

# Planen wir noch oder steuern wir schon? – Eine Analyse zur Abgrenzung von Planung und Steuerung

Still planning or already controlling? – An analysis to differentiate between planning and control

*Manuel Hagg  
Ruben Noortwyck  
Robert Schulz*

*Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)  
Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik  
Universität Stuttgart*

**B**edingt durch steigende Individualisierung sowie schwankende Nachfragen werden Produktionskonzepte entwickelt, die eine dynamische Anpassung an sich verändernde Gegebenheiten ermöglichen. Diese neuen Ansätze sehen vor, dass neben den Produkten auch Maschinen bzw. Arbeitsplätze kurzfristig ortsveränderlich sind. Hierbei steht insbesondere die Intralogistik vor der Herausforderung, eine effiziente Materialbereitstellung zu gewährleisten. Bisher konnte diese durch gut abgestimmte Planungs- und Steuerungsprozesse realisiert werden. Gegenwärtig verlagert sich der Planungsprozess weiter in den Betrieb, denn während des gesamten Betriebs eines intralogistischen Systems werden Anpassungsmaßnahmen durchgeführt. Der Übergang zwischen Planung und Steuerung ist heutzutage nicht nur fließend, vielmehr überschneiden sich die Planungs- und Steuerungsphasen zunehmend. Aus diesem Grund ist das Ziel dieses Beitrags, eine Abgrenzung von Planung und Steuerung unter der Berücksichtigung aktueller Entwicklungen durchzuführen.

**Der Beitrag wird den Stand der Wissenschaft im Bereich der Planung und Steuerung von Intralogistiksystemen beschreiben sowie sich mit der Frage beschäftigen, inwiefern Planung und Steuerung unter den sich ändernden Gegebenheiten voneinander abgrenzbar sind.**

*[Schlüsselwörter: Intralogistik, Planung, Steuerung]*

**A**s a result of increasing individualization and fluctuating demand, new production concepts are developed that enable dynamic adaptation to changing conditions. These new concepts require that not only products, but also machines and workplaces can be moved short term. In this context, intralogistics is facing the challenge of ensuring efficient material supply. Up to now, this could be realized by well-coordinated planning and control processes. In future, planning processes will be shifted further into operation, due to adjustments that are

made during the complete intralogistic operations. Today, the transition between planning and control is not only continuous, rather the planning and control phases increasingly overlap. For this reason, the aim of this article is to delimit planning and control while considering current developments.

The article describes the state of the art in the field of planning and control of intralogistics systems. It will also deal with the question to which extent planning and control can be delimited from each other under changing conditions.

*[Keywords: Intralogistics, planning, control]*

## 1 EINLEITUNG

„Die Intralogistik umfasst die Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlages in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen“ [Arn06]. In produzierenden Unternehmen weist die Intralogistik viele Überschneidungen mit der Produktionslogistik auf [MBF+18]. Die Produktionslogistik lässt sich in die Prozesse innerbetrieblicher Transport sowie Produktionsplanung und -steuerung untergliedern [VDI04]. Die Ausgestaltung dieser Prozesse ist unter anderem abhängig vom zugrundeliegenden Produktionssystem. In den vergangenen Jahren sind verschiedene Produktionssysteme mit neuen ablauf- und aufbauorganisatorischen Freiheitsgraden entstanden, welche das Ziel verfolgen, die zunehmende Dynamik der Märkte zu bewerkstelligen sowie kurzfristige Anpassungen während der Betriebsphase zu ermöglichen [FAF+19, BGM18, YSL18]. Dadurch werden in etwa kurzfristige Änderungen von Produktionsplänen realisierbar, deren Ursachen insbesondere in der Annahme von Eilaufträgen, Maschinenausfällen und -störungen, Materialmangel sowie Mitarbeiterausfällen lie-

gen [SPL+18]. Darüberhinausgehend ermöglichen zukünftige Produktionssysteme kurzfristige Anpassungen des Produktionslayouts (z. B. durch das Hinzufügen eines zusätzlichen Arbeitsmoduls) [FB15]. In der Literatur werden vielfältige Anforderungen genannt, die an Produktionssysteme zur Bewerkstelligung dieser Entwicklungen gestellt werden. [Zaw18] clustert diese Anforderungen zu den Themengebieten Robustheit, Flexibilität, Adaptivität, Rekonfigurierbarkeit, Agilität, Wandlungsfähigkeit und Resilienz.

Während bei bestehenden Produktionssystemen mit starren Strukturen (z. B. Fließbandproduktion) die Prozesse der Intralogistik mit hoher Effizienz geplant und gesteuert werden, steigt durch die genannten produktionsseitigen Veränderungen die Komplexität der materialflussspezifischen Planungs- und Steuerungsmaßnahmen sind zukünftig kurzfristig Aufgaben zu berücksichtigen, die bisher langfristigen Charakter hatten und aufgrund verschiedener Restriktionen (z. B. fehlende Möglichkeit zur Layoutveränderung durch starre Fördertechnik) nicht für eine temporäre Anpassung vorgesehen waren. Diese Tendenzen führen zu einer Verschiebung der Aufgaben von Planung und Steuerung. Das Ziel des Beitrags ist es, eine Abgrenzung von Planung und Steuerung im Kontext intralogistischer Systeme unter der Berücksichtigung aktueller Entwicklungen durchzuführen. Im nächsten Kapitel werden die Grundlagen der Planung und Steuerung beschrieben. Darauf aufbauend erfolgt eine Analyse bestehender Ansätze zur Abgrenzung von Planung und Steuerung unter Berücksichtigung des aktuellen Strukturwandels.

## 2 PLANUNG UND STEUERUNG

Planungs- und Steuerungsaspekte treten entlang der gesamten Supply Chain auf. Die in Abbildung 1 dargestellte Supply Chain Planning Matrix gibt einen Überblick über die Planungs- und Steuerungsaufgaben. Horizontal lassen sich die Planungs- und Steuerungsaufgaben hin-

sichtlich der Phasen des Güterflusses ordnen. Eine eindeutige Zuordnung der Planungs- und Steuerungsaufgaben zu einer Fachdisziplin ist während der Produktionsphase nicht möglich. Während einige Autoren die Meinung vertreten, Planung und Steuerung sind Bestandteil des Produktionsmanagements, ordnen andere diese der Produktions- oder Intralogistik zu [Her12, Sch17].

Vertikal lassen sich die Planungs- und Steuerungsaufgaben hinsichtlich des Zeitbezugs gliedern, wobei eine strategische Ebene mit langfristiger Ausrichtung (Planungszeitraum mehrere Jahre), eine taktische Ebene mit mittelfristiger Ausrichtung (Planungshorizont ca. 6-18 Monate) und eine operative Ebene mit kurzfristiger Ausrichtung (Planungshorizont ca. 1-3 Monate) differenziert werden [AIK+08]. Steuerungsaktivitäten finden überwiegend in der Ausführungs- bzw. Betriebsphase statt. Die drei Phasen unterscheiden sich neben dem betrachteten Planungshorizont auch hinsichtlich der eingesetzten Methoden sowie der Planungsinhalte [Her12].

Die operative Produktionsplanung wird für gewöhnlich als Produktionsplanung und -steuerung (sogenannte PPS-Systeme) bezeichnet [Dan09]. Unterschiedliche Meinungen liegen vor, ob die Steuerungsphase der operativen Produktionsplanung dazugehörig ist oder ob sie eine eigenständige Ebene darstellt. Das Akronym PPS wird in der Literatur nicht einheitlich verwendet. Während z. B. in der [VDI05] für den Begriff Produktionsplanungssystem die Abkürzung PPS verwendet wird, wird in der [VDI15] wiederum die Produktionsplanung und -steuerung mit diesem Akronym abgekürzt.

Ähnlich wie bei der Supply Chain Planning Matrix werden die Ebenen der operativen Produktionsplanung und -steuerung hinsichtlich einer abnehmenden Fristigkeit von einer langfristigen Produktionsprogrammplanung bis zu einer kurzfristigen Produktionssteuerung untergliedert [Han01]. Hierbei nimmt der Planungshorizont sukzessive ab und der Detaillierungsgrad der Planung nimmt zu. Für

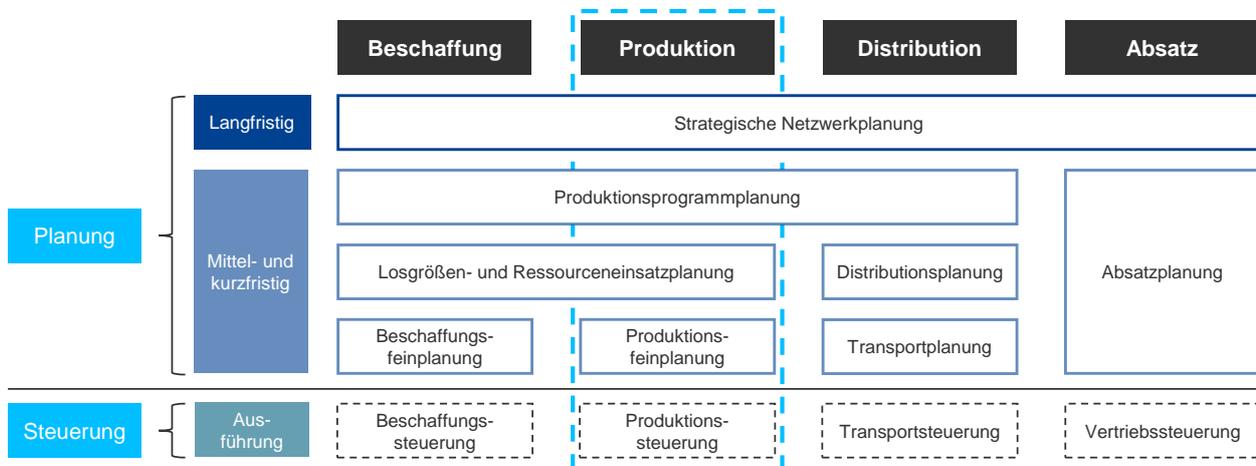


Abbildung 1. Supply Chain Planning Matrix in Anlehnung an [RMW00, Vol09, Dör13].

gewöhnlich verfügen die auf dieser Ebene überwiegend generierten Planungsdaten einen zu geringen Detaillierungsgrad für viele prozessnah zu steuernden Ereignisse, wie beispielsweise das Auslösen eines Fahrbefehls für Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF). Um eine Verknüpfung zwischen den mittel- und langfristig ausgerichteten Ebenen und der fahrzeugseitigen FTF-Steuerung herzustellen, werden verschiedene Anwendungssysteme als Verbindungselemente eingesetzt [JB98]. Ein Beispiel für ein derartiges System ist das Manufacturing Execution System (MES), welches in einem hierarchischen Aufbau die strategische Unternehmensleitebene mit der operativen Fertigungsebene verbindet [VDI16]. Die Ausprägungen und Funktionsinhalte dieser IT-Systeme sind abhängig vom spezifischen Anwendungsfall. In ein MES können beispielsweise materialflussspezifische Funktionen eingebettet sein, ebenso ist auch der Einsatz eines eigenständigen Systems zur Planung und Steuerung des Materialflusses realisierbar [Kle15].

In der Vergangenheit wurden Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme sowie Systeme zur Materialflussplanung und -steuerung isoliert voneinander betrachtet [JB98]. Gegenwärtig sind diese Systeme durch wechselseitige Abhängigkeiten geprägt, sodass eine Abgrenzung aufgrund der starken Verflechtungen kaum möglich ist. In etwa überwacht die Materialflussplanung und -steuerung basierend auf dem von der Produktionsplanung erstellten Produktionsprogramm die Materialverfügbarkeit und löst Nachschubbestellungen bei Lieferanten aus. In den gängigen Richtlinien findet ebenso keine klare Abgrenzung statt. Die [VDI05] verwendet z. B. den Begriff Produktionssteuerung synonym zum Begriff Materialflussteuerungssystem. Gegenstand des Planungs- und Steuerungsbestrebens in intralogistischen Systemen ist neben dem Informationsfluss insbesondere die Sicherstellung und Koordination des Materialflusses. Dieser ist definiert als die „...Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche“ [VDI19].

## 2.1 PLANUNG VON INTRALOGISTISCHEN SYSTEMEN

Im Allgemeinen lässt sich Planung verstehen als: „Gedankliche Vorwegnahme eines angestrebten Ereignisses einschließlich der zur Erreichung als erforderlich erachteten Handlungsabfolge“ [VDI11b]. Der Begriff der Planung ist innerhalb der Logistik sehr weit gefächert. Unterschieden werden z. B. die Materialflussplanung, die Bedarfsplanung, die Systemplanung oder die Materialplanung. Eine Planung im mathematischen Kontext beschäftigt sich mit der Suche nach bestmöglichen Lösungen anhand einer oder mehrerer Zielfunktionen innerhalb eines bestimmten Lösungsraums [MH96]. In diesem Paper wird der Planungsbegriff als System bzw. Materialflussplanung intralogistischer Systeme betrachtet. Im Folgenden wird auf die

Grundlagen der Planung sowie auf vorhandene Planungsvorgehen eingegangen. Anschließend werden unterschiedliche Definitionen erläutert.

### 2.1.1 GRUNDLAGEN

Die Aufgaben der Intralogistik liegen hauptsächlich in den Materialflussfunktionen. Nach [MBF+18] werden in einem Intralogistiksystem „...Materialien bereitgestellt, gehandhabt, verteilt, zusammengeführt und kommissioniert“ [MBF+18]. Die Logistikplanung befasst sich mit der Suche nach einer Lösung für eine Planungsaufgabe, welche sich in einer gegebenen Zeit und unter vorgegebenen Kosten sowie unter der Berücksichtigung von wesentlichen Einflussgrößen und Faktoren realisieren lässt [VDI89a]. Die Aufgabe der Planung ist die Auswahl geeigneter Ressourcen aus einer Vielzahl an möglichen Anlagen und Betriebsmitteln. Die Ressourcen müssen so ausgewählt, verknüpft und dimensioniert werden, dass die vorgegebenen Leistungsanforderungen unter Einhaltung aller Rahmenbedingungen möglichst kostenoptimal erreicht werden [AIK+08, Gud12b]. Dabei müssen u. a. der Informationsfluss, der Materialfluss sowie der Personenfluss betrachtet werden [VDI2385]. Bisher wurden insbesondere innerhalb der Netzwerkplanung langfristige strategische Entscheidungen getroffen.

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt wurde, haben sich in den letzten Jahren die Freiheitsgrade von Produktionssystemen erhöht, um z. B. die hohe Dynamik innerhalb der Lieferketten, die Produktindividualisierung sowie die kleiner werdenden Losgrößen bewerkstelligen zu können. Dies ist aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung und Industrie 4.0 möglich. Dadurch verschoben sich die Planungsprozesse in die Betriebsphase der Intralogistiksysteme. Anpassungsmaßnahmen finden aufgrund dieser sich ändernder Bedingungen während des gesamten Betriebs statt. Die verschiedenen Planungsphasen werden dabei mit unterschiedlicher Genauigkeit und Gewichtung erneut durchlaufen [DSK17].

### 2.1.2 VORHANDENE PLANUNGSVORGEHEN

Für die strategische Netzwerkplanung von Produktions- sowie Logistiksystemen sind verschiedene Vorgehensmodelle vorhanden (vgl. u. a. [Jün89, tSD18, VDI89a, VDI11a, VDI11b, Agg81]). Aufgrund des hierarchischen Aufbaus logistischer Systeme lassen sich die Vorgehensmodelle der allgemeinen Logistik- und Fabrikplanung auf Intralogistiksysteme übertragen [Job13]. Die Vorgehensmodelle verfügen über einen unterschiedlichen Detaillierungsgrad. Jedoch lassen sich alle Vorgehensmodelle vom Groben ins Feine in die vier Phasen Ist-Zustand, Grobplanung (Strukturplanung und Systemplanung), Feinplanung und Realisierung unterteilen [All99]. Innerhalb der Phase des Ist-Zustandes wird die Aufgabenstellung formuliert und die Planungsart (Neuplanung, Umplanung, Erweiterungsplanung) festgelegt [tSD18]. Darüber hinaus wird die für die Planung benötigte Datenbasis durch Aufnahme,

Auswertung, Aufbereitung und Darstellung vorhandener Ist-Daten sowie durch die Ableitung der Soll-Daten erzeugt [AF19]. Darauf folgend werden innerhalb der Strukturplanung die Abläufe, benötigte Funktionseinheiten sowie das Layout erstellt. Anschließend werden in der Systemplanung verschiedene Prozess- und Arbeitsmittelvarianten gebildet und dimensioniert sowie deren Funktion nachgewiesen und bewertet. Nachfolgend werden die Vorzugsvarianten ausgewählt [Jün89]. Die gewählte Vorzugsvariante wird im Rahmen der Feinplanung genau konzipiert und anschließend realisiert.

### 2.1.3 DEFINITIONEN

Neben den bereits in 2.1.1 beschriebenen Definitionen bestehen eine Vielzahl weitere für den Begriff der Intralogistikplanung. Im Folgenden werden weitere Definitionen dargestellt.

Nach der [VDI89a] beschäftigt sich die Planung mit der Auswahl einer realisierbaren Lösung aus einer Vielzahl von möglichen Anlagen und Betriebsmitteln. Die Lösung muss dabei so ausgewählt werden, dass die vorgegebenen Leistungsanforderungen unter Einhaltung aller Rahmenbedingungen möglichst kostenoptimal erreicht werden. [VDI89a]. In [All99] wird die Entwicklung von Lösungsvarianten und -konzepten sowie deren Vergleich als Hauptbestandteil der Planung von Intralogistiksystemen beschrieben. Als Ziel wird dabei die Auswahl einer umzusetzenden Lösung definiert. [KSG84] definiert die Planung eines Intralogistiksystems als systematisches Suchen und Definieren von Zielen. Aufbauend auf diesen Zielen werden Aufgaben an das intralogistische System abgeleitet und mögliche Lösungswege gesucht. Weitere ähnliche Definitionen sind u. a. in [Agg81, Gru18, Sch95] oder [Spu94] zu finden.

Nach den genannten Definitionen beschäftigt sich die Planung intralogistischer Systeme mit den folgenden Punkten:

- Definition von Zielen für die vorhandene Planungsaufgabe
- Entwicklung von Lösungsvarianten zur Erreichung der Planungsziele
- Bestimmung einer Lösungsvariante
- Auswahl und Dimensionierung geeigneter Ressourcen für die Planungsaufgabe

## 2.2 STEUERUNG VON INTRALOGISTISCHEN SYSTEMEN

Die Phase der Steuerung folgt nach Abschluss der Planungsphase und stellt den Übergang in die Betriebs- und Realisierungsphase dar [Paw07]. In der Steuerungsphase werden die Resultate der Planung umgesetzt. Während die

Ergebnisse der Planungsphase prognostische Aspekte enthalten, wird in der Steuerungsphase auf die aktuell vorliegenden Gegebenheiten im Intralogistiksystem reagiert [VDI16]. Während der Betriebsphase treten oftmals Störungen auf, die in der Planungsphase noch nicht bekannt waren und nun steuerungsseitig zu berücksichtigen sind. Steuerungsmaßnahmen, die vor Eintritt der Störungen stattfinden, werden als Vorsteuerung bezeichnet, wohingegen Steuerungsmaßnahmen nach dem Störungseintritt als Nachsteuerung betitelt werden [OO18].

### 2.2.1 GRUNDLAGEN

Die Steuerungsmaßnahmen in intralogistischen Systemen verfolgen das Ziel, die richtigen Materialien, zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge, am richtigen Ort, in richtiger Qualität und zu richtigen Kosten bereitzustellen [VDI89b]. Berücksichtigung finden bei den Steuerungsmaßnahmen sowohl materielle Objekte (z. B. Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Halb- und Fertigerzeugnisse oder Abfälle) als auch immaterielle Elemente (z. B. Informationen oder Finanzflüsse) [Ste15]. Die zu steuernden Objekte verändern sich während des Wertschöpfungsprozesses bedingt durch die stattfindenden Transformationsprozesse fortlaufend und stellen dadurch unterschiedliche Anforderungen an die logistischen Grundprozesse [Pfo18].

Die Materialflusssteuerung wird als Vermittlungsebene zwischen den übergeordneten Systemen (z. B. Materialfluss- oder Produktionsplanung) und der operativen Ausführung auf Shopfloor-Ebene eingesetzt [Lib11]. Da Materialflusssteuerungen in Intralogistiksystemen unterschiedlicher Art eingesetzt werden, sind ihre Aufgabenumfänge sehr vielfältig [Nie10]. Für die Aufgabendurchführung werden oftmals untergeordnete Steuerungssysteme beauftragt. In Abhängigkeit des Automatisierungsgrads können die im Intralogistiksystem verfügbaren Elemente zur Umsetzung der Materialflussoperationen adressiert werden, wie z. B. Leitsteuerungen für fahrerlose Transportsysteme (FTS), Transportmanagementsysteme oder Staplerleitsysteme [JB98].

### 2.2.2 VORHANDENE STEUERUNGSSTRUKTUREN

Für die Umsetzung der Steuerung des Materialflusses existieren verschiedene Struktur- und Architekturansätze [AF19]. Während zentrale Steuerungsansätze hierarchische Strukturen aufweisen und über eine zentrale Steuerungs- und Entscheidungsinstanz mit globaler Informationsverarbeitung verfügen, wird bei dezentralen Ansätzen die Entscheidungskompetenz auf die mit lokaler Informationsverarbeitung ausgestatteten Systemelemente übertragen. Von Selbststeuerung wird gesprochen, wenn die Systemelemente miteinander interagieren und selbständig zur Entscheidungsfindung befähigt sind [WH10]. Hybride Ansätze stellen eine Mischform zentraler und dezentraler Steuerungsstrukturen dar, welche die Vorteile beider Ansätze kombinieren [Dic15]. Mit der Richtlinie „Systemarchitektur für die Intralogistik (SAIL)“ existiert zudem eine

auf Standardisierung ausgelegte und funktional gegliederte Architektur für Materialflusssteuerungen in der Intralogistik [VDI/VDMA16].

### 2.2.3 DEFINITIONEN

In der Literatur wird der Begriff der Steuerung sowohl aus organisatorischer als auch aus technischer Perspektive definiert [Paw07]. Eine technisch-orientierte Begriffsbeschreibung, die auf Materialflusssysteme übertragbar ist, kann der [DIN94] entnommen werden [Ran17]. Demnach ist das Steuern bzw. die Steuerung als Vorgang in einem System definiert, bei dem eine oder mehrere Größen als Input-Größen andere Größen als Output-Größen infolge der im System vorliegenden Gesetzmäßigkeiten beeinflussen (offene Wirkungskette). Eng verbunden mit dem Steuerungsbegriff ist der Begriff der Regelung. Das Regeln bzw. die Regelung beschreibt einen Vorgang, bei dem eine zu regelnde Größe fortlaufend erfasst und mit einer Führungsgröße abgeglichen wird. Bei einer Abweichung wird die Regelgröße an die Führungsgröße angeglichen, wobei sich die Regelgröße mittels eines geschlossenen Wirkungsablaufs (Regelkreis) fortlaufend selbst beeinflusst [DIN94]. Werden die aktuellen Zustandsinformationen des intralogistischen Systems zur fortlaufenden Systemanpassung (z. B. Soll-Ist-Abgleich) genutzt, wird auch von einer Systemregelung gesprochen [Koe18]. Häufig sind Steuerungs- und Regelungssysteme nicht voneinander differenzierbar [JB98].

Wird die Steuerung des Materialflusses aus einer organisatorischen Perspektive betrachtet, sind in der Literatur eine Vielzahl an Definitionen zu finden, welche die Aufgaben und Umfänge der Materialflusssteuerung beschreiben. Einige dieser Begriffsauffassungen werden nachfolgend aufgeführt.

[Koe18] beschreibt die Steuerung als „...die gedankliche Vorwegnahme eines dynamischen Ablaufs.“ Gemäß [VDI89b] ist Steuerung allgemein „...die Informationsverarbeitung, die schritthaltende Fortschreibung mit den jeweiligen Zuständen sowie die Durchsetzung der Abläufe an Hand der definierten Zielkriterien.“ Steuerungssysteme übernehmen nach [JB98] die Steuerung und Kontrolle von Materialflusssystemen. [Gud12a] beschreibt die Aufgabe der Steuerung als die Lenkung des operativen Bereichs in einem Produktions- oder Leistungsbereich sowie die Regelung der Ausführung der in Menge, Inhalt und Termin vorgegebenen Aufträge. In [VDI89b] wird die Bedeutung der Synchronisation von Material- und Informationsfluss betont. Eine daran angelehnte Definition ist in [Wil06] zu finden: „Die Materialflusssteuerung koordiniert, unter Synchronisation von Materialfluss und Informationsfluss, die Bereitstellung der an der Produktion beteiligten Materialien und Waren zur rechten Zeit am richtigen Ort in gewünschter Menge und Qualität.“ Gemäß [tBF08] verwaltet die Materialflusssteuerung die Transportaufträge und ist

für die Ausführung der Nachschub- und Kommissionieraufträge zuständig. Darüber hinaus können auch Routing- oder Optimierungsaufgaben Bestandteil der Steuerung des Materialflusses sein. Nach [Zaw18] koordiniert die Materialflusssteuerung unter anderem den Materialstrom sowie Kommissionierungsumfänge, die Tourenplanung, Transportsteuerung und physische Resequenzierung von Aufträgen. [Ove14] geht auf den Automatisierungsaspekt der Materialflusstechnik ein und beschreibt die Steuerungsaufgabe als die räumliche und zeitliche Koordination von Güterbewegungen in Anlagen. Eine umfassendere Begriffsbeschreibung ist in [PS17] zu finden. „Die Materialflusssteuerung beschäftigt sich mit der Überwachung der eingehenden und ausgehenden Warenströme und dem Ergreifen von Maßnahmen bei Abweichungen. Konkrete Aufgaben bestehen in der Transportplanung, dem Schaffen von Transparenz über die Soll- und Ist-Leistung, dem frühzeitigen Erkennen von Störungen und der Einleitung geeigneter Schritte, um diese Störungen einzudämmen“ [PS17]. Hierbei wird die Bedeutung der Kontrolle hervorgehoben, bei der das Geplante mit den realisierten Werten verglichen und Abweichungen identifiziert werden [Sch14].

Die Steuerung intralogistischer Materialflusssysteme beschäftigt sich gemäß den aufgeführten Definitionen insbesondere mit folgenden Aspekten:

- Koordination des Materialflusses
- Synchronisation von Informations- und Materialfluss
- Überwachung und Sicherstellung einer zielkonformen Materialbereitstellung und -verfügbarkeit
- Durchführung der materialflussrelevanten Grundfunktionen (z. B. Transport, Lagerung, Umschlag, Kommissionierung)
- Reaktion auf Störungen

### 3 ABGRENZUNG VON PLANUNG UND STEUERUNG

Die Phasen der Planung und Steuerung sind oftmals über Rückkopplungsmechanismen verbunden und laufen zyklisch ab. Die Herausforderung zur Abgrenzung der Begriffe Planung und Steuerung liegt in der unspezifischen Aufgaben- und Funktionszuweisung sowie in den vielfältig eingesetzten und unklar abgegrenzten IT-Systemen [Gud12a].

Ein Ansatz zur Abgrenzung von Planung und Steuerung ist die Unterscheidung zwischen einer makro- und mikroskopischen Betrachtungsweise [WWP+00]. Die mittel- und langfristig orientierte Planung zeichnet sich durch eine makroskopische Sichtweise aus, da während der Planungsphasen aggregierte und mittelwertbasierte Größen

zum Einsatz kommen, wohingegen die Steuerung aufgrund des kurzfristigen Zeithorizonts einzelne Ereignisse wie Störungen oder Aufträge koordiniert und somit eine mikroskopische Perspektive aufweist. Koordination ist in diesem Zusammenhang zu verstehen als „...die Abstimmung von Einzelaktivitäten in einem arbeitsteiligen System in Hinblick auf ein übergeordnetes Gesamtziel“ [Sch14]. Hierbei wird zwischen der Vorauskoordination, bei der langfristige Entscheidungen koordiniert und Planungsaspekte eingesetzt werden, und der Ad-hoc-Koordination zur Reaktion auf nicht vorhergesehene Begebenheiten (z. B. Störungen) unterschieden [KW10]. Koordinationsmaßnahmen beruhen oftmals auf bereits vorab geplanten Regeln [KW10].

Ein weiterer Ansatz zur Differenzierung zwischen Planung und Steuerung liegt in der Betrachtung des Phasenübergangs. Der Übergang von der Planung zur Steuerung findet dort statt, wo die geplanten Vorgaben in konkrete Umsetzungsaktivitäten übergehen. Diese Übergabestelle wird gegenwärtig oftmals als statisch angesehen, wobei vielfach die Auftragsfreigabe oder Auftragsveranlassung als Abgrenzung zwischen Planung und Steuerung definiert ist [WWP+00, Han01, Zöp98, JB98]. Im Produktionskontext lässt sich die Auftragsfreigabe als Zeitpunkt beschreiben, ab dem ein Auftrag für das Produktionssystem zur Bearbeitung freigegeben und die Bereitstellung der erforderlichen Materialien ausgelöst wird [Löd16]. In der Literatur und Praxis existieren verschiedene Auffassungen über die Interpretation des Begriffs der Auftragsfreigabe [WW19]. In dynamischen Intralogistiksystemen ist dieser Übergangsbereich jedoch nicht als statisch und eindeutig zu betrachten, sondern die Schnittstelle ist davon abhängig, inwieweit Planungsaufgaben von der ausführenden und steuernden Ebene übernommen und somit während der Betriebsphase ausgeführt werden [Zöp96]. Somit können auch nach der Auftragsfreigabe und während der Ausführungsphase weitere Planungsaktivitäten stattfinden. Das ist beispielsweise der Fall, wenn die Materialflusssteuerung einen Fahrauftrag an eine FTS-Leitsteuerung übermittelt und das Aufgabenspektrum der Leitsteuerung das Planen einer effizienten FTF-Fahrtroute auf Basis des aktuellen Systemzustands umfasst.

Allerdings ist das Verlagern aller prozessorientierten Planungsaktivitäten in die Betriebsphase nicht möglich. Sowohl bei der Make-to-Stock-Produktion als auch bei der Make-to-Order-Produktion existieren Fixpunkte, bei denen die Freiheitsgrade der Planung eingeschränkt sind. Abbildung 2 zeigt beispielhaft wie die materialflussspezifischen Handlungsalternativen der Planung (gepunkteter Pfad) in einem Intralogistiksystem während der Planungs- und Betriebsphase verlaufen. Das zu realisierende Produktionsprogramm ist mit einer Vorlaufzeit (z. B. für eine Schicht oder eine Woche) zu definieren, sodass die Beschaffungsprozesse rechtzeitig ausgelöst werden und die Lieferanten ausreichend Zeit haben, die benötigten Materialien zum geplanten Produktionstermin bereitzustellen. [Ihd01] spricht

von einer „frozen zone“, ab der die beschaffungsseitigen Abrufmengen und -zeiten festgelegt sind. Dieser Bereich ist in Abbildung 2 durch die Verengung des Planungskorridors ersichtlich. In gegenwärtigen Produktionssystemen mit starren Strukturen kann aufgrund der etablierten Materialbereitstellungsprozesse (z. B. Just-in-Time oder Just-in-Sequence Belieferungen) eine einmal geplante Produktionssequenz gar nicht oder lediglich unter hohem Aufwand nachträglich aufgebrochen und verändert werden. Somit bleiben die Planungsaktivitäten während der Betriebsphase eingeschränkt und der Planungskorridor verläuft weitestgehend konstant (gestrichelte Linie in Abbildung 2).

Durch die zukünftig zu erwartende Verlagerung von Planungsaktivitäten in den laufenden Betrieb wird sich der Planungskorridor während des laufenden Betriebs wieder öffnen. Beispielsweise ermöglicht die Entwicklung der Just-in-Real-Time Materialbereitstellung die Materialsequenzierung direkt am Verbauort, wodurch eine sehr kurzfristige Reihenfolgeveränderung während der Betriebsphase realisierbar ist [Pop18]. Mit fortlaufendem Produktionsfortschritt nehmen die Anzahl der realisierbaren Planungs- und Entscheidungsalternativen für die Materialflussoperationen ab, wobei der Planungskorridor während der Betriebsphase nicht konstant verläuft. Vielmehr entwickelt er sich wellenförmig und ist abhängig von den zur Verfügung stehenden Entscheidungsalternativen im Intralogistiksystem.

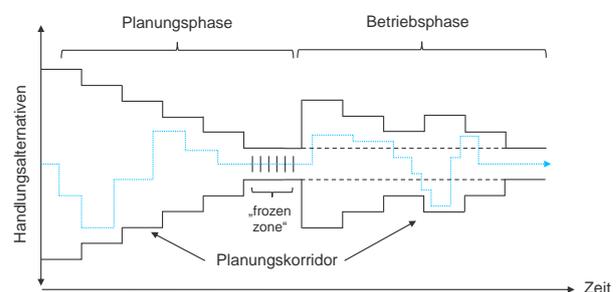


Abbildung 2. Beispielhafte materialflussspezifische Handlungsalternativen (Abbildung angelehnt an [Ihd01]).

Wie weit sich die Planungsphase in die Betriebsphase verlagert und welche Planungsumfänge davon betroffen sind, ist abhängig von mehreren Faktoren. Einer dieser Faktoren ist der Autonomiegrad der im intralogistischen System vorhandenen Elemente. Sind die Elemente durch ihre software- und hardwareseitige Ausstattung zur selbständigen Entscheidungsfindung befähigt, sind sie in der Lage, verschiedene Handlungsalternativen zu durchdenken sowie abzuwägen und somit planerische Aufgaben zu übernehmen. Für den Menschen und zentral organisierte Planungs- und Steuerungssysteme sind diese Entscheidungen aufgrund der Vielzahl an Handlungsalternativen und der damit verbundenen Informationsflut lediglich mit hohem Aufwand zu bewältigen. Aus diesem Grund ist seit längerer Zeit ein Trend zum Einsatz dezentraler Systeme erkennbar, die, wie Abbildung 3 zu entnehmen ist, vermehrt während

der Betriebsphase Verwendung finden. Zukünftig werden zunehmend Planungsumfänge die Transformations- und Steuerungsaktivitäten ergänzen, welche einen wesentlichen Beitrag zur betrieblichen Wertschöpfung leisten.

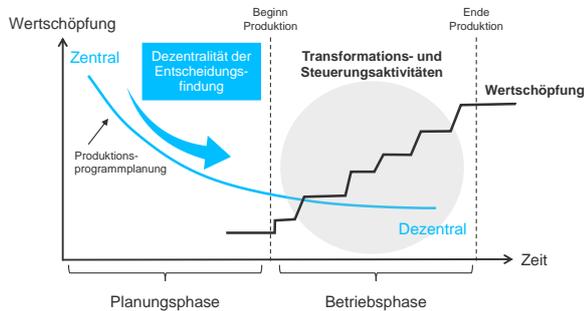


Abbildung 3. Dezentralität der Entscheidungsfindung im Zeitverlauf.

Ein weiterer Faktor für die Verlagerung von intralogistischen Planungsumfängen in die Betriebsphase sind die im Produktionssystem zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade. Die Konzipierung neuer Produktionssysteme, wie z. B. die Fluide Produktion, welche im Kontext der ARENA2036 entwickelt wird, stellen hohen Anforderungen an die Intralogistiksysteme [BFD20]. Die Fluide Produktion, welche als Weiterentwicklung der Matrixproduktion zu verstehen ist, ermöglicht beispielsweise eine kontinuierliche und flexible Gestaltung der Arbeitsreihenfolge, der Arbeitsverteilung sowie der Arbeitsinhalte durch ortsveränderliche Prozessmodule ohne feste Betriebsmittelzuordnung [FAF+19, FWF20].

Ist ein Produktionssystem mit diesen Freiheitsgraden ausgestattet, sind auch während des laufenden Betriebs Änderungen am Produktionslayout möglich. Diese haben wiederum Auswirkungen auf den Materialflussprozess, denn dieser muss durch Planungsaktivitäten an die neuen Gegebenheiten angepasst werden. Wie kurzfristig diese Änderungen umzusetzen sind, ist davon abhängig, in welchen Zeitabständen die Anpassungsmaßnahmen durchgeführt werden. Eine umfassende Reorganisation des bestehenden Produktionslayouts wird kaum im laufenden Betrieb umsetzbar sein und somit die Abläufe des Materialflusses nicht unmittelbar in der Betriebsphase beeinflussen. Weniger umfassende Änderungen können dahingegen kontinuierlich überprüft und kurzfristig realisiert werden. Beispielsweise besteht die Möglichkeit, ein bisher einfach vorhandenes Arbeitsmodul um ein weiteres Modul zu ergänzen. Diese Änderung hat wiederum kurzfristige Auswirkungen auf die Materialflussstruktur. Das Ergebnis kann in etwa sein, dass für die neu hinzugekommenen Module weitere Lagereinrichtungen für die Zwischenlagerung der Materialien benötigt werden. Die zuvor getroffenen materialflussspezifischen Planungsprämissen verlieren teilweise ihre Gültigkeit, denn die neue Konfiguration des Materialflusses bedarf kurzfristige steuerungs- und planungsseitige Nachjustierungen. Basierend auf den abgeänderten Parametern werden neue Planungsläufe ausgeführt

und anschließend von der Steuerung umgesetzt, um weiterhin effiziente Intralogistikprozesse zu gewährleisten. Die Ermittlung der effizientesten Materialflusskonfiguration unter Berücksichtigung der neuen Begebenheit kann mittels Simulation erfolgen. Insbesondere finden nun Planungsaufgaben kurzfristig statt, die bisher, in Anlehnung an die in Kapitel 2 beschriebene Supply Chain Planning Matrix, eine lang- bis mittelfristige Ausrichtung hatten. Als Ergebnis löst sich die hierarchisch aufgebaute Supply Chain Planning Matrix hinsichtlich ihres strukturellen Aufbaus auf.

Schlussfolgernd treten in intralogistischen Systemen Planungs- und Steuerungsphasen häufiger und in kürzeren Zyklen auf, sodass das Zusammenspiel zwischen Planung und Steuerung einen neuen Detaillierungsgrad erreicht. Des Weiteren werden bisher langfristig ablaufende Planungsaufgaben in kurzfristig und operativ stattfindende Entscheidungen eingebunden. Dadurch erweitert sich die Planung in die Betriebsphase. Diese Veränderungen beeinflussen auch die Abgrenzung von Planung und Steuerung. Die Differenzierung hinsichtlich eines statischen Ereignisses (z. B. Auftragsfreigabe) ist in dynamischen Intralogistiksystemen nicht zweckmäßig, denn auch nach der Auftragsfreigabe treten zu planende und zu steuernde Ereignisse auf. Beispielsweise erfordert eine stark frequentierte und blockierte Fahrrouete für das auftragsausführende FTF kurzfristig sowohl planerische als auch steuernde Aktivitäten. Hierbei ist insgesamt ein Trend zu erkennen, dass zunehmend der Begriff der Koordination in der Betriebsphase eingesetzt wird, der je nach Auslegung sowohl planerische Gesichtspunkte in Form von Regeln als auch steuernde Aspekte berücksichtigt. Dadurch verwässert die Abgrenzung zwischen Planung und Steuerung weiter.

Auch eine Unterscheidung zwischen einer makroskopisch-orientierten Planung und mikroskopisch-orientierten Steuerung ist zukünftig zu hinterfragen, denn auch bei der Planung werden zunehmend kurzfristige Einzelereignisse betrachtet, für die oftmals keine verdichtete Informationsgrundlage vorliegt. Beispielsweise berücksichtigen die Systembestandteile bei einer dezentral organisierten Intralogistik während der Entscheidungsfindung aufgrund der hohen Komplexität und Dynamik zumeist nicht den gesamten Systemzustand, wodurch die aus makroskopischer Sichtweise geforderten Planungsaspekte nicht mehr erfüllt sind. Um die simultan stattfindende und lokal isolierte Entscheidungsfindung der Intralogistikkomponenten zu umgehen, sind Steuerungs- und Planungsmechanismen erforderlich, die die intralogistischen Entscheidungen konsequent auf die übergeordneten Unternehmensziele ausrichten [BHS20].

Eine Abgrenzung von Planung und Steuerung unter Berücksichtigung der geschilderten Entwicklungen ermöglicht das zugrundeliegende definitorische Grundverständnis, denn zukünftig wird die Abgrenzung von Planung und Steuerung insbesondere in der Betriebsphase abhängig

vom jeweiligen Betrachtungsfall sein. Demnach umfasst die Planung die gedankliche Vorwegnahme zukünftiger Geschehnisse im Intralogistiksystem, wobei die Planungsaufgaben vorwiegend informellen Charakter haben. Dabei steht die Zieldefinition, die Entwicklung und Bestimmung von Lösungsvarianten sowie die Ressourcenauswahl und -dimensionierung im Vordergrund. Die Steuerung setzt das Geplante während der Betriebsphase um, indem sie den Materialfluss koordiniert und realisiert. Im Mittelpunkt der Steuerungsaktivitäten steht somit die Durchführung aller zur zielkonformen Materialbereitstellung erforderlichen Materialflussoperationen unter Synchronisation des Material- und Informationsflusses.

#### 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Entwicklung neuer Produktionssysteme mit einer Vielzahl an Freiheitsgraden stellt die Planung und Steuerung von intralogistischen Systemen vor neue Herausforderungen, denn die Planung verlagert sich zunehmend in die Betriebsphase, wodurch Planungs- und Steuerungsaktivitäten zunehmend zusammenfallen. In welchem Maß sich die Phasen überlappen ist abhängig von verschiedenen Faktoren. So erfordern zukünftige Produktionssysteme, dass bisher langfristig ausgelegte Planungsaufgaben wie z. B. die Auslegung und Gestaltung des Materialflusses kurzfristig in der Betriebsphase ausgeführt werden. Des Weiteren sind autonome Intralogistikelemente vermehrt zur selbständigen Entscheidungsfindung und -durchführung befähigt, wodurch die Planung und Steuerung dynamisch ablaufen und sich zeitlich überschneiden. Insbesondere in der Betriebsphase von Intralogistiksystemen wird vermehrt der Begriff der Koordination verwendet, der sowohl planerische als auch steuernde Aspekte umfasst. Als Folge verlieren zukünftig existierende Abgrenzungskriterien an Exaktheit.

#### LITERATUR

- [AF19] Arnold, Dieter; Furmans, Kai: *Materialfluss in Logistiksystemen*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2019. – ISBN 978-3-662-60387-1
- [Agg81] Aggteleky, Béla: *Fabrikplanung*. Hanser Verlag. München, 1981. – ISBN 3-446-13209-0
- [AIK+08] Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai (Hrsg.): *Handbuch Logistik*. Springer-Verlag. Berlin, 2008. – ISBN 978-3-540-72929-7
- [All99] Allgayer, Franz: *Computerunterstützte Planung von Materialflußsystemen auf Basis statischer Materialflüsse*. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 1999. Utz Verlag. München, 1999. – ISBN 978-3-89675-687-9
- [Arn06] Arnold, Dieter (Hrsg.): *Intralogistik*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2006. – ISBN 978-3-540-29657-7
- [BFD20] Bauernhansl, Thomas; Fechter, Manuel; Dietz, Thomas (Hrsg.): *Entwicklung, Aufbau und Demonstration einer wandlungsfähigen (Fahrzeug-) Forschungsproduktion*. Springer-Verlag. Berlin, 2020. – ISBN 978-3-662-60490-8
- [BGM18] Bortolini, Marco; Galizia, Francesco G.; Mora, Cristina: *Reconfigurable manufacturing systems: Literature review and research trend*. In: *Journal of Manufacturing Systems*, 2018, 49, S. 93–106
- [BHS20] Bozkurt, Ali; Hagg, Manuel; Schulz, Robert: *Innovative logistics concepts for a versatile and flexible manufacturing of lot size one*. In: Nyhuis, Peter; Herberger, David; Hübner, Marco (Hrsg.): *Proceedings of the 1st Conference on Production Systems and Logistics (CPSL 2020)*, 2020, S. 38–47
- [Dan09] Dangelmaier, Wilhelm: *Theorie der Produktionsplanung und -steuerung*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2009
- [Dic15] Dickmann, Philipp: *Schlanker Materialfluss*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2015. – ISBN 978-3-662-44868-7
- [DIN94] Deutsches Institut für Normung: *Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Allgemeine Grundbegriffe*. DIN 19226 Teil 1. Beuth Verlag. Berlin, 1994
- [Dör13] Dörmer, Jan: *Produktionsprogrammplanung bei variantenreicher Fließproduktion*.

- Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 2012. Springer Fachmedien. Wiesbaden, 2013. – ISBN 978-3-658-02091-0
- [DSK17] Dombrowski, Uwe; Stefanak, Tobias; Krenkel, Philipp: *Aspekte der Fabrikplanung für die Ausrichtung auf Industrie 4.0*. In: Reinhart, Gunther (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0*. Hanser Verlag, München, 2017. – ISBN 978-3-446-44642-7, S. 169–190
- [FAF+19] Fries, Christian; Al Assadi, Anwar; Fechter, Manuel; Bauernhansl, Thomas; Bozkurt, Ali; Schulz, Robert; Grimm Samir: *Fluide Fahrzeugproduktion*. In: VDI-Z, 2019, 161 12, S. 78–81
- [FB15] Foith-Förster, Petra; Bauernhansl, Thomas: *Changeable and reconfigurable assembly systems – A structure planning approach in automotive manufacturing*. In: Bargende, Michael; Reuss, Hans-Christian; Wiedemann, Jochen (Hrsg.): *15. Internationales Stuttgarter Symposium. Automobil- und Motorentechnik*. Springer-Verlag, Wiesbaden, 2015. – ISBN 978-3-658-08843-9, S. 375–394
- [FWF20] Fries, Christian; Wiendahl, Hans-Hermann; Foith-Förster, Petra: *Planung zukünftiger Automobilproduktionen*. In: Bauernhansl, Thomas; Fechter, Manuel; Dietz, Thomas (Hrsg.): *Entwicklung, Aufbau und Demonstration einer wandlungsfähigen (Fahrzeug-) Forschungsproduktion*. Springer-Verlag, Berlin, 2020. – ISBN 978-3-662-60490-8, S. 19–43
- [Gru18] Grundig, Claus-Gerold: *Fabrikplanung*. Hanser Verlag, München, 2018. – ISBN 978-3-446-45400-2
- [Gud12a] Gudehus, Timm: *Dynamische Disposition*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012. – ISBN 978-3-642-22982-4
- [Gud12b] Gudehus, Timm: *Logistik 2: Netzwerke, Systeme und Lieferketten*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012. – ISBN 978-3-642-29376-4
- [Han01] Hansmann, Karl-Werner: *Industrielles Management*. Oldenbourg, München, 2001. – ISBN 3-486-25676-9
- [Her12] Herlyn, Wilmjakob: *PPS im Automobilbau*. Hanser Verlag, München, 2012. – ISBN 978-3-446-41370-2
- [Ihd01] Ihde, G. B.: *Transport, Verkehr, Logistik*. Vahlen Verlag, München, 2001. – ISBN 978-3-8006-2611-3
- [JB98] Jünemann, Reinhardt; Beyer, Andreas: *Steuerung von Materialfluß- und Logistiksystemen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1998. – ISBN 3-540-64514-4
- [Job13] Jobi, Boris S.: *Entwicklung einer rechnergestützten Systematik zur funktionsbereichsübergreifenden Planung von Distributionszentren durch Einsatz der Graphentheorie*. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2012. Shaker Verlag, Aachen, 2013. – ISBN 978-3-8440-1792-2
- [Jün89] Jünemann, Reinhardt: *Materialfluß und Logistik*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1989. – ISBN 978-3-662-08532-5
- [Kle15] Kletti, Jürgen: *MES - Manufacturing Execution System*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2015. – ISBN 978-3-662-46901-9
- [Koe18] Koether, Reinhard: *Fördertechnik und innerbetrieblicher Materialfluss*. In: Koether, Reinhard (Hrsg.): *Taschenbuch der Logistik*. Hanser Verlag, München, 2018. – ISBN 978-3-446-45414-9, S. 289–310
- [KSG84] Kettner, Hans; Schmidt, Jürgen; Greim, Hans-Robert: *Leitfaden der systematischen Fabrikplanung*. Hanser Verlag, München, 1984. – ISBN 978-3-446-13825-4
- [KW10] Kieser, Alfred; Walgenbach, Peter: *Organisation*. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2010. – ISBN 978-3-7910-2926-9
- [Lib11] Libert, Sergey: *Beitrag zur agentenbasierten Gestaltung von Materialflussteuerungen*. Zugl.: Dortmund, Techn. Univ., Diss., 2011. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 2011. – ISBN 978-3-86975-049-1
- [Löd16] Lödding, Hermann: *Verfahren der Fertigungssteuerung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016. – ISBN 978-3-662-48458-6
- [MBF+18] Muchna, Claus; Brandenburg, Hans; Fottner, Johannes; Gutermuth, Jens: *Grundlagen der Logistik*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018. – ISBN 978-3-658-18592-3
- [MH96] Meyer, Manfred; Hansen, Klaus: *Planungsverfahren des Operations-Research*. Vahlen Verlag, München, 1996. – ISBN 978-3-8006-2039-5
- [Nie10] Nieke, Clemens: *Materialflussteuerung heute und ihre Defizite*. In: Günthner, Willibald; ten Hompel, Michael (Hrsg.): *Internet der Dinge in der Intralogistik*. Springer-

- [OO18] Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010. – ISBN 978-3-642-04895-1, S. 15–22
- [Ove14] Oeldorf, Gerhard; Olfert, Klaus: *Material-Logistik*. NWB Verlag. Herne, 2018. – ISBN 978-3-470-541440
- [Paw07] Overmeyer, Ludger: *Automatisierung in der Materialflusstechnik*. In: Grote, Karl-Heinrich; Feldhusen, Jörg; Dubbel, Heinrich (Hrsg.): *Dubbel. Taschenbuch für den Maschinenbau*. Springer-Verlag, Berlin, 2014. – ISBN 978-3-642-38890-3, S. 105–111
- [Pfo18] Pawellek, Günther: *Produktionslogistik*. Hanser Verlag. München, 2007. – ISBN 978-3-446-41057-2
- [Pop18] Pfohl, Hans-Christian: *Logistiksysteme*. Springer-Verlag. Berlin, 2018. – ISBN 978-3-662-56227-7
- [PS17] Popp, Julian: *Neuartige Logistikkonzepte für eine flexible Automobilproduktion ohne Band*. Stuttgart, Univ. Diss., 2018
- [Ran17] Peretzke, Julia; Sandhaus, Gregor: *Einsatzpotentiale von Cognitive Computing zur Unterstützung der Entscheidungsfindung im Supply Chain Management*. Working Paper, ild Schriftenreihe Logistikforschung, Nr. 53, 2017
- [RMW00] Rank, Sebastian: *Eliminierung negativer Effekte autokorrelierter Prozesse an Zusammenführungen*. Dresden, Techn. Univ. Diss, 2017
- [Sch14] Rohde, Jens; Meyr, Herbert; Wagner, Michael: *Die Supply Chain Planning Matrix*. In: PPS Management, 2000 5, S. 10–15
- [Sch17] Schulte-Zurhausen, Manfred: *Organisation*. Vahlen Verlag. München, 2014. – ISBN 978-3-8006-4689-0
- [Sch95] Schulte, Christof: *Logistik*. Vahlen Verlag. München, 2017. – ISBN 978-3-8006-5118-4
- [SPL+18] Schmigalla, Hans: *Fabrikplanung*. Hanser Verlag. München, 1995. – ISBN 3-446-18572-0
- [Spu94] Schuh, Günther; Prote, Jan-Philipp; Lückert, Melanie; Schmidhuber, Matthias: *Potenzial von Echtzeitdaten für die Produktion*. In: Werkstatttechnik online, 2018, 108 4, S. 198–203
- [Ste15] Spur, Günter (Hrsg.): *Fabrikbetrieb*. Hanser Verlag. München, 1994. – ISBN 978-3-446-17714-7
- [Ste15] Steven, Marion: *Produktionslogistik*. Kohlhammer Verlag. Stuttgart, 2015. – ISBN 978-3-17-028636-8
- [tBF08] ten Hompel, Michael; Büchter, Hubert; Franzke, Ulrich: *Identifikationssysteme und Automatisierung*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2008. – ISBN 978-3-540-75880-8
- [tSD18] ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten; Dregger, Johannes: *Materialflusssysteme*. Springer-Verlag. Berlin, 2018. – ISBN 978-3-662-56181-2
- [VDI/VDMA16] Verein Deutscher Ingenieure; Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau: *Systemarchitektur für die Intralogistik (SAIL). Grundlagen*. VDI/VDMA 5010 Blatt 1. Beuth Verlag. Berlin, 2016
- [VDI04] Verein Deutscher Ingenieure: *Logistik Kennzahlen für die Produktion*. VDI 4400 Blatt 2. Beuth Verlag. Berlin, 2004
- [VDI05] Verein Deutscher Ingenieure: *Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS). Leitsteuerung für FTS*. VDI 4451 Blatt 7. Beuth Verlag. Berlin, 2005
- [VDI11a] Verein Deutscher Ingenieure: *Vorgehen bei einer Materialflussplanung. Grundlagen*. VDI 2498 Blatt 1. Beuth Verlag. Berlin, 2011
- [VDI11b] Verein Deutscher Ingenieure: *Fabrikplanung. Planungsvorgehen*. VDI 5200 Blatt 1. Beuth Verlag. Berlin, 2011
- [VDI15] Verein Deutscher Ingenieure: *Warehouse-Management-Systeme*. VDI 3601. Beuth Verlag. Berlin, 2015
- [VDI16] Verein Deutscher Ingenieure: *Fertigungsmanagementsysteme (MES)*. VDI 5600 Blatt 1. Beuth Verlag. Berlin, 2016
- [VDI19] Verein Deutscher Ingenieure: *Leitfaden für Materialflussuntersuchungen*. VDI 2689. Beuth Verlag. Berlin, 2019
- [VDI89a] Verein Deutscher Ingenieure: *Leitfaden für die materialflussgerechte Planung von Industrieanlagen*. VDI 2385. Beuth Verlag. Berlin, 1989
- [VDI89b] Verein Deutscher Ingenieure: *Planung der Materialflußsteuerung in Fertigungsbetrieben*. VDI 3961. Beuth Verlag, 1989
- [Vol09] Volling, Thomas: *Auftragsbezogene Planung bei variantenreicher Serienproduktion*. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ.,

- Diss., 2008. GWV Verlag. Wiesbaden, 2009. – ISBN 978-3-8349-1477-4
- [WH10] Windt, Katja; Hülsmann, Michael: *Changing Paradigms in Logistics - Understanding the Shift from Conventional Control to Autonomous Cooperation and Control*. In: Hülsmann, Michael; Windt, Katja (Hrsg.): *Understanding autonomous cooperation and control in logistics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010. – ISBN 978-3-642-07996-2, S. 1–16
- [Wil06] Wilke, Michael: *Wandelbare automatisierte Materialflusssysteme für dynamische Produktionsstrukturen*. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2006. Utz Verlag. München, 2006. – ISBN 978-3-8316-0591-0
- [WW19] Wiendahl, Hans-Peter; Wiendahl, Hans-Hermann: *Betriebsorganisation für Ingenieure*. Hanser Verlag. München, 2019. – ISBN 978-3-446-44661-8
- [WWP+00] Westkämper, E.; Wiendahl, Hans-Hermann; Pritschow, Günter; Rempp, G.; Schanz, M.: *Turbulenz in der PPS - eine Analogie*. In: *wt Werkstattstechnik*, 2000, 90 5, S. 203–207
- [YSL18] Yin, Yong; Stecke, Kathryn E.; Li, Dongni: *The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0*. In: *International Journal of Production Research*, 2018, 56 1-2, S. 848–861
- [Zäp96] Zäpfel, Günther: *PPS (Produktionsplanung und -steuerung)*. In: Kern, Werner; Schröder, Hans-Horst; Weber, Jürgen (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1996. – ISBN 3-7910-8044-X, S. 1391–1405
- [Zäp98] Zäpfel, Günther: *Grundlagen und Möglichkeiten der Gestaltung dezentraler PPS-Systeme*. In: Corsten, Hans; Gössinger, Ralf (Hrsg.): *Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme*. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1998. – ISBN 3-17-015302-1, S. 13–53
- [Zaw18] Zawisza, Jacek: *Entwicklung und Integration interdependenter Agentensysteme zur dezentralen Produktionsplanung und -steuerung*. Magdeburg, Univ. Diss., 2018

---

**Manuel Hagg, M.Sc.**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT), Universität Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711 685 83795  
E-Mail: manuel.hagg@ift.uni-stuttgart.de

**Ruben Noortwyck, M.Sc.**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT), Universität Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711 685 83475  
E-Mail: ruben.noortwyck@ift.uni-stuttgart.de

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz**, Institutsleiter des Instituts für Fördertechnik und Logistik (IFT), Universität Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711 685 83771  
E-Mail: robert.schulz@ift.uni-stuttgart.de

**Adresse:**

Institut für Fördertechnik und Logistik, Universität Stuttgart, Holzgartenstraße 15 B, D-70174 Stuttgart