

Module Type Package in der Fertigungsautomatisierung

Erweiterung der Grundlagen und Handlungsbedarf

Das Module Type Package (MTP) verspricht die zügige und flexible Integration und Orchestrierung von Produktionsmodulen zu einem Anlagenverbund. Das MTP wurde für die Prozessautomatisierung entwickelt, seine Potentiale sind jedoch auch für andere Anwendungsdomänen wie zum Beispiel die Fertigungsautomatisierung vielversprechend.

In [1] werden Eigenschaften der Fertigungsautomatisierung vorgestellt, daraus Anforderungen an die MTP-Konzepte erhoben und anschließend der Handlungsbedarf abgeleitet.

Dieses Dokument dient als Ergänzung zu [1] und stellt darüberhinausgehende und bislang im Forschungsprojekt METHODS (FKZ 13FH511KX9) identifizierte Eigenschaften, Anforderungen und Handlungsbedarfe anhand einer fertigungstechnischen Beispielanlage vor.

Die Inhalte aus [1] sind hier mit grauer Schriftfarbe gekennzeichnet.

Die Nummerierung der Anforderungen ist aufgrund der Konsistenz zu den Anforderungen in [1] nicht fortlaufend, sondern die Nummerierung setzt die dortigen Anforderungen fort.

Die allgemeine Motivation und die Grundlagen der Forschungstätigkeit sind in [1] nachzulesen. Ebenfalls findet sich dort eine Beschreibung der fertigungstechnischen Beispielanlage.

1 Eigenschaften der FA und Anforderungen an das MTP

1.1 Eigenschaften und Anforderungen der Kategorie Produkte

E1.1 – Produktlokalisierung und -identifikation: Produkte und deren Bestandteile in der FA sind in der Regel lokalisierbar und identifizierbar [3]. Sofern mehrere Produktinstanzen mehrerer Produkttypen die Anlage in beliebiger Reihenfolge passieren können, ist eine Identifizierung notwendig. Dies ist im vorliegenden Demonstrator der Fall – hier werden Produkte auf Warenträgern mit einem RFID-Tag transportiert, deren Präsenz an definierten Positionen erkannt, von den Transportmodulen ausgelesen und damit die Produktinstanz identifiziert werden kann. Entsprechend der hinterlegten Informationen können Dienste auf dem Modul ausgeführt oder von einem MES Informationen abgefragt werden. Daraus lässt sich folgende Anforderung für die Übertragung des MTP formulieren:

→ **A1:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass produktspezifische Informationen sowie die Anweisungen für eine produktspezifische Ausführung eines Dienstes mit einem MES nach der Identifikation eines Produkts ausgetauscht werden können. Alternativ müssen die Module in die Lage versetzt werden, eigenständig alle für die Dienste notwendigen Informationen von den Produkten selbst zu beziehen.*

E1.2 – Produktabhängigkeiten: Auch wenn Produkte in der FA identifizierbar sind, bedeutet dies nicht, dass jeder Prozess abhängig von einer spezifischen Produktinstanz ausgeführt werden muss. Es kann vorkommen, dass bspw. materialflussändernde Prozesse wie das Stellen einer Weiche unabhängig vom konkreten Produkt agieren und z.B. jedes zweite Produkt ausleiten. So könnten bspw. im Demonstrator Bearbeitungsprozesse abhängig von den Produkten ausgeführt werden, Transportprozesse hingegen dauerhaft und Produkt-unabhängig.

→ **A2:** *Es soll basierend auf den MTP-Konzepten eine geeignete Interaktion mit dem MES ermöglicht werden, so dass Dienste abhängig oder unabhängig von Produkten ausgeführt werden können.*

E1.3 – Paralleler Einfluss auf Produkte: Produkte in der FA können Module gleichzeitig passieren, d.h. mehrere Produkte, auch unterschiedlicher Produkttypen, befinden sich zeitgleich im Einflussbereich der Dienste und deren Akteuren und Sensoren wie z.B. der Förderbandantriebe.

→ **A3:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass Dienste entweder so voneinander getrennt sind, dass ein gleichzeitiges Einwirken auf unterschiedliche Produkte durch produktspezifische Dienste nicht möglich ist, oder sie gleichzeitig einwirken und dabei mehrere Produktinstanzen handhaben können.*

E1.4 – Produktzustand: Ein Produkt der FA befindet sich immer in einem definierten Zustand kontinuierlicher oder diskreter Natur [4]. Der Produktzustand bestimmt den notwendigen Prozess mit entsprechender Parametrierung, sodass neben der reinen Identifizierung eines Produkts der Produktzustand eine wesentliche Rolle für Dienste spielt.

→ **A8:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass neben der Produktidentifizierung von A1 der Zustand des Produkts bei der Ausführung der Dienste berücksichtigt wird.*

E1.5 – Produktübergabe: Produkte werden von einem Modul zu einem anderen Modul übergeben. Bspw. befördert in der Beispielanlage ein Roboter Warenträger von einem Transportmodul zu einem anderen. Eine Produktübergabe ist dabei vielfältig realisierbar. Ein Modul kann bspw. das Abholen eines Produktes explizit von einem anderen Modul anfordern, kann die Übergabe eines Produktes bei einem anderen Modul anmelden oder übergibt Produkte ohne weiteres.

→ **A9:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass Module direkt Informationen bzgl. der Übergabe von Produkten untereinander bzw. indirekt mit einem MES austauschen können, sodass die Übergabe von Produkten gewährleistet wird.*

E1.6 – Materialkomplexität: In der FA wird ein Produkt häufig basierend aus Stücklisten, Baugruppen, Einzelteilen etc. zusammengesetzt [4]. Die dafür notwendigen Bauteile sind entweder direkt in dem Modul gerüstet oder werden entsprechend der Transportwege zu dem Modul transportiert. Ein Dienst kann nur dann ausgeführt werden, sofern alle dafür notwendigen Materialien zur Verfügung stehen.

→ **A10:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass Produktinformationen wie z.B. notwendige und verfügbare Materialien oder Bauteile vor oder bei der Ausführung von Diensten vorhanden sind.*

1.2 Eigenschaften und Anforderungen aus der Kategorie Prozesse

In der FA umfassen *Produktionsprozesse* beispielsweise die rasche Gewinnung erster Formen aus dem formlosen Zustand, die zügige Veränderung dieser Form sowie die schnelle Veränderung der Stoffeigenschaften [3], z.B. durch Stanzen, Bohren, Biegen usw. FA-spezifische Prozess-Eigenschaften stellen daher eigenständige Anforderungen an die MTP-Konzepte:

E2.1 – Hohe Prozessgeschwindigkeit: Prozesse sind in der FA oft mit hohen Geschwindigkeiten verbunden, was an Übergabestellen von Modulen oder bei der Kommunikation mit einem MES kritisch sein kann [3]. Elementar ist die rechtzeitige Verfügbarkeit der produktspezifischen Informationen im Modul selbst.

→ **A4:** *Es ist erforderlich, dass mit den Konzepten des MTP Module untereinander oder mit einem MES latenzarm Informationen austauschen können und rechtzeitig Informationen intern verfügbar haben.*

E2.2 – Hohe Prozessdatendichte: Aufgrund der vorwiegend individuellen Produkte in modularen fertigungstechnischen Anlagen, wie oben im Demonstrator, entstehen viele Prozessdaten, die zu bestimmten Zeitpunkten den Modulen bereitgestellt werden müssen. Ein immer wiederkehrender Informationsaustausch mit externen Systemen, wie bspw. das Erfragen der Parameter für einen Dienst vor Beginn des Bearbeitungsprozesses, wie es derzeit im Demonstrator umgesetzt ist, kann die Produktionsfähigkeit der Anlage reduzieren – es entstehen längere Warte- und Reaktionszeiten.

→ **A5:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass Dienste vor deren Ausführung mit einem möglichst geringen Kommunikationsaufwand konfiguriert werden können, um kommunikationsbedingte Verzögerungen zu vermeiden.*

E2.3 – Überbrückung von Unterbrechungen: Ein Stillstand einer Anlage wie bspw. durch Unterbrechungen der Kommunikation ist in vielen Aspekten problematisch [3]. Eine modulare Anlage kann diese Kommunikationslücken, sofern gewünscht, überbrücken, indem die bereits erstellten Produktkonfigurationen an die Module übermittelt und dort gespeichert werden. Die Anlage kann dann die Produktion mit diesen Vorgaben fortsetzen und zu einem späteren Zeitpunkt mit dem MES synchronisiert werden.

→ **A6:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass bei einem Kommunikationsabbruch zwischen den Modulen und dem MES die Produktion mit den Informationen, die bis dahin verfügbar sind, fortgeführt werden kann.*

E2.4 – Beliebige Granularität: In der FA existieren zwar definierte Fertigungsverfahren (z.B. DIN 8580), jedoch werden die Prozesse in deren Granularität und Komplexität beliebig bzw. nach herstellerabhängigen Prozessgranularitätsstufen gewählt. Denkbar ist in der Beispielanlage bspw. ein Prozess für den gesamten Transport eines Moduls, aber auch ein Prozess für das Stellen einer einzelnen Weiche.

→ **A11:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass eine Prozessgranularität jedem Dienst zugeordnet ist.*

E2.5 – Komplexe Parametersätze: Prozesse können in der FA komplex sein [4]. Die Ausführung der Prozesse kann ggf. nur mit großen Parametersätzen oder nur in Form von vordefinierten Programmen stattfinden, wie z.B. CNC-Prozesse oder Roboterpfade.

→ **A12:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass die Ausführung sowie die Übermittlung von großen Parametersätzen sowie Programmen an Module gewährleistet werden.*

E2.6 – Kennzahlen: In der FA kommen, wie in der PA, Kennzahlen zum Einsatz [4]. Diese sind z.B. Betriebszeiten, Werkzeugzeiten oder Energieverbräuche, die auch in der Beispielanlage relevant sind.

→ **A13:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass die für die FA individuellen Kennzahlen für Dienste und Komponenten berücksichtigt werden.*

1.3 Eigenschaften und Anforderungen aus der Kategorie Ressourcen

Ressourcen (die an der Prozessausführung und Produktveränderung beteiligt sind, z.B. Roboter) bieten weitere Differenzierungseigenschaften zwischen PA und FA. Die Aktoren der FA wirken im Gegensatz zur PA auf spezifische Orte der Produkte und weniger auf den Prozess ein [3]. Dadurch haben die Aktoren und Sensoren individuelle Eigenschaften, die im MTP berücksichtigt werden sollen. Ein Beispiel dafür ist:

E3.1 – Einsatz von Werkzeugen: In der FA wirken Werkzeuge auf die Produkte [3]. Ein Werkzeug ist bspw. ein Spiralbohrer. Entsprechend den vorhandenen (z.B. Material) und geforderten (z.B. Bohrungsdurchmesser) Eigenschaften von Produkten werden die Werkzeuge vom Modul selbst oder von einem MES ausgewählt. Daraufhin folgt gegebenenfalls ein Werkzeugwechsel.

→ **A7:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, die für spezifische Produkte notwendigen Werkzeuge in den Diensten des MTP zu berücksichtigen und einen entsprechenden Werkzeugwechsel zu erzwingen und zu ermöglichen.*

E3.2 – Hoher Informationshaushalt: Aktoren und Sensoren sind in der FA sehr individuell und beherbergen viele individuelle und herstellerspezifische Signale und Parameter, die für die Produktion notwendig sind [4].

→ **A14:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass neben den in VDI 2658-3 definierten Signalen für Datenobjekte weitere komponentenspezifische Daten mit dem MES ausgetauscht werden.*

→ **A15:** *Es soll mit den MTP-Konzepten ermöglicht werden, dass das MTP um weitere domänenspezifische Aktoren und Sensoren erweitert wird.*

Zusammenfassend wurden 15 Anforderungen an das MTP in der Domäne der FA identifiziert, anhand derer im folgenden Abschnitt der Handlungsbedarf für MTP-Konzepte in der FA ermittelt wird.

2 Ermittlung des Handlungsbedarfs für die Anwendung des MTP in der FA

Im vierten Schritt wird aus den Ergebnissen des dritten Schrittes ermittelt, welcher Handlungsbedarf für die Konzepte des MTP besteht. Der identifizierte Handlungsbedarf lässt sich dabei in zwei Kategorien einteilen:

- H1) Erweiterung der Dienste-Funktionsweisen und
- H2) Anpassung des MTP-Datenmodells für FA-spezifische Informationen.

2.1 Handlungsbedarf Dienste-Funktionsweisen

Dienste besitzen individuelles Verhalten. Die MTP-Datei gibt Auskunft über die verfügbaren Dienste eines Modules, aber die Funktionsweise der Dienste (d.h. ihr Verhalten in Form möglicher Zustände und Zustandsübergänge) muss dem MES vorab bekannt sein. Modulare Automation erfordert die zielgerichtete Kommunikation zwischen einem MES und den Modulen. Die Interaktion erfolgt durch eine Abfolge von Anfragen und Antworten zwischen Modul und MES. Eine dieser Interaktionsmöglichkeiten definiert der MTP-Standard unter dem Namen *ServiceInteraction-Pattern*. Während der Interaktion mit Diensten werden Werte übergeben, die das Verhalten eines Dienstes oder Parameterwerte beeinflussen. Weiterhin werden Dienste durch Merkmale charakterisiert, die ihre Ausführung verändern können und so Einfluss auf ihre Funktionsweise nehmen. Auch die Abfolge der Kommunikation hat Einfluss auf die Funktion der Dienste. Die FA erfordert Erweiterungen dieser Funktionsweisen, diese Handlungsbedarfe fallen in die Kategorie H1.

H1.1 – *ServiceInteraction-Pattern*: In der produktionsnahen Logistik wird das *ServiceInteraction-Pattern* des MTP in Kombination mit CES und SES für die Interaktion zwischen einem orchestrierenden System und den Modulen eingesetzt. Sobald z.B. ein Produkt von dem aktiven Dienst des Moduls erkannt wird, werden Informationen zwischen dem Modul und dem orchestrierenden System im o.g. Frage-Antwort-Prinzip ausgetauscht. Beispielsweise kann ein Modul anfragen, welche Parameterwerte es für die Bearbeitung des spezifischen Produktes nutzen soll. Das orchestrierende System antwortet darauf und verweist auf den notwendigen Parametersatz. Die Informationen sind dabei über Enumerationen codiert. Beide Kommunikationsseiten müssen in der Lage sein, die Werte der Enumeration zu interpretieren und entsprechende Reaktionen zu zeigen. Es sind zwar textuelle Beschreibungen der Enumerationen möglich, aber sie sind nicht von Modulen automatisiert interpretierbar. Die Zuweisung der Werte zu den Reaktionen ist jedoch nicht im MTP-Standard definiert, sondern muss implizit auf beiden Seiten vereinbart sein. Damit dieses Pattern herstellerübergreifend und automatisiert in der FA eingesetzt werden kann, sollte die dafür notwendigen Informationen explizit über das MTP bereitgestellt werden. Mit dem *ServiceInteraction-Pattern* und der Bereitstellung der notwendigen Informationen können zumindest die Anforderungen A1 und A7 erfüllt werden.

H1.2 – Merkmale der Dienstauführung: Die Autoren identifizierten für die FA Merkmale (M), die es für das Verhalten eines Dienstes gegenüber dem MES zu differenzieren gilt. Diese Merkmale beschreiben unterschiedliche Ausprägungen von Verhaltensweisen eines Dienstes und bilden in Kombination ein spezifisches Dienstverhalten. Unter Berücksichtigung der Merkmale und entsprechender Lösungskonzepte können die Anforderungen A2, A3, A4, A5 und A6 erfüllt werden.

Ein Merkmal ist die **Produktabhängigkeit (M1)**, die sich aus A2 ableitet. Dienste sind entweder von *Produktinstanzen* (M1.1) abhängig, wie z.B. das Bohren eines spezifischen Lochs in ein individuelles Produkt, oder von *Produkttypen* (M1.2), wie z.B. das Drehen einer Produktgruppe auf Warenträgern, oder sie sind *unabhängig* von Produkten (M1.3), wie z.B. das dauerhafte Transportieren eines Förderbandes. Je nach Ausprägung dieses Merkmals muss ein MES die entsprechenden Informationen für den Dienst bereitstellen.

Doch woher weiß ein MES, wann und in welcher Form es diese Informationen übersenden soll? Dies umfasst das zweite Merkmal: **Art der Parameterkonfiguration (M2)**. Eine initiale Parameterübermittlung (M2.1) ist bspw. für Dienste geeignet, deren Parameter nur einmalig geschrieben werden müssen wie z.B. beim dauerhaften Transportieren mit einem Förderband. Hier zeigt sich eine Korrelation zu M1.3. Wenn Parameter direkt vor der Dienstausführung übermittelt werden (M2.2), dann muss das MES bereits vor Eintreffen eines spezifischen Produktes die Parameter selbstständig übermitteln, sodass der Dienst den Prozess entsprechend ausführen kann. Bei M2.3 werden die Parameter nur auf Anfrage des Moduls wie z.B. bei einer Produktidentifizierung geschrieben, was in Kombination mit dem *Service-Interaction*-Pattern zum Einsatz kommen kann. M2.4 umfasst die Übermittlung von Parametern zu einem definierten Zeitpunkt. Diese Ausprägung hat ihren Ursprung in den Anforderungen A4, A5 und A6: Der Kommunikationsaufwand soll gering gehalten werden, Informationen sollen frühzeitig vorliegen und die Module sollen nicht immer auf die Antworten des MES angewiesen sein. Hierfür ist ähnlich zum Stammdatenmanagement der produktionsnahen Logistik [5] zukünftig ein Übertragungsmechanismus notwendig, der es dem MES ermöglichen soll, Parameter zu bestimmten Zeitpunkten bzw. Events für definierte Produktkonfigurationen an die Module zu übermitteln: **H1.3 – Eventbasierter Übertragungsmechanismus**.

Das dritte Merkmal umfasst die **Art der Dienstauslösung (M3)**. Abhängig von M1 und M2 kann ein Dienst intern (ggfls. initial von extern) vom Modul selbst (M3.1) bzw. von extern, wie z.B. von einem MES, (M3.2) ausgelöst werden. Bei M2.4 hat bspw. das Modul bereits alle Informationen über die Produktion eines eigens identifizierten Produkts und kann den Dienst intern gemäß M3.1 starten. Bei M2.3 wird wiederum der Start der Ausführung von einem MES gemäß M3.2 beeinflusst.

Des Weiteren kann die **Produkthandhabung pro Dienstdurchlauf (M4)** differenziert werden. Wie in A3 beschrieben, können Produkte Module hintereinander oder gleichzeitig passieren. Je nach Auslegung eines Dienstes kann ein Dienst somit eine Produkt-Instanz eines Produkt-Typen (M4.1), mehrere Produkt-Instanzen eines oder mehrerer Produkt-Typen hintereinander (M4.2) oder mehrere Produkt-Instanzen eines oder mehrerer Produkt-Typen parallel bearbeiten bzw. transportieren (M4.3).

Darüber hinaus muss ein MES erfahren, wie häufig es einen Dienst pro Produktinstanz durchführen muss, die sog. **Abarbeitungshäufigkeit (M5)**. Je nachdem muss es unterschiedliche Informationen an den Dienst übermitteln. Ein Dienst kann im ausführenden Zustand *Execute* eine Instanz eines Produkts bearbeiten und wird anschließend beendet (M5.1). Ein Dienst kann nach dem erfolgreichen Bearbeiten eines Produktes in einen wartenden Zustand *Pause* versetzt werden, der bei erneuter Aufforderung in den ausführenden Zustand *Execute* überführt werden kann. (D5.2). Des Weiteren kann ein Dienst so gestaltet werden, dass er für jede eintreffende Instanz eines Produkts in dem ausführenden Zustand *Execute* verweilt (D5.3).

Tabelle 1: Beispiel-Merkmale der Dienstausführung (Mx) und deren Ausprägungen (Mx.y).

#	Merkmale der Dienstausführung und deren Ausprägungen
M1	Produktabhängigkeit
M1.1	Dienst ist von Produkt-Instanzen abhängig.
M1.2	Dienst ist von Produkt-Typen abhängig.
M1.3	Dienste ist unabhängig von Produkten.
M2	Art der Parameterkonfiguration
M2.1	Parameter werden initial beim Anfahren des Moduls konfiguriert.
M2.2	Parameter werden direkt vor der Ausführung eines Dienstes oder in einem dafür vorgesehenen Dienstzustand konfiguriert.
M2.3	Parameter werden basierend auf einer konkreten Anfrage eines Moduls direkt vor der Ausführung eines Dienstes konfiguriert.
M2.4	Parameter werden zu definierten Zeitpunkten, wie z.B. einer neuen verfügbaren Produktkonfiguration, außerhalb des ausführenden Dienstzustands konfiguriert.
M3	Art der Dienstauslösung
M3.1	Dienst wird intern (ggfls. initial von extern) ausgelöst.
M3.2	Dienst wird von extern wie z.B. von einem MES ausgelöst.
M4	Produkthandhabung pro Dienstdurchlauf
M4.1	Dienst kann eine Produkt-Instanz eines Produkt-Typen handhaben.
M4.2	Dienst kann mehrere Produkt-Instanzen eines oder mehrerer Produkt-Typen hintereinander handhaben.
M4.3	Dienst kann mehrere Produkt-Instanzen eines oder mehrerer Produkt-Typen parallel handhaben.
M5	Abarbeitungshäufigkeit
M5.1	Dienst kann im ausführenden Zustand <i>Execute</i> ein Produkt bearbeiten und wird anschließend beendet.
M5.2	Dienst kann nach dem erfolgreichen Bearbeiten eines Produktes in einen wartenden Zustand <i>Pause</i> versetzt werden, der bei erneuter Aufforderung in den ausführenden Zustand <i>Execute</i> überführt werden kann.
M5.3	Dienst kann für jedes eintreffende Produkt in dem ausführenden Zustand <i>Execute</i> verweilen.

Zusammenfassend wird das Verhalten eines Dienstes durch mehrere Merkmale in ihrer konkreten Ausprägung charakterisiert. Eine konkrete Auswahl für einen Dienst wird folgend als *Dienst-Variante* bezeichnet. Die Merkmale der Dienstausführung hängen voneinander ab, ergänzen sich oder schließen sich gegenseitig aus. Unter dieser Voraussetzung lassen sich damit prinzipiell unterschiedliche Verhaltensweisen eines oder mehrerer Dienste abbilden – eine Anlage kann viele Dienst-Varianten umfassen. Wesentlich ist dabei, dass die Merkmale eines jeden Dienstes dem MES bekanntgegeben werden, sodass es geeignete Kommunikationsinteraktionen mit den Modulen und Diensten durchführen kann.

Für spezifische Anwendungsfälle und Tätigkeiten können wiederkehrende Muster von Dienst-Varianten auftreten – auch für ein und denselben Prozess. Am Beispiel eines Bohrprozesses des PU1 aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** werden folgend drei beispielhafte und für diesen Prozess geeignete und in der Praxis vorherrschende Dienst-Varianten mit den dazugehörigen Anwendungsfällen vorgestellt. Die zugehörige Wahl der Ausprägungen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Die erste Dienst-Variante (V1) eignet sich für einen bedarfsorientierten Bohrprozess, bei dem individuelle Produkte nach deren Identifizierung vom Modul und einem anschließenden Datenabgleich mit dem MES einzeln bearbeitet werden. Die zweite Dienst-Variante (V2) unterscheidet sich insofern, dass der Dienst die Parameterkonfigurationen für Produkte nicht direkt vor der Bearbeitung in einem Frage-Antwort-Prinzip erwartet, sondern zu einem früheren Zeitpunkt. Der Dienst wird dann selbstständig bei der Identifizierung eines Produkts mit der vorliegenden Parameterkonfiguration für den spezifischen Produktzustand ausgeführt. Eine dritte Dienst-Variante (V3) kann für eine auftragsorientierte, hoch getaktete Produktion gleichartiger Produktionsschritte mit einem hohen Produktdurchsatz eingesetzt werden. Dabei geben die Produkttypen die Parameterkonfiguration vor, welche nach dem Beenden einer Produktreihe von dem MES auf das Modul übertragen werden.

Tabelle 2: Dienst-Varianten (Vx) mit der Auswahl an Ausprägungen der Merkmale der Dienstaufführung (Mx.y).

#	V1	V2	V3
M1.1	X	X	
M1.2			X
M1.3			
M2.1			
M2.2			X
M2.3	X		
M2.4		X	
M3.1		X	X
M3.2	X		
M4.1	X	X	
M4.2			X
M4.3			
M5.1	X		
M5.2		X	
M5.3			X

Zur Reduktion der Dienst-Varianten-Vielfalt schlagen die Autoren über die prinzipielle Modellierung von Merkmalen und deren Ausprägungen hinaus vor, dass die Dienst-Varianten mit dem größten praktischen Nutzen und Vorkommen als Blaupausen für Anwender definiert werden.

H1.4 – Granularität von Diensten: Die Granularität von Diensten (A11) wird von dem MTP nicht vorgeschrieben, die Einteilung kann dennoch über die *FunctionClassificationClass* für jeden Dienst individuell definiert werden. In der PA wird hierfür die ISA88 mit ihrem prozeduralen Modell zugrunde gelegt. Für die FA gilt es zu prüfen, ob sich auch diese Granularitätsstufen eignen oder ob weitere Klassifikationen notwendig sind.

H1.5 – Produktübergabe: Bei der Übergabe von Produkten (A9) von Modul zu Modul müssen beide Module direkt miteinander oder indirekt über das MES interagieren. Beispielsweise wird dabei geprüft, ob der folgende Transportweg zur Übergabe frei ist. Dies kann mit den Mitteln des MTP umgesetzt werden. Mittels *ProcessValues* in Diensten können Signale zwischen Diensten mehrerer Module ausgetauscht werden, oder es gibt in jedem Modul einen separaten Dienst für die Übergabe und Annahme von Produkten. Die direkte Modul-zu-Modulkommunikation wird derzeit im Bereich des MTP erforscht und kann zukünftig auch hier angewandt werden. Sowohl für die direkte als auch für die indirekte Kommunikation müssten dennoch zusätzliche Mechanismen oder Vorgaben zur Verfügung stehen, wie die Übergabe sowie Annahme von Produkten modulübergreifend einheitlich stattfinden kann.

2.2 Handlungsbedarfe Schnittstelle

Alle Handlungsbedarfe, die erfordern, das MTP-Datenmodell um Informationen in der Kommunikationsschnittstelle zu erweitern oder zu modifizieren, fallen unter die Kategorie H2.

H2.1 – FA-spezifische Aktoren und Sensoren: Viele der Aktoren und Sensoren der FA können mit den in [6] definierten *Control Modules* der PA abgebildet werden: z.B. wird ein Förderbandantrieb durch einen *BinDrv* repräsentiert. Ein RFID-Schreib- und Lesekopf kann nur durch eine Kombination an *Control Modules* abgebildet werden, wobei die Bereitstellung mehrerer auszuwertender Informationen wie z.B. die Produkt-ID und der Produkt-Zustand, abgesehen von einer abstrakten *String*- oder *Enumerationsanwendung*, die Konzepte des MTP an seine Grenzen bringt. Daher sollen gemäß A15 weitere, für die FA-spezifische *Control Modules* als *DataAssembly* mit deren Informationen definiert und als neue Klassen modelliert werden.

H2.2 – Dienstschnittstelle für Werkzeuge: Werkzeuge wie z.B. Spiralbohrer sind laut A7 spezifisch für die FA. Sie sollen in den Diensten berücksichtigt werden, sodass sie für Prozesse an konkreten Produkten von dem MES ausgewählt werden können. Eine Möglichkeit mit dem MTP besteht darin, eine sog. Tool-ID als z.B. Prozedurparameter zu definieren, anhand derer der Dienst das entsprechende Werkzeug referenzieren und nutzen kann. Da dies ein immer wiederkehrender Parameter für fertigungstechnische Module ist, sollte die Dienstschnittstelle um einen Informationsanteil für Werkzeuge erweitert werden.

H2.3 – FA-spezifische Merkmale für die Dienstschnittstelle: Laut A13 haben Dienste in der FA spezielle Kennzahlen, die im MTP berücksichtigt werden sollen. Bislang könnten die Kennzahlen über Parameter, Reportwerte oder *ControlModules* wie z.B. *DigView* abgebildet und den Diensten zugewiesen werden. Aufgrund des immer wiederkehrenden Charakters der Kennzahlen wäre es hilfreich, wenn diese integraler Bestandteil der Dienste-Schnittstelle werden können. Daher soll mit dem MTP ermöglicht werden, dass domänenspezifische Merkmale für die Dienstschnittstelle hinzugefügt werden können, um bspw. die erforderlichen Kennzahlen der FA abzubilden.

H2.4 – FA-spezifische Merkmale für Aktoren und Sensoren: Neben den Diensten haben gemäß A14 auch die Aktoren und Sensoren durch hersteller- und komponentenspezifische Daten einen bedeutsamen Informationsumfang. Zusätzliche Informationen könnten über zusätzliche Signale in der Kommunikationsschnittstelle den *ControlModules* angehängt werden, wären aber bislang nicht MTP-konform, sondern individuell definierbar. Auch die Definition von weiteren *ControlModules* wie z.B. ein *DigView* für einen Rotationswinkel eines Antriebs. Für immer wiederkehrende Aktoren und Sensoren wären dies Umwege und keine effiziente Modellierung. Daher sollen weitere FA-spezifischen Informationen den bisherigen *ControlModules*, ähnlich zum Komponentenmodell der Diagnosekonzepte für das MTP, hinzugefügt werden können, ohne dabei den MTP-Standard zu verändern.

H2.5 – Übermittlung von Programmen: Aus A12 geht hervor, dass Dienste mit komplexen Parametersätzen oder Programme an Module übermittelt werden sollten. Dies kann bislang über einzelne Parameter erfolgen bzw. mittels in einem *String* verpackten Parametersatz. In [5] werden *StructServParam* und *ArrayServParam* vorgestellt, mit denen zumindest die Übermittlung von Parametersätzen umgesetzt werden können. Die Übermittlung von einem Programm sollen dennoch zukünftig ermöglicht werden.

H2.6 – Produktspezifische Merkmale für die Dienstschnittstelle: Neben Parametern für die Produktion von Produkten ist auch deren Materialkomplexität sowie die dafür notwendigen Materialien gemäß A10 relevant. Die Informationen können mittels Parameter des MTP-Standards abgebildet werden. Jedoch sind dies immer wiederkehrende Informationen, die in den Diensten selbst vorgesehen sein sollten. Außerdem sind die Informationen für die Ausführung eines Dienstes relevant, sodass dieser auch nur dann die Produktion ausführt, wenn alle notwendigen Materialien zur Verfügung stehen. Dies erfordert darüber hinaus einen koordinierten Austausch dieser Informationen zwischen Modulen und dem MES.

Zusammenfassend wurden 11 Handlungsbedarfe für das MTP in der Domäne der FA identifiziert, anhand derer in folgenden Arbeiten Lösungskonzepte und prototypische Implementierungen entwickelt werden.

3 Referenzen

- [1] Habiger, P., Hildebrandt G., Drath, R., Fay, A.: Module Type Package in der Fertigungsautomatisierung - Teil 1: Grundlagen und Handlungsbedarf. In: *atp magazin*, Bd. 65(9), 2023.
- [2] Drath, R.: AutomationML - A Practical Guide. De Gruyter Oldenbourg, DOI: 10.1515/9783110746235, Berlin, 2021.
- [3] Mersch H., Behnen D., Schmitz D., Eppe U., Brecher C., Jarke M.: Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Prozess- und Fertigungstechnik. In: *at*, Bd. 59(1), S. 7-17, 2011.
- [4] Schuh G., Eversheim W.: Produktion und Management 3 – Gestaltung von Produktionssystemen, Springer Berlin Heidelberg, ISBN: 9783642583995, 2013.
- [5] Blumenstein, M., Fay, A., Stutz, A., Austermann, N., Weigel, O., Kotsch, C., Gryczycha, K., Lier, S.: Modulare Automation in der produktionsnahen Logistik - MTP-Konzepte für modulare Logistikeinheiten. In: *atp magazin*, Bd. 64(10), 2022.
- [6] VDI 2658-3. (2020). Automatisierungstechnisches Engineering modularer Anlagen in der Prozessindustrie - Bibliothek für Datenobjekte.