



NAMUR - Interessengemeinschaft  
Automatisierungstechnik der Prozessindustrie e.V.

## AK-POSITION

# Integrations- und Betriebskonzepte für modulare produktionsnahe Logistiksysteme

## Vorschlag zur logistikspezifischen Erweiterung der Module Type Package Spezifikation

Stand: 2023-10-11

### AK 4.19 Produktionsnahe Logistik

Verfasser: Klaus Bammann, Covestro  
Michelle Blumenstein, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg  
Jens Bunert, Spiratec  
Michaela Chrobok, Chemion Logistik  
Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg  
Kai Gryczycha, Fachhochschule Südwestfalen  
Ozan Judel, BASF  
Paul Körner, io Digital Solutions  
Stefan Lier, Fachhochschule Südwestfalen  
Maik Pannok, Evonik Operations  
Tobias Reichl, Wacker Chemie  
Annette Schick, BASF  
Dorothee Scholkemper, Covestro  
Jürgen Strusch, Bayer  
Oliver Weigel, BASF

AK-Leiter: Oliver Weigel, BASF

Diese AK-POSITION spiegelt die Erfahrungen der Mitglieder im AK 4.19 wider und ist im Rahmen des Arbeitskreises abgestimmt. Sie hat nicht den Konsensgrad einer NAMUR-Empfehlung oder eines NAMUR-Arbeitsblatts. Mit einer AK-POSITION hat der Arbeitskreis die Möglichkeit, zeitnah eigene Erfahrungen für interessierte Leser zur Verfügung zu stellen.

## Vorwort

Dieses Positionspapier beschreibt das Zielbild und den aktuellen Stand der Arbeiten in Bezug auf die Automatisierung modularer produktionsnaher Logistiksysteme und deren Umsetzung auf Basis des Module Type Package Konzepts. Einsatzmöglichkeiten und Vorteile der vorgestellten Lösungen werden dabei anhand dreier ausgewählter Anwendungsbeispiele aufgezeigt. Ein möglicher Einsatz des Konzepts der Asset Administration Shell wird zudem skizziert. Offene Forschungs- und Standardisierungsbedarfe werden dargestellt.

Das Positionspapier soll auf diese Weise als Diskussionsgrundlage beim Dialog mit den Herstellern dienen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Begriffe und Definitionen</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Zielbild der Integration produktionsnaher Logistiksysteme</b> .....	<b>4</b>
3.1.	Einordnung der produktionsnahen Logistik.....	4
3.2.	Stand der Technik .....	4
3.3.	Zielbild und Lösungsansätze.....	5
<b>4</b>	<b>Automatisierung Modularer Logistischer Systeme</b> .....	<b>6</b>
4.1.	Module Type Package Konzept .....	6
4.2.	Aufbau Modularer Logistischer Systeme .....	6
4.3.	Logistics Equipment Assemblies.....	7
4.4.	Logistiklinien .....	7
4.5.	Logistikbereiche .....	8
4.6.	Logistics Orchestration Layer.....	8
<b>5</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b> .....	<b>9</b>
5.1.	Anwendungsbeispiel 1 – Laboranlage der BASF .....	9
5.2.	Anwendungsbeispiel 2 – Demonstrator des MoProLog-Projekts .....	10
5.3.	Anwendungsbeispiel 3 – Emulation eines modularen Logistiksystems.....	11
<b>6</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b> .....	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Referenzen</b> .....	<b>15</b>

## 1 Einleitung

Seit einigen Jahren zeigt sich ein Trend hin zu immer volatileren Marktbedingungen, der eine Flexibilisierung von Produktionsprozessen erfordert. Nur so können Hersteller auf variable Produktionsmengen sowie steigende Produktdiversifizierung reagieren. Die Modularisierung von Produktionssystemen zeigt sich als wesentlicher Ansatz, um diese Flexibilität zu erreichen. Allerdings kann das Potenzial der modularen Produktion nur durch eine ebenso flexible, modulare produktionsnahe Logistik ausgeschöpft werden [1, 2].

Als ersten Schritt in diese Richtung beschreibt die NE 171 [3] Anforderungen an die Automatisierung modularer produktionsnaher Logistiksysteme. Zudem zeigen die Autoren der NE 171 wie auch die Autoren in [4] auf, dass sich das aus der modularen Produktion bekannte Module Type Package (MTP) Konzept (spezifiziert in der VDI/VDE/NAMUR 2658 [5]) grundsätzlich zur Erfüllung der gestellten Anforderungen eignet.

Aufbauend darauf wurde 2019 das ENPRO-2.0-Projekt „Modulare Produktionslogistik (MoProLog)“ mit dem Ziel der Modularisierung produktionslogistischer Systeme gestartet. Ein wesentlicher Fokus lag dabei auf der Definition automatisierungstechnischer Schnittstellen für Modulare Logistische Einheiten (engl. Logistics Equipment Assemblies) sowie deren Integration in ein Modulares Logistisches System (engl. Modular Logistics System).

Daneben wird von der Plattform „Industrie 4.0“ und Verbänden wie ZVEI und VDMA das Konzept der Asset Administration Shell (AAS) vorangetrieben [6]. Für dieses universelle Konzept bestehen bereits Ansätze zur Verwendung in der Prozessindustrie [7, 8]. Eine Verwendung auch im Kontext produktionslogistischer Aufgaben der Prozessindustrie ist denkbar.

Das vorliegende Positionspapier bereitet im ersten Schritt die im MoProLog-Projekt entwickelten Integrationsansätze auf Basis des MTP-Konzepts auf, stellt sie herstellerübergreifend zur Diskussion und zeigt offene Forschungs- und Standardisierungsbedarfe auf. Ein möglicher Einsatz der AAS wird skizziert, detaillierte Konzepte dazu sind jedoch Gegenstand künftiger Arbeiten.

## 2 Begriffe und Definitionen

<b>Cyclic Execution Service (CES)</b>	Ein Cyclic Execution Service ist eine auftragsorientierte Ausführungsart von MTP-Services, die speziell für LEAs von Logistikklinien konzipiert ist.
<b>Logistics Orchestration Layer (LOL)</b>	Ein Logistics Orchestration Layer ist das übergeordnete Automatisierungssystem eines Modulare Logistischen Systems, welches übergreifende Koordination-, Verwaltungs- und Überwachungsaufgaben übernimmt.
<b>Logistikbereich (Logistics Area, LA)</b>	Ein Logistikbereich, als Teil eines Modulare Logistischen Systems, ist eine Menge von LEAs und Logistikklinien, die lose durch Unstetigfördertechnik, z. B. durch ein Fahrerloses Transportsystem, miteinander gekoppelt sind. Der Materialfluss innerhalb eines Logistikbereichs wird zur Laufzeit festgelegt.
<b>Logistikklinie (Logistics Line, LL)</b>	Eine Logistikklinie, als Teil eines Modulare Logistischen Systems, ist eine Menge von LEAs, die starr miteinander gekoppelt sind. Transporte werden durch Stetigfördertechnik, z. B. Transportbänder durchgeführt. Der Materialfluss wird durch den Aufbau der Linie festgelegt.
<b>Logistisches Leistungsobjekt (Logistical Service Object, LO)</b>	Logistische Leistungsobjekte sind Rohmaterialien sowie Zwischen- und Endprodukte aus der verfahrenstechnischer Produktion, die über den Einsatz von Verpackungen, Gebinden sowie Transportbehältern in diskretisierte sowie identifizierbare Einheiten gegliedert sind [3].
<b>Modulare Logistische Einheit (Logistics Equipment Assembly, LEA)</b>	Modulare Logistische Einheiten sind im Anlagenkontext austauschbare Bestandteile eines MLS. Sie beinhalten sämtliche notwendige Hardware und Software, um eine logistische Funktion weitestgehend unabhängig auszuführen. Jedes LEA besitzt seine eigene Steuerung und kann über standardisierte Schnittstellen mit einem übergeordneten Logistics Orchestration Layer sowie mit anderen LEAs kommunizieren.

<b>Modulares Logistisches System</b> (Modular Logistics System, MLS)	Ein Modulares Logistisches System ist ein technisches Gesamtsystem, das verschiedene LEAs als Verbund integriert, um umfassende logistische Funktionen zu erfüllen. Die darin enthaltenen LEAs sind nach dem Modularisierungsprinzip austauschbar gestaltet und können in Abhängigkeit einer konkreten Aufgabenstellung flexibel kombiniert werden (in Anlehnung an [3]).
<b>Module Type Package (MTP)</b>	Das Module Type Package ist eine formale Beschreibung der Schnittstellen und Funktionen der Automatisierung von intelligentem Equipment [9]. Damit enthält ein MTP alle notwendigen Informationen, um eine weitestgehend automatisierte Integration dieses Equipments in ein übergeordnetes Automatisierungssystem zu ermöglichen.
<b>Package Unit (PU)</b>	Eine Package Unit ist im Kontext produktionsnaher Logistikanlagen eine Einheit, die sämtliche notwendige Hardware und Software beinhaltet, um eine logistische Funktion weitestgehend unabhängig von anderen PUs auszuführen. Sie kann dabei eine eigene Steuerung besitzen und kann mit einem übergeordneten Automatisierungssystem sowie mit anderen PUs kommunizieren.
<b>Single Execution Service (SES)</b>	Ein Single Execution Service ist eine bedarfsorientierte Ausführungsart von MTP-Services, die speziell für Modulare Logistische Einheiten eines Logistikbereichs konzipiert ist.

### 3 Zielbild der Integration produktionsnaher Logistiksysteme

#### 3.1. Einordnung der produktionsnahen Logistik

Gemäß [10] bilden der Einkauf, die Produktion und der Vertrieb die Hauptprozesse entlang der Wertschöpfungskette eines produzierenden Unternehmens. Mit jedem dieser Bereiche sind logistische Aufgaben verbunden, die dafür sorgen, dass die richtigen Mengen benötigten Materials in der richtigen Qualität, an den richtigen Stellen im Unternehmen zur richtigen Zeit wirtschaftlich bereitgestellt werden. Entsprechend lassen sich die Logistikprozesse eines Unternehmens in die Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik unterteilen.

Bei der produktionsnahen Logistik handelt es sich um den Teil der Produktionslogistik, der die unmittelbare Versorgung von Produktionsprozessen mit Rohstoffen und die Verpackung der Produkte sicherstellt [2, 3]. Charakteristisch für produktionsnahe Logistikprozesse ist der Übergang von und zum Stückguthandling, d. h. dem Umgang mit Objekten, die sich am Stück bewegen und verarbeiten lassen [3].

Beispielhaft liegt der Fokus dieses Positionspapiers auf den Verpackungsprozessen der Prozessindustrie als Teil der produktionsnahen Logistik. Dabei werden Produktströme (z. B. Schütt- oder Flüssiggüter) in individuelle, eindeutig identifizierbare Einheiten verpackt und somit diskretisiert. Diese Einheiten werden in [3] als Logistische Leistungsobjekte (Logistical Service Objects, LOs) bezeichnet.

#### 3.2. Stand der Technik

Mit sogenannten Package Units (PUs) wird bereits heute eine Modularisierung produktionsnaher Logistiksysteme vorgenommen. Jede PU stellt dabei eine produktionslogistische Funktion bereit und wird dafür durch einen PU-Lieferanten hardware- sowie softwareseitig weitestgehend vorbereitet.

PUs besitzen z. T. eigene Steuerungssysteme, z. T. sind die Steuerungen mehrerer PUs zu einer Steuerung zusammengefasst. Auch wenn PUs ihre Kernfunktionalität weitestgehend eigenständig ausführen können, besitzen sie dennoch häufig Abhängigkeiten zu anderen PUs. Zudem können mehrere PUs in ein übergeordnetes Automatisierungssystem, meist ein Manufacturing Execution System (MES) oder Prozessleitsystem (PLS) für Koordination und Überwachungsaufgaben, integriert und so zu einem logistischen Gesamtsystem zusammengefasst werden.

In der Vergangenheit hat sich für die Integration von PUs in ein Logistiksystem eine Vielzahl von firmen- und projektspezifischen Integrationslösungen entwickelt. Meist sind zur Integration einer neuen Anlage oder Linie mehrere PUs zu integrieren und an die Gegebenheiten des Bestandssystems anzupassen. Dies erfordert einen äußerst großen Abstimmungsaufwand der zu übertragenden Informationen zwischen den Herstellern der verschiedenen PUs, dem Hersteller des überlagerten Automatisierungssystems und den Wünschen des

Anwenders. Nur so können die sehr unterschiedlichen Informationsflüsse zwischen den PUs untereinander und zum überlagerten Automatisierungssystem realisiert werden.

Die erforderliche Abstimmung erfolgt häufig auf Basis von firmen- oder projektspezifischen Listen, welche alle zu übertragenden Informationen, deren Datentypen und ggfs. für die Kommunikation notwendige Angaben, wie z. B. den Telegrammaufbau, enthalten. In heutigen Logistiksystemen kommen meist digitale Kommunikationstechnologien, wie z. B. Profibus oder Profinet, oder in manchen Fällen auch analoge Signale zum Einsatz.

Die nicht standardisierten Schnittstellen, die proprietäre Dokumentation der Informationen sowie die Unterschiede in der Informationsübertragung resultieren in einem erheblichen Aufwand hinsichtlich firmenübergreifender Abstimmungen, Implementierungen und Tests beim Auf- und Umbau produktionslogistischer Systeme. Dies führt wiederum dazu, dass trotz des bereits modularen Aufbaus der Systeme nicht die geforderte Flexibilität und Wandelbarkeit gewährleistet werden kann.

Zudem werden aufgrund des hohen Abstimmungsaufwands der PU-Schnittstellen derzeit nur die notwendigsten Informationen zwischen den PUs untereinander und zu überlagerten Automatisierungssystemen ausgetauscht. Weiterführendes Potential der in den PUs vorhandenen Informationen, z. B. zur genaueren Prozessüberwachung, bleibt ungenutzt.

### 3.3. Zielbild und Lösungsansätze

Aufgrund der zuvor genannten Herausforderungen wird eine standardisierte Integrationslösung produktionslogistischer Module angestrebt, die sowohl alle technischen Anforderungen erfüllt als auch den zeit- und kostenintensiven Abstimmungs- und Anpassungsaufwand auf ein Mindestmaß reduziert. Existierende Standards, wie z. B. die IEC 61512 [11] als branchen-übergreifender oder PackML [12] als verpackungsmaschinen-spezifischer Standard, gehen bereits einen ersten Schritt in diese Richtung. Allerdings sehen diese Standards einen gewissen Gestaltungsspielraum vor, der im Detail auch weiterhin aufwendige Abstimmungen und Anpassungen notwendig macht. Um dies zu vermeiden werden Standards benötigt, welche für jeden Aspekt der Integration genau eine Lösung interpretationsfrei spezifizieren, und eine standardisierte und somit weitestgehend automatisierbare Integration produktionslogistischer Module ermöglicht. Diese Integration wird durch folgende Eigenschaften beschrieben:

- Geringer Engineering-Aufwand zur automatisierungstechnischen Integration einer PU in ein Modulares Logistisches System
  - Geringer Engineering-Aufwand an der zu integrierenden PU
  - Geringer Engineering-Aufwand am übergeordneten Automatisierungssystem
- Herstellerunabhängige Kommunikation zwischen den PUs innerhalb eines Modularen Logistischen Systems
- Herstellerunabhängige Konfiguration der PUs

Lösungsansätze und erste Konzepte für eine solche standardisierte Integrationslösung auf Basis des Module Type Package Konzepts werden nachfolgend im Detail beschrieben und zur Diskussion gestellt.

Zukünftig besteht daneben auch die Möglichkeit, digitale Abbilder von PUs in Form einer AAS zu erstellen und diese gewinnbringend für die PU-Integration einzusetzen. In einer solchen AAS können alle Informationen einer PU (Objekteigenschaften, Funktionalitäten, Parameter, Status, Messwerte,...) über ihren kompletten Lebenszyklus hinweg (Planung – Betrieb – Instandhaltung) abgelegt werden [6, 8]. Das Konzept der AAS unterstützt hierbei sowohl eine horizontale Integration auf der Ebene der PUs und eine vertikale Integration zu übergeordneten Systemen wie z. B. Material Flow Controller, Manufacturing Execution System, Enterprise Resource Planning System mit den hierfür notwendigen Informationen.

Eine detaillierte Ausgestaltung entsprechender Integrationskonzepte auf Basis der AAS ist nicht Gegenstand dieses Positionspapiers, sondern Bestandteil künftiger Arbeiten. Im Zuge dieser zukünftigen Arbeiten ist zu klären, wie ein AAS-Ansatz gewinnbringend für die Integration von PUs eingesetzt werden kann. Wünschenswert wäre eine Gesamtlösung, in der sowohl die AAS als auch die in diesem Positionspapier beschriebenen MTP-Konzepte ihre jeweiligen Stärken ausschöpfen können. Eine Grundlage dafür kann [13] bieten.

## 4 Automatisierung Modularer Logistischer Systeme

### 4.1. Module Type Package Konzept

Die Richtlinienreihe VDI/VDE/NAMUR 2658 [5] spezifiziert das Module Type Package Konzept zur Automatisierung modularer Anlagen der Prozessindustrie. Dabei werden standardisierte Laufzeitschnittstellen für Module und eine Offline-Beschreibung dieser Schnittstellen in einer gepackten AutomationML-Datei, dem sogenannten Module Type Package (MTP), spezifiziert.

Zur automatisierungstechnischen Integration eines Moduls in ein modulares Gesamtsystem wird dessen MTP in das übergeordnete Automatisierungssystem eingelesen. Danach stehen diesem alle Funktionen und Informationen des Moduls zur Verfügung, welche im MTP beschrieben sind, und können nach Bedarf genutzt werden. Unabhängig davon gilt es, im Vorfeld eine entsprechende physikalische Integration der Module vorzunehmen, z. B. Schließen notwendiger Prozess- und Kommunikationsverbindungen.

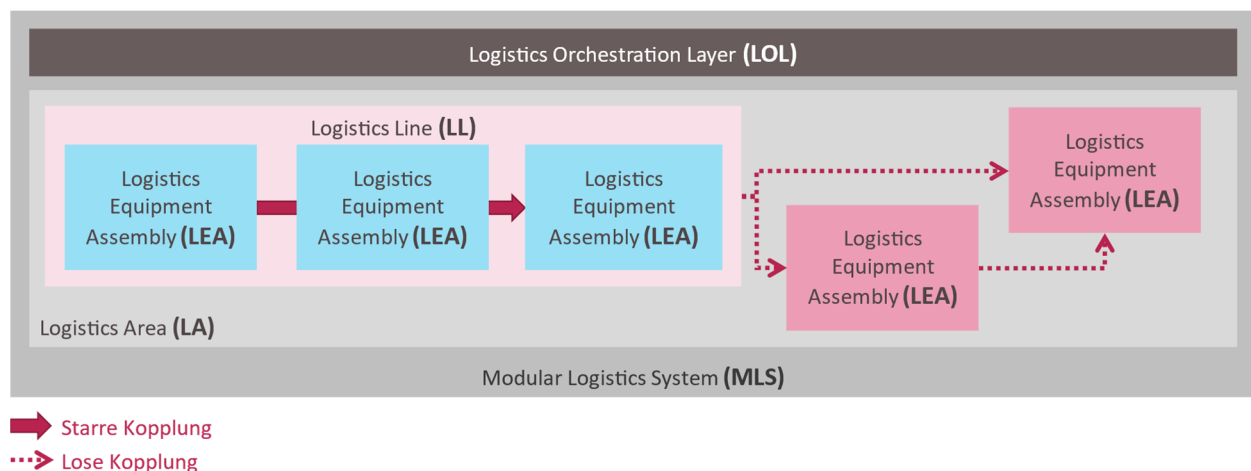
Für die zur Laufzeit zu übertragenden Informationen legt das MTP-Konzept grundsätzlich keine Kommunikationstechnologie fest. Die bisherigen Spezifikationen und Demonstratoren nutzen allerdings fast ausschließlich Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA).

Zusammenfassend ist das MTP-Konzept eine Technologie, um den Integrationsprozess von intelligentem Equipment in ein modulares Gesamtsystem weitestgehend zu automatisieren und somit einen schnellen, einfachen und damit wirtschaftlichen Auf- und Umbau derartiger Systeme zu ermöglichen.

Für weiterführende Informationen zum MTP-Konzept sei auf [14] verwiesen.

### 4.2. Aufbau Modularer Logistischer Systeme

Abbildung 1 zeigt schematisch den grundlegenden Aufbau eines Modularen Logistischen Systems (Modular Logistics System, MLS), wie er im MoProLog-Projekt erarbeitet wurde.



**Abbildung 1: Schematischer Aufbau Modularer Logistischer Systeme**

Ein MLS besteht aus Modularen Logistischen Einheiten (engl. Logistics Equipment Assemblies, LEAs), die verschiedene Logistische Leistungsobjekte (engl. Logistical Service Objects, LOs), wie z. B. Säcke und Paletten, verpacken und verarbeiten können. Jedes LEA enthält dabei alle notwendige Hard- und Software, um eine logistische Funktion, wie z. B. Abfüllen, Transportieren, Palettieren oder Stretchen, auszuführen. LEAs sind somit vergleichbar zu den PUs heutiger produktionsnaher Logistiksysteme. Allerdings ist jedes LEA mit einer eigenen Steuerung ausgestattet und stellt im Gegensatz zu PUs seine Funktionalität über standardisierte Laufzeitschnittstellen bereit, die in einer MTP-Datei beschrieben sind. Eine weitestgehend automatisierte Integration der LEAs in ein MLS wird dadurch ermöglicht.

LEAs können in starr gekoppelten Logistikklinien (engl. Logistics Lines, LLs) eingebunden sein (s. Abbildung 1, blaue Rechtecke), bei denen der Weg eines LOs durch die Linie fest vorgegeben ist. Notwendige Transporte werden z. B. durch Transportband-LEAs realisiert. Zudem können LEAs und Logistikklinien in einem sogenannten Logistikbereich (engl. Logistics Area, LA) angeordnet und lose miteinander gekoppelt sein (s. Abbildung 1,

rote Rechtecke). Der Weg eines LOs durch einen Logistikbereich wird dabei erst zur Laufzeit festgelegt. Es kommen flexible Transportsysteme, wie z. B. Fahrerlose Transportsysteme (FTS), zum Einsatz.

Für die Orchestrierung eines Modularen Logistischen Systems ist ein übergeordneter Logistics Orchestration Layer (LOL) vorgesehen. Diese meist aus mehreren Systemen bestehende Ebene übernimmt übergreifende Koordinations-, Verwaltungs- und Überwachungsaufgaben, wie z. B. die Auftrags- und Parameterverwaltung, die Transportkoordination oder Track-and-Trace-Funktionen. Dabei sind nicht immer all diese Funktionen notwendig und verfügbar.

Um bei der Automatisierung Modularer Logistischer Systeme von den Vorteilen des MTP-Konzepts zu profitieren, werden nachfolgend die Anwendung und notwendige Erweiterungen des MTP-Konzepts für die verschiedenen Bestandteile eines MLS beschrieben.

#### 4.3. Logistics Equipment Assemblies

Die LEA-Automatisierung soll gemäß der NE 171 [3] dienstebasiert umgesetzt werden. In [15] werden entsprechende Designprinzipien für den LEA-Dienste-Entwurf vorgestellt. Im Ergebnis zeigt sich, dass für die LEAs in Logistikklinien und die LEAs in Logistikbereichen unterschiedliche Automatisierungsprobleme gelöst werden müssen und somit zwei verschiedene Arten der Dienstauführung notwendig sind – der Cyclic Execution Service und der Single Execution Service.

Der Cyclic Execution Service (CES) ist zur Automatisierung von LEAs einer Logistikklinie konzipiert. Charakteristisch für einen Dienst im CES-Betrieb ist, dass er zu Beginn der Serviceausführung einen Auftrag in Form einer auftragspezifischen Parametrierung erhält. Anschließend bearbeitet der Dienst zyklisch alle LOs des Auftrags auf die immer gleiche Weise, d. h. mit der immer gleichen Parametrierung, und wird schließlich beendet. Ein Beispiel für einen CES ist ein Abfüllen-Dienst einer Form-Fill-Seal-Maschine, der zyklisch eine bestimmte oder unbestimmte Anzahl gleichartiger Säcke in einem Dienste-Durchlauf abfüllt und verschließt.

Der Single Execution Service (SES) ist zur Automatisierung von LEAs eines Logistikbereichs konzipiert. Charakteristisch für einen SES ist, dass er bedarfsorientiert einzelne LOs entsprechend ihren individuellen Auftragsdaten bearbeitet. Hierzu wird jedes zu bearbeitende LO identifiziert und der Dienst individuell für dieses LO parametrieren. Die Anzahl und Reihenfolge der LOs, die innerhalb eines Dienste-Durchlaufs bearbeitet werden, ist dabei bei Dienst-Start unbestimmt und ergibt sich flexibel zur Laufzeit. Ein Beispiel für einen SES ist ein Stretch-Dienst einer Stretchhaubenmaschine, der sowohl Paletten mit Säcken als auch Paletten mit einem Oktabin mit unterschiedlichen Parametern stretchen können muss.

Die Umsetzung von CES und SES als Prozeduren im Sinne des MTP-Konzepts sowie die zugehörigen Parametrierungsmechanismen sind im Detail in [16] beschrieben. In [17] werden zudem die notwendigen neuen MTP-Schnittstellen spezifiziert.

Eine weitere Modularisierung der LEAs, z. B. ähnlich den modularen Funktionseinheiten (engl. Functional Equipment Assemblies, FEAs) oder Komponenten (engl. Components, COMPs) im Sinne der VDI 2776 [18] ist denkbar, wird im Rahmen dieses Positionspapier aber nicht im Detail betrachtet.

#### 4.4. Logistikklinien

Die physikalisch starre Kopplung in Logistikklinien führt zu einer starken Abhängigkeit der LEAs untereinander. Daher ist es wichtig, eine Möglichkeit zum geordneten Anfahren und Leerfahren der Linie sowie zum Exception Handling vorzusehen. Fällt beispielsweise ein LEA der Linie aus, so müssen die vorgelagerten LEAs angehalten werden. Andernfalls kommt es zu einem Rückstau von LOs, der vermieden werden sollte. Es ist demnach eine Koordination zwischen den LEAs erforderlich. In vielen Logistiksystemen ist es, z. B. aus Gründen der Prozesszeiten oder der Verfügbarkeit des LOLs, sinnvoll, diese Koordination auf Basis direkter LEA-zu-LEA-Kommunikation umzusetzen und nicht im LOL zu realisieren [19].

Als Lösung für diese Herausforderung wird in [19] und [20] vorgeschlagen, das bereits existierende Konzept der Automatisierungsdienste-Choreografien [21] auf die Koordination von Logistikklinien zu übertragen. Dieses Konzept sieht vor, dass die Dienste der LEAs in der Lage sind, Prozessvariablen (z. B. ihren Dienste-Zustand) untereinander auszutauschen. Auf diese Weise erhält jedes LEA die Informationen, die es zur Erfüllung seiner eigenen Aufgabe benötigt. Darüber hinaus enthält jedes LEA konfigurierte Regeln, wie sein Verhalten von den Prozessvariablen der umliegenden LEAs abhängt. Auf diese Weise ist eine konfigurierbare, verteilte Koordination von Logistikklinien möglich.

#### 4.5. Logistikbereiche

In den bisher im MTP-Umfeld betrachteten verfahrenstechnischen Anlagen finden definierte Stofftransporte durch Rohrleitungen statt. Im Gegensatz dazu werden im Logistikbereich Materialtransporte zwischen den LEAs durch ein flexibles Transportsystem, z. B. FTS, realisiert. Der Materialfluss kann sich zur Laufzeit ändern. Um dies zu realisieren, müssen die folgenden Aufgaben gelöst werden.

- Es muss möglich sein, die verschiedenen Transportknoten zu ermitteln, die die LEAs anbieten, um LOs auszugeben und/oder zu empfangen.
- Die LEAs müssen die Möglichkeit haben, bestehende Transportbedarfe zu melden. Diese sollten dann in einer sinnvollen Reihenfolge durch das flexible Transportsystem zur Ausführung ausgewählt werden.
- Während der Ausführung eines Transportauftrags muss das flexible Transportsystem mit verschiedenen LEAs interagieren, z. B. LOs von einem LEA entgegennehmen und an ein anderes LEA abgeben. Diese Interaktionen müssen zwischen dem Transportsystem und den LEAs verschiedener Hersteller auf einheitliche Weise koordiniert werden.
- Es muss möglich sein, Informationen über den nächsten anzufahrenden Transportknoten in das Transportsystem flexibel zur Laufzeit einzuspeisen.

Im MTP-Umfeld gibt es derzeit noch keine Lösung, um diese Herausforderungen zu lösen. Im Rahmen des MoProLog-Projekts wurde daher ein Konzept entwickelt, bei dem Transportaufträge als MTP-Dienste abgebildet werden. Ein Dienste-Durchlauf umfasst dabei alle Phasen eines Transports, von der Meldung des Transportbedarfs, über die LO-Übernahme von einem LEA in das flexible Transportsystem bis hin zur Auslieferung des LO an ein anderes LEA. Die verschiedenen Transportphasen werden als Prozeduren des MTP-Transport-Dienstes abgebildet. Die notwendige Interaktion eines Transport-Dienstes mit verschiedenen LEAs wird mittels konfigurierbarer OPC UA-Verbindungen und einem Proxy-Konzept realisiert. Dieses Konzept ist in [22] veröffentlicht.

#### 4.6. Logistics Orchestration Layer

Der modulare Aufbau von Logistiksystemen und die zuvor beschriebenen Konzepte stellen gewisse Anforderungen an die Funktionalitäten eines Logistics Orchestration Layers. Derzeit werden diese Anforderungen und daraus resultierend ein sinnvoller Funktionsumfang und Aufbau eines LOLs im Detail untersucht. Als Grundlage für diese Untersuchungen dienen die Funktionalitäten heutiger Logistikleitsysteme (MES, PLS), wie z. B. Auftragsvergabe oder Track-and-Trace. Zudem bilden die Arbeiten zu Process Orchestration Layers (POLs) der modularen Produktion eine wichtige Grundlage, z. B. [23] und [24]. Hier werden Funktionen wie z. B. die Modulverwaltung oder Funktionalitäten zur Überwachung einer modularen Anlage beschrieben.

Neben diesen bereits bestehenden Leitsystemfunktionalitäten werden weitere Funktionen speziell für LOLs notwendig, drei wesentliche werden nachfolgend kurz beschrieben.

- **Parameter Management:** Logistikmaschinen (und damit zukünftig auch LEAs) besitzen mitunter sehr viele Parameter, um an den Anwendungskontext und zu verarbeitende Produkte angepasst zu werden. Durch den erwarteten schnelleren Auf- und Umbau von Logistiksystemen steigt der Konfigurationsaufwand zur Einstellung dieser Parameter signifikant an. Aufgrund dessen soll eine Verwaltungsfunktionalität im LOL vorgesehen werden, die diese Parametrierung weitestgehend automatisiert durchführt. Auf diese Weise werden eine schnelle Änderung und Aktualisierung der Parameterdatensätze in den LEAs und damit ein einfacher Produktwechsel und Austausch von LEAs ermöglicht.
- **Line Configuration:** Der in Abschnitt 4.4 beschriebene Choreografie-basierte Mechanismus zur Koordination von Logistikklinien erfordert eine Konfiguration von Regeln in jedem LEA, welche beschreiben, wie das LEA auf Änderungen von Prozessgrößen anderer LEAs reagieren soll. Um die choreografierte Logistikklinie wie einen einzigen MTP-Service in den LOL integrieren zu können, ist es zudem notwendig, die MTPs der einzelnen LEAs zu einem „Composed“-MTP zusammenzuführen, welches die Schnittstelle der Logistikklinie als Ganzes beschreibt. Die Konfiguration der Choreografie-Regeln sowie die anschließende Erstellung eines „Composed“-MTP sind als Funktion des LOLs umzusetzen.
- **Area Transport Management:** Das in Abschnitt 4.5 beschriebene Konzept sieht eine MTP-basierte Abstraktionsschicht für flexible Transportsysteme vor, welche durch den LOL bereitgestellt wird. Mittels dieser Abstraktionsschicht können proprietäre Transportsysteme angebunden, aggregiert und den LEAs über eine einheitliche Schnittstelle bereitgestellt werden. Im Konzept des MoProLog-Projekts ist vorgesehen, dass LEAs Transportbedarfe direkt an das Transportsystem melden können, welches diese dann ausführt. Alternativ ist auch eine Beauftragung des Transportsystems aus einem



überlagerten Orchestrierungssystem denkbar. In diesem Fall muss das Orchestrierungssystem mit einer zur Laufzeit variablen Anzahl an MTP-Transport-Diensten umgehen können.

In unterschiedlichen Logistiksystemen können unterschiedliche der zuvor beschriebenen LOL-Funktionalitäten notwendig und vorhanden sein. Aufgrund dessen wird ein modularer Aufbau von LOLs als sinnvoll angesehen. Es erscheint dabei zielführend, einen Microservice-Ansatz zu wählen, da bereits auf LEA-Ebene ein Microservice-basierte Automatisierung Anwendung findet [25].

Eine detaillierte Untersuchung des Funktionsumfangs eines LOL und ein möglicher Architekturansatz sind in [26] veröffentlicht.

## 5 Anwendungsbeispiele

### 5.1. Anwendungsbeispiel 1 – Laboranlage der BASF



**Abbildung 2: Logistiklinie im Labor der BASF in Ludwigshafen**

Abbildung 2 zeigt Module zur Flaschenabfüllung im Labor der BASF SE in Ludwigshafen. Drei dieser Module – ein Abfüller, ein Etikettierer und ein Verschrauber – wurden als LEAs MTP-basiert automatisiert und zu einer Logistiklinie gekoppelt. Durch den Abfüller wird Granulat in Kunststoffflaschen abgefüllt, der Etikettierer nimmt die Kennzeichnung der Flaschen vor und der Verschrauber verschließt schließlich die Flaschen. Die LEAs sind starr miteinander gekoppelt und der Materialfluss somit fest vorgegeben.

Alle LEAs sind gemäß CES-Betrieb im Sinne des Abschnitts 4.3 automatisiert. Somit besteht die Möglichkeit, der Linie einen Auftrag in der Form „Fülle x Flaschen ab, kennzeichne und verschraube sie“ zu übergeben. Dieser wird anschließend zyklisch ausgeführt. Die Koordination zwischen den LEAs z. B. zum Anfahren und Abfahren der Linie sowie zum Anhalten der Linie im Fehlerfall, erfolgt gemäß des Choreografie-Konzepts durch direkte LEA-zu-LEA-Kommunikation (siehe Abschnitt 4.4).

#### Vorteile der Lösung

- **Verteilte Koordination:** Im Gegensatz zu bisherigen Orchestrierungslösungen aus dem MTP-Umfeld ist zur Koordination der Logistiklinie kein teures übergeordnetes Automatisierungssystem (LOL) erforderlich, welches Anforderungen an Verfügbarkeit und Echtzeitfähigkeit erfüllen muss. Die Konfiguration der Choreografie und die Überwachung der Linie können hingegen als LOL-Funktionen umgesetzt sein. Der LOL muss damit nicht On-Premise ausgeführt sein, da der eigentliche Betrieb der Linie unabhängig vom LOL erfolgt.

- **Schnelle Reaktionszeiten:** Durch die direkte LEA-zu-LEA-Kommunikation ohne einen zentralen Broker können kürzest-mögliche Reaktionszeiten erreicht werden, was vor allem im Fehlerfall bei der Abschaltung der Linie entscheidend ist.
- **Umkonfiguration statt Umimplementierung:** Die Regeln der Choreografie werden in einem vorbereiteten Bereich in den OPC UA-Servern der LEAs konfiguriert. Der Auf- und Umbau einer Logistikklinie erfordert somit keine Umimplementierung und kein erneutes Laden der LEA-Steuerungen. Ein Test der LEA-internen Automatisierung kann somit unabhängig von der Linienkonfiguration vorgenommen werden. Nach Auf- oder Umbau einer Linie müssen lediglich die konfigurierten Interaktionen zwischen den LEAs getestet werden.

## 5.2. Anwendungsbeispiel 2 – Demonstrator des MoProLog-Projekts

Im Rahmen des MoProLog-Projekts wurde der in Abbildung 3 dargestellte Demonstrator durch die BEUMER Group GmbH & Co. KG (im Folgenden BEUMER genannt) konzipiert und in Beckum aufgebaut.



**Abbildung 3: Demonstrator des MoProLog-Projekts bei BEUMER in Beckum**

Drei LEAs sind dabei in einem Logistikbereich angeordnet – ein Lagenpalettierer, ein Paletten-Vereinzelner sowie ein Folienblatt-Aufleger. Der Lagenpalettierer hat die Möglichkeit, vom Paletten-Vereinzelner Leerpaletten zu beziehen, auf die er anschließend Säcke nach einem vorgegebenen Packmuster palettiert. Nach Bedarf kann auf eine Leerpalette eine Folie durch den Folienblatt-Aufleger appliziert werden, bevor der Lagenpalettierer die Palette erhält.

Die notwendigen Paletten-Transporte zwischen den LEAs werden durch ein Fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) der Firma SEW-Eurodrive GmbH & Co KG durchgeführt, welches durch ein prototypisches Flottenmanagementsystem der Firma BEUMER angesteuert wird.

Die automatisierungstechnische Umsetzung der LEAs basiert auf dem in Abschnitt 4.3 beschriebenen Konzept. Der Lagenpalettierer ist auf Basis des CES-Gedanken automatisiert. Er erhält Aufträge in der Form „Palettieren x Säcke auf y Paletten nach Packmuster z“ und führt diese Aufträge zyklisch aus. Der Paletten-Vereinzelner und der Folienblatt-Aufleger werden im SES-Betrieb betrieben. Sie werden nach Bedarf aktiviert und parametrieren, wenn ihre Funktionalität benötigt wird.

Die Koordination des FTF folgt dem Konzept aus Abschnitt 4.5. Das FTF selbst zusammen mit dem Flottenmanagement der Firma BEUMER stellen ein flexibles Transportsystem mit proprietären Schnittstellen dar. Gemäß

Abschnitt 4.6 wurde eine LOL-Funktionalität entwickelt, die dieses Transportsystem anbindet und seine Transportfunktionalität nach dem Konzept aus Abschnitt 4.5 als MTP-Dienste zur Verfügung stellt.

### Vorteile der Lösung

- **Einheitliche Schnittstellen der LEAs:** Die Logik der LEA zur Interaktion mit einem flexiblen Transportsystem wird bereits zum Engineering-Zeitpunkt der LEA gegen eine einheitliche Schnittstelle entwickelt und kann vorgetestet werden. Bei der Anbindung der LEA an ein flexibles Transportsystem ist somit keine Abstimmung und LEA-seitige Anpassung der Schnittstelle notwendig, was Zeit und Geld spart.
- **Einheitliche Schnittstelle des Transportsystems:** Ähnlich wie im Falle der LEAs kann auch das flexible Transportsystem gegen die einheitliche Schnittstelle entwickelt und damit vorgetestet werden. Bei der Anbindung des Transportsystems an LEAs (ggfs. auch verschiedener Hersteller) ist somit keine Abstimmung und Transportsystem-seitige Anpassung der Schnittstelle notwendig, was Zeit und Geld spart.
- **Nachrüstbarkeit:** Als Grundlage für diesen Anwendungsfall standen proprietäre Logistikmaschinen der Firma BEUMER und eine proprietäre FTS-Implementierung der Firma SEW bereit. Es konnte gezeigt werden, dass ohne große Aufwände die MTP-Schnittstellen gemäß den Abschnitten 4.3 und 4.5 nachgerüstet werden konnten. Dementsprechend ist eine einfache Anwendung der MTP-basierten Integrationskonzepte auch für Brownfieldsysteme möglich.

### 5.3. Anwendungsbeispiel 3 – Emulation eines modularen Logistiksystems

Im Rahmen des MoProLog-Projekts wurde das in Abbildung 4 gezeigte Modulare Logistische System emuliert, um die erarbeiteten Konzepte an einem umfassenderen Anwendungsbeispiel zu demonstrieren und zu evaluieren. Das System umfasst zwei Logistikklinien, je eine zur Abfüllung von Säcken und eine zur Abfüllung von Oktabins. Zur Versorgung dieser beiden Linien stehen ähnlich wie im vorherigen Anwendungsfall ein Paletten-Vereinzeler und ein Folienblatt-Aufleger sowie zusätzlich eine Oktabinaufricht-Einheit zur Verfügung. Nach dem Palettieren der Säcke und Oktabins erfolgt eine Ladungssicherung durch eine Stretchhaubenmaschine und eine Kennzeichnung. Zur Emulation der LEA-Steuerung kam die Software SIMATIC S7-PLCSiM Advanced der Siemens AG zum Einsatz.

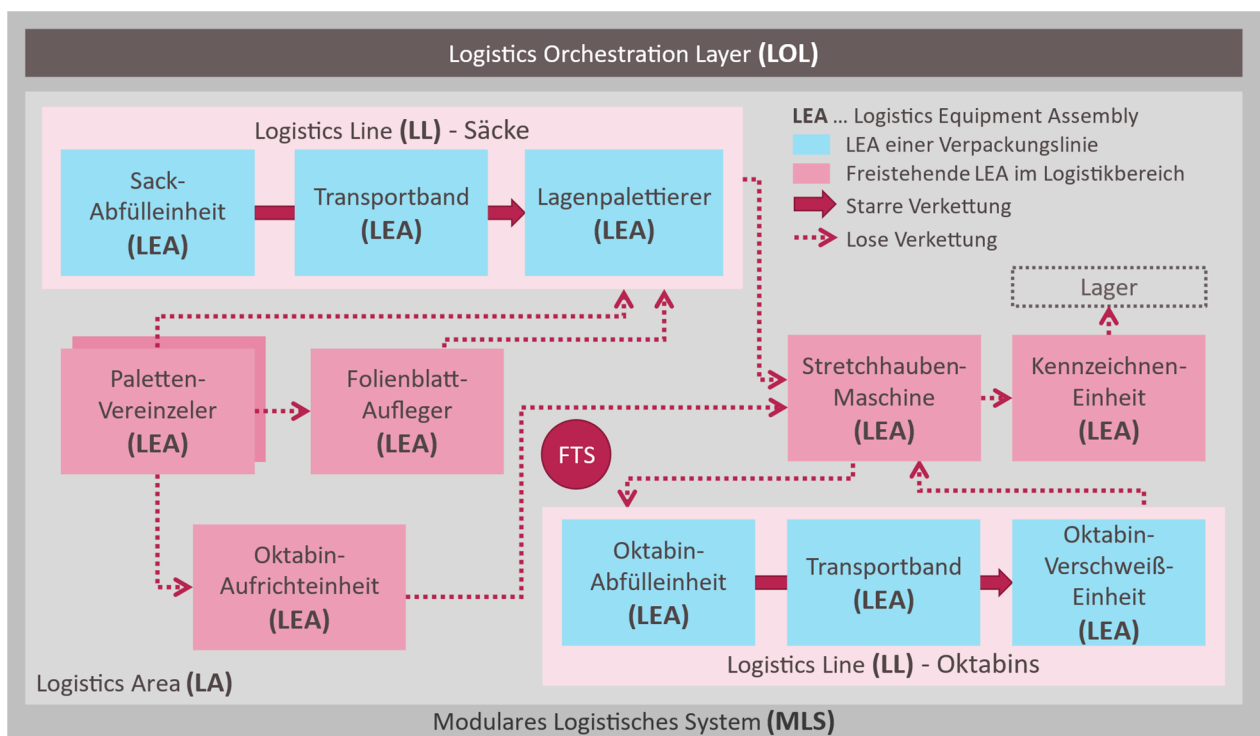


Abbildung 4: Emuliertes Modulares Logistisches System

Die LEAs der beiden Logistikklinien (siehe Abbildung 4, blaue Markierung) wurden auf Basis des CES-Gedanken automatisiert und arbeiten somit auftragsorientiert. Alle anderen LEAs (siehe Abbildung 4, rote Markierung) sind



zusammen mit den beiden Linien als Logistikbereich organisiert und arbeiten bedarfsorientiert nach dem SES-Prinzip. So ist es z. B. möglich, dass die Stretchhaubenmaschine flexibel Paletten mit Säcken oder mit Oktabin entgegennimmt, diese identifiziert und anschließend mit der entsprechend passenden Parametrierung des Stretch-Dienstes bearbeitet.

Die Kopplung der LEAs in den beiden Logistiklinien (siehe Abbildung 4, durchgezogene Pfeile) erfolgt ähnlich dem Anwendungsbeispiel 1 auf Basis des Choreografiekonzepts (siehe Abschnitt 4.4). Die Kopplung der beiden Logistiklinien mit den freistehenden LEAs (siehe Abbildung 4, gestrichelte Pfeile) erfolgt ähnlich dem Anwendungsbeispiel 2 auf Basis des Konzepts zur MTP-basierten Integration flexibler Transportsysteme (siehe Abschnitt 4.5).

### Vorteile der Lösung

- **Verbesserte Systemauslastung:** Analysen im Rahmen des MoProLog-Projektes zeigten, dass einige Logistikmaschinen, z. B. Stretchhaubenmaschinen, mit der Durchführung einer logistischen Funktion in einer Logistiklinie häufig nicht ausgelastet sind [15]. Das Konzept für den Logistikbereich ermöglicht eine Nutzung einzelner LEAs für mehrere Aufgaben und/oder für mehrere Logistiklinien. So kann im hier betrachteten System die Stretchhaubenmaschine sowohl die Paletten der Sack- als auch der Oktabinabfülllinie stretchen. Zudem ist die Stretchhaubenmaschine in der Lage, Folieninlets in Oktabin einzulegen. Durch diese Mehrfachnutzung von LEAs können Investitionskosten gesenkt und die Auslastung der LEAs verbessert werden.
- **Verbesserte Flächennutzung:** Durch den Einsatz von Unstetigfördertechnik wie Fahrerlosen Transportsystemen kann der Platzbedarf für die Fördertechnik reduziert werden. Allerdings sind Vorkehrungen zu treffen, dass Fahrerlose Transportfahrzeuge auf den vorgesehenen Wegen ungehindert fahren können (z. B. ebene Wege, selbstöffnende Türen).
- **Flexibilität hinsichtlich realisierbarer Gebindetypen:** Durch den zur Laufzeit variablen Materialfluss in einen Logistikbereich besteht die Möglichkeit, verschiedene LEAs in verschiedener Reihenfolge anzufahren und so eine Verpackung unterschiedlicher Gebindetypen zu ermöglichen. Im hier betrachteten Anwendungsfall kann beispielsweise aus zwei Paletten-Vereinzelern mit unterschiedlichen Palettentypen ausgewählt werden.
- **Wandelbarkeit des Systems:** Wie zuvor dargelegt ermöglichen die einheitlichen MTP-basierten Schnittstellen eine schnelle und einfache Integration von LEAs in das Modulare Logistische System. Dies ermöglicht weiterhin einen schnellen und einfachen Austausch von LEAs sowie eine gute Skalierbarkeit des Systems. Auch Redundanzkonzepte sind so einfach umsetzbar.

## 6 Diskussion und Ausblick

Im Bereich der produktionsnahen Logistik ergibt sich zunehmend der Bedarf nach modularen und damit flexiblen und wandelbaren Systemlösungen. Auch wenn heutige Logistiksysteme bereits modular aus Package Units aufgebaut sind, verhindern proprietäre Integrationslösungen, die Flexibilitäts- und Wandelbarkeitsziele aus Automatisierungstechnischer Sicht zu erreichen.

Aufgrund dessen schlägt der NAMUR-Arbeitskreis 4.19 auf Grundlage der Arbeiten aus dem MoProLog-Projekt vor, einen Standard zur herstellernerneutralen, weitestgehend automatisierten Integration Modularer Logistischer Einheiten in ein Modulares Logistisches System einzuführen. Dies ermöglicht den Herstellern und Anwendern von Logistikmaschinen, die Modularisierung neben der Konstruktion auch hin zur Automatisierung fortzusetzen.

So können Modulare Logistische Einheiten vom Hersteller vollständig aufgebaut, getestet und ausgeliefert werden. Die Integration dieser Einheiten in das Automatisierungssystem des Anwenders erfolgt aufgrund standardisierter Schnittstellen weitestgehend automatisiert und softwareunterstützt. Auf diese Weise können sowohl die Durchlaufzeiten beim Modul- als auch beim Anlagenbau für Neu- und Bestandssysteme erheblich reduziert werden.

Um die Ersparnis modularer Logistiksysteme im Vergleich zu konventionellen Logistiksystemen abzuschätzen kann die folgende Formel herangezogen werden:

$$a \frac{\text{Integrationen}}{\text{Jahr} * \text{Unternehmen}} * b \frac{\text{Stunden}}{\text{Integration}} * c \% * d \frac{\text{€}}{\text{Stunde}} = x \frac{\text{€}}{\text{Jahr} * \text{Unternehmen}}$$

Nach heutigem Wissensstand werden die folgenden konservativen Annahmen getroffen:

- **Anzahl der Integrationen von Logistikmaschinen (a):** Die Anzahl neu zu integrierender Logistikmaschinen wird heute auf durchschnittlich **30** Integrationen pro Unternehmen und Jahr geschätzt. Im Kontext modularer Anlagen ist anzunehmen, dass die Zahl ansteigt, da Maschinen nicht nur einmalig integriert werden müssen, sondern das Logistiksystem darauf ausgelegt ist, entsprechend den Bedarfen der modularen Produktion häufig angepasst zu werden.
- **Zeit für die Integration einer Logistikmaschine (b):** Der Abstimmungsaufwand für die Integration eines Logistikmaschinentyps wird heute auf ca. **40 Stunden** geschätzt. Dabei ist lediglich der Zeitaufwand zur Abstimmung der Schnittstellen einkalkuliert. Zusätzliche Aufwände entstehen für die Implementierung, den Test und die Dokumentation der abgestimmten Schnittstellen. Es wird darüber hinaus von einer immer stärkeren Vernetzung der Systeme im Kontext von Industrie 4.0 ausgegangen, die immer komplexere Schnittstellen und damit immer höhere Abstimmungsaufwände erfordern.
- **Einsparpotenzial (c):** Im Kontext der modularen Produktion wird eine Reduktion des Engineering-Aufwands von **70 %** [27] angenommen, die aus Sicht des AKs auch für die Logistik angenommen werden. Dies gilt für eine Neuintegration einer LEA. Wird allerdings ein bereits zuvor verwendetes LEA wiederverwendet, kann eine Ersparnis von nahezu 100 % angenommen werden, da dieses LEA und seine Schnittstellen bereits im Einsatz waren und getestet sind.
- **Stundensatz (d):** Als Stundensatz für einen Ingenieur, der heute zur Abstimmung der Schnittstellen eingesetzt wird, werden **130 €/Stunde** angenommen. Mit fortschreitendem Fachkräftemangel wird angenommen, dass dieser Stundensatz weiter ansteigen wird, sodass eine umfassende Abstimmung der Schnittstellen nicht mehr wirtschaftlich sein wird, oder das notwendige Personal gar nicht mehr zur Verfügung steht.

Mit diesen Annahmen ergibt nach heutigem Stand die folgende Einsparung, diese ist als mindestens möglichen Einsparung zu verstehen:

$$30 \frac{\text{Integrationen}}{\text{Jahr} * \text{Unternehmen}} * 40 \frac{\text{Stunden}}{\text{Integration}} * 70 \% * 130 \frac{\text{€}}{\text{Stunde}} = 109.200 \frac{\text{€}}{\text{Jahr} * \text{Unternehmen}}$$

Entsprechend den obigen Ausführungen wird allerdings angenommen, dass diese **Zahl in Zukunft noch ansteigen wird**. Um diesen Anstieg abschätzen zu können, sind jedoch weiterführende Untersuchungen und Erfahrungen mit modularen Logistiksystemen im praktischen Einsatz notwendig.

Im vorliegenden Positionspapier werden grundlegende Konzepte für eine modulare Automatisierung von Logistiksystemen auf Basis des Module Type Package Konzepts vorgestellt. Diese ermöglichen eine einfache Integration dienstebasiert automatisierter LEAs in ein Modulares Logistisches System. Im Speziellen wird eine Möglichkeit zur verteilten Koordination modularer Logistiklinien ohne die Notwendigkeit einer zentralen Koordinationsinstanz auf Basis des Konzepts der Automatisierungsdienste-Choreografien vorgestellt. Zudem wird ein Integrationskonzept für flexible Transportsysteme (z. B. Fahrerlose Transportsysteme) aufgezeigt, welches die Entwicklung des Transportsystems von der Entwicklung der Modularen Logistischen Einheiten durch die Nutzung standardisierter Schnittstellenkonzepte entkoppelt. Zur Umsetzung dieser Konzepte sind die Koordinations-, Verwaltungs- und Überwachung-Funktionalitäten überlagerter Automatisierungssysteme zu überdenken und um neue Funktionen, wie z. B. ein automatisiertes Parametermanagement, zu erweitern.

Die vorgestellten Konzepte sind teils mit den heutigen MTP-Konzepten umsetzbar, erfordern z. T. aber auch eine Erweiterung dieser. Die Erkenntnisse aus dem MoProLog-Projekt werden daher bereits in die entsprechenden Standardisierungsgremien eingebracht. Neben Ergänzungen bereits bestehender Richtlinienenteile schlägt der NAMUR-Arbeitskreis 4.19 zudem die Einführung eines logistikspezifischen Richtlinienblatts vor, welches notwendige Schnittstellen und Mechanismen für die Automatisierung Modularer Logistischer Systeme enthält.

Zudem kann zur Realisierung des Zielbildes der Integration von PUs in produktionsnahe Logistiksysteme künftig auch das Konzept der Asset Administration Shell beitragen. Hierfür sind Konzepte für den gewinnbringenden Einsatz der AAS für die PU-Integration in Zusammenarbeit der NAMUR und weiteren betreffenden Verbänden zu entwickeln. Eine Grundlage für diese Arbeiten bilden die Inhalte dieses Positionspapiers.

Mit diesen Standardisierungsaktivitäten wird die Grundlage für eine schnelle, einfache und damit wirtschaftliche Integration von Logistikmaschinen gelegt. Eine noch weitere Verringerung der Abstimmungsaufwände kann erreicht werden, wenn einheitliche Basisdatensätze für Maschinenparameter, produktspezifische Parameter und

zu verarbeitende Gebinde z. B. auf Basis der DIN 55405 [28] definiert werden. Ähnliche Aktivitäten finden bereits im Bereich der Prozessindustrie (BioPhorum [29]) und im Schiffbau (VDMA [30]) statt.

Das bestehende Module Type Package Konzept, die in diesem Positionspapier vorgestellten Integrationskonzepte sowie die noch zu spezifizierenden AAS-Konzepte und einheitlichen Basisdatensätze bieten in Summe die Möglichkeit, Projektdurchlaufzeiten für Logistikprojekte und den dabei notwendigen Engineering- und Abstimmungsaufwand auf das notwendige Minimum zu reduzieren. Auf diese Weise können Modulare Logistische Systeme mit den Rüstzeiten modularer Produktionssysteme mithalten und produzierende Unternehmen sind für die zukünftigen Herausforderungen hinsichtlich Flexibilität und Wandelbarkeit gewappnet.

Bis dieses Ziel erreicht ist, sind jedoch noch einige Standardisierungs- und Spezifikationslücken zu schließen. Daher sei an alle Hersteller und Anwender von Logistikmaschinen sowie an die Automatisierungslieferanten appelliert, sich an der logistikspezifischen Erweiterung des Module Type Package Konzepts, der Ausarbeitung von Konzepten für die AAS im Kontext der produktionsnahen Logistik sowie an der Spezifikation einheitlicher Basisdatensätze zu beteiligen. Nur so können möglichst viele Erfahrungen, Anforderungen und Bedürfnisse in die Spezifikationsarbeiten einfließen. Zudem werden die Standardisierungsaktivitäten erst dann erfolgreich sein, wenn sie von den Anwendern gefordert und auch angewendet werden. Ist dies erreicht, werden aus Sicht des NAMUR-Arbeitskreis 4.19 für die praktische Anwendung sehr wertvolle Integrationsstandards für produktionsnahe Logistiksysteme zur Verfügung stehen.

## 7 Referenzen

- [1] S. Lier, D. Wörsdörfer und M. Grünewald, „Wandlungsfähige Produktionskonzepte: Flexibel, Mobil, Dezentral, Modular, Beschleunigt“, Chemie Ingenieur Technik, Jg. 87, Nr. 9, S. 1147–1158, 2015, doi: 10.1002/cite.201400191.
- [2] S. Kessler und L. Brüll, „Neue Produktionskonzepte für die Prozessindustrie erfordern modularisierte Logistiklösungen“, Chemie Ingenieur Technik, Jg. 87, Nr. 9, S. 1240–1245, 2015, doi: 10.1002/cite.201500047.
- [3] NE 171: Anwendung des modularen Anlagenkonzeptes in der produktionsnahen Logistik, NAMUR-Arbeitskreis AK 4.19 Produktionsnahe Logistik, Dez. 2020.
- [4] S. Cordes, T. Buser, A. Fay, S. Kessler und A. Schick, „NAMUR-MTP für Plug-&Operate in produktionsnaher Logistik: Anforderungen an eine modulare Automatisierung“, atp magazin, 01-02, S. 86–93, 2020.
- [5] VDI/VDE/NAMUR 2658: Automatisierungstechnisches Engineering modularer Anlagen in der Prozessindustrie, VDI/VDE-GMA, Berlin. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vdi.de/2658>
- [6] Details of the Asset Administration Shell: Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0, Plattform Industrie 4.0; IDTA; ZVEI e. V., Berlin, 2022. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Details\\_of\\_the\\_Asset\\_Administration\\_Shell\\_Part1\\_V3.html](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Details_of_the_Asset_Administration_Shell_Part1_V3.html)
- [7] Verwaltungsschale in der Prozessindustrie - Use Cases (Positionspapier), NAMUR AK 1.4 Verwaltungsschale, 2023.
- [8] Verwaltungsschale in der Prozessindustrie - Arten von Verwaltungsschalen (Positionspapier), NAMUR AK 1.4 Verwaltungsschale, 2023.
- [9] VDI/VDE/NAMUR 2658-1: Automatisierungstechnisches Engineering modularer Anlagen in der Prozessindustrie - Allgemeines Konzept und Schnittstellen (Entwurf), VDI/VDE-GMA, Berlin, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vdi.de/2658>
- [10] DIN und VDI, Deutsche Normungsroadmap Logistik. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.din.de/resource/blob/110246/2e29c7b22627d9d22e5f9cc7196019a2/logistik-roadmap-data.pdf> (Zugriff am: 17. März 2021).
- [11] IEC 61512-1:1997: Batch control - Part 1: Models and terminology, IEC, Aug. 1997. [Online]. Verfügbar unter: <https://webstore.iec.ch/publication/5528>
- [12] ISA-TR88.00.02 (PackML): Machine and unit states - An implementation example of ISA-88, ISA, Research Triangle Park, N.C.
- [13] AutomationML e.V., IDTA, OPC Foundation, VDMA, Microsoft, KUKA, Siemens, Diskussionspapier – Interoperabilität mit der Verwaltungsschale, OPC UA und AutomationML: Zielbild und Handlungsempfehlungen für industrielle Interoperabilität. [Online]. Verfügbar unter: <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2023/04/Diskussionspapier-Zielbild-und-Handlungsempfehlungen-fur-industrielle-Interoperabilitat-5.3-protected.pdf>.
- [14] T. Tauchnitz (Hrsg.), MTP Automation of Modular Plants, 1. Aufl. Essen: Vulkan-Verlag GmbH, 2022.
- [15] M. Blumenstein, A. Fay, K. Gryczycha, S. Lier, C. Kotsch, F. Borgmann, N. Austermann, „Designprinzipien für den Modul- und Serviceentwurf in modularen Logistikanlagen“ in VDI-Kongress Automation 2021, doi: 10.51202/9783181023921-101.
- [16] M. Blumenstein, A. Fay, A. Stutz, N. Austermann, O. Weigel, C. Kotsch, K. Gryczycha, S. Lier, „Modulare Automation in der produktionsnahen Logistik - MTP-Konzepte für modulare Logistikeinheiten“, atp magazin, Jg. 63, Nr. 10, S. 66–75, 2022, doi: 10.17560/atp.v63i10.2633.
- [17] M. Blumenstein, Technical Report - Application and Extension of the Module Type Package Concept for Production-related Logistics. [Online]. Verfügbar unter: <https://github.com/Blumi102/MTP4Logistics>.
- [18] VDI 2776-1: Verfahrenstechnische Anlagen - Modulare Anlagen - Grundlagen und Planung modularer Anlagen, VDI, Berlin, 2020.

- 
- [19] M. Blumenstein, A. Stutz, A. Fay, M. Barth und M. Maurmaier, „Coordination of Modular Packaging Lines Using Automation Service Choreographies“ in IEEE ETFA 2022.
- [20] A. Stutz, M. Blumenstein, A. Fay, M. Barth und M. Maurmaier, „Anwendung von Automatisierungsdienste-Choreografien zur Koordination modularer Logistiklinien“ in EKA 2022.
- [21] A. Stutz, A. Fay, M. Barth und M. Maurmaier, „Software Patterns for the Realization of Automation Service Choreographies“ in IEEE ETFA 2021.
- [22] M. Blumenstein, V. Henkel, A. Fay, A. Stutz, S. Scheuren und N. Austermann, „Integration of Flexible Transport Systems into Modular Production-Related Logistics Areas“ in IEEE INDIN 2023.
- [23] A. Klose, S. Merkelbach, A. Menschner, S. Hensel, S. Heinze, L. Urbas, L. Bittorf, C. Schäfer, S. Szmais, M. Eckert, T. Rüde, T. Scherwietes, P. da Silva Santos, F. Stenger, T. Holm, W. Welscher, N. Krink, T. Schenk, A. Stutz, M. Maurmaier, K. Stark, M. Hoernicke, S. Unland, S. Erben, F. Keßler, F. Apitz, Anforderungen an die Orchestrierung modularer Prozessanlagen. [Online]. Verfügbar unter: <https://o-para.zih.tu-dresden.de/xmlui/handle/123456789/1397>.
- [24] NE 187: Anforderungen an Prozessorchestrierung modularer Produktionsanlagen, NAMUR AK 2.4.1; ZVEI e. V., Feb. 2023.
- [25] H. Bloch, A. Fay, T. Knohl, M. Hoernicke, J. Bernshausen, S. Hensel, A. Hahn, L. Urbas, „A microservice-based architecture approach for the automation of modular process plants“ in IEEE ETFA 2017, doi: 10.1109/ETFA.2017.8247573.
- [26] M. Blumenstein, E. Janzen, A. Fay, A. Stutz, O. Weigel, C. Kotsch, N. Austermann, S. Scheuren, „Logistics Orchestration Layer – Anforderungen an die Orchestrierung modularer Logistiksysteme“ in VDI-Kongress Automation 2023.
- [27] NAMUR, ProcessNet, VDMA und ZVEI, MTP und NOA - Zwei Konzepte fördern die Zukunftsfähigkeit der Prozessindustrie. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/mtp-und-noa-zwei-konzepte-foerdern-die-zukunftsaehigkeit-der-prozessindustrie>.
- [28] DIN 55405: Verpackung – Terminologie – Begriffe, DIN, Dez. 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-55405/222663644>
- [29] BioPhorum Operations Group, Automated Facility Plug-andPlay - Stirred Tank Unit Interface Specification. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.biophorum.com/download/automated-facility-stirred-tank-unit-interface-specification/>.
- [30] VDMA 66419:2021-09: Modular systems in shipbuilding – Support for engineering and commissioning of plants, VDMA, Sep. 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/ren-der/18682318>