

# 1 Einleitung

Anbieter eines kundenindividuellen Materialflusssystemes einer Produktion garantieren mit der Abgabe ihres Angebots eine Mindestdurchsatzleistung (Overmeyer et al. 2008). Für den Fall, dass ein realisiertes Materialflusssystem nicht den zugesicherten Durchsatz erbringt, drohen finanzielle Risiken für den Anbieter, beispielsweise durch die Nachbesserung seines Systems. Ein Sicherheitsaufschlag, in Form einer Überdimensionierung und die damit verbundenen Mehrkosten, schränkt die Wettbewerbsfähigkeit allerdings ein. Somit sind die Anbieter bestrebt, bereits in der Angebotsphase ihre Planung bezüglich der zugesicherten Durchsatzleistung abzusichern (Ebert et al. 2015). Für die Bewertung der Durchsatzleistung bedarf es einer Analyse des geplanten Materialflusssystemes hinsichtlich möglicher Einflussgrößen und Auslegungsfehler (Schieweck et al. 2016). Als geeignet erweist sich hierzu die Wertstrommethode. Diese ermöglicht eine übersichtliche Darstellung aller zur Produkterstellung erforderlichen Produktionsprozesse mit den dazugehörigen Material- und Informationsflüssen (Erlach 2020). Die Wertstrommethode ist eine im industriellen Umfeld etablierte Methode zur Vermeidung von Verschwendung in der Produktion (Lugert und Winkler 2017). Bestehende gegenseitige Abhängigkeiten innerhalb realer Materialflusssysteme, wie stochastische Betriebsmittelausfälle oder parallellaufende Prozesse, lassen sich allerdings mit der statischen Wertstrommethode nicht ausreichend berücksichtigen (Börkircher und Gamber 2010). Diese stochastischen Einflüsse gehen zu Lasten der Durchsatzleistung eines Materialflusssystemes und erhöhen das Risiko, dass die zugesagte Durchsatzleistung nicht erreicht wird.

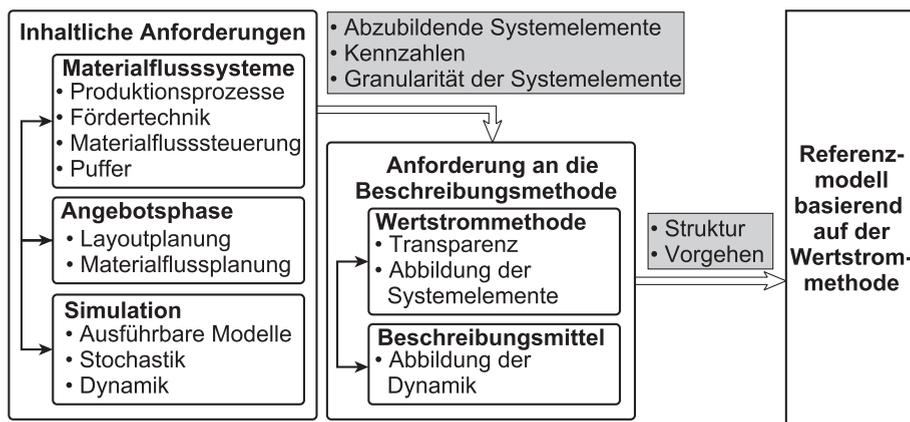
Die Analyse dynamischer Interdependenzen bedingt den Einsatz der ereignisdiskreten Simulation bereits zum Zeitpunkt der Angebotserstellung (Duve und Bernhard 2008). Diese ermöglicht, dynamische Systeme über die Zeit in ausführbaren Modellen zu betrachten (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014) und die geplante Durchsatzleistung zu bewerten (Arnold et al. 2008). Somit ist eine Verknüpfung der Wertstrommethode und ereignisdiskreten Simulation zur Wertstromsimulation von Vorteil (Abele et al. 2012a). Bisherige Ansätze fokussieren sich allerdings auf die Abbildung der Wertstrommethode, wobei das Materialflusssystem nur oberflächlich betrachtet wird (Türck et al. 2014). Die Abbildung der Materialflussteuerung erfolgt beispielsweise durch eine reine FIFO-Verkopplung. Die Materialflussteuerung eines realen Materialflusssystemes ist deutlich komplexer (Spieckermann et al. 2019). Zudem bedingen unterschiedliche innerbetriebliche Fördersysteme, beispielsweise ein Förderband oder ein Fahrerloses Transportsystem, eine Vielzahl an Alternativen, welche eine Wertstromsimulation nicht abbildet (Meudt et al. 2017). Für die Sicherung der Planungsqualität in der Angebotsphase mit Wertstromsimulation ist somit eine feinere Granularität der Eingangsdaten, Modelle sowie Ergebnisdaten erforderlich. Die Simulation, insbesondere die Modellbildung, ist allerdings zeit- und kostenintensiv und somit nur bedingt für die Angebotsphase geeignet (Friedland und Kühling 2000). Für die Auswahl der am besten geeigneten Ausführung

eines Materialflusssystem, in Abhängigkeit der Durchsatzleistung, bedarf es allerdings der Simulation der Varianten. Hierdurch lässt sich mittels Was-wäre-wenn-Szenarien die ideale Variante bestimmen und die im Angebot zu garantierende Durchsatzleistung absichern (Bader 2005). Für die Anwendung der ereignisdiskreten Simulation in der Angebotsphase wird somit eine effiziente Modellbildung gefordert. Der Modellierungsaufwand von Simulationsmodellen kann mittels Referenzmodellen reduziert werden (Mertins et al. 1996). Im Bereich der Simulation fungieren diese als Konstruktionsschema für den Entwurf von aufgabenbezogenen Simulationsmodellen (Friedland und Kühling 2000). Durch die Bindung von Expertenwissen für einen spezifischen Anwendungsbereich haben sich Referenzmodelle durch ihren reduzierten Modellierungsaufwand in der Vergangenheit mehrfach bewährt (vgl. Müller et al. 2019) und erscheinen für die Simulation in der Angebotsphase als geeignet.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Referenzmodells basierend auf der Wertstrommethode, das einen geringen Zeitbedarf zur Modellierung eines Simulationsmodells von Materialflusssystemen bedingt, über eine feine Granularität zur Abbildung verfügt und sich zur Anwendung in der Angebotsphase eignet. Als Teilziel sind hierzu die Vorteile der Wertstrommethode, der ereignisdiskreten Simulation und der Referenzmodelle miteinander zu verknüpfen. Dazu gehören die Transparenz der Wertstrommethode, die Dynamik der ereignisdiskreten Simulation und der reduzierte Modellierungsaufwand durch ein Referenzmodell. Die Wertstrommethode, als bewährte und weitverbreitete Methode im industriellen Umfeld der Produktion, bildet die Basis zur Beschreibung des Referenzmodells. Als Teilziel ist diese grafische Beschreibungsmethode um den Aspekt der Dynamik zu erweitern. Hierdurch sollen die erforderlichen Systemelemente der Materialflusssysteme hinreichend genau und implementierungsunabhängig beschrieben werden. Die Modellelemente des Referenzmodells sollen dabei, angelehnt an die Wertstrommethode in Form von Datenkästen mit zu definierenden Attributen abgebildet werden. Ein weiteres Teilziel ist eine effiziente Modellerstellung von Simulationsmodellen durch die Anwendung des Referenzmodells. Die definierten Modellelemente sollen zudem miteinander kombinierbar sein, sodass unterschiedliche Variationen von einem Materialflusssystem abgebildet werden können. Des Weiteren ist ein Teilziel dieser Arbeit, die Bewertung von Materialflusssystemen zu ermöglichen. Das Erreichen der dargestellten Forschungsziele ist mit Hinblick auf die Zusage der Durchsatzleistung von komplexen und kundenindividuellen Materialflusssystemen erforderlich, da dadurch experimentierbare Simulationsmodelle zur Absicherung der Durchsatzleistung in kürzester Zeit und kosteneffizient erstellt werden können.

Zur Erreichung der zuvor genannten Ziele bedarf es zunächst einer Analyse, welche Systemelemente für eine hinreichend genaue Abbildung der Materialflusssysteme erforderlich sind. Beispielsweise sind die einzelnen Systemelemente Produktionsprozesse, Fördertechnik, Puffer und Materialflussteuerung zu berücksichtigen. Es ist zu beachten, welche Informationen zum Zeitpunkt der Angebotsphase für die Auslegung von Materialflusssystemen zur Verfügung stehen. Hierbei sind die Pla-

nungsinhalte der Grobplanung betreffend der Layout- und Materialflussplanung zu analysieren. Des Weiteren bedarf es einer Analyse, welche Anforderungen bei der Erstellung eines Referenzmodells zu beachten sind. Hierzu ist zu erarbeiten, wie sich eine Modellierung von Simulationsmodellen gestaltet und wie ein Referenzmodell dabei genau unterstützt. Insbesondere steht hierbei im Fokus, wie die Beschreibung der Inhalte eines Referenzmodells erfolgt. Darüber hinaus sind die erforderlichen Daten zur Erstellung ablauffähiger Modelle und zur Berücksichtigung der Dynamik mittels der ereignisdiskreten Simulation zu beachten. Hinsichtlich der Dynamik ist zu erarbeiten, was im Einzelnen die Wertstrommethode unzureichend abbildet und um welche Aspekte sie erweitert werden muss. Für die Erweiterung der Wertstrommethode sind Anforderungen zu definieren, die ein ergänzendes, sogenanntes Beschreibungsmittel erfüllen muss. Eine entsprechende Auswahl, auf Basis der Anforderungsauswertung, ist zu treffen. Hiernach sind die Wertstrommethode und das als geeignet erachtete Beschreibungsmittel zu verknüpfen. Durch den Abgleich, welche Daten es für eine ereignisdiskrete Simulation bedarf und welche Informationsbasis zum Zeitpunkt der Angebotsphase von Materialflusssystemen gegeben ist, ergibt sich die erforderliche Granularität der Informationen für eine wertstrombasierte Simulation in der Angebotsphase. Hierdurch soll eine hinreichend genaue Ergebnisdarstellung für die Durchsatzleistung ermöglicht werden.



#### Legende:

□ Analyseinheit    ■ Analyseergebnisse    ⇨ Bearbeitungsfluss

Abbildung 1.1: Vorgehen bei der Entwicklung des Referenzmodells

Aufbauend auf der Wertstrommethode und dem ergänzenden Beschreibungsmittel ist das anwendungsspezifische Referenzmodell als Konstruktionsschema für Simulationsmodelle von Materialflusssystemen einer Produktion zu entwickeln. In Abhängigkeit der ermittelten Granularität sind Attribute zur Abbildung der einzelnen Modellelemente zu bestimmen. Für detailliertere Beschreibungen, wie beispielsweise Ablauflogiken bei der Materialflusssteuerung, erfolgt die Abbildung mit einem

ergänzenden Beschreibungsmittel. Hieraus ergibt sich ein modulares Konzept, bestehend aus einzelnen, an der Wertstrommethode angelehnten Modulen, welches die Abbildung einer diskreten Fertigung in Simulationssystemen ermöglicht. Hierbei müssen die unterschiedlichen Module sinnvoll miteinander kombinierbar sein, sodass der Anwender unterschiedliche Varianten eines Materialflusssystemes in der Angebotsphase modellieren kann. Diesbezüglich sind die Grundstrukturen eines Materialflusses, wie Zusammenführungen oder Verzweigungen, zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind die für einen Anlagenplaner erforderlichen Kennzahlen zu bestimmen, zum Beispiel die Betrachtung der Pufferauslastung über die Zeit, welche eine Evaluierung der unterschiedlichen Materialfluss-Alternativen ermöglichen. Für den Nachweis einer realisierbaren Konzeption soll das entwickelte Referenzmodell basierend auf der Wertstrommethode in einer Simulationsstudie zur Abbildung eines Materialflusssystemes im industriellen Umfeld zum Einsatz kommen. Bewertet wird dabei, wie sich die Modellierung und die Ergebnisdarstellung nach dem Referenzmodell gestalten (Abbildung 1.1).

# 2 Materialflusssysteme der Produktion

Die Produktion als Transformation von Inputs (Produktionsfaktoren) zu Outputs (Gütern) (Kellner et al. 2020) ist eine der elementaren Funktionen eines Industriebetriebs (Dyckhoff und Spengler 2010). Die qualitative Wandlung bildet einen Mehrwert (Wertschöpfung) (Dyckhoff und Spengler 2010), den das Industrieunternehmen für seine Kunden schafft (Kellner et al. 2020). Diese qualitative Transformation bedingt den Einsatz unterschiedlicher Produktionsfaktoren, wie Personal, Betriebsmittel sowie Materialien und deren Abstimmung in der Produktion (Kellner et al. 2020). Diese Gesamtheit wird als Produktionssystem bezeichnet. Als soziotechnisches System transformiert das Produktionssystem „Input (z. B. Know-how, Methoden, Material, Finanzmittel, Energie) in wertschöpfenden (z. B. Fertigung oder Montage) und assoziierten Prozessen (z. B. Transport) zu Output (z. B. Produkte, Kosten, Reststoffe)“ (Nyhuis et al. 2008, S. 20).

Kapitel 2 dient zur Herstellung des Bezugsrahmens der vorliegenden Arbeit. Mit der Zielsetzung dieser Arbeit, Materialflusssysteme einer Produktion durch ein Referenzmodell basierend auf der Wertstrommethode abzubilden und zu bewerten, ist zunächst die Einordnung eines Materialflusssystems in ein Produktionssystem erforderlich. Mit dieser Einordnung sind seine charakteristischen Elemente zu beschreiben. Des Weiteren ist zu erarbeiten, wie Materialflusssysteme zu bewerten sind. Ferner ist zu betrachten, welche Inhalte bei der Planung eines Materialflusssystems zum Zeitpunkt der Angebotsphase bearbeitet werden, um die Abbildungsgenauigkeit von Materialflusssystemen für den geplanten Anwendungszweck des Referenzmodells zu bestimmen.

## 2.1 Materialflusssysteme

In diesem Abschnitt wird definiert, was unter einem Materialflusssystem (MFS) zu verstehen ist. Der Begriff MFS setzt sich aus dem Begriffspaar *Materialfluss* und *System* zusammen. Ein System ist „eine von ihrer Umwelt abgegrenzte Menge von Elementen, die miteinander in Beziehung stehen“ (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014, S. 4).

Ein Produktionssystem besteht aus einzelnen Systemelementen, beispielsweise Prozessen, als „Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Informationen umgeformt, transportiert oder auch gespeichert werden“ (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014, S. 3), wobei Produktionsprozesse Teil der betrieblichen Leistungserstellung sind und aus Förderanlagen, welche ebenfalls zu Subsystemen kombiniert werden können (Kellner et al. 2020).

Ein Arbeitssystem als „kleinste Einheit der Potentialfaktoren Arbeitskraft und/oder Betriebsmittel [...] zur Durchführung von Fertigungs(teil-)aufgaben“ (Dangelmaier 2001, S. 41) ist ein typisches Beispiel für ein Subsystem. Betriebsmittel sind dabei „alle Einrichtungen und Anlagen, welche die technischen Voraussetzungen der betrieblichen Leistungserstellung bilden“ (Arnold et al. 2008, S. 315). Grundlegend durchläuft ein Produkt zu seiner Vollendung mehrere Arbeitssysteme (Feldmeth 2021). Zur Umsetzung sind die Arbeitssysteme durch einen Materialfluss (MF) miteinander verknüpft (Westkämper 2006). Der MF ist „die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche. Zum Materialfluss gehören alle Formen des Durchlaufs von Arbeitsgegenständen (z. B. Stoffe, Teile, Datenträger) durch ein System“ (VDI Richtlinie 2689 2019, S. 2). Sobald bei einem MF die Betrachtung der Steuerung, Überwachung und Kontrolle erfolgt, handelt es sich um den Bereich der Logistik (Wehking 2020). Diese ist kein Bestandteil der Arbeit und wird entsprechend nicht tiefgehender betrachtet. Zu den Systemelementen (Gegenständen) eines Materialflusses zählen unter anderem Güter (Materialien, Stoffe), Informationen, Materialflussmittel und Produktionsmittel (Jünemann 1989).

„Die Anordnung von mindestens zwei Gegenständen des Materialflusses, die im Rahmen eines Transformationsprozesses eine Veränderung des Systemzustandes von Gütern hinsichtlich Zeit, Ort, Menge, Zusammensetzung und Qualität ermöglichen, wird als Materialflusssystem bezeichnet“ (Arnold et al. 2008, S. 371). Zu den Transformationsprozessen eines Materialflusses zählen als wichtige Funktionen unter anderem Bearbeiten, Prüfen, Handhaben, Fördern, Aufenthalt und Lagern (VDI Richtlinie 2689 2019; Jünemann 1989). Diese Transformationsprozesse sind im Folgenden zu erläutern. Es existieren eine Vielzahl von Materialflusssystemen, beispielsweise an Flughäfen zur Gepäckabfertigung oder zur Warensortierung bei Paketdienstleistern (ten Hompel et al. 2018). Solche Materialflusssysteme mit einer reinen Distributionsaufgabe werden nicht betrachtet. Im Fokus stehen Materialflusssysteme zur Produkterstellung, die einen wertschöpfenden Charakter haben. Ferner erfolgt die Betrachtung von automatisierten Materialflusssystemen, in welchem „alle Funktionen des betrachteten Systems [...] automatisiert sind“ (DIN IEC 60050-351 2013, S. 31).

In dieser Arbeit erfolgt die Betrachtung des innerbetrieblichen Materialflusssystems einer Produktion mit Stückgütern (ten Hompel et al. 2018). Die Planung eines hoch automatisierten Materialflusssystems bedingt eine Konzeption von Prozessen mit einem Wiederholcharakter. Hierzu zählen die Produktionstypen der Massensowie Sorten- und Serienfertigung (Bloech et al. 2014). Bei der Massenfertigung werden festgelegte Produkte für längere Zeit in einer hohen Menge produziert (Kellner et al. 2020). Hierbei handelt es sich um gleichartige Produkte für anonyme Abnehmer (Bloech et al. 2014). Unter einem Produkt soll dabei „ein Bündel technisch-funktionaler Eigenschaften verstanden werden, das dem Nachfrager einen Nutzen stiftet“ (Meffert et al. 2013, S. 387). Werden von den Produkten unterschiedliche „Ausprägungen“ erstellt, handelt es sich um die Sortenfertigung.

Ein Beispiel hierfür sind Klemmzwingen in unterschiedlicher Größe und Farbe, der Grundstoff Kunststoff ist allerdings identisch. Werden hingegen unterschiedliche Produktarten gefertigt, handelt es sich um eine Serienfertigung. Hierbei sind die in einer Losgröße zusammengefassten Produkte identisch (Bloech et al. 2014).

Weiter erfolgt die Betrachtung für die Fertigungsorganisationstypen der Reihen- und Fließfertigung. Bei einer Fließfertigung erfolgt die Anordnung der erforderlichen Prozesse gemäß der Arbeitsgangfolge nacheinander als gerichteter Materialfluss. Kennzeichnend ist eine zeitliche Abstimmung der Prozesse durch einen vorgegebenen Takt zur Vermeidung von Puffern und eine hohe Auslastung der Prozesse (Kellner et al. 2020).

Im Unterschied zur Fließfertigung sind bei einer Reihenfertigung die Arbeitsinhalte an den Prozessen untereinander nicht zeitlich abgestimmt (Bloech et al. 2014). Zum Ausgleich von zeitlichen Abweichungen der Arbeitsinhalte werden Puffer integriert (Kellner et al. 2020). Die produktspezifische Prozessabfolge bildet das Produktionsablaufschema (Erlach 2020). Mit der Betrachtung von automatisierten Materialflusssystemen wird der Einfluss des Mitarbeiters ausgegrenzt. Des Weiteren werden zur Produkterstellung erforderliche Hilfs- und Betriebsstoffe als gegeben angesehen, da eine von der Logistik abhängige Versorgung der Produktion nicht Gegenstand der Betrachtung ist.

### 2.1.1 Bearbeiten, Montieren, Handhaben und Prüfen

Innerhalb eines Materialflusses fließt das Material mit Unterbrechungen durch das System (Grundig 2018). Neben einer Bewegung (siehe Abschnitt 2.1.2) oder der Lagerung des Materials (siehe Abschnitt 2.1.3) sind die Tätigkeiten Bearbeiten, Montieren, Handhaben und Prüfen möglich:

„*Bearbeiten* ist jeder Vorgang, bei dem ein Erzeugnis (Rohstoff, Werkstück) dem Zustand näher gebracht wird, in dem es den Betrieb verlassen soll“ (VDI Richtlinie 3300 1973, S. 2).

„*Montieren* ist die Gesamtheit aller Vorgänge, die dem Zusammenbau von geometrisch bestimmten Körpern dienen. Dabei kann zusätzlich formloser Stoff zur Anwendung kommen“ (Feldmann et al. 2014, S. 8).

*Handhaben* umfasst die „Bewegungsvorgänge beim Einleiten oder Beenden von Vorgängen der Fertigung (Bearbeitung), des Förderns und des Lagerns“ (VDI Richtlinie 3300 1973, S. 2).

Unter *Prüfen* wird „jeder Kontrollvorgang (messen, zählen, wiegen usw.) im Verlaufe eines Materialflusses“ verstanden (VDI Richtlinie 3300 1973, S. 2).

## 2.1.2 Klassifizierung von Förderern

Eine Kernfunktion eines Materialflusssystemes ist der Transport (Günthner et al. 2006). Der Transport ist die lokale Veränderung von Gütern mittels technischer Mittel (ten Hompel et al. 2018). Ist diese lokale Veränderung räumlich begrenzt, beispielsweise innerhalb eines Materialflusssystemes einer Fabrik, wird dies mit dem Begriff *Fördern* spezifiziert, die technischen Transportmittel als *Fördermittel* und das geförderte Gut als *Fördergut* deklariert (ten Hompel et al. 2018). Die Fördermittel sorgen für eine Verknüpfung von abhängigen Bereichen, wie Produktionsprozessen (ten Hompel et al. 2018). Neben dem Fördern haben die Fördermittel die Aufgaben Zusammenführen (Sammeln), Stauen (Puffern), Sortieren sowie Verteilen (Verzweigen) (Arnold et al. 2008):

Das *Zusammenführen* von mehreren Fördergütern an unterschiedlichen Quellen wird als *Sammeln* bezeichnet (ten Hompel et al. 2018). Quellen bilden dabei den Startpunkt eines MFs (ten Hompel und Heidenblut 2011).

Das *Stauen* der Fördergüter bewirkt eine Entkopplung von Prozessen. Hierdurch können zeitliche Abweichungen durch unterschiedliche Arbeitsinhalte ausgeglichen werden (siehe Abschnitt 2.1.3) (Arnold et al. 2008) oder eine erforderliche Menge an Fördergütern angesammelt werden (ten Hompel und Heidenblut 2011).

Das *Sortieren* erlaubt die Anordnung von Fördergütern in einer vorgegebenen Reihenfolge (ten Hompel et al. 2018). Da diese in erster Linie der Kommissionierung als Verknüpfung zwischen Lager und Verbrauchsfunktion (für Produktion und Versand) (ten Hompel et al. 2018) zuzuordnen ist, wird das Sortieren in der weiteren Ausarbeitung nicht betrachtet.

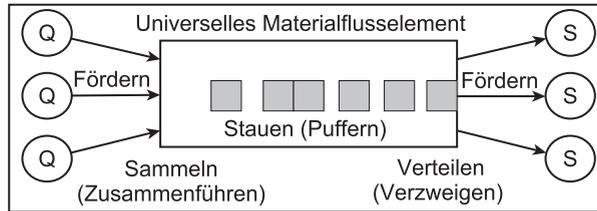
Eine Hauptaufgabe im MFS ist die *Verteilung* von Fördergütern durch eine gezielte Förderung von einer Quelle zu unterschiedlichen Senken (*Verzweigung*) (ten Hompel et al. 2018). Hierbei bilden die Senken die Endpunkte eines MFs (ten Hompel und Heidenblut 2011).

Die Zusammenführung als Zusammenfassung mehrerer Materialflüsse in einen Fluss sowie die Verzweigung als Verteilung eines Materialflusses in unterschiedliche Richtungen werden nach Arnold und Furmans (2019) als universelles Materialflusselement integriert (Abbildung 2.1).

Für eine Einordnung der Fördermittel erfolgt eine Klassifizierung hinsichtlich ihrer Beweglichkeit, ihrer Flurbindung sowie der Bewegung des diskreten Förderguts. In dieser Arbeit erfolgt die Betrachtung von automatisierten Fördermitteln. Unterschiedliche Antriebstechniken, die damit verbundene Kraftübertragung sowie Fahrwerksauslegungen werden nicht betrachtet. Die folgenden Definitionen (Tabelle 2.1) beziehen sich, wenn nicht anders angegeben, auf ten Hompel et al. (2018).

Weiter wird der Förderprozess in Abhängigkeit von der Bewegung des diskreten Fördergutes differenziert. Hierbei erzeugen Förderer einen kontinuierlichen oder

diskontinuierlichen Fördergutstrom (ten Hompel et al. 2018). Dadurch wird zwischen Stetig- und Unstetigförderern unterschieden (Griemert und Römisch 2015).



Legende:

□ Fördermittel    ■ Fördergut    ⊙ Quellen    ⊙ Senken

Abbildung 2.1: Aufgaben der Fördermittel in einem Materialflusssystem nach Arnold et al. (2008, S. 614)

Tabelle 2.1: Einordnung der Fördermittel

Klassifizierung	Einordnung	Beschreibung
Beweglichkeit	Ortsfest	Fördermittel sind fest installiert
	Geführt verfahrbar	Fördermittel haben eine Streckenbindung, beispielsweise in Form von Schienen
	Frei verfahrbar	Fördermittel agieren in einem vorgegebenen Raum flächendeckend
Flurbindung	Flurgebunden	Fördermittel verfahren horizontal auf dem Boden, wie auf Wegen, Schienen oder im Boden installierte Einrichtungen
	Aufgeständert	Fördermittel sind ortsfest an Stützen oberhalb des Hallenbodens befestigt
	Flurfrei	Fördermittel sind ortsfest auf aufgeständerten Schienen unterhalb der Hallendecke installiert (ten Hompel und Heidenblut 2011)

**Stetigförderer** erzeugen einen stetigen Fluss einzelner Fördergüter (diskret kontinuierlich) (ten Hompel et al. 2018). In Abhängigkeit ihrer Fördererlänge erlauben sie die Pufferung der Fördergüter (ten Hompel et al. 2018). Aus Materialflusssicht ist hierbei die Pufferkapazität entscheidend, welche unter anderem eine temporäre

re Entkopplung der vor- und nachgelagerten Produktionsprozesse erlaubt (siehe Abschnitt 2.1.3). Die Kapazität ist die mengenmäßige Aufnahmemöglichkeit von Stückgütern (VDI Richtlinie 3978 2018). Die Kapazität ist zum Teil layoutbedingt durch lange Förderwege gegeben, kann aber auch durch sogenannte Stauförderer bewusst installiert werden (ten Hompel et al. 2018). Der Be- und Entladevorgang der Fördergüter kann während der Förderung erfolgen (Martin 2014). Ferner werden Stetigförderer in technische Prozesse, beispielsweise bei einer Montage, integriert (ten Hompel et al. 2018). Sie erlauben die Förderung von großen Mengen an Fördergut (ten Hompel et al. 2018) und eignen sich daher insbesondere für die Massen- oder die Serienfertigung (Dangelmaier 2001). Durch eine Förderung über einen längeren Zeitraum ohne Stillstand (Martin 2014) ist diesen eine hohe Leistungsfähigkeit zuzuordnen (Günthner et al. 2006). In dieser Arbeit erfolgt die Betrachtung von Stetigförderern, welche in hoch automatisierten Materialflusssystemen zum Einsatz kommen. Hierzu zählen die angetriebenen Rollenbahnen mit einer Staufunktion (ten Hompel et al. 2018). Werkstückträger zur Aufnahme von Fördergütern werden in dieser Arbeit nicht betrachtet.

Eine technische Umsetzung des universellen Materialflusselements ist bei den Stetigförderern beispielsweise der Verschiebewagen (Arnold und Furmans 2019). Der Verschiebewagen verfügt über einen eigenen Antrieb und kann Fördergüter in unterschiedliche Richtungen verschieben, sobald sich diese auf dem Verschiebewagen befinden (Arnold und Furmans 2019) (Abbildung 2.2).

**Unstetigförderer** erzeugen einen unterbrochenen Fördergutstrom (diskontinuierlich) (ten Hompel et al. 2018). Der unstetige Prozess erfolgt dabei in Arbeitsspielen, untergliedert in Last- und Leerfahrten sowie Wartezeiten und Be- und Entladevorgänge (Martin 2014). Der Be- und Entladevorgang erfolgt in den meisten Fällen aktiv (Lastaufnahme ohne Hilfsmittel), kann aber auch passiv (Lastaufnahme mit Hilfsmittel) erfolgen (Dickmann 2015). Hierdurch besitzen Unstetigförderer gegenüber den Stetigförderern eine größere Flexibilität bei Layoutänderungen (siehe Abschnitt 2.2), da sie die Quellen und Senken anfahren und eigenständig bedienen können (ten Hompel et al. 2018). Unterschiedliche Förderanforderungen können durch eine anwendungsspezifische Anzahl an Fördermitteln erfüllt werden (Martin 2014; ten Hompel et al. 2018). Dabei entsteht allerdings ein hoher Steuerungsaufwand (Martin 2014). Die Unstetigförderer sind geführt oder frei verfahrbar und in den wenigstens Fällen ortsfest (Martin 2014; ten Hompel et al. 2018). Für die Aufgabenstellung sind insbesondere automatisierte Fördermittel von Interesse. Daher werden im Folgenden die im industriellen Umfeld am häufigsten verwendeten automatisierten Fördersysteme Fahrerloses Transportsystem (FTS) und Elektrohängebahn (EHB) betrachtet (ten Hompel et al. 2018).

Unter einem FTS ist ein flurgebundenes Fördersystem mit automatisch gesteuerten Fördermitteln für die innerbetriebliche Materialförderung zu verstehen (VDI Richtlinie 2510 2005). Ein Elektrohängebahnsystem ist ein flurfrees, an der Hallendecke befestigtes oder aufgeständertes Schienensystem, an welchem eigens angetriebene Fördermittel installiert sind (VDI Richtlinie 4441 Blatt 1 2012). Das