wird aufgrund der vom Produkt geforderten Montagereihenfolge der logische Ablauf der Prozessfolge entwickelt. Anschließend sollen aus den logischen Prozessfolgen ein Übertragungsformat zur Generierung eines in BPMN 2.0 dargestellten Workflows bereitgestellt werden. Über diese Workflows werden Assets über deren Verwaltungsschalen angesteuert. Virtuelle Inbetriebnahmen sind in diesem Kontext über ein System der Fa. Dassault darstellbar.



Abbildung 3: ZF-Montagestation.

2.3 Beispiel aus der Prozessindustrie: Kryogene Luftzerlegung nach dem Linde-Fränkler-Verfahren

Bei der Luftzerlegung wird Umgebungsluft klassischerweise in ihre größten Hauptbestandteile Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2) aufgetrennt. In einem Folgeprozess können allerdings zusätzlich die Edelgase Helium (He), Neon (Ne) und Argon (Ar) synthetisiert werden. Dabei werden hauptsächlich Rein- (>97%) und Reinstgase (>99%) erzeugt. Für Spezialanwendungen sind aber auch Reinheitsgrade von bis zu 99,9999% realisierbar. [3]

Zur Vorbereitung wird zunächst gewöhnliche Umgebungsluft angesaugt und durch Filter von Feststoffpartikeln befreit. Anschließend beginnt der eigentliche hier betrachtete Hauptprozess. In diesem wird der Joule-Thomson-Effekt ausgenutzt, um über die folgende Prozesskette die angesaugte und gereinigte Luft zu verflüssigen:

1. Verdichtung,
2. Kühlung,
3. anschließende Entspannung.

Dabei werden üblicherweise mehrstufige Axial-Radial-Verdichter auf einer einzigen Welle mit Zwischenkühlungen durch Gegenstrom-Wärmetauscher oder Regeneratoren genutzt. Anschließend wird das noch in der Luft vorhandene Wasser durch adsorptive Trocknung in einem Molsieb abgeschieden. Für die Verflüssigung ist der kritische Punkt von Luft relevant. Dieser liegt bei $T_{krit} = -140,7^\circ C$ und $p_{krit} = 37,7$ bar. Im Prozess wird allerdings vorwiegend bei Drücken von 5-6 bar und Temperaturen von $-180^\circ C$ bis $-200^\circ C$ verflüssigt, da der sich anschließende Prozessschritt ebendieses Druckniveau voraussetzt. In einer Rektifikation – heute meist eine 2-Säulen-Gegenstrom-Rektifikationskolonne - wird die flüssige Luft dann verdampft. Aufgrund der unterschiedlichen Dampfdruckkurven reichert sich am Kopf der Kolonne gasförmiger Stickstoff und am Sumpf der Kolonne flüssiger Sauerstoff an. Je nach Anzahl der theoretischen

Böden der Kolonne ergeben sich unterschiedliche Reinheitsgrade, wobei die Anlagen meist für einen konkreten Sauerstoffreinheitsgrad ausgelegt werden.

Wie bereits erwähnt, können sich daran nachgelagerte Prozesse anschließen, um beispielsweise an dedizierten Stellen der Rektifikationskolonne Fluidströme zu entnehmen und daraus in einer weiteren Rektifikation die Edelgase in Rein- oder Reinstform zu gewinnen.

Aus Energieeffizienzgründen wird der immer noch sehr kalte Stickstoff am Kopf der Rektifikationskolonne genutzt, um die verdichtete Luft in den Wärmetauschern oder das Speichermedium der Regeneratoren zu kühlen.

Das R&I-Fließbild des Prozesses sowie der Ablauf nach BPMN sind in Abbildungen 6 und 7 dargestellt.

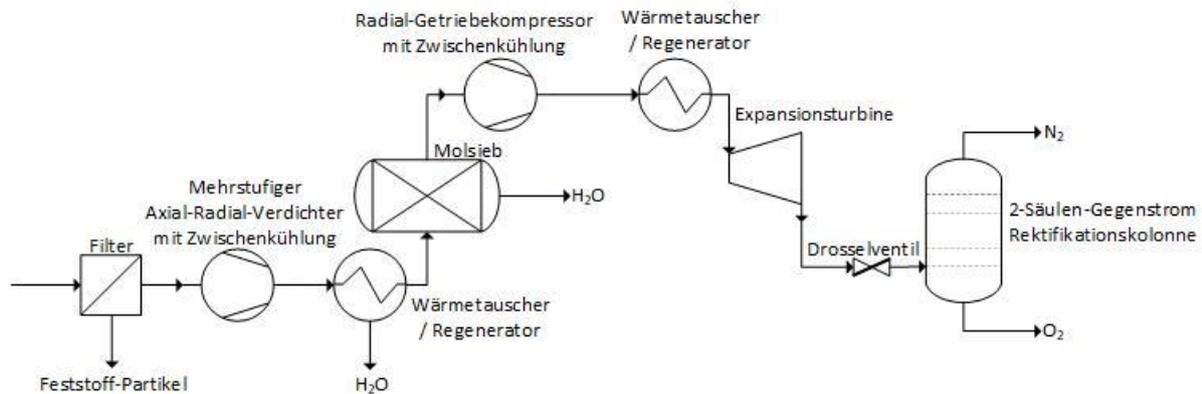


Abbildung 4: R&I-Fließbild vereinfacht nach [4]

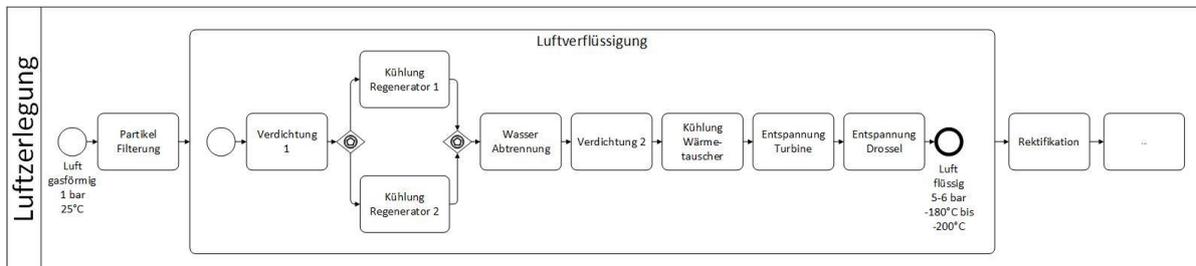


Abbildung 5: Prozess mit Regeneratoren nach erstem Verdichter und Wärmetauschern nach zweitem Verdichter dargestellt gemäß BPMN

3 Prozessbasierte Fähigkeitsanforderung

3.1 Motivation

Nach aktuellem Kenntnisstand existieren kaum Standards zur Beschreibung von Montageprozessen. Eine Ausnahme stellt die VDI/VDE 3682 [3] zu formalisierten Prozessbeschreibungen dar. Dort wird ein Konzept zur grafischen Prozessbeschreibung und ein auf UML basiertes Informationsmodell vorgeschlagen. In der Praxis werden jedoch zur Prozessplanung häufig CAD-Zeichnungen, Mitarbeiterwissen und Taktzeitdiagramme herangezogen, die Angaben zu Dauer und Parallelisierung von Montagetätigkeiten enthalten. Im Lebenszyklus ändert sich dabei die Prozessbeschreibung von der frühen Planung über die Simulation bis hin zur Arbeitsvorbereitung ständig. Ein einheitliches Format und Vorgehen bei der Prozessmodellierung zuzüglich einer abstrakteren, auf Fähigkeiten basierenden Anforderungsdefinition hat das Potenzial Aufwand und Kosten in der Planung und Wartung von Arbeitsplänen erheblich zu reduzieren. In aktuellen Standards, wie der VDI/VDE 3682, wird diese abstrakte Form der Prozessmodellierung nicht unterstützt.

#	Handlungsanweisung	Schema
1	Aufsetzen von Ventil (824 362) in vorgesehene Löcher der Anschlussleiste (543 215), siehe blaue Markierung in Schema 1.	
2	Verschrauben von Schraube 1 (siehe grauer Pfeil in Schema 1) mit T10-Schrauber mit 0.4Nm \pm 20%.	
3	Verschrauben von Schraube 2 (siehe grauer Pfeil in Schema 1) mit T10-Schrauber mit 0.4Nm \pm 20%.	

Abbildung 6: Beispielhafte Handlungsanweisungen für einen menschlichen Monteur.

Beschreibungen von Arbeitsinhalten in der manuellen Montage, wie sie etwa an Handarbeitsplätzen (vgl. Kapiteln 2.1 und 2.2) vorkommen, sind in der heutigen Praxis häufig unstrukturiert und nicht zur maschinellen Verarbeitung geeignet. Handlungsanweisungen für einen Menschen werden mithilfe von Halbsätzen, Abkürzungen, Typenbezeichnungen, Parametern und gegebenenfalls Fotos oder Zeichnungen manuell durch einen Planer auf eine Art und Weise beschrieben, die dem geübten Monteur klar verständlich ist. Dies könnte beispielsweise so aussehen wie in Abbildung 6 dargestellt. Die Beschreibungen sind textuell gehalten und ent-

halten Verweise auf die Zeichnung, relevante Teilenummern sowie Angaben zur Montagetätigkeit mit Parametern, z. B. Schrauben mit Newtonmeter. Die Informationen werden dem Werker in Form von Ausdrucken oder digital aufbereitet am Monitor angezeigt. In der vorgelagerten Planung kommen Vorranggraphen zum Einsatz.

Die Herausforderung im Rahmen einer prozessbasierten Fähigkeitsanforderung besteht darin, diese Informationen so vorzubereiten, dass eine automatisierte Generierung von Arbeitsanweisungen an einem Werkerführungssystem erfolgen kann. Daher ist es sinnvoll Werkeranweisungen von rein wertschöpfenden Fähigkeitsanforderungen, z. B. zum Einleiten eines Pressvorgangs, abzugrenzen.

3.2 PPR-basierter Modellierungsansatz

Montagetätigkeiten lassen sich im allgemeinen als Workflow (Arbeitsablauf) auffassen. Daher eignen sich zur Modellierung von Montageprozessen etablierte Hilfsmittel aus dem Bereich des Geschäftsprozessmanagements, wie z. B. Prozessnotationen, Modellierungswerkzeuge und Engines zur Prozessausführung. Nichtsdestotrotz soll die Konzeption hier unabhängig von einer konkreten Notation erfolgen und am Beispiel der BPMN 2.0 illustriert werden.

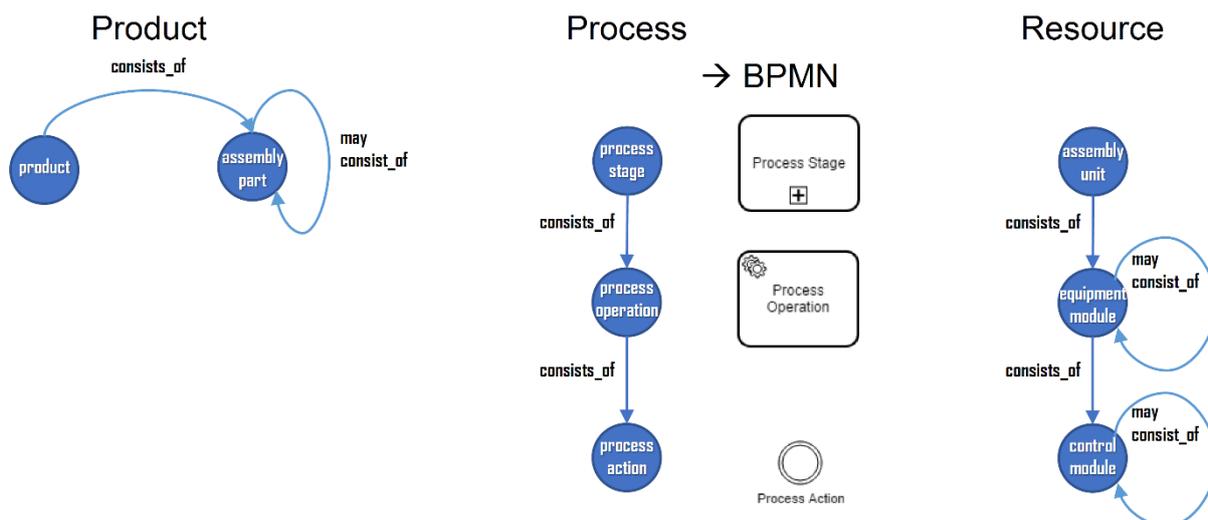


Abbildung 7: Modellierungsbausteine zur Abbildung des PPR-Modells.

Um die Fähigkeitsanforderung aus Prozesssicht zielgerichtet einzuleiten, bedarf es eines geeigneten Verständnisses zur Modellierung im PPR-Kontext. Abbildung 7 stellt die Bausteine zur Strukturierung von Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodellen dar. Die Stückliste eines Produktes ist in der diskreten Fertigung hierarchisch aufgebaut und zerlegt das Produkt baumartig in seine Einzelteile und Baugruppen. Diese aus der Produktentwicklung / Konstruktion stammenden Informationen werden zudem mit Hilfe eines Vorranggraphen (darstellbar als Petri-Netz) innerhalb des Engineering-Prozesses von der Prozessplanung / Arbeitsvorbereitung unter Beachtung der Ressourcensituation in einen ausführbaren Prozess / Arbeitsplan überführt.

Zur Modellierung von Prozessen und Ressourcen kann auf die Definitionen der Norm ANSI/ISA-88 (DIN EN 61512) für chargenorientierte Fahrweisen Bezug genommen werden. Somit ergibt sich eine Detaillierung von Prozessen in Teilprozesse, Prozessoperationen und Prozessschritte. Ressourcen lassen sich vom Unternehmen beginnend in Werke, Anlagenkomplexe, Teilanlagen, Anlagenteile und technische Einrichtungen unterteilen. Das letzte Element stellt jeweils den maximalen Detailgrad dar. In Abbildung 7 ist zudem eine mögliche Übertragung des Prozessmodells in die BPMN dargestellt. Teilprozesse lassen sich dort beispielsweise zu kapselnden Prozess-Tasks, Prozessoperationen zu Service-Tasks und Prozessschritten zu Ereignissen zuordnen. Die Konfiguration kann über die jeweiligen Task- und Ereignis-Attribute genauer spezifiziert werden. Mit Hilfe der BPMN kann der Prozess darüber hinaus in einen Workflow umgewandelt werden, indem funktional oder räumlich zusammengehörende Prozessschritte an einem Arbeitsplatz in eine zeitliche und logische Reihenfolge gebracht werden. Diese Leistung kann allerdings auch durch eine andere steuernde Komponente erbracht werden.

3.3 Anforderung parametrisierter Fähigkeiten im Geltungsbereich

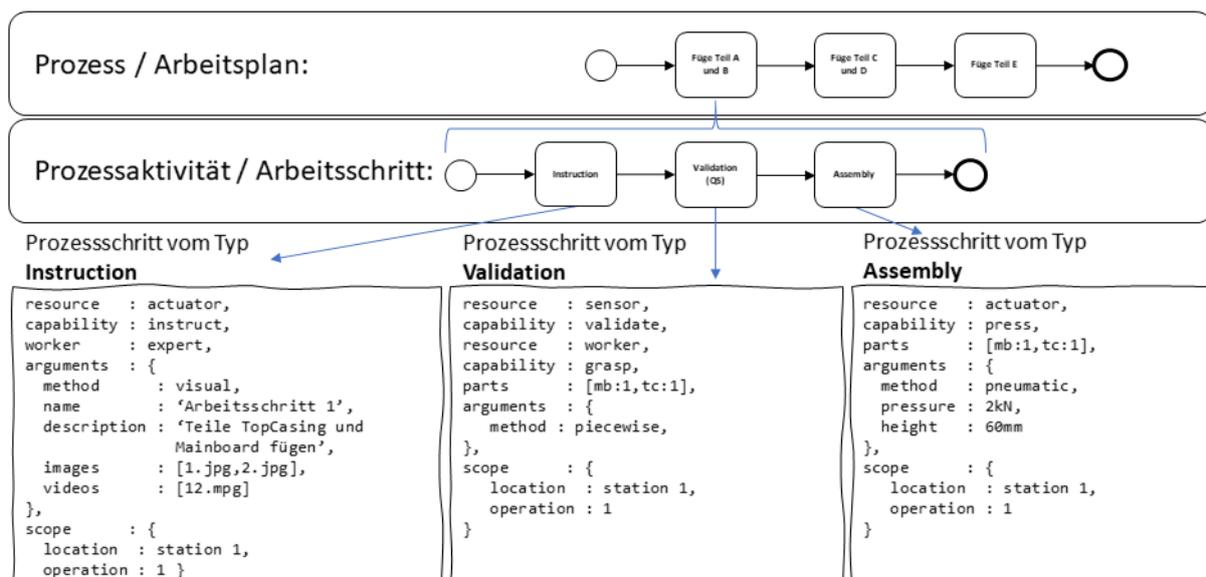


Abbildung 8: Dekomposition von Prozessen in Fähigkeitsanforderungen zur Anweisung, Validierung und Montage.

Aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzung von Fähigkeitsanforderungen hat sich innerhalb der Diskussion zur Erstellung dieses Dokuments eine Abgrenzung von Prozessschritten zur Nutzerinteraktion, Validierung und der reinen Gerätesteuerung ergeben. Abbildung 8 zeigt auf oberster Ebene den aus den Beispielen in Kapitel 2.1 und 2.2 vereinfachten Prozess zur Montage von Bauteilen an einem Handarbeitsplatz. Dabei werden die einzelnen Teilprozesse (Fügen von zwei Bauteilen) in Operationen vom Typ Anweisung (Instruction), Validierung (Validation) und Montage (Assembly) unterteilt. Jeder dieser Operationen verfügt über eine Menge an Attributen. Die Attribute sind dabei analog zu semantischen Tripeln (RDF triple) [4] in Subjekt, Prädikat und Objekt (SPO) unterteilt. Durch Verwendung von SPO-Ausdrücken lassen

sich die Fähigkeiten aus Prozesssicht maschinenlesbar formulieren. Der Ausdruck kann somit in eine Anfrage an eine analog strukturierte Wissensbasis transformiert werden.

In Abbildung 8 sind Beispiele für eine mögliche Formulierung von Fähigkeitsanforderungen dargestellt. Die Anweisung erfordert einen Akteur, der den Werker instruiert. Das Instruieren stellt dabei eine Fähigkeit aus der BaSys-Ontologie dar, welches zusätzlich um eine Rollendefinition („expert“) erweitert wird. Der Akteur stellt die gesuchte Ressource dar, um diese Aufgabe auszuführen. Im Falle der Validierung ist ein verschachtelter SPO-Ausdruck erforderlich, da ein Sensor zur Überprüfung der Entnahme von zwei Bauteilen angefordert wird. Die drei Prozessschritte aus Abbildung 8 sind im Folgenden in der „S→P→O“-Notation dargestellt:

Instruction: resource → capability → worker

Validation: resource → capability → (resource → capability → parts)

Assembly: resource → capability → parts

Über weitere Argumente („arguments“) können die Komponenten konfiguriert werden. So lassen sich an eine Instruktion Texte und Medien, an eine Validierung erforderliche Sensoren und Prüfkriterien, an eine Montage Geräte und Steuerungsparameter übergeben. Die Methode („method“) schränkt die geforderte Fähigkeit ein. Im Beispiel wird eine visuelle Ausgabe angefordert. Zusätzlich zu den Argumenten wird ein Geltungsbereich (Scope) festgelegt. Der Geltungsbereich wird bei der Instanziierung des Prozesses gesetzt und schränkt den Suchraum bei der Identifizierung relevanter Ressourcen mit den gesuchten Skills ein.

nächsten eine besondere Bedeutung und müssen bei der Validierung (Machbarkeitsprüfung) beachtet werden (z.B. zur Verhinderung von Frühstarts bei der Weitergabe eines Zwischenproduktes an einen folgenden Takt).

Zur Laufzeit eines Prozesses geht es um die Einhaltung der Parameter des Herstellungsprozesses und die Dokumentation der Ergebnisse für die Qualitätssicherung oder zum Nachweis der Randbedingungen zur Ausführungszeit eines Prozesses. Diese Vorgänge betreffen sowohl den Eingangszustand (pre-condition) als auch den Zustand nach der Ausführung einer Operation (Ausgangszustand, post-condition). Im Weiteren liegt der Schwerpunkt auf der Validierung von Prozessen im Sinne einer Qualitätssicherung. Nicht betrachtet wird die Validierung eines Wandlungsprozesses. Im Zusammenhang mit der Ressourcenauswahl kann eine Wandlung zur Einhaltung notwendiger Parameter oder technologischer Vorgaben ausgeführt worden sein.

4.2 Definition und Beispiel

Die Validierung lässt sich unterscheiden in eine Validierung des Prozesses hinsichtlich der Machbarkeit (Engineering-Phase) und in eine Validierungsmaßnahme im Sinne einer Qualitätssicherung zur Ausführungszeit des Prozesses (operative Phase). Da die Validierung hinsichtlich der Machbarkeitstests in den Deliverables D-2.7, D-2.8 und D-2.9 ausführlich behandelt wird, sollen im Folgenden die Besonderheiten von qualitätssichernden Validierungsmaßnahmen aus Sicht der prozessbasierten Fähigkeitsanforderung betrachtet werden. Über die Validierung von Prozessschritten hinaus kann die Validierung auch ein eigener Prozessschritt mit angeforderten Fähigkeiten und auswählbaren Ressourcen sein. Ein Beispiel sind Funktionsprüfungen, die nach einer Reihe von Prozessschritten (ohne Validierung) ausgeführt werden (z.B. In-circuit Tests bei Elektronikbaugruppen nach der (ggf. Teil-) Bestückung).

Zur Illustrierung wird im Folgenden auf den in Kapitel 2.2 beschriebenen Anwendungsfall eingegangen:

Ein Wellendichtring muss in ein Verteilergehäuse auf Position gefügt werden. Dabei sind konstruktions- und bauteilbedingte Anforderungen einzuhalten. Die Aufgabe besteht nun im *Engineering-Prozess* ein geeignetes Betriebsmittel am entscheidenden Prozessschritt auszuwählen. Hierbei muss eine Validierung zwischen Prozessanforderung und Betriebsmittel erfolgen. Die Prozessanforderung wäre hier zum Beispiel „Füge Wellendichtring positions- und kräfteüberwacht in die dafür vorgesehene Bohrung des Bauteils ein“.

Im Sinne der *Machbarkeit* (typ-bezogen) würde eine Validierung der Prozessanforderung zeigen, dass eine Handpresse den Anforderungen nicht genügt und aus dem Grund ein ansteuerbares Betriebsmittel mit Positions- und Kräfteüberwachung gewählt werden muss.

Während das Engineering die generelle Anforderung eines Prozesses betrachtet, hat eine *Qualitätssicherung* (zur Ausführungszeit, Instanz-bezogen) immer den Fokus auf jedes einzelne Produkt bzw. Bauteil. Dabei werden dem Prozessschritt zugrunde liegende technisch-physikalischen Forderungen individuell überwacht. In der Regel sind dies Messungen, die

während des Prozesses ermittelt werden und aus Rückverfolgbarkeitsgründen gespeichert werden. Mindestanforderung kann auch ein generelles i. O. oder n. i. O. Ergebnis des Prozesses sein das ebenfalls zum Produkt gespeichert wird. Diese Prozessinformationen sind oft Bestandteil der Bauteilgenealogie. Geeignete Methoden zur Qualitätssicherung des Herstellungsprozesses des individuell zu fertigendem Produkt sind zum Beispiel SPC-Messungen oder 100% Kontrollen.

Neben der Qualitätssicherung eines Bauteils muss auch immer eine Qualitätssicherung des instanziierten Betriebsmittels erfolgen. In der Praxis erfolgt die Überprüfung des Betriebsmittels mit Messmitteln oder bekannten Eigenschaften eines Referenzbauteils. Zudem wird in der Regel eine turnusgemäße Überprüfung des Betriebsmittels selbst festgelegt. Diese werden nach Herstellerangaben, wie z.B. Betriebsnutzungszeiten festgelegt.

Die für die Validierung notwendigen Informationen entstehen während der Produktentwicklung in der Konstruktion und werden während der Arbeitsvorbereitung im Engineering-Prozess vom Prozessplaner verfeinert. Hinzu kommen insbesondere im Rahmen der Qualitätssicherungen spezielle Vorgaben vom Kunden, der bestimmte Validierungspunkte im Prozess anfordert. Das übergeordnete Ziel bei der Modellierung von solchen Montageprozessen stellt die hinreichend allgemeingültige Definition von Fähigkeitsanforderungen dar, die speziell genug formuliert ist, um ein Mapping auf die konkrete Anlage zu ermöglichen. Dabei muss die Flexibilität sowohl auf Prozessebene als auch auf Anlagenebene gewahrt werden, damit Anpassungen auf beiden Ebenen mit vertretbarem Aufwand möglich bleiben. Heute sind Steuerungsprozesse mit Montagesystemen eher starr gekoppelt. Dadurch ist die Flexibilität zur Berücksichtigung nachträglicher Anpassungen begrenzt.

Innerhalb von Montageprozessen ist die Validierung nicht ausschließlich als separate Fähigkeitsanforderung zu betrachten, sondern kann auch Teil einer montagebezogenen Fähigkeitsanforderung sein, da die Validierung auch integraler Bestandteil des Fertigungsprozesses auf Hardwareebene sein kann, falls das Gerät über eine fest integrierte Validierung verfügt. Aus Prozesssicht muss es daher möglich sein Fähigkeitsanforderungen ineinander zu verschachteln.

Die Umsetzung der genannten Punkte erfordert die Definition einer „Sprache“ zur Formulierung von Fähigkeitsanforderungen, die die aufgeführten Anforderungen an einen Validierungsprozess im Sinne einer Qualitätssicherung adressiert.

Durch die explizite Adressierung des qualitätssichernden Validierungsaspekts können somit Kundenanforderungen zur Herstellung eines Produktes und damit verbundene Kosten sichtbar gemacht werden. Zudem stellen die Validierungspunkte Anknüpfungspunkte zur Überprüfung der Einhaltung von Vorgaben aus der Konstruktion dar. Darüber hinaus können die Informationen genutzt werden, um die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben zu prüfen. Dies erfordert allerdings eine gesonderte Betrachtung, da rechtliche Aspekte besondere Anforderungen an die Prüfung stellen und sich häufig nicht eins-zu-eins in automatisierbare zu prüfende Regeln überführen lassen. Sie sind daher nicht Bestandteil der hiesigen Betrachtungen.

4.3 Ansatz zur Validierung von Prozessschritten

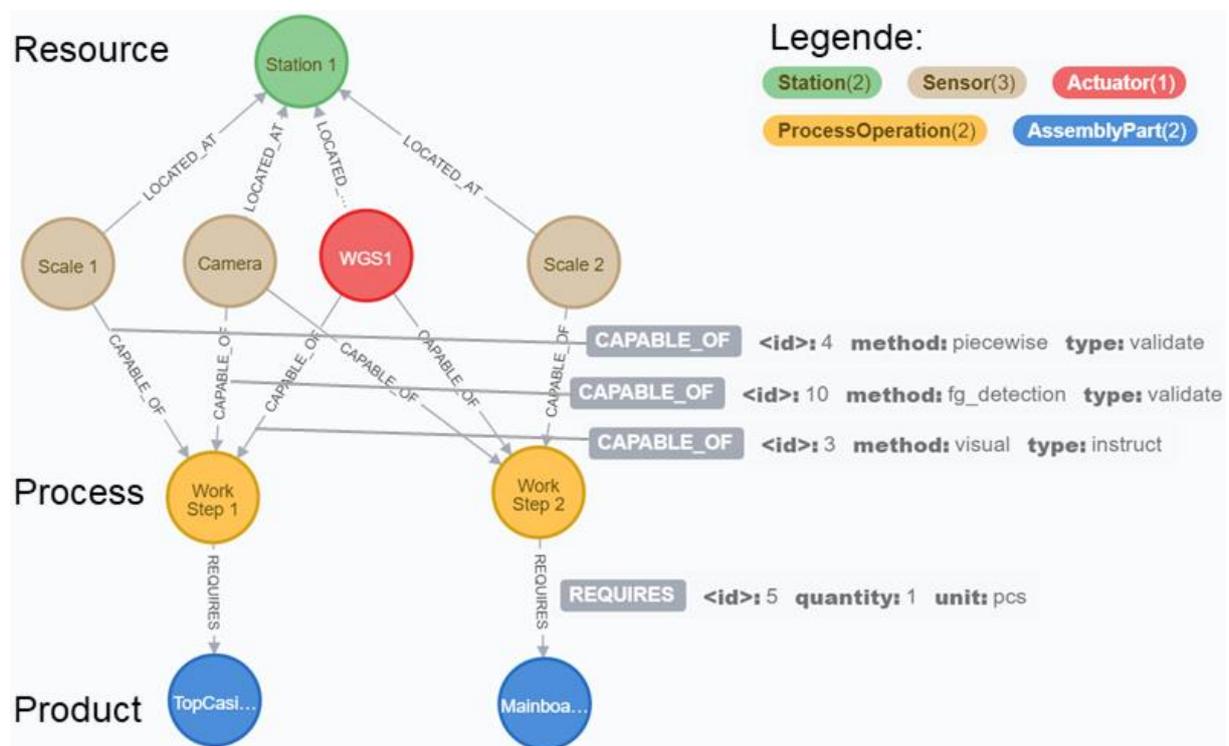


Abbildung 10. Darstellung einer PPR-Modellinstanz zum HAP mit Referenzen zur Fähigkeitenontologie umgesetzt in einer Graphdatenbank.

In diesem Abschnitt wurden exemplarisch Teilaspekte des Anwendungsbeispiels aus Kapitel 2.1 in ein Modell zur prozessbasierten Fähigkeitsanforderung im Hinblick auf Validierungsaufgaben überführt. Um semantische Abfragen vom Prozess aus zu ermöglichen, wurde hierzu eine Graphdatenbank eingesetzt. Graphdatenbanken eignen sich zur Darstellung stark vernetzter Informationen und sind kompatibel zum in der Fähigkeitenontologie verwendeten Resource Description Framework (RDF).

Abbildung 10 zeigt einen Ausschnitt des Modells für den Handarbeitsplatz. Die modellierten Entitäten wurden in die Objekte Station, Sensor, Actuator, ProcessOperation und AssemblyPart unterschieden, die jeweils als Objektinstanz, z. B. „Station 1“, in dem Graphen als Knoten auftreten. Objektinstanzen sind durch Kanten mit anderen Objektinstanzen verbunden. Dabei kommen hier die Beziehungen „LOCATED_AT“, „CAPABLE_OF“ und „REQUIRES“ zum Einsatz. So ist die Präzisionswaage „Scale 1“ beispielsweise der „Station 1“ örtlich zugeordnet und bietet in Zusammenhang mit Arbeitsschritt 1 („Work Step 1“), der ein bestimmtes Material in einer bestimmten Menge erfordert („REQUIRES“), die Fähigkeit vom Typ „validate“ an, die stückweise („piecewise“) erfolgen kann. Im Gegensatz dazu ermöglicht die Kamera lediglich eine Validierung der Entnahme des Materials, kann aber keine Aussage zur tatsächlich entnommenen Menge treffen.

Durch die dargestellte Form der Modellierung lassen sich nun unter der Angabe einiger Parameter Anfragen an das Fabrikmodell stellen:

- 1) MATCH (sensor)-[:CAPABLE_OF {type: "validate"}]->(ProcessOperation {name: "Work Step 1"}) RETURN sensor
> [Scale 1; Camera]
- 2) MATCH (sensor)-[:CAPABLE_OF {type: "validate"}]->(ProcessOperation {name: "Work Step 1"}) WHERE (sensor)-[:LOCATED_AT]->(:Station {name: "Station 1"})
RETURN sensor
> [Scale 1; Camera]
- 3) MATCH (sensor)-[:CAPABLE_OF {type: "validate", method: "piece-wise"}]->(ProcessOperation {name: "Work Step 1"}) RETURN sensor
> [Scale 1]

Anfrage 1 fordert beispielsweise die Validierung („validate“) des Arbeitsschritts 1 („Work Step 1“). Die Angabe dieser beiden Argumente genügt, um eine List der Sensoren zu erhalten, die eine Validierung ermöglichen, nämlich die Präzisionswaage „Scale 1“ und die „Camera“. Die Anfrage lässt sich um einen weiteren Parameter räumlich einschränken, damit nur auf einem Ausschnitt des Fabrikmodells gesucht wird, siehe Anfrage 2. Zudem lässt sich die Suche präzisieren indem eine stückweise Validierung angefordert wird, siehe Anfrage 3.

Der beschriebene Modellierungsansatz wurde in der Graphdatenbank Neo4j¹ umgesetzt. Ein Datenbankexport mit einer kurzen Anleitung zur Installation ist Teil diese Deliverables. Siehe dazu die beiden folgenden Dateien:

- factory-hap.dump
- factory-hap-dump_readme.txt

¹ <https://neo4j.com/> (Aufgerufen am 18.09.2020)

5 Produktbezogene Fähigkeitsanforderung

5.1 Definition: Was verstehen wir unter einem Produkt?

Definitionen aus der Standardisierung (siehe auch BaSys-Glossar):

1. **Arbeitsgegenstand** (nach DIN 33400): das im Zuge eines Arbeitsablaufs unter Verwendung der Betriebsmittel/ Betriebshilfsmittel veränderte (be- oder verarbeitete, transportierte oder gelagerte) Objekt.
2. **Produkt** (nach DIN EN ISO 9001): Ergebnis von Tätigkeiten und Prozessen

Schwierigkeit des Begriffs: Das bearbeitete Objekt ist erst am Ende des Prozesses das gewünschte Produkt. Auf dem Weg vom Anfangszustand des Objekts zum eigentlichen Produkt (Objekt im Endzustand) können Zwischenprodukte definiert werden. Diese entsprechen dem Objekt in Zwischenzuständen, welche wiederum Produkte von Subprozessen des eigentlichen Hauptprozesses sind, siehe Abbildung 13 - (De-)Komposition im PPR-Dreieck. Allerdings ist ein Objekt nur dann auch ein Produkt, wenn es im Endzustand dem gewünschten oder erreichten Ergebnis des betrachteten Prozesses entspricht.

Wenn also einem Objekt im Laufe eines Prozesses Material abgetragen wird (zum Beispiel durch Bohren), so ist das gebohrte Objekt das Produkt dieses Prozesses, da es dem Ergebnis desselben entspricht. Auch im Startzustand des Objekts, also im ungebohrten Zustand, kann von einem Produkt gesprochen werden, da dieses Objekt innerhalb des betrachteten Prozesses die Rolle des Produktes einnimmt.

Während das Objekt also allgemein etwas darstellt, das manipuliert wird, beschreibt das Produkt die Rolle eines Objektes innerhalb eines PPR-Modells: Am Ende des betrachteten Prozesses wird dieses Produkt dem Ergebnis des Prozesses entsprechen. Welches Objekt das Produkt ist, hängt also vom betrachteten Prozess ab.

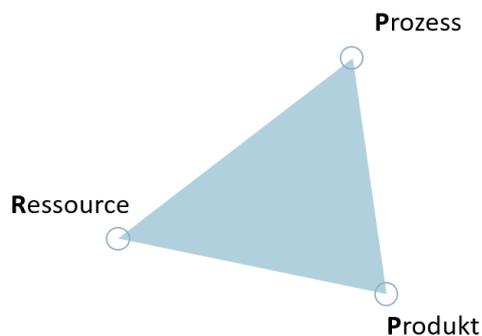


Abbildung 12 - Das PPR-Modell

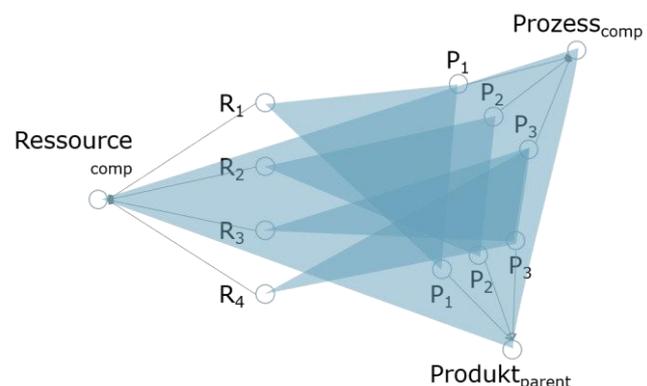


Abbildung 11 - (De-)Komposition im PPR-Dreieck

Was passiert, wenn der Prozess seinen Ergebniszustand nicht erreicht? Dann kann das Objekt auch nicht in das gewünschte Produkt überführt werden. Zwei Fälle:

1. „Fehler“ kann repariert werden: Durch einen neuen Prozess kann das Objekt doch noch das Produkt werden.

2. Das Objekt ist irreversibel beschädigt, sodass es nicht die Rolle des Produkts erreichen kann und entsorgt werden muss.

Alle drei Dimensionen von PPR können auf verschiedenen Hierarchieebenen existieren. Ressourcen können zu übergeordneten/zur Sub-Ressourcen (de)komponiert werden. Dasselbe gilt für Prozesse. Ein Objekt/Produkt kann sich während der Produktion ändern und hat eine Vererbungsbeziehung zu seinem Basis-/Elternobjekt.

Gerade im Bereich des Fügens werden mehrere Objekte innerhalb eines Prozesses zu einem Produkt verarbeitet. In diesem Fall muss ein Objekt als Hauptobjekt und damit als Produkt im Startzustand ausgewählt werden. Alle anderen Objekte werden sekundäre Objekte genannt. Typischerweise ist das Hauptobjekt ein Basisobjekt, welches liegen bleibt, während das andere Objekt auf ersteres montiert wird. Es mag aber auch Fälle geben, in denen beide Objekte bewegt werden oder beide Objekte sogar gleich sind. In solchen Fällen wird eines der beiden zu fügenden Objekten willkürlich als Hauptobjekt und damit Produkt ausgewählt. Gleiches gilt auch für Prozesse, in dem mehrere Produkte entstehen. So können zum Beispiel in einem Trennprozess aus einem einzelnen Objekt mehrere Produkte entstehen. Auch hier muss ein Produkt als Hauptprodukt gewählt werden.

Aus Sicht von produktverwaltenden Systemen werden (Zwischen-)Produkte häufig als eigene Teile mit jeweils eigener Teilenummer beschrieben. Diese Teilenummer kann wiederum in der Verwaltungsschale des Objekts referenziert werden.

5.2 Beschreibung von Zuständen und Übergängen

Unter dem Zustand eines Produktes werden dessen Eigenschaften zu einem bestimmten Zeitpunkt im Prozess verstanden.

Das Produkt in seinem aktuellen Zustand fließt als Eingangsgröße in den Prozess ein und wird dort verändert². Ausgang des Prozesses ist das Produkt mit veränderten Eigenschaften, also im Ausgangszustand.

Ziel eines Prozesses ist es, ein Produkt in einen bestimmten Zustand zu bringen. Dabei müssen nicht zwangsläufig alle Eigenschaften eines Produktes berücksichtigt werden. Häufig hat ein Prozess nur Auswirkungen auf einen Teil der Produkteigenschaften. So kann ein Handhabungsprozess sich beispielsweise nur auf Position und Orientierung des Produktes beziehen und dessen Temperatur außer Acht lassen. Das heißt nicht, dass sich die Temperatur

² Laut VDI 3682 [3] sind die drei Eingangsgrößen eines Prozesses Material, Energie und Information. Material entspricht hier dem Produkt.

des Produktes während des Prozesses nicht ändern darf, sondern dass eine Temperaturänderung nicht Ziel des Prozesses ist.

Wir unterscheiden deswegen folgende Produkteigenschaften bezogen auf einen Prozess:

- Direkte prozessrelevante Eigenschaften unterscheiden sich zu Anfangs- und Endzustand eines Prozesses. Ihre Veränderung ist zwingend erforderlich, um den Prozess abzuschließen. Beispiel: Während eines Handhabungsprozesses muss die Position des Produktes verändert werden.
- Indirekte prozessrelevante Eigenschaften tragen nicht direkt zu einem erfolgreichen Abschluss eines Prozesses bei. Sie müssen sich nicht verändern, um den Endzustand des Prozesses zu erreichen. Allerdings werden diese Eigenschaften trotzdem durch den Prozess eingeschränkt, indem z.B. bestimmte zugelassene Wertebereiche vorgegeben werden. So kann z.B. die Temperatur für den Prozess außer Acht gelassen werden, solange sie sich in einem bestimmten Rahmen befindet.
- Prozessirrelevante Eigenschaften haben keinerlei Einfluss auf die Durchführung des Prozesses. So kann beispielsweise die Porosität eines Produktes für ein formbasiertes Zweifingergreifen irrelevant, für ein Vakuumgreifen andererseits essenziell wichtig sein.

Entsprechend kann/muss auch kein fester Satz an Produkteigenschaften existieren, der für jedes Produkt beschrieben sein muss. Abhängig vom verwendeten oder verglichenen Prozess wird ein Produkt unterschiedlich beschrieben. Ob z.B. eine Beschreibung einer outer bounding box ausreicht oder ein detailliertes CAD-Modell vorliegen muss, um die Geometrie eines Produktes zu beschreiben, hängt vom Prozess selbst und dessen Toleranzen ab.

5.3 Ablauf, Aktivitäten und Kombination zu Merkmalen

Ein Produkt beinhaltet Anforderungen an diejenigen Fähigkeiten, die verwendet werden können, um es zu produzieren. Dabei werden mögliche Fähigkeiten eingeschränkt, Merkmale festgelegt und auch die Reihenfolge teilweise oder ganz bestimmt.

Für die Festlegung der Reihenfolge werden gerne Vorranggraphen verwendet, die zeitliche Abhängigkeiten und Prioritäten dokumentieren, siehe z.B. Abbildung 13 - Beispiel eines Montagevorranggraphen erforderlicher Prozesse zur Montage eines Getriebeteils.

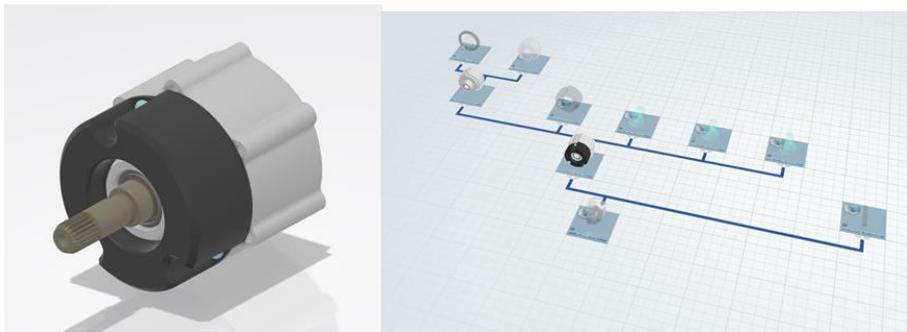


Abbildung 13 - Beispiel eines Montagevorranggraphen erforderlicher Prozesse zur Montage eines Getriebeteils

5.4 Wechselwirkungen von Produktzuständen

Ein Produkt kann durch seine Eigenschaften beschrieben werden. Dabei wird ein Satz an Eigenschaften zu einem bestimmten Zeitpunkt dessen Zustand genannt. Prinzipiell unterscheiden wir zwischen:

- Eigenschaften, die sich ändern dürfen.
- Eigenschaften, die sich ändern müssen.
- Eigenschaften, die sich nicht ändern dürfen.

Außerdem kann das Umfeld des Produktes Einfluss auf das Produkt selbst nehmen. Zu Umfeld zählen wir andere Produkte, Ressourcen sowie Prozesse, die in Wechselwirkung zum Produkt stehen.

Beispielhaft kann ein Schweißprozess betrachtet werden: Ein erstes Produkt benötigt als Teilprozess seiner Produktion einen Schweißprozess. Während der Schweißprozess somit die Fügeanforderung des ersten Produktes erfüllt, verunreinigt er außerdem die Luft, welche ebenfalls als Produkt angesehen werden kann. Eine weitere Anforderung der Produktion ist der Erhalt sauberer Luft. Zielzustand des Produktes Luft ist also eine gewissen Sauberkeit, die durch den Schweißprozess zunichte gemacht wurde. Daraus ergibt sich wiederum eine erneute Produktionsanforderung des Produktes Luft, welche beispielsweise durch einen Absaugprozess erreicht werden kann. Die Produktion des ersten Produktes beeinflusst also den Zustand des zweiten.

5.5 Betrachtung aus VWS-Sicht

Die Fähigkeitsanforderung zur Fertigung eines Produktes sollte in der Verwaltungsschale eines Produktes abgebildet sein. Folgend dem bereits erwähnten PPR-Modell ist ein Produkt ein Objekt im Endzustand eines Prozesses. Um Prozesse allgemein abbilden zu können wird ein Teilmodell „ProductionTemplate“ in einer Typverwaltungsschale vorgeschlagen, das die nachfolgenden Elemente enthält.

- Ein Prozess kann zur Minimierung der Komplexität in Teilprozesse „Produktionsschritte“ unterteilt werden. Diese Unterteilung kann eine beliebig tiefe Verschachtelung aufweisen, bis nicht mehr sinnvoll teilbare Prozesse erreicht sind.

- In dem zuvor genannten Teilmodell werden die Prozesse in einer „Process“ Collection (SubmodelElementCollection) gesammelt.
- Die Prozesse referenzieren falls existent auf die unterlagerten Teilprozesse in einer Collection „ChildProcessReferences“.
- In einem Prozess werden oft sekundäre Objekte (siehe Abschnitt 5.1) benötigt, die in einem Prozess verarbeitet werden. Diese können als eigenständiges Asset bereitstehen oder als Co-Managed Entity direkt dem Produkt zugeordnet werden. Im ersten Fall muss nur ein Verweis auf das Asset erstellt, im zweiten muss ein Co-Managed Entity mit der Beschreibung des sekundären Produktes hinterlegt werden, auf das verwiesen wird.
- Die sekundären Objekte werden für jeden Arbeitsschritt in einer Collection „Products“ hinterlegt. Weiterhin benötigt ein Prozess zur Ausführung Ressourcen, die durch den Prozess gewählt werden. Hierbei gibt es unterschiedliche Ausprägungen, wie die Wahl der Ressource getroffen werden kann:
 - Direkte Wahl der Ressource (Instanz)
 - Wahl eines Typs einer Ressource – Eine Konkrete Instanz von Ressource muss zum Ausführungszeitpunkt des Prozesses gewählt werden.
 - Fähigkeitsbasierte Wahl der Ressource – Hierbei wird in dem Prozess nur eine Fähigkeit als Anforderung an die Ressource hinterlegt. Die Ressource muss zum Zeitpunkt der Prozessausführung über einen Abgleich der benötigten Fähigkeiten und der angebotenen Fähigkeiten der verfügbaren Ressourcen gewählt werden.

In den ersten beiden Fällen werden die Ressourcen in einer Collection „Resources“, im dritten Fall in einer Collection „Skills“ zu einem jeden Arbeitsschritt gespeichert.

Typischerweise sind die Ressource eigenständige Assets und somit nicht in der Verwaltungsschale des Produktes enthalten, auf diese wird jeweils nur ein Verweis erstellt. Sie besitzen eigenständige Verwaltungsschalen, die u.a. die Fähigkeiten einer Ressource enthalten.

Die Fähigkeiten im Prozess sowie die der Ressourcen können aus einer allgemein bekannten Ontologie bezogen werden, wie z.B. der C4I-Ontologie, die in [5] veröffentlicht wurde.

Zur weiteren Beschreibung des Prozesses werden Parameter benötigt, die in einem Prozess eingehalten werden müssen. Dabei kann in zwei Arten der Parameter unterschieden werden:

- Vordefinierte Parameter, die zur Erstellungszeit eines Prozesses hinterlegt werden können, bspw. einschränkende Parameter zur detaillierten Beschreibung einer Fähigkeit.
- Variable Parameter, die sich zum Ausführungszeitpunkt eines Prozesses ergeben, bspw. Parameter, die für eine konkrete Instanz einer Ressource zur Prozessausführung benötigt werden.

Die vordefinierten Parameter werden in einer Collection „PredefinedParameter“ zu einem jeden Prozess gespeichert.

Zur Abbildung der Beziehungen der Produkte untereinander, wird ein „Bill of Material“-Teilmodell vorgesehen, in dem alle Assets abgebildet sind. Diese können mit Relationen untereinander verknüpft werden, um die Struktur eines Produktes zu verdeutlichen. Für die Modellierung der Relationen ist bis jetzt keine Standardisierung und kein „Best-Practice“-Verfahren erstellt worden. Die Modellierung ist stark anwendungsspezifisch ausgeprägt und muss somit für die einzelnen Anwendungsfälle getrennt betrachtet werden.

Folgend dem Schema der Verwaltungsschale ergibt sich zur Typverwaltungsschale eine Instanzverwaltungsschale des realisierten Produktes. Diese Verwaltungsschale kann analog zur Typverwaltungsschale ein „Production“-Teilmodell enthalten. In diesem werden die bei der Entstehung des Produktes ausgeführten Prozesse abgebildet. Dazu wird eine geordnete Collection (ordered = true) „Process“ vorgesehen, die Referenzen auf alle ausgeführten Prozesse enthält. Dabei stellt die Einordnung die Ausführungskette der Prozessschritte dar.

Die Prozesse selbst stellen wiederum eine Collection dar, die einige Sub-Collections enthält:

- „Products“ – Referenzen auf Produkte (Assets), die in diesem Prozess verwendet wurden.
- „Resources“ – Referenzen auf Ressourcen (Assets), die zur Ausführung dieses Prozesses verwendet wurden. Dabei wird hier nicht unterschieden ob eine Ressource über einen Capability Check oder anderweitig gewählt wurde.
- „ProcessParameters“ – Parameter zur Ausführung des Prozesses, enthalten sind hier die vordefinierten Parameter sowie variable Parameter.
- „CapabilityCheckResult“ – Ergebnisse des Checks und des Matches von Fähigkeiten zu Prozessanforderungen.
- „Time“ – Kann bspw. die Start- und Endzeit eines Prozesses enthalten.

Zur besseren Nachverfolgbarkeit der Prozesse wird über ein „TemplateProcess“ auf den „Prozessplan“ der Typverwaltungsschale referenziert.

Ebenfalls empfohlen wird ein „Bill of Material“-Teilmodell analog dem Teilmodell in der Typverwaltungsschale mit den Instanzen der Assets.

Ein Beispiel-Modell in Form eines AASX-Packages liegt diesem Dokument bei.

6 Besonderheiten kontinuierliche Prozesse

Im Vergleich zu diskreten Prozessen weisen kontinuierliche Prozesse einige Besonderheiten auf, die für Fähigkeitsanforderungen zu berücksichtigen sind. Ein Hauptunterschied sind die verschiedenen Produktcharakteristiken. Während Produkte in diskreten Prozessen ausschließlich Festkörper, Baugruppen oder Verbunde aus Festkörpern sind, trifft man bei kontinuierlichen Prozessen häufig auf formlose Fluide oder Schüttgüter. Dadurch ergeben sich Schwierigkeiten bei der Produktabgrenzung und damit auch mit der Bestimmung des Produktzustandes und Produktortes. Auch die Zustandsänderungen an sich sind speziell. In der diskreten Fertigung werden Produkte durch Verbinden, Trennen, Form-, Oberflächen- oder Materialveränderung bearbeitet. In der kontinuierlichen Fertigung werden die Materialien oft durch Mischung, Trennung oder chemische / physikalische, teils selbstablaufende, Prozesse verändert. Dadurch spielen auch Verweilzeiten und – deutlich stärker als bei diskreten Prozessen – die Reihenfolge der Prozessschritte eine besondere Rolle. Anders als bei der strikten Trennung von Transport- und Bearbeitungsschritten in der diskreten Fertigung kann in der kontinuierlichen Fertigung durch den Transport im geschlossenen Rohrleitungssystem auch beides gleichzeitig stattfinden. Anstatt der „Bill of Materials“ (BOM) gibt es in der kontinuierlichen Fertigung üblicherweise das Rezept. Bei konkurrierenden Prozessschritten sind insbesondere auch die Nebenprodukte der Prozessschritte von Bedeutung, da einerseits die Entsorgung eine größere Rolle spielt, andererseits Nebenprodukte auch Wertstoffe sein können, die die Entscheidung für einen Prozessschritt mit beeinflussen können. [8] Durch die heutzutage besonders präsenten Bestrebungen den Energieverbrauch von Prozessanlagen zu reduzieren, hat dieser einen besonderen Einfluss auf das Anlagenengineering. So werden häufig zum Antrieb von großen Verdichtern auf der gleichen Welle angeordnete Dampfturbinen eingesetzt. Außerdem wird versucht überschüssige Prozesshitze/-kälte in Regeneratoren oder Rekuperatoren in die Prozesse zurückzuführen, um die Energieeffizienz weiter zu steigern.

Literatur

- [1] DFKI GmbH, „SmartF-IT - Cyber-physische IT-Systeme zur Komplexitätsbeherrschung einer neuen Generation multiadaptiver Fabriken,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.dfki.de/web/forschung/projekte-publikationen/projekte-uebersicht/projekt/smartf-it/>. [Zugriff am 26 06 2020].
- [2] Object Management Group (OMG), „Business Process Model and Notation Specification Version 2.0,“ [Online]. Available: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/About-BPMN/>. [Zugriff am 14 07 2020].
- [3] H. Hausen und H. Linde, Tieftemperaturtechnik: Erzeugung sehr tiefer Temperaturen, Gasverflüssigung und Zerlegung von Gasgemischen, Springer-Verlag, 1985.
- [4] D. Büchl und S. Lochner, „Verfahren zur Luftzerlegung und Luftzerlegungsanlage“. Patent EP2784420, 2013.

- [5] V.-G. M.-. u. Automatisierungstechnik, VDI/VDE 3682 - Formalisierte Prozessbeschreibungen, 2005.
- [6] W3C, „Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification,“ [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/PR-rdf-syntax/>. [Zugriff am 21 07 2020].
- [7] D. J. B. Michael Weser, „D-2.1 Modulares Erweiterungskonzept der BaSys 4.0 Fähigkeitenontologie,“ Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2020.
- [8] H. Mersch, D. Behnen, D. Schmitz, U. Epple, C. Brecher und M. Jarke, „Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Prozess- und Fertigungstechnik,“ *at - Automatisierungstechnik*, 2011.
- [9] BMWi, Details of the Asset Administration Shell, Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 2.0.1), 2020.