

Vorgehen zur Gestaltung flexibler intralogistischer Einheiten zur Ver- und Entsorgung modularer Produktionsanlagen in der chemischen Industrie

Design procedure of flexible intralogistics units for the supply of and distribution from modular production plants in the chemical industry

Maik Pannok
Kai Gryczycha
Stefan Lier

Fachgebiet Logistik und Supply Chain Management
Fachbereich Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften
Fachhochschule Südwestfalen

Modulare Produktionsanlagen in der chemischen Industrie erfordern flexible Lösungen für intralogistische Systeme. Infolge einer zunehmenden Volatilität in der Kundennachfrage sollen die Vorteile dieser Produktionskonzepte entlang der gesamten Wertschöpfungskette ausgenutzt werden können. Dementsprechend müssen intralogistische Prozessschritte den volatilen Anforderungen aus der Supply Chain, wie z.B. schwankende Nachfragemengen oder Produktarten, gerecht werden. Diese sind jedoch bislang nur unzureichend im Rahmen der modularen Produktion in der chemischen Industrie betrachtet worden. Daraus folgend wird in diesem Beitrag ein Vorgehen zur Gestaltung von flexiblen intralogistischen Einheiten zur Ver- und Entsorgung modularer Produktionsanlagen in der chemischen Industrie vorgestellt. Das auf einem modularisierten Planungsansatz aufbauende Vorgehen versetzt Planer von intralogistischen Systemen auf Betreiber- und Herstellerseite in die Lage, intralogistische Einheiten entsprechend der Systemanforderungen zu gestalten.

[Schlüsselwörter: Intralogistiksysteme, Flexibilität, Gestaltungsvorgehen, Modulare Produktionsanlagen, Chemische Industrie]

Modular production plants in the chemical industry require flexible solutions for intralogistics systems. As a result of increasing volatility in customer demand, it should be possible to exploit the advantages of these production concepts along the entire value chain. Accordingly, intralogistics processes must also meet the volatile requirements of the supply chain, such as fluctuating demand quantities or product types. However, intralogistics processes have not been sufficiently addressed concerning the modular production in the chemical industry. Consequently, this paper presents a procedure for the design of flexible intralogistics units for the supply and distribution

of modular production plants. The approach, which is based on modularized planning, is intended to enable planners of intralogistics systems on the operator and manufacturer side to design intralogistics units according to the requirements of the system.

[Keywords: Intralogistics Systems, Flexibility, Design Procedure, Modular Plants, Chemical Industry]

1 MOTIVATION UND EINGRENZUNG DES BETRACHTUNGSRAUMS

Im globalen Wettbewerb stehend müssen sich Unternehmen in der chemischen Industrie großen organisatorischen und technologischen Herausforderungen stellen. Insbesondere im Bereich der Fein- und Spezialchemie können Trends einer zunehmenden Produktvielfalt und einer Entwicklung von einem produktorientierten Angebotsmarkt hin zu einem kundenorientierten Nachfragemarkt beobachtet werden [BUC10, SHA05]. Zusätzlich wirken sich die Herausforderungen kürzer werdender Produktlebenszyklen aus [GAU09]. Aus diesen Trends und Herausforderungen ergibt sich eine Steigerung der Volatilitäten in der Kundennachfrage [BUC10, SHA05]. In diesem von Nachfrageunsicherheiten geprägten Umfeld können neben den Nachfragemengen ebenso die vom Kunden gewünschte Produktart, der Zeitpunkt sowie der Ort der Kundennachfrage schwanken [LWG15]. Demnach müssen sich Unternehmen der chemischen Industrie diesen Anforderungen auch durch die Nutzung von schnellen, flexiblen und kosteneffizienten Produktionskonzepten anpassen. [LIE13, SS20]

Während in der Fertigungsindustrie bereits seit Jahrzehnten an neuen Produktionskonzepten vor dem Hintergrund der beschriebenen Herausforderungen geforscht wird, werden bisherige Produktionskonzepte der chemi-

schen Industrie den gestiegenen Anforderungen nicht gerecht [FBL+17, NYH08]. Konventionelle Produktionssysteme zeichnen sich entweder durch großskalige und ressourcenintensive [LIE13, SCH02] oder durch flexiblere, aber kostenintensivere Produktionsprozesse aus [RJL+18]. Daher setzt sich auch die chemische Industrie mit neuartigen Forschungsansätzen auseinander, welche eine erhöhte Anpassbarkeit an die gestiegene Volatilität der Systemanforderungen versprechen [LWG15].

Das zentrale Ziel bei diesen Aktivitäten ist die Entwicklung von schnell und flexibel einsetzbaren sowie kosteneffizienten Produktionsanlagen, welche bereits in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht worden sind [F3F13, LÖB13]. Fokussiert wird hierbei auf einer physikalischen Modularisierung der eingesetzten verfahrenstechnischen Apparate und Anlagen in voneinander getrennte, in sich gekapselte Einheiten, welche als Module bezeichnet werden [FBL+17]. Durch das Zusammenschalten der Module an standardisierten physikalischen und automatisierungstechnischen Schnittstellen lässt sich somit in kürzester Zeit ein Produktionssystem nach dem Plug-&-Operate-Prinzip konfigurieren [FBL+17, LFH+18]. Ein standardisierter ISO 20 Fuß-Container stellt dabei den äußeren modularen Rahmen dar, in welchen die ebenfalls modular gestalteten, funktional getrennten Prozessbausteine inkl. der notwendigen Verrohrung integriert werden [F3F13]. Diese Produktionskonzepte fokussieren auf einen effizienten Anwendungsbereich in der klein- bis mittelgroßen kontinuierlichen Produktion von hochwertigen chemischen Erzeugnissen mit einem Jahresdurchsatz von bis zu 1000 Tonnen pro Jahr je Produktionsanlage, wie z.B. in der Fein- und Spezialchemie [FBL+17, LIE13].

Um jedoch die Vorteile dieser Produktionskonzepte auch entlang der gesamten Wertschöpfungskette ausnutzen zu können, muss die ver- und entsorgende Intralogistik ebenso den Anforderungen der modularen Produktionsanlagen und der gestiegenen Volatilität der Systemanforderungen gerecht werden [FPF+19, KB15]. Eine typische intralogistische Prozesskette in der chemischen Industrie ist in Abbildung 1 dargestellt.

Neben Transport- und Lagerprozessen von chemischen Edukten oder Produkten sind Abfüll- und Verpackungsprozesse als intralogistische Prozessschritte in der chemischen Industrie inbegriffen. Besonders die Verarbeitung von Gefahrstoffen bzw. Gefahrgütern stellt dabei Anforderungen an die einzelnen intralogistischen Einheiten eines Intralogistiksystems [KB15, SS11]. Die Primärverpackung chemischer Produkte findet i.d.R. bei Feststoffen in Säcken, Big Bags oder Oktabins oder bei Flüssigkeiten in Flaschen, Kanister, Fässer oder IBCs etc. statt [KML+15]. Weitere Verpackungsschritte z.B. durch eine Umverpackung in Kartons oder eine Endverpackung auf Paletten mit Ladungssicherungs- und Etikettierungsprozessen können folgen. Die unterschiedlichen intralogistischen Aufgaben können von einer oder mehreren intralogistischen Einheiten bzw. Maschinen bearbeitet werden.

Mit einer stärkeren Unsicherheit in der Nachfragemenge, der Produktart und im Zeitpunkt sowie im Ort der Kundennachfrage einher gehen erhöhte Anforderungen an Abfüll- und Verpackungslinien, wie bspw. die Möglichkeit der Abdeckung wechselnder Durchsätze, Produkt- oder Verpackungsarten sowie einem zeitnahen Auf- und Abbau von intralogistische Einheiten [PPF+20]. Hier ist festzustellen, dass die Entwicklung von schnell und flexibel einsetzbaren sowie kosteneffizienten intralogistische Einheiten vor dem Hintergrund der beschriebenen Herausforderungen in der chemischen Industrie nur unzureichend betrachtet worden ist [GLR+16, HKD16, KML+15]. Aktuell zeichnen sich konventionelle Intralogistiksysteme zur Ver- und Entsorgung von Produktionsanlagen in der chemischen Industrie i.d.R. durch großskalige, für einen längeren Einsatzzeitraum und einen bestimmten Einsatzbereich gestaltete intralogistische Einheiten zur Erzielung von Skaleneffekten aus, z.B. separate Abfüll- und Verpackungslinien in einem Chemiepark mit Transport- und Lagerstrukturen. Flexiblere Lösungen sind zumeist auf Kleinstskalalen ausgelegt und mit hohem Mitarbeiteraufwand verbunden, wie bspw. manuelle Abfüllanlagen, oder werden projektbezogen aufgrund spezieller Betreiberanfragen physikalisch ausgestaltet. [LWG15, PPF+20]

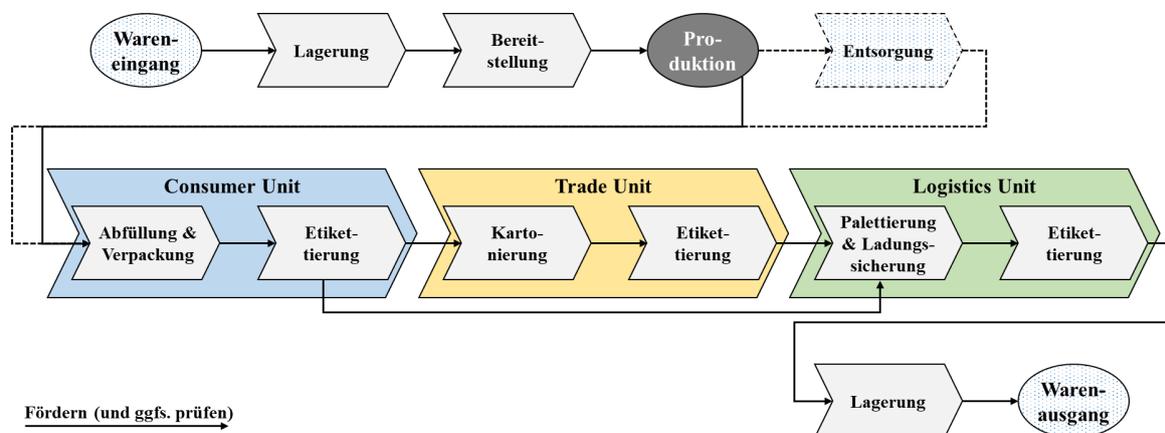


Abbildung 1: Intralogistische Prozesskette in der chemischen Industrie

Momentan folgen Betreiber und Hersteller von Intralogistiksystemen keinem standardisierten Vorgehen zur Gestaltung von Intralogistikeinheiten. Die Anforderungen eines Betreiberunternehmens werden dabei individuell festgehalten, wonach diese mit bestehenden Lösungen eines Herstellers abgeglichen und auf einen Anwendungsfall ausgelegt werden. Jedoch sind nicht in jedem Fall alle von einem Hersteller angebotenen Intralogistikeinheiten für unterschiedliche Prozessschritte für einen Anwendungsfall geeignet, sodass Lösungen von mehreren Herstellern benötigt werden. Ggfs. können sogar einzelne Baugruppen einer Intralogikeinheit eines anderen Herstellers die Anforderungen exakter erfüllen. Dennoch existieren bislang kaum herstellerübergreifende Standards für physikalische Schnittstellen, wie z.B. Breite und Höhe von Rollenbahnen, Art und Größe elektrischer Steckverbindungen, oder für Automatisierungslösungen, um intralogistische Einheiten oder Baugruppen herstellerunabhängig austauschen zu können.

Demnach wird in diesem Beitrag vor dem Hintergrund der beschriebenen Systemanforderungen in diesem Betrachtungsraum (vgl. Abbildung 2) ein Vorgehen zur Gestaltung von flexiblen intralogistischen Einheiten zur Ver- und Entsorgung modularer Produktionsanlagen in der chemischen Industrie hergeleitet. Dabei werden eine Grundstruktur und Ebenen von Intralogistiksystemen definiert sowie Gestaltungsmöglichkeiten intralogistischer Einheiten auf Basis unterschiedlicher Systemanforderungen aufgezeigt. Mit Hilfe dieses Vorgehens sollen Betreiber von chemischen Produktionssystemen im Betrachtungsraum herstellerunabhängig Anforderungen an Intralogistikeinheiten auf Basis ihrer Systemanforderungen beschreiben und Hersteller diese entsprechend physikalisch ausgestalten können. Hierfür werden im folgenden Kapitel bestehende Ansätze aus der Forschung vorgestellt, an denen sich bei der Entwicklung des Gestaltungsvorgehens für flexible intralogistische Einheiten orientiert worden ist.

2 ANSÄTZE ZUR GESTALTUNG VON FLEXIBLEN PRODUKTEN UND SYSTEMEN

Nachfolgend werden verschiedene Ansätze aus der Forschung beschrieben, die sich jeweils mit der Gestaltung von flexiblen technischen Produkten oder Systemen auseinandersetzen. Dabei werden beginnend Ansätze aus der Produktion und anschließend aus der Intralogistik vorgestellt, die jeweils zunächst den Fokus auf die diskrete Fertigungsindustrie und nachfolgend auf die chemische Industrie im Betrachtungsraum legen. Hierdurch sollen Adaptionmöglichkeiten für das in diesem Beitrag entwickelte Gestaltungsvorgehen im Betrachtungsraum aufgezeigt und die Forschungslücke verdeutlicht werden.

Zunächst wird das Forschungsumfeld der wandlungsfähigen Produktionssysteme mit Fokus auf der diskreten Fertigung betrachtet. In diesem Industriezweig werden bereits seit über 30 Jahren technische Lösungen aufgrund einer zunehmenden Volatilität in den Systemanforderungen erforscht, welche auf dem Gestaltungsprinzip der Modularisierung aufsetzen [WIL88, WIL98]. Die Wandlungsfähigkeit eines Systems wird dabei als taktische Fähigkeit definiert, sich vorausschauend auf volatile Systemanforderungen anpassen zu können. Grundvoraussetzung hierfür sind flexible, modulare Prozesseinheiten innerhalb der Systemstrukturen. [NKL+ 03, WRN10] Der Begriff der Flexibilität grenzt sich insofern von der Wandlungsfähigkeit ab, dass diese als operative Fähigkeit zur kurzfristigen, reaktiven Anpassung eines Systems oder einzelner Systemeinheiten durch Rekonfiguration vorher festgelegter Funktionselemente beschrieben wird [HEE17, WH06].

Als Treiber der Wandlungsfähigkeit, auch als Wandlungsbefähiger bezeichnet, werden neben der Modularität eines Systems auch die Begriffe der Universalität, Skalierbarkeit, Kompatibilität und Mobilität definiert [NYH08].

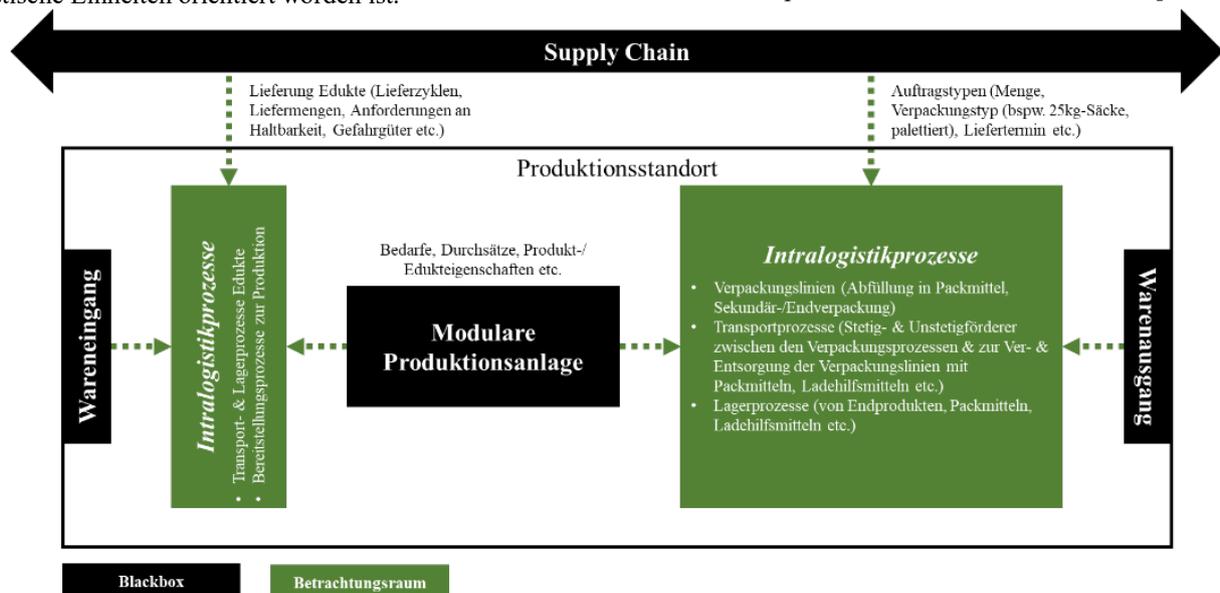


Abbildung 2: Abgrenzung Betrachtungsraum

Ein System kann demnach als wandlungsfähig bezeichnet werden, wenn dieses in modulare, untereinander kompatible Bestandteile unterteilt ist, die eine universelle Einsetzbarkeit in verschiedenen Anwendungsszenarien mit unterschiedlichen Kapazitätsanforderungen und Einsatzorten versprechen. In Bezug auf das zu entwickelnde Gestaltungsvorgehen und vor dem Hintergrund volatiler Systemanforderungen wird daraus folgend die Modularisierung der intralogistischen Einheiten als Grundvoraussetzung für deren flexible Gestaltung betrachtet. Ebenso können die weiteren Wandlungsbefähiger als Kriterien für eine mögliche Eignung der zu gestaltenden Einheiten im Betrachtungsraum herangezogen werden [KML+15].

Im Kontext des aufgezeigten Forschungsumfelds haben sich verschiedene Forschungsvorhaben mit der Gestaltung von wandlungsfähigen Produktionssystemen beschäftigt, die jeweils einen unterschiedlichen Aspekt wie die Modularität oder Mobilität eines Systems fokussiert haben [DEK10, HEE17, KMN12, SCH04]. Dabei basieren die entsprechenden Gestaltungsvorgehen jeweils auf dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung nach VDI 2221 [VDIa19, VDIb19]. Innerhalb dieses allgemeinen Modells wird zunächst der Einfluss relevanter interner und externer Kontextfaktoren auf die Produktentwicklung beschrieben, wie z.B. durch Kunden oder Unternehmensstrukturen. Anschließend werden Ziele zunächst im Entwicklungsauftrag festgehalten und kontinuierlich durch neue Anforderungen im Verlauf ergänzt. In den folgenden Prozessschritten werden Aufgaben präzisiert, Funktionen und Strukturen ermittelt sowie mögliche Lösungskonzepte bewertet und ausgewählt. Abschließend werden basierend auf dem Baukastenprinzip Module gebildet, welche jeweils detailliert gestaltet und nachfolgend zu einem Gesamtsystem integriert werden, wonach das Entwicklungsergebnis dokumentiert wird. Des Weiteren werden für jede Phase Ergebnisdokumente festgelegt. [VDIa19] Darüber hinaus wird innerhalb der VDI 2221 ein Leitfaden zur Gestaltung individueller Produktentwicklungsprozesse auf Basis des allgemeinen Modells beschrieben [VDIb19]. Daraus folgend wird das vorgestellte Modell nach VDI 2221 für das in diesem Beitrag entwickelte Gestaltungsvorgehen berücksichtigt.

Auch die chemische Industrie forscht seit etwa zehn Jahren an wandlungsfähigen Produktionskonzepten auf Basis der bereits erläuterten modularen Produktionsanlagen [LWG 15]. Im Rahmen eines Charakterisierungsmodells einer innovativen Anlagengestaltung sind den fünf beschriebenen Wandlungsbefähigern Gestaltungsattribute zugeordnet worden, um diese Eigenschaften erfüllen zu können. Für die Modularität und Skalierbarkeit einer Anlage muss diese wie auch die enthaltenden Baugruppen modular gestaltet sein. Für einen kompatiblen wie auch universellen Einsatz müssen standardisierte interne und externe Schnittstellen definiert werden. Wird zudem ein mobiler Einsatz beabsichtigt, ist ein physikalischer Rahmen in Form eines Containers notwendig. [WLG16] Diese Gestaltungsattribute können auch auf die Intralogistik in

der chemischen Industrie übertragen werden, um im Betrachtungsraum intralogistische Einheiten entsprechend der Systemanforderungen gestalten zu können.

Vor dem Hintergrund einer Vielzahl weiterer Forschungsaktivitäten, die u.a. die physikalische und Automatisierungstechnische Modularisierung sowie modularisierte Planungs- und Gestaltungsvorgehen verfahrenstechnischer Produktionsanlagen fokussiert haben [FBL+17], ist die VDI 2776 entwickelt worden. Diese erläutert die Grundlagen und die Planung wie auch einen Designprozess modularer Produktionsanlagen. Die Ausgangsbasis dieser Normierung stellt die Definition einer Grundstruktur modularer Produktionsanlagen dar. Diese wird unterteilt in

- eine modulare Anlage (Modular Plant, MP) als oberste Ebene,
- modulare Prozesseinheiten (Process Equipment Assembly, PEA) als Baugruppen einer modularen Anlage, welche min. einen verfahrenstechnischen Prozessschritt umfasst,
- modulare Funktionseinheiten (Functional Equipment Assembly, FEA) als Funktionsgruppen bestehend aus mehreren
- Komponenten (z.B. Apparate, Maschinen, Rohrleitungen, Feldgeräte, Armaturen etc.). [VDI20]

Den physikalischen Rahmen einer modularen Produktionsanlage können hierbei bspw. ISO 20 Fuß-Container bilden, welche als Process-Equipment-Frame (PEF) bezeichnet werden [FBL+17]. Dieser kann eigenständig oder verbunden mit weiteren PEFs über standardisierte Schnittstellen eine MP darstellen. Eine einzelne PEA kann je nach Art und Umfang der verfahrenstechnischen Aufgabe eine MP repräsentieren, stellt jedoch i.d.R. eine Baugruppe dar, die im Verbund mit weiteren PEAs über standardisierte Schnittstellen mittels Baukastenprinzip eine MP bildet. FEAs wiederum sind eine Unterbaugruppe der PEAs und umfassen zusammenhängende Komponenten.

Den Ebenen einer MP, PEA und FEA wird jeweils eine automatisierungstechnische Intelligenz zugewiesen. Hierfür ist mit dem Module Type Package (MTP) ein Standard zur automatisierungstechnischen Beschreibung verfahrenstechnischer Module entwickelt worden. Nach dem Ansatz einer dezentralen Intelligenz für modulare Anlagen (DIMA) kann ein MTP im Rahmen des Modul-Engineerings bei einem Hersteller dienstebasiert erzeugt werden, welches die für das Anlagen-Engineering beim Betreiber benötigten Informationen, bspw. Ressourcen oder ausführbare Prozessaktivitäten, enthält. [HOL16]

Diese Trennung zwischen Betreiber und Hersteller anhand von Standardisierungen findet sich auch im Gestaltungsprozess einer MP wieder. Innerhalb dieses Prozesses können Herstellerunternehmen von verfahrenstechnischen Komponenten PEAs anhand standardisierter Schnittstellen

physikalisch ausgestalten, diese mittels modularer Planungsunterlagen (PEAD) dokumentieren und einer Datenbank zuführen. Hierbei können verschiedene Konfigurationen durch unterschiedliche FEAs angeboten werden, die jeweils durch Planungsunterlagen (FEAD) dokumentiert und in einer Datenbank abgelegt werden. Betreiberunternehmen haben so die Möglichkeit gemäß ihrer Systemanforderungen Datenbanken zu durchsuchen und daraus eine MP zusammenzustellen. Sollten die Eigenschaften der ausgewählten PEAs nicht ausreichend genug mit den Anforderungen übereinstimmen, können auch von Betreiberseite weitere Gestaltungsprozesse angestoßen werden. [VDI20]

Die vorgestellte Definition einer Grundstruktur modularer Produktionsanlagen und der darauf basierende Gestaltungsprozess einer MP müssen durch entsprechende Entwicklungen für intralogistische Systeme im Betrachtungsraum ergänzt werden, um die gesamte Wertschöpfungskette an einem Produktionsstandort in Planungs- und Gestaltungsprozessen abbilden zu können. Diese Forschungslücke wird in diesem Beitrag mit Fokus auf der Gestaltung einzelner intralogistischer Einheiten adressiert. Dabei bleibt eine detaillierte Betrachtung von automatisierungstechnischen Fragestellungen unberücksichtigt. Diese werden in weiteren Forschungsaktivitäten zur Übertragung des MTP-Standards auf die Intralogistik im Betrachtungsraum für eine prozessübergreifende Berücksichtigung der Automatisierungstechnik fokussiert [NE20]. Nachfolgend werden Ansätze aus dem Bereich der Intralogistik vorgestellt, an denen sich in dem in diesem Beitrag entwickelten Gestaltungsvorgehen orientiert worden ist.

Im Rahmen des Forschungsumfelds der Materialflusssysteme im Kontext volatiler Systemanforderungen wird ebenso die wandlungsfähige Gestaltung von Systemen betrachtet. Dabei werden ergänzend zu den bereits vorgestellten Wandlungsbefähigern Flexibilitätseigenschaften für den Anwendungsfall der Intralogistik definiert, über welche ein wandlungsfähiges System verfügen muss. Die Eigenschaft der Layoutflexibilität beschreibt hierbei die möglichen Einschränkungen von Übergabepunkten von Produkten, Pack- und Ladehilfsmitteln etc. an einem Standort. Mit der Durchsatzflexibilität wird die Richtungsabhängigkeit eines Materialflusses definiert. Die Eigenschaft der Fördergut- oder Packmittelflexibilität beinhaltet das Spektrum der abbildbaren Fördergüter und Packmittel. [GWH06] Diese Flexibilitätseigenschaften müssen auch beim entwickelten Gestaltungsvorgehen für flexible intralogistische Einheiten im Betrachtungsraum berücksichtigt werden. Jedoch adressieren die betrachteten Ansätze der flexiblen Gestaltung von Systemen auf Basis der physikalischen Modularisierung i.d.R. Förder- und Lagerprozesse [GWH06, LRL+17, SAV+17, TRE16]. Somit wird bislang nicht die gesamte intralogistische Prozesskette des Betrachtungsraums wie bspw. Abfüll- und Verpackungsprozesse in der Forschung fokussiert, die aufgrund ihrer Produktionsnähe spezielle Flexibilitätsanforderungen stellen.

Im Folgenden werden unterschiedliche Vorgehensweisen zur Gestaltung flexibler intralogistischer Systeme durch Modularisierung zusammengefasst vorgestellt. Innerhalb der verschiedenen Ansätze werden jeweils zunächst übergeordnete Systemanforderungen erfasst, analysiert und auf einer Prozessebene strukturiert. Anschließend folgt eine Phase der Modulbildung bzw. -definition, in der ein intralogistisches System in modulare Einheiten unterteilt wird. Darauf folgend werden die einzelnen modularen Einheiten und deren Schnittstellen auf Basis der Anforderungen detailliert gestaltet. Abschließend werden die modularen Einheiten im Systemverbund bewertet. [GWH06, MAY07, OUY11] Die beschriebenen Phasen lassen sich vergleichbar in dem allgemeinen Modell der Produktentwicklung nach VDI 2221 wiederfinden. Demnach werden diese auch für das in diesem Beitrag entwickelten Gestaltungsvorgehen berücksichtigt.

Nachfolgend wird ein Ansatz zur Gestaltung einer modularen Logistik näher betrachtet [MAY07]. In diesem werden unterschiedliche planungstechnische Modultypen definiert, in denen für verschiedene Phasen und Ebenen eines Gestaltungsprozesses die jeweils notwendigen Transformationsaufgaben beschrieben werden. Innerhalb eines Gestaltungsmoduls auf strategischer Ebene werden so bspw. auf Basis von Zielvorgaben Leistungsvorgaben übergreifend für ein logistisches Gesamtsystem beschrieben, z.B. durch die Analyse von Systemanforderungen und deren Zusammenstellung in einem Pflichtenheft. Dieses Gesamtsystem wird zudem durch eine weitere Modulbildung strukturiert. Die einzelnen modularen Einheiten einer daraus resultierenden Logistikarchitektur werden innerhalb von Leistungsmodulen auf operativer Ebene detaillierter betrachtet, indem jeweils anhand der Leistungsvorgaben aus dem Gestaltungsmodul die detaillierte Gestaltung einer modularen Einheit beschrieben wird. Auf dieser Basis kann anschließend eine physikalische Ausgestaltung einer modularen Einheit erfolgen. Abschließend betrachtet lassen sich bei diesem Vorgehen Analogien zum Gestaltungsvorgehen verfahrenstechnischer Produktionsanlagen nach VDI 2776 wiederfinden [VDI20], da für den Betrieb der unterschiedlichen Modultypen ebenfalls eine Trennung zwischen Betreiber und Hersteller festgelegt wird. Dabei kann das Gestaltungsmodul von einem Betreiberunternehmen oder einem Dienstleister, die Leistungsmodule jedoch ebenso von Lieferanten bzw. Herstellern betrieben werden. Demnach orientiert sich auch das in diesem Beitrag entwickelte Gestaltungsvorgehen an dem vorgestellten modulbasierten Ansatz eines Gestaltungsprozesses.

Abschließend werden Ansätze zur Gestaltung von flexiblen Produkten und Systemen in der Intralogistik für die chemische Industrie vorgestellt. Zunächst wird ein Vorgehen zur Analyse von Eignungsprofilen von Förder- und Lagersystemen für modulare Fabrikstrukturen in der chemischen Industrie beschrieben. Die Kriterien zur Bewertung einer möglichen Eignung setzen sich aus den fünf Wandlungsbefähigern zusammen, die um die Eigenschaften der

Redundanz und Sicherheit ergänzt werden [GLR+16]. Zusätzlich sind die einzelnen Kriterien durch detailliertere Anforderungen definiert worden. Die Eigenschaft der Redundanz eines Förder- und Lagersystems umfasst dabei die notwendige parallele Verfügbarkeit und einen möglichen Notbetrieb. Mit dem Begriff der Sicherheit werden ein niedriges Gefährdungspotenzial, eine geringe Gutbeanspruchung und hohe Zugriffsmöglichkeiten definiert. [KML+15] Auch dieser Ansatz fokussiert lediglich auf Förder- und Lagerprozessen. Diese Kriterien werden daraus folgend in dem in diesem Beitrag entwickelten Gestaltungsvorgehen berücksichtigt und auf den gesamten Betrachtungsraum übertragen.

Des Weiteren ist ein erster Ansatz zur physikalischen Modularisierung von intralogistischen Einheiten im Betrachtungsraum erarbeitet worden [KML+15]. Dabei ist ein modulares Containerdurchlaufregallager konzeptionell als virtueller und mittels 3D-Druck als maßstabsmäßig verkleinerter physikalischer Demonstrator entwickelt worden. Zusätzlich sind modulare Gestaltungsmöglichkeiten von weiteren intralogistischen Einheiten für die Abfüllung und Verpackung chemischer Produkte skizzenhaft betrachtet worden, um die gesamte Prozesskette eines Fallbeispiels in der chemischen Industrie darstellen zu können. Bei der konzeptionellen Entwicklung ist jedoch weder einem standardisierten prozessübergreifenden Vorgehen gefolgt, noch eine Grundstruktur modularer Intralogistikeinheiten definiert worden. Der Fokus bei der konstruktiven Gestaltung hat auf den Vorgaben des physikalischen Rahmens der modularen Produktionsanlagen auf Basis von Standardcontainern gelegen. [KB15] Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sind modulare intralogistische Einheiten für die Lagerung von Flüssigkeiten und von Behältern für die chemische Industrie im Containermaßstab konzeptionell entwickelt worden [HKD16]. Eine umfassende Bearbeitung des gesamten Betrachtungsraums ist jedoch bislang noch nicht erfolgt.

Auf Basis der vorgestellten Ansätze werden nachfolgend Begriffe für das in diesem Beitrag entwickelte Gestaltungsvorgehen im Betrachtungsraum definiert.

3 BEGRIFFSDEFINITIONEN FÜR DAS GESTALTUNGSVORGEHEN

In den vorhergehenden Kapiteln dieses Beitrages sind der Betrachtungsraum abgegrenzt, der Flexibilitätsbedarf intralogistischer Einheiten aufgrund volatiler Systemanforderungen hervorgehoben und darauf aufbauend unterschiedliche Ansätze zur Gestaltung von flexiblen Produkten und Systemen beschrieben worden. Hierbei ist die wandlungsfähige Gestaltung von Produkten und Systemen als Lösung im Kontext volatiler Systemanforderungen dargestellt worden. Daher werden nachfolgend die Wandlungsbefähiger auf den Betrachtungsraum bezogen und die daraus resultierenden Flexibilitätsanforderungen erläutert.

Beginnend wird der Wandlungsbefähiger der *Mobilität* beschrieben. Dieser umfasst die Anforderung, Einheiten eines Systems an einem Standort, aber auch standortübergreifend mit minimalen Auf-, Abbau- sowie Umrüstzeiten konfigurieren und in wechselnde Infrastrukturen sowie Systeme integrieren zu können. Diese Anforderung schließt den Bedarf nach einem transportierbaren Bauraum mit ein, bspw. via LKW in Form eines ISO-Containers. Jedoch werden andere Konstruktionsmöglichkeiten nicht ausgeschlossen, sollten diese mit vergleichbaren Auf- und Abbauzeiten realisierbar sein. Aus der Mobilitätsanforderung resultieren demnach ggfs. Restriktionen an den für den Gestaltungsprozess zur Verfügung stehenden Bauraum. Des Weiteren können Anforderungen an Schnittstellen zu benachbarten Einheiten über Übergabeplätze von Produkten, Pack- und Ladehilfsmitteln etc. oder an die Richtung des Materialflusses, d.h. die Integration der Einheit in vorhandene Layoutstrukturen, enthalten sein.

Mit dem Wandlungsbefähiger der *Skalierbarkeit* wird eine mögliche, effiziente Anpassung der zur Verfügung stehenden Kapazität einer intralogistischen Einheit an die tatsächliche Nachfrage beschrieben. Diese Anpassung kann entweder durch Parallelschalten externer identischer, modular gestalteter Einheiten, dem sogenannten Numbering-Up, oder durch Hinzuschalten interner modularer Komponenten erfolgen. Diese Anforderung gilt für die Erhöhung wie auch die Verringerung der Kapazität. Grundvoraussetzung für eine schnelle Konfiguration modularer Einheiten und Komponenten ist die *Kompatibilität* über standardisierte interne und externe Schnittstellen untereinander sowie mit der zugehörigen Infrastruktur.

Die beschriebenen Kompatibilitätsanforderungen sind ebenso Voraussetzung für die *Universalität* intralogistischer Einheiten. Diese wird durch eine Vielfältigkeit der einsetzbaren Pack- und Fördermittel sowie in der Flexibilität der abbildbaren Produktspektren erreicht. Darüber hinaus werden im Betrachtungsraum sicherheitstechnische Anforderungen umfasst, da in der chemischen Industrie Gefahrstoffe bzw. -güter eingesetzt werden und deren Anforderungen für eine universelle Einsetzbarkeit zu berücksichtigen sind. Diese müssen sowohl in sich geschlossen bei der Gestaltung einzelner modularer Einheiten und im Zusammenspiel im Systemverbund gemäß den rechtlichen Vorgaben sicherheitstechnisch umgesetzt werden.

Abschließend stellt die *Modularität* einer intralogistischen Einheit den bedeutendsten Wandlungsbefähiger dar, da diese die Grundvoraussetzung zur Umsetzung einer vollständigen Wandlungsfähigkeit liefert [NKL+ 03]. Dabei müssen nicht nur intralogistische Einheiten modular gestaltet sein, um diese im Systemverbund austauschen zu können. Auch die einzelnen Komponenten einer intralogistischen Einheit müssen modular gestaltet sein, damit diese flexibel auf die jeweiligen Systemanforderungen angepasst werden können und die Einheit entsprechend konfiguriert

werden kann. Daraus folgt der Bedarf einer Definition einer modularen Grundstruktur auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen für intralogistische Systeme äquivalent zur VDI 2776 für modulare Produktionsanlagen.

Bisherige Arbeiten zur Definition einer Grundstruktur eines intralogistischen Systems sind entweder nicht auf den Betrachtungsraum ausgelegt oder definieren (Sub-)Systeme nur unzureichend. In der NAMUR-Empfehlung NE 171 wird zum ersten Mal ein Ansatz zur Beschreibung der Grundstruktur einer produktionsnahen Logistik, d.h. von Abfüll- und Verpackungslinien inkl. der notwendigen Förder- und Lagertechnik, für die Prozessindustrie definiert [NE20]. Dabei wird auch die Modularisierung eines logistischen Systems als Grundvoraussetzung hervorgehoben. Dieser Ansatz wird aufgegriffen und auf den Betrachtungsraum übertragen. Dafür wird ein intralogistisches System hierarchisch in unterschiedliche Betrachtungsebenen unterteilt, wonach eine Definition und Abgrenzung der verschiedenen physikalischen Ebenen eines intralogistischen Systems erfolgen kann. Die Grundstruktur eines modularen intralogistischen Systems ist in Abbildung 3 dargestellt.

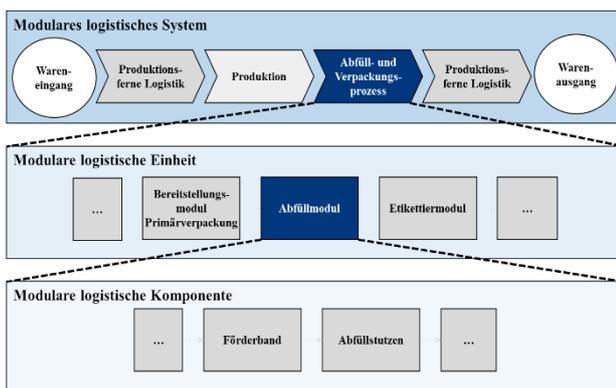


Abbildung 3: Grundstruktur eines modularen intralogistischen Systems

Die erste Strukturebene im Betrachtungsraum wird als *modulares logistisches System (MLS)* definiert und beschreibt eine logistische Aufgabe entlang einer ununterbrochenen Wertschöpfungskette an einem Standort. Je nach Anwendungsfall werden mit einem MLS bspw. ein vollständiger Abfüll- und Verpackungsprozess oder auch sämtliche intralogistische Prozesse an einem Standort zur Ver- und Entsorgung modularer Produktionsanlagen inkl. Bereitstellungsprozessen vor der Produktion umfasst.

Ein einzelnes MLS beinhaltet mindestens eine *modulare logistische Einheit (MLE)*. MLEs bilden die zweite Strukturebene, erfüllen in sich geschlossen eine logistische Aufgabe und können unabhängig von anderen MLEs eingesetzt werden. Eine MLE kapselt in sich sämtliche notwendigen Hardware- und Softwarekomponenten zur eigenständigen Realisierung einer bestimmten logistischen Funktion, bspw. das Abfüllen von Flüssigkeiten in Fässer.

Eine *modulare logistische Komponente (MLK)* auf der dritten Ebene wird als ein austausch- und wiederverwendbarer Bestandteil einer MLE definiert. Eine MLK ist dabei einer MLE untergeordnet und ergänzt deren Funktionalität hardware- und ggfs. softwareseitig, ist jedoch selbst in sich nicht funktionsfähig. Durch diesen funktionserweiternden Charakter unterscheidet sich eine MLK von Komponenten wie z.B. Verrohrungen. Ein Beispiel für eine MLK kann ein Abfüllstutzen innerhalb einer Abfülleinheit für Granulate darstellen, welcher abhängig von der Größe und Form der Säcke ausgetauscht werden kann.

Die Entwicklung eines Vorgehens zur Gestaltung flexibler intralogistischer Einheiten im Betrachtungsraum orientiert sich an dem modulbasierten Ansatz zur Gestaltung einer modularen Logistik [MAY07] und dem modularisierten Planungs- und Gestaltungsvorgehen verfahrenstechnischer Produktionsanlagen nach VDI 2776 [VDI20]. Jeder Strukturebene wird dabei ein zugehöriges Planungsmodul zugeordnet, welche jeweils die auf der Ebene zu bearbeitenden Transformationsaufgaben zusammen mit den notwendigen Eingangs- und den resultierenden Ausgangsgrößen beschreiben, die für eine physikalische Ausgestaltung benötigt werden.

Daraus folgend wird ein MLS durch ein *Systemplanungsmodul (SPM)* beschrieben, in dem Systemanforderungen (z.B. Produkt- oder Durchsatzanforderungen) in Vorgaben für die Ausgestaltung eines modularen logistischen Systems umgesetzt werden. Des Weiteren wird jeder MLE eines MLS jeweils ein *Einheitsplanungsmodul (EPM)* zugeordnet. Dieses erhält Planungsvorgaben aus dem SPM, analysiert die jeweiligen Anforderungen an die zugehörige MLE und erstellt eine Dokumentation zur physikalischen Ausgestaltung der MLE. Schließlich wird jeder MLK ein *Komponentenplanungsmodul (KPM)* zugewiesen, welches Planungsvorgaben aus dem EPM erhält und diese in eine Dokumentation zur Ausgestaltung der jeweiligen MLK transformiert.

In Abbildung 4 werden die erläuterten physikalischen und planungstechnischen Module auf den unterschiedlichen Ebenen in einem Vorgehensmodell zur Planung und Ausgestaltung flexibler intralogistischer Systeme zusammenhängend dargestellt. Im Rahmen dieses Vorgehensmodells umfasst der Planungsbegriff Fragestellungen aus der Fabrik- oder Intralogistikplanung, wie z.B. Methoden zur Auswahl und Kombination der je nach Anwendungsfall einsetzbaren logistischen Einheiten oder zur Auslegung von grundlegenden Lager- oder Layoutstrukturen etc. Demgegenüber steht die physikalische Ausgestaltung der Planungsergebnisse in die auf den unterschiedlichen Strukturebenen definierten Module. Mit einem Gestaltungsprozess werden Phasen der Planung und physikalischen Ausgestaltung eines Modules, bspw. einer MLE, inbegriffen. Im Rahmen dieses Prozesses werden z.B. Planungsvorgaben aus der Systemebene auf eine einzelne Prozesseinheit übertragen, eine Prozesseinheit innerhalb eines EPM u.a.

durch eine Bewertung verschiedener Lösungsalternativen geplant und in einer MLE physikalisch ausgestaltet.

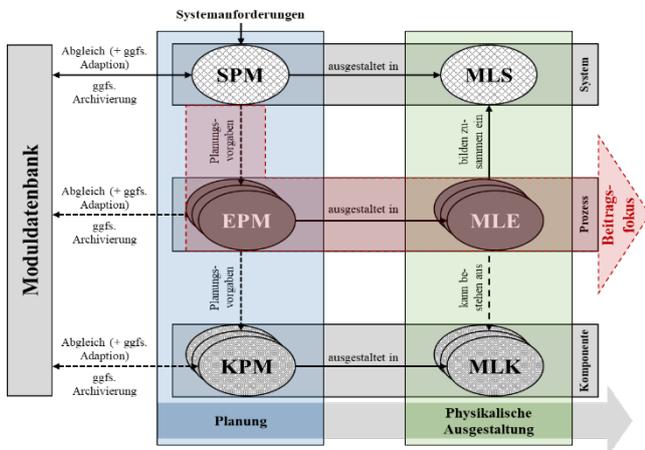


Abbildung 4: Planung und Ausgestaltung flexibler intralogistischer Systeme

In diesem Beitrag wird lediglich die Prozessebene des Vorgehensmodells zur Planung und Ausgestaltung flexibler intralogistischer Systeme fokussiert (vgl. Beitragsfokus in Abbildung 4). Diese wird im nachfolgenden Kapitel im Rahmen des entwickelten Vorgehens zur Gestaltung flexibler intralogistischer Einheiten detailliert erläutert.

4 VORGEHEN ZUR GESTALTUNG FLEXIBLER INTRALOGISTISCHER EINHEITEN

Für die umfassende Ausnutzung der Vorteile wandlungsfähiger Produktionskonzepte entlang der gesamten Wertschöpfungskette in der chemischen Industrie ist ein Vorgehen zur Gestaltung flexibler intralogistischer Einheiten entwickelt worden. Dabei kann dieses Vorgehen sowohl von einem Betreiber eines intralogistischen Systems im Betrachtungsraum, bspw. ein Produzent von Fein- und Spezialchemikalien oder ein Logistikdienstleister, bis hin zur physikalischen Ausgestaltung einer MLE und von einem Hersteller intralogistischer Einheiten inkl. der Planungsprozesse durchgeführt werden. In der Erläuterung des Gestaltungsvorgehens wird zur Vereinfachung die Betreiberperspektive eingenommen, um hierdurch Anforderungen herstellerunabhängig definieren zu können.

Der Gestaltungsprozess inkl. Planungsprozessschritten bis hin zur Übergabe eines Ergebnisdokuments zur möglichen physikalischen Ausgestaltung durch einen Hersteller soll dabei von einem Betreiber übernommen werden. Eine Moduldatenbank (vgl. Abbildung 4) soll als Austauschplattform zwischen den Betreiberanforderungen und den von verschiedenen Herstellern angebotenen physikalischen Ausgestaltungsmöglichkeiten dienen. Daraus resultierend können sich für einen Betreiber preisliche oder zeitliche Vorteile ergeben, da sie je nach Bedarf zwischen

Herstellern unterschiedlicher MLEs wechseln können. Zudem können sich Hersteller durch Spezialisierungseffekte vom Wettbewerb abheben.

Im Folgenden wird das Vorgehen zur Gestaltung einer flexiblen intralogistischen Einheit anhand der Planungsaufgaben eines EPMS sowie unterschiedlicher Ausgestaltungsmöglichkeiten einer MLE beschrieben. Dieses wird in einem Standardflussdiagramm in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt. Zur besseren Übersicht werden die einzelnen Prozessschritte des Vorgehens in Unterkapitel zusammengefasst.

4.1 ANALYSE DER PLANUNGSVORGABEN & PRÄZISIEREN DES GESTALTUNGS-AUFTRAGS

Die Ausgangsbasis für die Gestaltung einer flexiblen intralogistischen Einheit im Betrachtungsraum bilden Systemanforderungen, welche als Eingangsgrößen in ein SPM eingehen, in diesem analysiert und in Planungsvorgaben für einzelne EPMS übersetzt werden. Die Systemanforderungen beschreiben bspw., welche Produkte verschiedenster Eigenschaften mit welcher Verpackungsart (Pack- und Ladehilfsmittel), mit welchen geplanten Durchsätzen im Zeitverlauf abgefüllt und verpackt werden müssen. Ebenso werden Informationen über zu verarbeitende Edukte (Lagerung, Transport und Bereitstellung zur Produktion), über den benötigten Automatisierungsgrad des Systems oder über geplante Rekonfigurationszyklen am Standort und im Netzwerk sowie den daraus folgenden Anforderungen an eine mobile Gestaltung des intralogistischen Systems bereitgestellt.

Die Grundlage für die Transformation der sich auf das Gesamtsystem beziehenden Anforderungen in individuelle Planungsvorgaben für einzelne Einheiten stellt die Strukturierung des intralogistischen Systems in die wesentlichen intralogistischen Aufgaben dar. Hierbei werden innerhalb eines SPM je nach Systemanforderungen einzelnen intralogistischen Prozessschritten EPMS zugeordnet, welche detailliert geplant und in einer MLE physikalisch ausgestaltet werden können.

Das Vorgehen zur Gestaltung flexibler intralogistischer Einheiten beginnt mit der Analyse der Planungsvorgaben, die ein EPM aus einem SPM erhält. Dabei werden Anforderungen zu den von einer MLE abzubildenden Produktarten und -eigenschaften, notwendigen Pack- und Ladehilfsmitteln oder Durchsätzen, zu Gestaltungsvorgaben und Restriktionen des zur Verfügung stehenden Bauraums sowie zu etwaigen sicherheitstechnischen Regulierungen abgeleitet. Je nach der auszugestaltenden intralogistischen Aufgabe der MLE können Planungsvorgaben aus dem SPM eine unterschiedliche Relevanz besitzen. So üben verschiedene Produktarten für einen Palettierer, der lediglich Säcke der gleichen Größe palettiert, keinen Einfluss auf dessen Gestaltung aus. Dagegen haben unterschiedliche Produktarten einen direkten Einfluss auf die Gestaltung einer Abfülleinheit, da ein Produktvolumenstrom in diesem

Prozessschritt diskretisiert wird und eine MLE somit unmittelbar mit dem Produkt und dessen Eigenschaften in Kontakt kommt. Auf Basis der Analyse der Planungsvorgaben aus dem SPM wird der Gestaltungsauftrag präzisiert, indem die Anforderungen an die zu gestaltende MLE ermittelt und dokumentiert werden. In diesem Zusammenhang erfolgt eine detaillierte Definition der von einer MLE zu erfüllenden Aufgaben und Anforderungen. Der Prozessschritt wird mit der Erstellung eines Dokuments beendet, in welchem die Aufgaben und Anforderungen der MLE zusammengefasst werden.

Im nächsten Schritt werden die dokumentierten Anforderungen mit einer Moduldatenbank abgeglichen. Ist bereits im Vorhinein ein EPM mit vergleichbaren Anforderungen geplant und in einer Moduldatenbank abgelegt worden, kann dieses entsprechend für die physikalische Ausgestaltung in eine MLE wiederverwendet werden. Die Moduldatenbank erfüllt dabei die Funktion der Informationsaufbewahrung sowie der Beschleunigung von Planungsprozessen. Projekte zur Gestaltung von MLEs sind somit nicht mehr projektspezifisch zu betrachten, sondern können für unterschiedliche Anwendungsfälle verwendet werden. Somit kann die Zeit bis zur Inbetriebnahme einer MLE verkürzt werden. Ebenfalls besteht die Möglichkeit, dass Hersteller von MLEs ihre Produkte über die Moduldatenbank anbieten können. Zu diesem Zweck sollte die Moduldatenbank bestenfalls global zugänglich sein, wobei Fragestellungen der Knowhow-Sicherung auf Hersteller- und Betreiberseite beantwortet werden müssen.

4.2 NEUPLANUNG EPM & AUSWAHL VON LÖSUNGSKONZEPTEN

Kann kein EPM mit übereinstimmenden Anforderungen in der Moduldatenbank gefunden werden, wird ein Neuplanungsprozess angestoßen. Hierbei wird sich im Gestaltungsprozess an der VDI 2221 orientiert, wonach zunächst die abzubildenden Funktionen und deren Strukturen ermittelt werden. Aus diesem Grund erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Funktionen und internen Prozessschritte der zu gestaltenden MLE, die für die Verrichtung der Aufgabe der MLE gemäß den Anforderungen benötigt werden. Die Beschreibung kann mithilfe einer einfachen Auflistung, bei komplexeren Aufgaben auch mit Funktionsbäumen erfolgen. Sie dient als Grundlage für die physikalische Ausgestaltung der MLE. [VDIa19, VDIb19]

Als Nächstes erfolgt die Suche nach Lösungsprinzipien für die ermittelten Anforderungen an eine MLE und deren Strukturen. Dabei werden für die wesentlichen Funktionen einer MLE Gestaltungslösungen ermittelt, die kontinuierlich mit den beschriebenen Anforderungen abgeglichen werden. Eine Möglichkeit der flexiblen Gestaltung einer MLE stellt die Verwendung von MLKs dar, mit denen sich Planungsanforderungen an eine MLE auf Basis volatiler Systemanforderungen detaillierter umsetzen lassen. Je nach Anwendungsfall kann die Gestaltung von

Komponenten einer MLE als MLK Sinn ergeben, sodass in diesem Prozessschritt Anforderungen an MLKs formuliert und dokumentiert werden. Vergleichbar zum beschriebenen Vorgehen auf der Prozessebene werden die dokumentierten Anforderungen ebenso auf der Komponentenebene mit einer Moduldatenbank abgeglichen (vgl. Abbildung 4). Sollten bereits vergleichbare MLKs physikalisch ausgestaltet und mit den entsprechenden Planungsdokumenten (KPM) in einer Moduldatenbank dokumentiert worden sein, können diese für den Gestaltungsprozess einer MLE wiederverwendet werden.

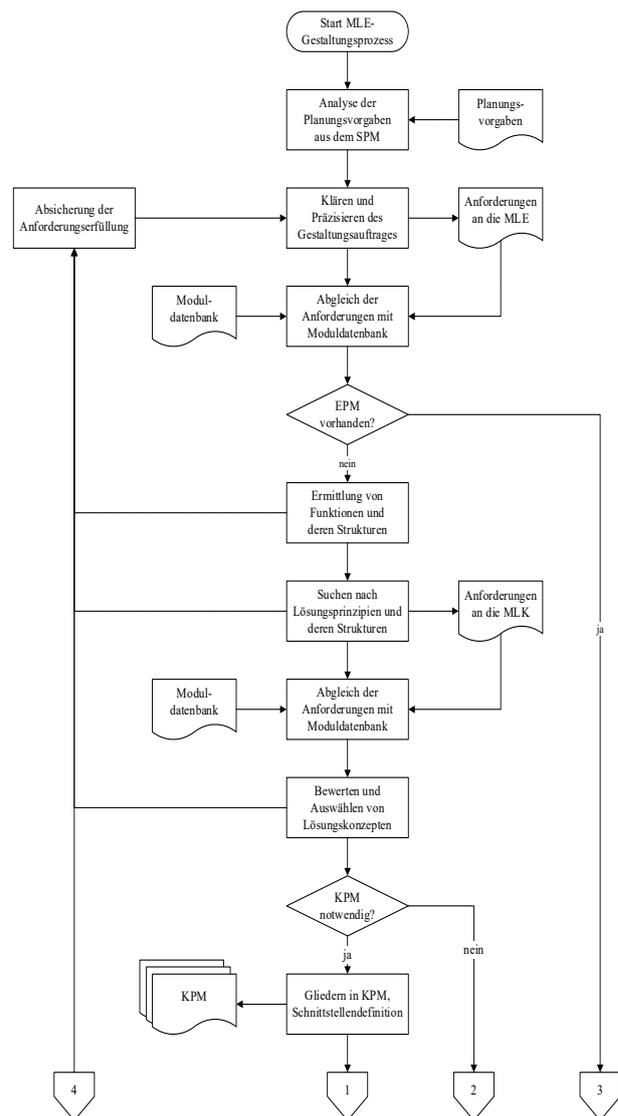


Abbildung 5: Flussdiagramm Gestaltungsvorgehen (1)

Als Lösungsprinzip im Kontext volatiler Systemanforderungen ist die wandlungsfähige Gestaltung von Produkten und Systemen dargestellt worden. Hierfür sind in Kapitel 3 Wandlungsbefähiger auf den Betrachtungsraum bezogen und die daraus resultierenden Flexibilitätsanforderungen erläutert worden. Nachfolgend werden unterschiedliche Lösungsprinzipien vorgestellt, die sich in ihrer Strukturierung an den Wandlungsbefähigern orientieren.

Für die Anforderung der Mobilität einer MLE, mit welcher die modulare Gestaltung des Bauraums einhergeht, ergeben sich unterschiedliche Lösungsprinzipien. Ist bspw. der Transport einer MLE an einen anderen Standort mittels eines LKWs vorgesehen, so bietet es sich an, die MLE in einem einfach zu transportierenden Rahmen physikalisch auszugestalten und auch einen möglichen Transportprozess bei der internen Gestaltung zu berücksichtigen. Je nach Größe oder geforderter Aufbau-, Abbau- und Umrüstzeit ist es sinnvoll, eine MLE in einem ISO-Containerrahmen zu gestalten, was wiederum Einfluss auf den zur Verfügung stehenden Bauraum hat. Ist hingegen ein Transport innerhalb einer Halle zu einer anderen Linie gefordert, kann bspw. ein auf Rollen verschiebbarer physikalischer Rahmen für die MLE umsetzbar sein. Falls eine Backbone-Infrastruktur für die zu gestaltende MLE vorhanden ist, muss der mögliche Anschluss an diese Infrastruktur (Abwasser, Strom, Druckluft etc.) berücksichtigt werden. Ansonsten wird die im SPM geplante Infrastruktur für das Gesamtsystem verwendet.

Eine weitere Anforderung ist das Zusammenspiel der zu gestaltenden MLE mit benachbarten MLEs, was als Planungsvorgabe aus dem SPM berücksichtigt werden muss. Hierbei müssen die Ein- und Ausgänge der MLE zu den benachbarten MLEs und/oder zum Transportsystem betrachtet werden. Des Weiteren müssen für die Gestaltung der Übergabepunkte Anforderungen aus dem SPM beachtet werden, welche Objekte und Objekteigenschaften (Gewicht, Abmessungen) wo und wie übergeben werden. Ist ein Transport zwischen den MLEs ausschließlich auf standardisierten Rollenbahnen vorgesehen, müssen die Übergabepunkte dementsprechend ausgelegt werden. Sollen jedoch unterschiedliche Transportmittel (Hubwagen, FTS etc.) an der MLE verwendet werden, kann ein flexibel unterfahrbarer Übergabepunkt sinnvoll sein.

Für das Zielbild einer Skalierbarkeit ist bei der Suche nach Lösungsprinzipien ein Zielkonflikt auszumachen. Der Durchsatz einer MLE soll sich möglichst flexibel anpassen lassen, die MLE jedoch auch wirtschaftlich betrieben werden können. Ein hoher Durchsatz lässt sich bspw. durch flächenmäßig große intralogistische Einheiten oder Komponenten erzielen, was sich wiederum auf den für den Gestaltungsprozess zur Verfügung stehenden Bauraum und somit auf die Mobilitätseigenschaften auswirken kann. Hierbei muss abgewogen werden, ob sich eine hohe Skalierbarkeit auch durch ein Numbering-up von mehreren identischen MLEs und Parallelschalten anhand von standardisierten externen Schnittstellen oder eine Anpassung durch Hinzuschalten interner MLKs über standardisierte interne Schnittstellen erzielen lässt. Die Flexibilisierung einer MLE kann hierbei durch den Austausch von MLKs erfolgen statt durch die entsprechende Dimensionierung einzelner fest verbauter Komponenten im Bauraum einer MLE. Dafür müssen jedoch vorher Anforderungen innerhalb des EPM für die Verwendung von MLKs definiert

werden. Ebenso muss die Kompatibilität der MLKs innerhalb der MLE gegeben sein. So können bspw. bei einer Sackabfüllung von Granulaten die verwendeten Abfüllstutzen als MLKs gestaltet werden, die abhängig vom benötigten Durchsatz konfiguriert werden können.

Dieses Lösungsprinzip der Gestaltung von MLKs lässt sich auch auf die Anforderung eines universellen Einsatzes durch eine Vielfältigkeit der möglichen Pack- und Fördermittel sowie der Produktspektren anwenden. Ein Abfüllstutzen kann z.B. für bestimmte Sack- oder Korngrößen bzw. Viskositäten von Flüssigkeiten ausgelegt sein, welcher dann bei einem möglichen Produktwechsel ausgetauscht werden kann. Jedoch kann es bei einer hohen Volatilität in den Systemanforderungen, wie bspw. durch einen notwendigen Produktwechsel von einer Flüssigkeit hin zu einem Granulat oder Pulver, technisch und wirtschaftlich sinnvoller sein, diesen Produktwechsel über unterschiedliche MLEs abzubilden. Deshalb muss in diesem Prozessschritt der Lösungsfindung genau abgewägt werden, ob die auszugestaltende MLE variabel mit unterschiedlichen Konfigurationsoptionen über eine MLK oder spezialisiert geplant werden soll. Diese Abwägung gilt nicht nur für den Fall eines Produktwechsels, sondern auch für die Anforderung einer Vielfältigkeit der einzusetzenden Pack- und Fördermittel, welche sich vergleichbar umsetzen lässt.

Darüber hinaus müssen besonders im Betrachtungsraum der chemischen Industrie rechtliche und sicherheitstechnische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Um ein MLS nach den rechtlichen und sicherheitstechnischen Vorschriften gestalten zu können, muss auch jede einzelne MLE in sich geschlossen nach diesen wie auch den individuellen, nur die jeweilige MLE betreffenden Vorschriften gestaltet sein. Daraus folgt eine schnellere Konfiguration eines MLS, da jede MLE seine individuellen Sicherheitsaspekte erfüllen muss. Speziell sind Brandschutzvorschriften für abfüllende Anlagen zu nennen, die durch gestalterische Lösungen wie raumabschließende Bauteile oder Löschanlagen erfüllt werden. Auch der Umgang mit Gefahrgütern und -stoffen bringt besondere Anforderungen mit sich wie die notwendige Gestaltung von Gefahrstoff-Auffangwannen im Bauraum einer MLE.

Die für die Gestaltung einer MLE möglichen Lösungsprinzipien werden im nächsten Schritt zu möglichen Lösungskonzepten zusammengefasst. Die resultierenden Lösungskonzepte werden anhand geeigneter Kriterien bewertet und entsprechend der Ergebnisse ausgewählt. Als mögliche Bewertungskriterien können die Wirtschaftlichkeit, die technische Realisierbarkeit oder der Erfüllungsgrad der Planungsanforderungen, bspw. durch Orientierung an den Wandlungsbefähigern, herangezogen werden. Der Bewertungsprozess kann dabei je nach Anwendungsfall durch verschiedene Methoden erfolgen, wie z.B. durch eine Nutzwertanalyse oder durch einen paarweisen Vergleich möglicher Alternativen.

Sollten für entsprechende Lösungsansätze jedoch MLKs gestaltet werden müssen, werden die Anforderungen an die jeweilige MLK zunächst wie bereits beschrieben mit einer Moduldatenbank abgeglichen. Falls bislang keine passende MLK gestaltet worden ist, wird ein Gestaltungsprozess für eine MLK angestoßen, welcher u.a. durch ein KPM abgebildet wird. Nach der Gestaltung der notwendigen MLK kann abschließend das entsprechende Auswahlergebnis aus der Bewertung möglicher Lösungskonzepte festgelegt und in einem Entwurf eines EPM dokumentiert werden.

4.3 BEWERTUNG & DOKUMENTATION DES PLANUNGSERGEBNISSES SOWIE PHYSIKALISCHE AUSGESTALTUNG

Mit dem Entwurf eines EPM wird ein Lastenheft erstellt, das alle Informationen für die physikalische Ausgestaltung einer MLE enthält und an einen Hersteller übergeben werden kann. Das ausgewählte Lösungskonzept wird in diesem detailliert beschrieben und durch Zeichnungen oder je nach Anwendungsfall durch 3D-Modelle unterstützt. Die sich aus den Lösungsprinzipien ergebenden Anforderungen werden aufgelistet. Dies betrifft etwaige Bauraum Einschränkungen ebenso wie Ortsangaben für elektrische Anschlüsse oder die Höhe von Übergabepunkten.

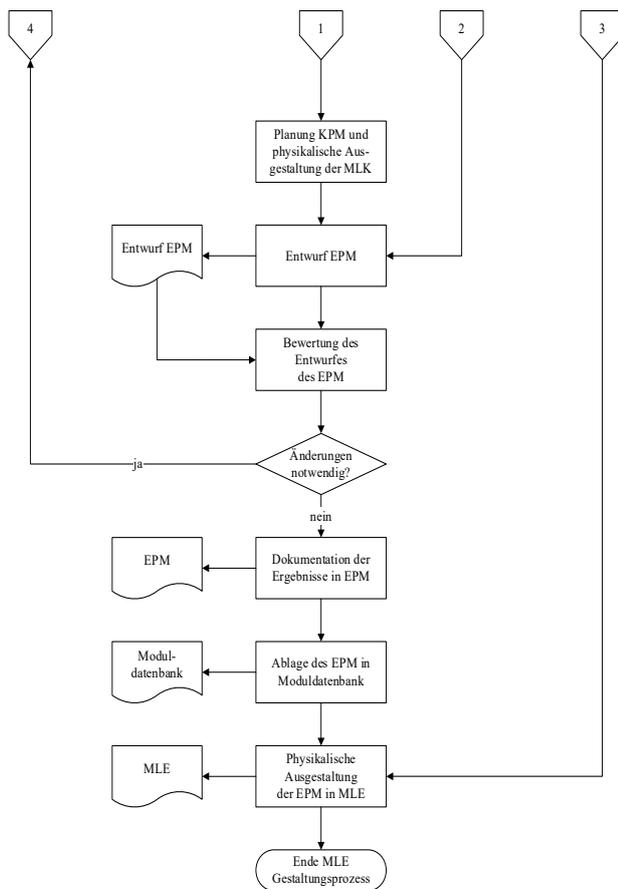


Abbildung 6: Flussdiagramm Gestaltungsvorgehen (2)

Auf Basis des Entwurfsdokument erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen. Falls Änderungen notwendig sind, muss ein erneuter Durchlauf des Gestaltungsprozesses durchgeführt werden. Hierdurch wird gewährleistet, dass jede MLE den Planungsvorgaben des SPM entspricht und somit kompatibel zu anderen MLEs des MLS und zu den Aufgaben des MLS ist. Sind für einen Gesamtentwurf keine Änderungen notwendig, erfolgt eine Dokumentation der Ergebnisse im EPM. Dieses kann danach in eine Moduldatenbank abgelegt und bei Bedarf wiederverwendet werden. Abschließend kann das Lastenheft an Hersteller verschickt werden, welche die physikalische Ausgestaltung der MLE übernehmen.

5 ANWENDUNGSBEISPIELE

Auf Grundlage des erläuterten Vorgehens zur Gestaltung flexibler intralogistischer Einheiten im abgegrenzten Betrachtungsraum werden im Folgenden Anwendungsbeispiele für die Gestaltung flexibler MLEs vorgestellt. Dabei wird der Fokus auf einer wandlungsfähigen Gestaltung der MLEs gelegt. Dies ist jedoch in der Praxis nicht in allen Anwendungsfällen notwendig und sinnvoll, da bspw. für eine Abfüll- und Verpackungslinie an einem festen Standort mit dem primären Ziel einer universellen Einsetzbarkeit kein Bedarf für eine mobile Gestaltung einer MLE bestehen kann. In den Anwendungsbeispielen wird der Abfüllprozess im Rahmen der Primärverpackung betrachtet. Die Ergebnisse sind im Rahmen des Forschungsprojekts „TransProMinC“ und in betreuten Abschlussarbeiten entstanden [BET20, PFF+20]. Bei der Vorstellung wird sich an der Struktur aus dem vorhergehenden Kapitel orientiert.

5.1 ANALYSE DER PLANUNGSVORGABEN & PRÄZISIEREN DES GESTALTUNGS-AUFTRAGS

Die Ausgangsbasis für den Gestaltungsprozess flexibler intralogistischer Einheiten stellen wie beschrieben Systemanforderungen dar, welche innerhalb eines SPM in Planungsvorgaben für die Gestaltung einzelner MLEs übersetzt werden. Im Anwendungsbeispiel liegt der Fokus auf dem Einsatz des intralogistischen Systems unter volatilen Systemanforderungen, bspw. durch Schwankungen in den Nachfragemengen, Produkt- und Verpackungsarten, Nachfragerregionen etc. Vor diesem Hintergrund ergeben sich Planungsvorgaben an die zu gestaltenden MLEs für den Abfüllprozess. Dieser soll sowohl für flüssige Produkte, als auch für Pulver und Granulate von ein oder mehreren MLEs abbildbar sein. Des Weiteren soll die Abfüllung in Klein- und Großbinde möglich sein, die auf unterschiedlichen Ladehilfsmitteln dem Abfüllprozess zuführbar sein sollen. Ebenso sollen die Durchsätze im Abfüllprozess flexibel anpassbar und ein mobiler Einsatz an unterschiedlichen Standorten möglich sein. Ferner soll ein vollautomatischer Betrieb der MLEs möglich sein. Schließlich bleibt festzuhalten, dass in diesen Anwendungsbeispielen der Fo-

kus auf dem Abfüllprozess und nicht auf benachbarten Prozessschritten liegt, wie z.B. zur Bereitstellung der Produkte, Pack- und Ladehilfsmittel etc.

Aus den Planungsvorgaben an die Gestaltung von ein oder mehreren MLEs lässt sich der Gestaltungsauftrag präzisieren. Zusammenfassend ergibt sich die Anforderung an eine wandlungsfähige Gestaltung der intralogistischen Einheiten für den Abfüllprozess. Dieser soll in mobilen, modularen Einheiten durchführbar sein, die sich flexibel in eine Standortinfrastruktur integrieren lassen. Des Weiteren sollen Feststoffe, d.h. Pulver und Granulate unterschiedlichster Korngrößen, und Flüssigkeiten mit verschiedensten Viskositäten abgefüllt werden können, woraus sich Anforderungen an die eingesetzten Abfüllstutzen ergeben. Ferner soll der Durchsatz der zu gestaltenden Abfülleinheiten erweiterbar sein. Daraus folgt die Anforderung einer modularen Gestaltung von Abfüllkomponenten, die anhand standardisierter interner Schnittstellen austauschbar, untereinander kompatibel und im zur Verfügung stehenden Bauraum per Parallelschaltung erweiterbar sein müssen.

Zudem soll die Abfüllung in Klein- und Großgebinde erfolgen, d.h. die Granulate sollen sowohl in Säcke mit verschiedenen Größen, als auch in Big Bags, Oktabins etc. abgefüllt werden können. Äquivalent dazu sollen Flüssigkeiten in Kanister wie auch in Fässer und IBCs abgefüllt werden können. Die Abfüllung in Kleinstgebinde, wie z.B. Beutel oder Flaschen wird für diesen Anwendungsfall nicht betrachtet. Abschließend müssen die jeweiligen rechtlichen und sicherheitstechnischen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden, da die Abfüllung von Gefahrstoffen mit den zu gestaltenden MLEs möglich sein muss. Aus diesen Anforderungen ergibt sich die erste technische Restriktion, dass eine gleichzeitige Abfüllung von Feststoffen und Flüssigkeiten nicht realisierbar ist. Daher muss eine MLE sowohl für die flexible Abfüllung von Pulvern und Granulaten sowie für Flüssigkeiten gestaltet werden. Weiterhin ergibt sich aus einer Marktrecherche, dass bislang keine Lösungen für die beschriebenen Anforderungen von Herstellern angeboten werden. Demnach wird nachfolgend eine Neuplanung zweier EPMs auf Basis der erläuterten Anforderungen durchführt auf deren Basis anschließend eine physikalische Ausgestaltung erfolgen kann.

5.2 NEUPLANUNG EPM & AUSWAHL VON LÖSUNGSKONZEPTEN

Beginnend mit der Neuplanung eines EPM für eine Abfülleinheit für Pulver und Granulate werden zunächst die Funktionen der auszugestaltenden MLE und deren Strukturen ermittelt. Zusammenfassend soll die MLE Pulver und Granulate mit unterschiedlichen Korngrößen abfüllen können. Hierfür müssen die notwendigen Gebindetypen dem Abfüllprozess zugeführt, falls möglich und notwendig das entsprechende Gebinde verschlossen und zum nächsten Prozessschritt weitergeführt werden können.

Daraus ergeben sich folgende interne Schritte des Abfüllprozesses einer MLE:

1. Gebinde vereinzeln und aufstecken
2. Füllstoff abfüllen
3. Gebinde verschließen
4. Gebinde fördern

Auf dieser Basis werden nachfolgend mögliche Lösungsprinzipien für die Gestaltung der MLE vorgestellt. Für die Mobilitätsanforderung wird der äußere Rahmen eines ISO 20 Fuß-Containers gewählt (vgl. Abbildung 7), dessen Eigenschaften einen Transport und eine flexible Integration in das Standortlayout ermöglichen, jedoch den für die Gestaltung zur Verfügung stehenden internen Bauraum beschränken. Eine flexible Integration der MLE in ein Standortlayout wird sichergestellt, indem leere Gebinde im Flussprinzip von der einen Längsseite übergeben und befüllte Gebinde von der anderen Seite übernommen werden können. Durch die Gestaltung einer Flügeltür besteht ausreichend Platz für die Gebindeübergabe, an welcher ebenso ein Schaltschrank und Bedienelement befestigt werden kann. Im geschlossenen Betriebszustand kann die MLE so sicher von außen bedient und der Abfüllprozess über Sichtfenster überwacht werden. Ferner wird das Füllgut vom Containerdach über extra zu montierende Silos eingeführt.



Abbildung 7: Abfülleinheit Feststoffe - Bauraum [BET20]

Aus der Anforderung des universellen Einsatzes für Klein- und Großgebinde sowie für Feststoffe mit unterschiedlichen Korngrößen ergibt sich die technische Restriktion, dass der Abfüllprozess für diesen Einsatzbereich lediglich mit verschiedenen Komponenten realisierbar ist. Für die ermittelten internen Prozessschritte sind jeweils unterschiedliche technische Komponenten notwendig für die Abfüllung in Klein- oder Großgebinde. Daher wird die MLE so gestaltet, dass sie durch Austausch der notwendigen technischen Komponenten für die Abfüllung in Klein- und Großgebinde konfiguriert werden kann. Die benötigten technischen Komponenten werden somit als MLKs gestal-

tet, sodass sie anhand interner standardisierter Schnittstellen austauschbar sind und so die Anforderungen einer kompatiblen und universellen Einsetzbarkeit erfüllen. Die unterschiedlichen technischen Komponenten sind jeweils am Markt verfügbar, müssen jedoch gesondert für den Einsatz im vorgestellten Lösungsprinzip konfiguriert werden. Nachfolgend werden zwei Lösungskonzepte für die Abfüllung in Kleingebinde und anschließend für die Abfüllung in Großgebilde im Rahmen der Gestaltung einer flexiblen Abfülleinheit erläutert.

Für das Lösungskonzept zur Abfüllung in Kleingebinde (vgl. Abbildung 8) werden Säcke in den Größen 5-50 kg als einsetzbare Packmittel betrachtet, da dieser Füllgewichtsbereich mit einer automatischen Befüllung realisierbar ist. Zur Vereinzelnung und zum Aufstecken des Gebindes wird ein Aufsteckmodul für Säcke benötigt, welches die Funktionen Separieren und Aufstecken erfüllen muss. Diese Komponente kann im Rüstzustand mit einem Sackmagazin befüllt werden. Für die Prozessschritte des Abfüllens und des Verschließens wird ein Füllmodul verwendet, welches als MLK gestaltet und die Funktionen des Abfüllens, Verschließens sowie des Verwiegens erfüllt. Diese MLK lässt sich je nach Produktanforderungen, bspw. aufgrund unterschiedlicher Korngrößen, austauschen und mit dem notwendigen Abfüllsystem ausrüsten. Ebenso ist es innerhalb des verfügbaren Bauraums möglich, bis zu vier identische Abfüllmodule zu konstruieren, um somit der Anforderung der Skalierbarkeit gerecht werden zu können. Zusätzlich wird ein mobiles Förderband ausgewählt, welches sich zwecks leichter Zugänglichkeit für Reinigungs- und Instandhaltungsvorgänge ausbauen lässt.



Abbildung 8: Abfülleinheit Feststoffe - Kleingebinde [BET20]

Im Lösungskonzept für die Abfüllung in Großgebilde (vgl. Abbildung 9) werden die Gebindetypen Big Bag, Oktabin und IBC betrachtet, womit die typischen Gebindetypen innerhalb des Betrachtungsraums im EPM berücksichtigt werden. Die beschriebenen MLKs der Kleingebindeabfüllung lassen sich für die Implementierung des Abfüllkonzepts in Großgebilde vollständig austauschen. Für den ersten Prozessschritt wird ein Aufsteckmodul für Big Bags benötigt, welches im Rüstvorgang mit einem Big Bag Coil

befüllt werden kann. Für die Abfüllung in Oktabins oder IBCs ist eine ausreichend große Fläche für die Gebindehandhabung erforderlich, da diese bspw. mit einem Hubwagen oder FTF zugeführt werden müssen. Dementsprechend bleibt im vorhandenen Bauraum der MLE nur ausreichend Platz für ein als MLK gestaltetes Abfüllmodul, welches eine automatische Abfüllung ermöglicht. Der Verschluss von Big Bags kann innerhalb der MLE durchgeführt werden, jedoch müssen für den Verschlussprozess von IBCs oder Oktabins separate MLEs gestaltet werden, die im Rahmen dieses Lösungskonzepts betrachtet werden. Der Förderprozess findet über ein mobiles Förderband oder eine separate Unstetigfördertechnik statt.



Abbildung 9: Abfülleinheit Feststoffe - Großgebilde [BET20]

Die vorgestellten Lösungskonzepte für die Ausgestaltung einer flexiblen MLE zur Abfüllung in Klein- und Großgebilde lassen sich weiterhin durch andere Lösungsprinzipien anpassen. Der Abfüllprozess erfolgt in diesem Lösungsansatz vollautomatisch, lässt sich jedoch auch für einen halbautomatischen Betrieb planen, um somit Investitionskosten potenziell einsparen zu können. Für einen manuellen Betrieb kann es sinnvoll sein, den Bauraum so zu gestalten, dass sich die Frontseite vollständig öffnen lässt. Ebenso werden die Prozesse der Kleinstgebildeabfüllung in Beutel und des Verschließens der übrigen Großgebilde in diesem Konzept nicht betrachtet.

Im Folgenden wird die Neuplanung eines EPM für eine Abfülleinheit für Flüssigkeiten beschrieben. Mit der auszugestaltenden MLE sollen Flüssigkeiten mit unterschiedlichsten Viskositäten in typische Klein- und Großgebilde der Prozessindustrie, wie Kanister, Fässer oder IBCs, abgefüllt werden können. Zur Durchführung dieser Funktion müssen die entsprechenden Gebinde der Abfülleinheit zugeführt und auf die passende Abfüllposition platziert werden. Anschließend kann der Abfüllprozess stattfinden, wonach die befüllten Gebinde aus der MLE ausgeführt werden müssen. Der Verschlussprozess muss vergleichbar zu den Großgebilden der Feststoffabfüllung in separaten MLEs gestaltet werden und wird in diesem Rahmen nicht betrachtet. Aus dieser Beschreibung ergeben sich folgende interne Schritte des Abfüllprozesses einer MLE:

1. Gebinde zuführen & platzieren

2. Füllstoff abfüllen
3. Gebinde fördern

Vergleichbar zur vorhergehenden Vorstellung wird nachfolgend ein mögliches Lösungskonzept für die Gestaltung der MLE beschrieben. Für den äußeren Rahmen wird ein ISO 20 Fuß-Container gewählt (vgl. Abbildung 10). Dieser lässt sich an den Längsseiten öffnen und über Rolltore schließen, wodurch Brandschutzvorschriften eingehalten werden. Der vollautomatische Abfüllprozess lässt sich durch ein Bedienfeld an der Containerseite steuern und über ein daneben liegendes Sichtfenster überwachen.



Abbildung 10: Abfülleinheit Flüssigkeiten - Bauraum

Das Füllgut wird über Rohrleitungen an einer Containerseite dem Abfüllprozess zugeführt. Zur Gewährleistung von Sicherheitsrichtlinien im Umgang mit Gefahrstoffen wird auf dem Containerboden eine Gefahrstoff-Auffangwanne benötigt. Auf der Auffangwanne wird ein Gliederförderband platziert (vgl. Abbildung 11), welches die Förderung einer Vielzahl unterschiedlicher Pack- und Fördermittel verspricht. Im Unterschied zur Abfüllung von Granulaten müssen bei der Abfüllung von Flüssigkeiten Leergebinde u.U. auf Paletten durch die MLE geführt werden. Der Unterschied zwischen den Höhen der Containeröffnung und des Gliederförderbands stellt eine Restriktion für die Durchführung des Leergebindes zur Abfüllung dar. Das Gliederförderband ist modular gestaltet und lässt sich für einen Transportvorgang an den Ein- und Ausgängen demontieren sowie im Container fixieren. Die Ein- und Ausgänge des Containers über das Förderband stellen Schnittstellen zur Standortfördertechnik über Stetig- und Unstetigfördertechnik dar. Durch die Konstruktion von Führungsschienen lässt sich das entsprechende Gebinde in die richtige Abfüllposition in der MLE ausrichten. Mit diesem Konzept ist es möglich, Flüssigkeiten in Klein- und Großgebilde, wie Kanister, Fässer oder IBCs abzufüllen. Die Abfüllung in Kleinstgebilde, z.B. in Flaschen, stellt darüber hinaus weitere Anforderungen an den Abfüllprozess, die in diesem Konzept nicht betrachtet worden sind.



Abbildung 11: Abfülleinheit Flüssigkeiten - Abfüllprozess

Für den eigentlichen Abfüllprozess werden bis zu vier modulare Komponentenrahmen geplant, welche den Platz für bis zu vier als MLK gestaltete Abfüllstutzen sowie für den Abfüllprozess notwendige Pumpen bieten (vgl. Abbildung 12). Durch deren modulare, kompatible Gestaltung ist es möglich, je nach Bedarf modulintern Durchsätze anzupassen. Ebenso lassen sich durch Austausch der Abfüllstutzen unterschiedliche Abfüllarten für Flüssigkeiten mit verschiedenen Viskositäten und für unterschiedliche Gebindetypen realisieren. Zusätzlich wird der notwendige Platz im Bauraum für Verrohrungen berücksichtigt.

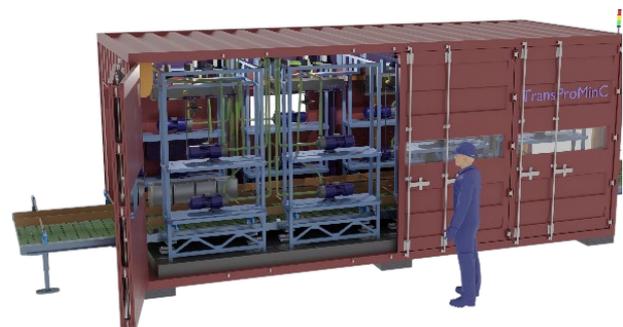


Abbildung 12: Abfülleinheit Flüssigkeiten - Komponenten

5.3 BEWERTUNG & DOKUMENTATION DES PLANUNGSERGEBNISSES SOWIE PHYSIKALISCHE AUSGESTALTUNG

Die vorgestellten Lösungskonzepte werden anschließend in Lastenheften dokumentiert. Zudem unterstützen die dargestellten 3D-Modelle die Übersicht über mögliche Lösungsprinzipien, sind jedoch als optional zu betrachten. Weiterhin müssen die Planungsergebnisse bewertet und auf mögliche notwendige Änderungen überprüft werden. Abschließend können die Ergebnisse in EPMs dokumentiert und in Moduldatenbanken für eine mögliche spätere Wiederverwendung abgelegt werden. Diese Schritte stellen die Ausgangsbasis für die mögliche physikalische Ausgestaltung der Lösungskonzepte dar, was den Schlusspunkt des Gestaltungsprozesses bildet.

Des Weiteren sind in diesem Forschungsprojekt orientierend an den vorgestellten Anwendungsbeispielen weitere MLEs konzeptionell gestaltet worden. Diese beschreiben konstruktive Ansätze zur Flexibilisierung der Prozesse der Etikettierung von Klein- und Großgebinden sowie von Paletten, der Palettierung, der Ladungssicherung durch Stretchen und Umreifen sowie des Transports und der Lagerung von Pack- und Fördermitteln für den Einsatz im Betrachtungsraum.

6 FAZIT UND AUSBLICK

Um die Vorteile modularer Produktionsanlagen in der chemischen Industrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette ausnutzen zu können, werden flexible Lösungen für intralogistische Systeme benötigt. Bisher sind dafür lediglich Teilbereiche intralogistischer Systeme in der Forschung fokussiert worden. Für den gesamten Betrachtungsraum ist in diesem Beitrag ein Gestaltungsvorgehen für flexible intralogistische Einheiten vorgestellt worden, welches Betreiber und Hersteller dabei unterstützt, ihre intralogistischen Systeme gemäß den Systemanforderungen gestalten zu können. Durch die Gesamtbetrachtung aller intralogistischen Prozesse und die Anwendung des auf der Modularisierung aufsetzenden Vorgehens können Planungs- und Gestaltungsprozesse durch die Verwendung von Moduldatenbanken beschleunigt werden. Speziell vor dem Hintergrund volatiler Systemanforderungen können intralogistische Einheiten durch die Orientierung an den im Vorgehen vorgestellten Lösungsprinzipien und den abgegrenzten Wandlungsbefähigern flexibel gestaltet werden.

Jedoch handelt es sich bei dem Gestaltungsprozess einer MLE auf Basis von Planungsmodulen nur um ein Grobkonzept, welches je nach Anwendungsfall spezifiziert werden kann. Für eine begründete Auswahl von Lösungskonzepten werden allgemeine Bewertungsverfahren benötigt, um die Zielkonflikte zwischen verschiedenen Lösungsalternativen, z.B. Mobilität vs. restriktionsfreier Bauraum, universeller vs. wirtschaftlicher Einsatz etc., standardisiert lösen zu können. Um den gesamten Planungsprozess für intralogistische Systeme im Betrachtungsraum abbilden zu können, muss im nächsten Schritt eine detaillierte Beschreibung der Aufgaben eines SPM und eines KPM erfolgen. Durch eine übergreifende flexible Gestaltung eines intralogistischen Systems, kann auch die Wandlungsfähigkeit des Gesamtsystems durch Kombination der einzeln gestalteten MLE bewertet werden. Die dabei auftretenden Herausforderungen von Genehmigungsverfahren und einer Vereinheitlichung von Schnittstellen, insbesondere der Automatisierung einzelner Komponenten, Einheiten und des Gesamtsystems, müssen nachfolgend Gegenstand detaillierter Betrachtungen sein.

7 FÖRDERHINWEIS

Die Autoren danken für die finanzielle Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und die Projektbetreuung durch den DLR-Projektträger Bonn für Umwelt und Nachhaltigkeit für das Projekt "TransProMinC" mit dem Förderkennzeichen "01LN1712". Für den Inhalt dieser Veröffentlichung sind die Autoren verantwortlich.

LITERATUR

- [BET20] Betz, Pascal: Konzeptionelle Entwicklung einer modularen Abfüll- und Verpackungseinheit für Pulver und Granulate für die Prozessindustrie. Masterarbeit. Technische Universität Dortmund. Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen. 2020.
- [BUC10] Buchholz, Sigurd: Future manufacturing approaches in the chemical and pharmaceutical industry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 49 (2010), 10, S. 993–995.
- [DEK10] Denkena, Berend; Eikötter, Mark; Kröning, Stefan: Wandlungsfähige Produktionssysteme mit Hilfe von Prozessketten-simulation. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105 (2010), 1-2, S. 47–51.
- [F3F13] F3-Factory: F3-Factory Report, <https://cordis.europa.eu/project/id/228867/reporting/de>; Zugriff am 24.06.2021.
- [FBL+17] Förster, Andreas; Bieringer, Thomas; Lier, Stefan; Bramsiepe, Christian; Brand, Stefan; Schwede, Christian: Modulare Anlagen: Flexible chemische Produktion durch Modularisierung und Standardisierung – Status quo und zukünftige Trends 2017.
- [FPF+19] Finkbeiner, Marco; Pannok, Maik; Fasel, Henrik; Lier, Stefan; Riese, Julia: Transformable decentral production for local economies with bio-based resources. *Chemie Ingenieur Technik* 92 (2020), 12, S. 2041–2045.
- [GAU09] Gaubinger, Kurt: Marketingmanagement – Aufgaben entlang des Produktlebenszyklus. In: Gaubinger, K.; Werani, T.; Rabl, M. (Hrsg.): *Praxisorientiertes Innovations- und Produktmanagement*. Gabler, Wiesbaden 2009, S. 303–316.
- [GLR+16] Große-Puppendahl, Daniel; Lier, Stefan; Roidl, Moritz; ten Hompel, Michael: Cyber-physische Logistikmodule als Schlüssel zu einer flexiblen und wandlungsfähigen Produktion in der Prozessindustrie 2016.
- [GWH06] Günthner, Willibald A.; Wilke, Michael; Heinecker, Markus: *Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen: Abschlussbericht*, München, 2006, <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1188013/document.pdf>; Zugriff am 27.06.2021.
- [HEE17] Hees, Andreas Fabian: *System zur Produktionsplanung für rekonfigurierbare Produktionssysteme*. Herbert Utz Verlag, München 2017.
- [HKD16] Hachmann, Andreas; Kessler, Stefan; de la Torre, Gustavo: *Modulare Logistiksysteme in der Prozessindustrie unter Einbeziehung von Industrie 4.0* 2016.
- [HOL16] Holm, T.: *Aufwandsbewertung im Engineering modularer Prozessanlagen*. Dissertation, Hamburg 2016.
- [KB15] Kessler, Stephan; Brüll, Ludger: Neue Produktionskonzepte für die Prozessindustrie erfordern modularisierte Logistiklösungen. *Chemie Ingenieur Technik* 87 (2015), 9, S. 1240–1245.
- [KML+15] Kaczmarek, Sascha; Mosblech, Christian; Lier, Stefan; ten Hompel, Michael: Modularisierung und automatische Anordnungsplanung der Intralogistik für modulare Containeranlagen in der Prozessindustrie. *Chemie Ingenieur Technik* 87 (2015), 9, S. 1246–1257.
- [KMN12] Klemke, Tim; Mersmann, Tobias; Nyhuis, Peter: Wandlungsfähige Produktionssysteme: Methodik zur Bewertung und Gestaltung der Wandlungsfähigkeit. *wt Werkstattstechnik online* 102 (2012), 4, S. 222–227.
- [LFH+18] Ladiges, Jan; Fay, Alexander; Holm, Thomas; Hempen, Ulrich; Urbas, Leon; Obst, Michael; Albers, Thomas: Integration of Modular Process Units Into Process Control Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications* 54 (2018), 2, S. 1870–1880.
- [LIE13] Lier, Stefan: *Entwicklung einer Bewertungsmethode für die Modularisierung von Produktionssystemen in der Chemieindustrie*. Shaker, Aachen 2013.
- [LÖB13] Löb, Patrick: *CoPIRIDE Final Report 2013*, www.copiride.eu.

- [LRL+17] Lieberoth-Leden, Christian; Röschinger, Marcus; Lechner, Johannes; Günthner, Willibald A.: Logistik 4.0. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Hanser, München 2017, S. 451–512.
- [LWG15] Lier, Stefan; Wörsdörfer, Dominik; Grünewald, Marcus: Wandlungsfähige Produktionskonzepte: Flexibel, Mobil, Dezentral, Modular, Beschleunigt. Chemie Ingenieur Technik 87 (2015), 9, S. 1147–1158.
- [MAY07] Mayer, Axel: Modularisierung der Logistik: Ein Gestaltungsmodell zum Management von Komplexität in der industriellen Logistik. Univ.-Verl. der TU, Univ.-Bibliothek, Berlin 2007.
- [NE20] NAMUR NE 171: Anwendung des modularen Anlagenkonzeptes in der produktionsnahen Logistik Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie.
- [NKL+03] Nofen, Dirk; Klußmann, Jan. H.; Löllmann, Frederik; Wiendahl, Hans-Peter: Regelkreisbasierte Wandlungsprozesse. Wandlungsfähigkeit auf Basis modularer Fabrikstrukturen. In: Werkstatttechnik online 93 (4), S. 238–243. 2003.
- [NYH08] Nyhuis, Peter (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionssysteme: Heute die Industrie von morgen gestalten. Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; PZH Produktionstechnisches Zentrum, Hannover, Garbsen 2008.
- [OUY11] Ouyeder, Ouelid: ModuLoSys - Modularisierung logistischer Systeme Entwicklung eines Leitfadens zur Modularisierung logistischer Systeme und Konzeption von Betreibermodellen für kleine und mittelständische Unternehmen. Universitätsbibliothek Technische Universität Berlin, Berlin 2011.
- [PFF+20] Pannok, Maik; Finkbeiner, Marco; Fasel, Henrik; Riese, Julia; Lier, Stefan: Transformable Decentral Production for Local Economies with Minimized Carbon Footprint. ChemBioEng Reviews 7 (2020), 6, S. 216–228.
- [RJL+18] Reitze, Arnulf; Jürgensmeyer, Nikolas; Lier, Stefan; Kohnke, Marco; Riese, Julia; Grünewald, Marcus: Auf dem Weg zur Smart Factory: modulare, intelligente Konzepte für die Produktion von Spezialchemikalien der Zukunft. Angewandte Chemie 130 (2018), 16, S. 4318–4324.
- [SAV+17] Spindler, Markus; Aicher, Thomas; Vogel-Heuser, Birgit; Fottner, Johannes: Erstellung von Steuerungssoftware für automatisierte Materialflusssysteme per Drag & Drop, München 2017.
- [SCH02] Schönsleben, Paul: Konzepte für die Prozessindustrie. In: Schönsleben, P. (Hrsg.): Integrales Logistikmanagement. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2002, S. 333–364.
- [SCH04] Schuh, Günther (Hrsg.): Entwicklung eines Geschäftskonzeptes für mobile Fabriken. Shaker, Aachen 2004.
- [SS11] Schatka, Anne; Spengler, Thomas S.: Strategische Netzwerkgestaltung in der Prozessindustrie: Eine Untersuchung am Beispiel der Produktion von synthetischen Biokraftstoffen. Gabler, Wiesbaden 2011.
- [SS20] Schäfer, Bernhard; Sauer, Jörg: Trends der chemischen Prozessindustrie. Chemie Ingenieur Technik 92 (2020), 3, S. 183–191.
- [SHA05] Shah, Nilay: Process industry supply chains: Advances and challenges. Computers & Chemical Engineering 29 (2005), 6, S. 1225–1235.
- [TRE16] Trenkle, Andreas: KARIS PRO – Autonomer Materialtransport für flexible Intralogistik: Abschlussbericht des BMBF-Verbundforschungsprojektes 2016, <http://karispro.de/Abschlussbericht%20KARIS%20PRO.pdf>; Zugriff am 27.06.2021.
- [VDIa19] VDI: Entwicklung technischer Produkte und Systeme. VDI 2221 Blatt 1. Beuth-Verlag, Berlin, <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2221-blatt-1-entwicklung-technischer-produkte-und-systeme-modell-der-produktentwicklung>; Zugriff am 27.06.2021.
- [VDIb19] VDI: Entwicklung technischer Produkte und Systeme. VDI 2221 Blatt 2. Beuth-Verlag, Berlin, <https://www.vdi.de/>

richtlinien/details/vdi-2221-blatt-2-entwicklung-technischer-produkte-und-systeme-gestaltung-individueller-produktentwicklungsprozesse; Zugriff am 27.06.2021.

- [VDI20] VDI: Verfahrenstechnische Anlagen - Modulare Anlagen. VDI 2776. 71.020. Beuth-Verlag, Berlin, <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2776-blatt-1-verfahrenstechnische-anlagen-modulare-anlagen-grundlagen-und-planung-modularer-anlagen-1>; Zugriff am 27.06.2021.
- [WH06] Wiendahl, Hans-Peter; Hernández, Roberto: The Transformable Factory – Strategies, Methods and Examples. In: Daschenko, A. I. (Hrsg.): Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2006, S. 383–393.
- [WIL88] Wildemann, Horst: Die modulare Fabrik: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung. gfmt, München 1988.
- [WIL98] Wildemann, Horst: Die modulare Fabrik: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung. TCW-Transfer-Centrum, München 1998.
- [WLG16] Wörsdörfer, Dominik; Lier, Stefan; Grünewald, Marcus: Characterization model for innovative plant designs in the process industry - an application to transformable plants. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification 100 (2016), S. 1–18.
- [WRN10] Wiendahl, Hans-Peter; Reichardt, Jürgen; Nyhuis, Peter: Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. Carl Hanser Fachbuchverlag, 2010.

Maik Pannok, M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fachhochschule Südwestfalen am Standort Meschede im Fachbereich Logistik und Supply Chain Management. Maik Pannok wurde 1990 in Bochum geboren. Zwischen 2010 und 2016 studierte er Wirtschaftsingenieurwesen im Bachelor und Master an der Technischen Universität Dortmund.

Telefon: +49 291 9910 4246,
E-Mail: pannok.maik@fh-swf.de

Kai Gryczycha, M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fachhochschule Südwestfalen am Standort Meschede im Fachbereich Logistik und Supply Chain Management. Kai Gryczycha wurde 1991 in Soest geboren. Zwischen 2011 und 2016 studierte er Wirtschaftsingenieurwesen im Bachelor an der Universität Duisburg-Essen und zwischen 2016 und 2018 im Master an der Technischen Universität Dortmund.

Telefon: +49 291 9910 4247,
E-Mail: gryczycha.kai@fh-swf.de

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. habil. Stefan Lier, MSIE (USA), Professor für Logistik und Supply Chain Management an der Fachhochschule Südwestfalen am Standort Meschede. Stefan Lier wurde 1981 in Duisburg geboren. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Universität Dortmund und Industrial Engineering am Georgia Institute of Technology sowie promovierte und habilitierte an der Ruhr-Universität in Bochum.

Telefon: +49 291 9910 4211,
E-Mail: lier.stefan@fh-swf.de

Adresse: Fachhochschule Südwestfalen, Standort Meschede, Fachbereich Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften, Lindenstraße 53, 59872 Meschede