

Geänderte Zielsetzungen bei der Konfiguration und dem Betrieb von Fließmontagesystemen und deren Berücksichtigung in der Fachliteratur

Changed objectives for the configuration and operation of flow assembly systems and their consideration in the scientific literature

Ayman Al Khateeb

Fachgebiet Fabrikbetrieb
Institut für rechnerunterstützte Produktion
Technische Universität Ilmenau

Ursprünglich zielte die Gestaltung von Montagesystemen in Form von Fließsystemen auf eine gleichmäßig hohe Stückzahl eines einzelnen Produkts bei hohem Automatisierungsgrad ab. Aus Gründen wie z.B. ständig zunehmende Anforderungen durch Kundenwünsche oder Absatzveränderungen sind die Montageprozesse fortwährend an die veränderten Rahmenbedingungen anzupassen. In diesem Zusammenhang gewinnen Gesichtspunkte wie Flexibilität, höhere Verfügbarkeit bzw. Nutzungsgrade, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit stärker an Bedeutung. Die Konfiguration und Planung von Fließmontagesystemen erfolgt i.d.R. durch die Zerlegung der gesamten Planungsprobleme in kleine Teilprobleme, die durch unterschiedliche Planungsmaßnahmen bzw. systematische Planungsschritte lösbar sind. Mit den vorstehenden Hinweisen ist außerdem nur ein Teil der Gesichtspunkte aufgeführt, die aus heutiger Sicht zu geänderten (ergänzten) Zielsetzungen führen. Der Beitrag wird diese Veränderungen durch Darstellung eines sinnvollen zielführenden Katalogs von Zielsetzungen und dessen Abgleich mit der Fachliteratur nachvollziehbar machen.

[Schlüsselwörter: Fließmontagesystem, Production on Demand, Konfigurationsplanung, Betriebsplanung, Zielkatalog]

Originally, the design of assembly systems in the form of flow systems targeted onto a uniformly high quantity of a single product with a high degree of automation. For reasons such as ever-increasing demands by customer requests or demand fluctuation the assembly processes have continually to be adjusted to changing circumstances. In this context, factors such as flexibility, higher availability and system utilizations, energy efficiency and cost gain in importance. The configuration and planning of flow assembly systems is usually carried out by the decomposition of the planning problem into small sub-problems that are solved by different planning measures or systematic planning steps. In ac-

cordance with the above instructions, also only one part of the factors is listed that leads in today's perspective to changed (complementary) objectives. This paper will make these changes comprehensible by representation of a meaningful goal-oriented catalogue of objectives and its comparison with the scientific literature.

[Keywords: flow assembly system, production on demand, configuration planning, operations planning, target catalogue]

1 PROBLEMSTELLUNG

Die Fließmontage wurde erstmals von Henry Ford zur Herstellung des T-Modells entwickelt, wobei als Ziele die logische Folge der Arbeitsteilung und die Standardisierung verfolgt werden [LW06]. Bei Planung und Betrieb solcher Systeme war das Primärziel, die Fertigung identischer Produkte mit hohem Durchsatz zu erreichen. Unter dem Einfluss der Entwicklung von Toyota-Produktionssystemen, insbesondere Kanban-Systeme und Just-In-Time-Konzepte (JIT), bemüht man sich, letztlich auch unterschiedliche Varianten eines Grundelements auf einem Fließsystem in wahlfreier Reihenfolge und mit der Losgröße eins (Variantenfließfertigung) herzustellen. Weiterhin wird angestrebt, kleine Lose mit möglichst niedrigen erforderlichen Umrüstkosten in Kleinserien (serienweise Mehrprodukt-Fließfertigung) zu fertigen.

Im Hinblick auf zunehmend schwankende Stückzahlen und das Prinzip der Auftragsfertigung (engl. production on demand) sind Gesichtspunkte wie Flexibilität, Wandlungsfähigkeit, höhere Verfügbarkeit bzw. Nutzungsgrade, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit auch bei geringer Last und -konkurrierend- auch Mehrschichtbetrieb sowie die Mischung von manuellen und automatisierten Stationen in Form von Hybridsystemen bei Planung von Fließmontagesystemen zu berücksichtigen. So kann beispielsweise das Ziel der höheren Verfügbarkeit durch Redundanzen möglicherweise auch dazu genutzt

werden, bei beabsichtigtem Schwachlastbetrieb Untersysteme mit entsprechend geringerer Stationszahl und (bei Hybridsystemen) reduziertem Personaleinsatz zu nutzen.

Die Ausgangsbasis bei der Konfiguration und dem Betrieb von Fließmontagesystemen ist die Festlegung bzw. die Beschreibung von Problemstellungen und Zielsetzungen. Anschließend werden häufig die Problemstellungen in kleine Teilprobleme zerlegt, die weiterhin mithilfe unterschiedliche Methoden (analytisch oder Simulation) durch systematische Planungsschritte gelöst werden können. Diese Systematik führt zwar zur Vereinfachung der Planung von Subsystemen, beeinflusst das Gesamtsystem aber nur wenig.

Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Durchführung einer Literaturrecherche, in der versucht wird, die in der Fachliteratur, sowohl in der Konfigurationsphase als auch in der Betriebsphase beachteten Planungsschwerpunkte bzw. –aufgaben zusammenzufassen. Diese Literaturrecherche verdeutlicht, dass es sich um neue erweiterte Zielkataloge handelt. Durch die Ordnung der untersuchten Literatur nach ihren Erscheinungsdaten kann man den Wandel bei dem Auffinden als jeweils relevant erkannter Aufgabenstellungen erkennen.

2 MONTAGE ALS FLIEßFERTIGUNGSSYSTEM

Fließfertigung liegt vor, wenn Erzeugnisse in einem kontinuierlichen Fluss gemäß der Anordnungsreihenfolge von Produktiveinheit zu Produktiveinheit weitergegeben werden, wobei die Produktiveinheiten als Bearbeitungsstationen bezeichnet werden. Dabei werden die Bearbeitungsstationen entsprechend der Reihenfolge des Arbeitsablaufes nach dem Flussprinzip angeordnet. Eine flexible Form der Fließfertigung entsteht, wenn Puffer zwischen den Stationen in einer Fertigungslinie eingerichtet werden. Das Flussprinzip ist i.d.R. in der Großserien- und Massenfertigung anzutreffen, wo der Produktaufbau kurzfristig nicht zu ändern ist.

Je nach der Anzahl, Art und Reihenfolge der zu fertigenden Produktvariante lassen sich die Formen der Fließsysteme in die folgenden Klassen einteilen [Kra00; BBG04; Boy05], vgl. Abbildung 1:

- Einprodukt-Fließfertigung
- Mehrprodukt-Fließfertigung
 - Serienweise Mehrprodukt-Fließfertigung (engl. Multi-Model-Production)
 - Variantenfließfertigung (engl. Mixed-Model-Production)

Die Einprodukt-Fließfertigung entspricht der Herstellung des Modells T von Ford. Dabei kann im Fließsystem nur ein einzelnes Produkt über längere Zeit in sehr großen Stückzahlen hergestellt werden. Dieser Art der Fertigung

ist generell mit einem hohen Automatisierungs- und Standardisierungsgrad verbunden.

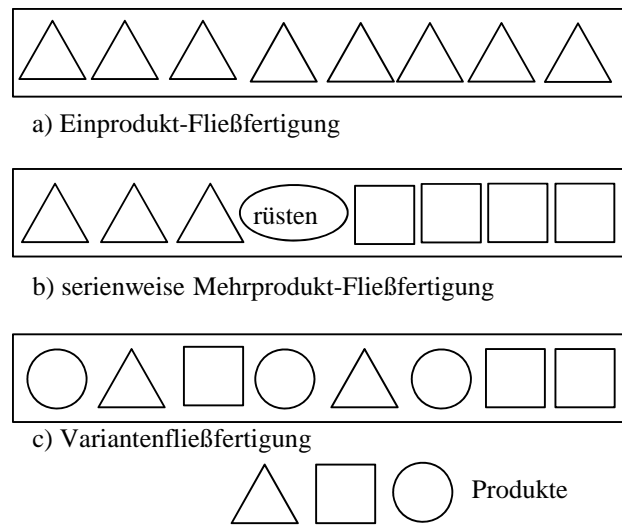


Abbildung 1. Einprodukt- und Mehrprodukt- Fließfertigung, in Anlehnung an [Sch99]

Bei der serienweisen Fließfertigung werden verschiedene Produktvarianten in bestimmten Mengen (Lose) produziert, wobei die Produkte des jeweiligen Loses gleich sind. Die Stationen in dieser Fließfertigung müssen in der Lage sein, andere Varianten nach dem Umrüsten herstellen zu können. Dadurch kann es sein, dass die Taktzeiten zur Produktion unterschiedlicher Varianten bzw. Lose veränderbar sind. In dieser Fertigungsart treten i.d.R. beim Wechsel von Varianten sowohl unterschiedliche erforderliche Umstellungsaufwände (Umrüstkosten) bzw. Umrüstzeiten als auch zusätzliche Kosten zur Lagerung von Erzeugnissen auf. Die Umrüstzeiten werden als nicht-wertschöpfende Zeit bezeichnet. Um die Rüstkosten zu reduzieren, werden die Varianten in Losen gefertigt. Dabei besteht die Problemstellung grundsätzlich darin, optimierte Losgrößen und die Bearbeitungsreihenfolge zu bestimmen.

Bei der Variantenfließfertigung können auf einem Fließsystem in wahlfreier Reihenfolge unterschiedliche Varianten gefertigt werden. In diesem Fall sollten die Rüstzeiten sehr klein sein. So können sie vernachlässigbar bleiben. Die Vermeidung von Umrüstvorgängen kann durch den Einsatz von Hochtechnologie bspw. bei der Montage von Personenkraftwagen verwirklicht werden. Dabei werden meist Aufträge mit unterschiedlichen Kundenwünschen nacheinander bearbeitet. Dadurch schwanken die Bearbeitungszeiten von Variante zu Variante.

Während die serienweise Mehrprodukt-Fließfertigung durch die Fertigung von Losen, das Auftreten von Rüstkosten und die komplizierte Reihenfolge- bzw. Losgrößenplanung charakterisiert wird, weisen die Einzelprodukt-Fließfertigung und Variantenfließfertigung

solche Probleme nicht auf. Weiterhin haben sie die gleichen betrieblichen Rahmenbedingungen. Insbesondere ist dabei die wahlfreie Bearbeitungsreihenfolge in der Losgröße Eins zu nennen. Jedoch steht dem Vorteil, unterschiedliche Varianten anstatt einer einzelnen Variante im gleichen Fließsystem zu fertigen, eine Abnahme von Stationsnutzungsgraden bei der Variantenfließfertigung gegenüber. Weitere Unterschiede zwischen den beiden Fertigungsarten werden im Folgenden dargestellt:

- Die Senkung des Standardisierungsgrads wegen der Zunahme der Produktvarianten hat negative Folgen auf die Ausbildungs- und Schulungskosten. Jedoch sind dabei die Effekte der Arbeitsmonotonie und -belastung schwächer.
- Die Investitionskosten erhöhen sich geringfügig, da hier neue Technologien zur Minderung bzw. Vermeidung von Rüstkosten anzuwenden sind [Sch99].

3 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG IN DER FLIEBMONTAGE

Das wichtigste Ziel eines produzierenden Unternehmens ist die Wirtschaftlichkeit der Produktion. Diese lässt sich durch die Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zwischen den betriebsbezogenen Zielen und den marktbezogenen Zielen gewährleisten. Die Unternehmen sind gefordert, einerseits die Kundenzufriedenheit durch die kurze Lieferzeit bzw. Durchlaufzeit, hohe Liefertreue und Qualität zu steigern und andererseits die Auslastung der Fertigungsanlagen zu erhöhen und die Bestände bzw. die Kapitalbindung und Pufferkapazitäten (Lagerhaltungskosten) zu reduzieren [WN98; Med10]. Auf diese Weise wurden weiterhin bei [KS11] die wesentlichen Ziele eines Unternehmens durch die Wirtschaftlichkeit, Termintreue und Flexibilität festgelegt. Die wachsenden Kundenbedürfnisse haben die Unternehmen gezwungen, ihre Strategien und Zielsetzungen im Bereich der Fertigung zu ändern. Die Verschiebung des Zielsystems von Betriebszielen zu Marktzielen wird anschaulich in Abbildung 2 dargestellt.

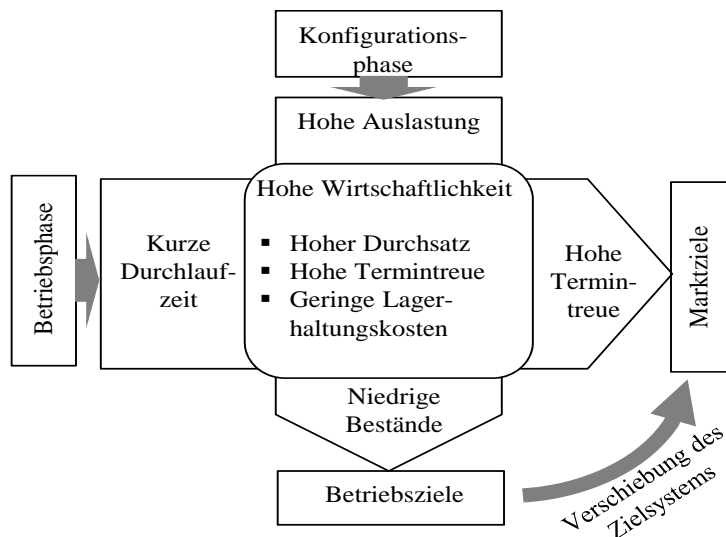


Abbildung 2. Wandel des Zielsystems, in Anlehnung an [WN98; VDI00; Hel03]

Das Streben nach sowohl qualitativem als auch quantitativem Wachstum führt in vielen Branchen zur Fließfertigung von variantenreichen Produkten. Diese Differenzierung von Produkten erfolgt grundsätzlich im Montagebereich, denn die Montage kennzeichnet sowohl die Schnittstelle zum Endkunden als auch die Endstufe der Fertigung. Auf diese Weise müssen einerseits alle Kundenwünsche bezüglich Liefertermine, Varianten und Produktanzahlen in der Montage berücksichtigt werden. Andererseits potenzieren sich alle Fehlleistungen vorgelagerter Bereiche in der Montage. Weiterhin werden Mängel in der Teilequalität häufig erst in der Montage sichtbar [Kau11].

Die Anordnung der Stationen nach der Prozessfolge führt dazu, dass die Transportzeiten, Durchlaufzeiten und Lagerkosten im Vergleich zu den anderen Organisationsformen der Fertigung sehr gering sind. Dank der Abstimmung von Stationsleistungen und der Kürzung der Transportwege wird eine hohe Produktivität (Durchsatz) erzielt. Gegenteiligerweise weist die Fließfertigung hohe Investitionskosten und vor allem sehr geringe Flexibilität und hohe Störanfälligkeit bzw. Instandhaltungskosten auf [WGM01; ZSH08]. Das „klassische“ Optimierungsziel ist daher, die Effizienz verketteter Fließsysteme zu erhöhen. Bei steigender Variantenvielfalt und Auftragschwankungen sind weitere Herausforderungen bezüglich der Zeit-

und Kapazitätswirtschaft zu kompensieren. Es wurde in der Praxis versucht, die produktionswirtschaftlichen Ziele von Fließsystemen sowohl bei der Konfigurations- als auch der Betriebsphase durch die Betrachtung eines oder mehrerer Problemfelder zu berücksichtigen.

3.1 PLANUNGSSCHWERPUNKTE IN DER KONFIGURATIONSPHASE

Die Konfiguration von Fließsystemen wirkt sich maßgeblich auf ihre Leistungen und die Investitions- bzw. Betriebskosten aus. Dabei lassen sich im Wesentlichen die Planungsprobleme in vier Felder gliedern: Fließbandabstimmung, Pufferplanung, Nachbearbeitung und Instandhaltung [Dau94; Kuh98].

Im Mittelpunkt der Konfiguration der Fließfertigung steht die Fließbandabstimmung, welche den wesentlichen Einfluss auf die zukünftige Leistung und Flexibilität der Fließsysteme hat [Boy05; Med10]. Die wesentliche Angabe für die Fließbandabstimmung ist grundsätzlich die Taktzeit, die in Anlehnung an die Jahrstückzahlen berechnet wird. Die entwickelten Fließbandabstimmungserfahren konzentrieren sich hauptsächlich auf die serielle Struktur und selten auf die parallele Struktur und U-Form [SS83; DS97; BS06]. Traditionell wurden zahlreiche Fließbandabstimmungsverfahren sowohl für die Systeme der Einprodukt-Fließfertigung [Hof63; WG78; ES98; Sch99] als auch für die Systeme der Mehrprodukt-Fließfertigung [DS97; Boy05] entwickelt. Aufgrund des Wandels zum Käufermarkt können jedoch kaum noch zuverlässige Angaben zum Absatz prognostiziert werden. Da die Auftragsgrößen unregelmäßig während des Jahres schwanken, müssen die Arbeitssysteme rechtzeitig reagieren und demzufolge unregelmäßig belastet werden, um die Liefertermine zu halten [Krü04], wobei ein Beitrag zur Planung stückzahlflexibler Montagesysteme entwickelt wird.

Im Rahmen der Pufferplanung ist über die Anzahl, Anordnung und Dimensionierung von Pufferanlagen zu entscheiden [Jan79]. Das Ziel ist hierbei Störungen zu isolieren bzw. ihre Wirkungen zu verringern. Eine internationale Studie zeigt, dass sich die häufigen Nutzungsgrade solcher Fließsysteme auf zwischen 60% und 70% Prozent bewegen, wobei die Einflüsse der Pufferkapazitäten auf die Gesamtverfügbarkeit bzw. den –nutzungsgrad untersucht werden [Krü00]. Die Häufigkeit von Betriebsmittelausfällen bzw. Stationsstörungen und den Stördauern lässt sich durch effektive Instandhaltungsmaßnahmen erheblich reduzieren. Demgegenüber sind die damit verbundenen Kosten zu berücksichtigen [Kuh98].

Im Zuge der Nachbearbeitung sind Entscheidungen über die Anzahl, Anordnung und Größen der Qualitätsstationen, Nachbearbeitungsstationen bzw. Puffer zu treffen [Hel99]. Die Hinzufügung von Qualitätsstationen und die

Gestaltung von Nachbearbeitungsprozessen haben einen erheblichen Einfluss auf das Verhalten von Fließmontagesystemen [AIK08]. Insbesondere bei Nachbearbeitungsschleifen findet man in der Literatur keinerlei Informationen über die Taktzeitbestimmung von Nachbearbeitungs-Nachbearbeitungslinien.

Eine Übersicht über mögliche Zielsetzungen, Planungsmaßnahmen und Optimierungsmethoden in der Konfigurationsphase zeigt der in Abbildung 3 dargestellte Problem-Zielkatalog an, vgl. z.B. [Dau94; Kuh98; Zoc02; AIK08].

3.2 PLANUNGSAUFGABEN IN DER BETRIEBSPHASE

In der Betriebsphase sind operative bzw. kurzfristige Planungsprobleme zu berücksichtigen. Dabei wird die „optimale“ Nutzung der vorhandenen Kapazitäten angestrebt. Die Engpässe entstehen nicht nur durch die mangelnde Abtaktung bzw. Synchronisierung der Fließlinien, sondern auch jeweils innerhalb der Fließlinien, und zwar durch die Wechselwirkung zwischen Varianten mit unterschiedlichen Bearbeitungszeiten. Außerdem stellen die Nachfrageschwankungsmenge und Absatzänderungen bis dato ein offenes Problem auf operativer Ebene der Planung dar [Krü04]. In der betrieblichen Praxis können zwar Termine für die Kapazitätsbelegungen und somit für die Lieferungen geplant werden, aber selten können sie gehalten werden. Das wirkt sich unmittelbar negativ auf die Wettbewerbsposition des Unternehmens aus und kann vor allem zum Verlust bestehender Kunden führen. Zusätzlich dazu sind wegen der zunehmenden Kundenanforderungen, insbesondere kurze Liefertermine bzw. hohe Termintreue, weitere dringende Entscheidungen, z.B. zur Auftragsaufnahme oder Reihenfolgeänderung, zu treffen [Boy05]. Hauptsächlich zielt die Reihenfolgeplanung auf die Verteilung der Variante auf die Reihenfolge, so dass unter Berücksichtigung der Taktzeit die Ausführungszeiten der nacheinander folgenden Varianten möglichst ausgeglichen werden können, d.h. es erfolgt eine Abwechslung von Varianten mit höheren und geringeren Arbeitsinhalten. Für diesen Zweck wurde in [Boy05] ein entsprechendes Entscheidungsmodell entwickelt.

Weiterhin müssen die Anlagen ausgehend von fehlender und/oder teurer Technologie umgerüstet werden, bevor sie mit der Herstellung anderer Varianten beginnen. In diesem Fall ist die Produktion von Losen sinnvoll, um die Umrüstzeiten bzw. anfallenden Rüstkosten zu reduzieren [DS08]. Demzufolge entstehen mehrere Planungsentscheidungen bei der Wahl der Losgröße und die Reihenfolge von Losen [Mon06], wobei weiterhin die Varianten in Produktfamilien gegliedert und in parallelen Linien gefertigt werden. Als Übersicht über mögliche Zielsetzungen, Planungsmaßnahmen und Optimierungsmethoden wird ein Problem-Zielkatalog erstellt und in Abb. 4 dargestellt, vgl. z.B. [DS97; kuh98; Boy05; Mon06].

Problemfeld		Zielsetzung	Planungs- maßnahme	Optimierungs- methode
		Leistungs- abstimmung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Min. der Durchlaufzeit ▪ Max. der Kapazitätsauslastung ▪ Min. der Lohn- und Betriebsmittelkosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fließbandabstimmung ▪ Art und Anzahl der Linie ▪ Automatisierungsgrad
Pufferplanung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Min. von Störungsfolgen ▪ Max. der Gesamtverfügbarkeit bzw. des -nutzungsgrades ▪ Min. von Puffergrößen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensionierung von Puffern ▪ Gestaltung des Transportsystems 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Warteschlangenmodelle ▪ Approximationsformeln ▪ Simulation 	
Nachbear- beitung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Min. bzw. Vermeidung von Ausschuss ▪ Min. von Nachbearbeitungskosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konfiguration von Nachbearbeitungs-schleifen ▪ Dimensionierung von Puffern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Algorithmen ▪ Adaptive und selektive Montage (ASM) ▪ Simulation 	
Instand- haltung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Min. der Häufigkeit der Betriebsmittel-ausfälle bzw. ihrer Ausfalldauer 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instandhaltungssysteme (zentralisiert bzw. dezentralisiert) ▪ Instandhaltungsbe-reitstellungsplanung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instandhaltungsmodelle ▪ Algorithmen ▪ Simulation 	

Abbildung 3. Ausgewählter Problem-Zielkatalog in der Konfigurationsphase

Problemfeld		Zielsetzung	Planungs- maßnahme	Optimierungs- methode
		Produktions- programm, Rei- henfolge	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kurze Liefertermine ▪ Verwirklichung des JIT-Prinzips ▪ Max. der Kapazitätsauslastung ▪ Min. von Lagerkosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entscheidungen über Auftragsannahme ▪ Lieferterminvereinbarung ▪ Fertigungsterminplanung
Losgrößen, Reihenfolge	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Min. der Taktzeitüberschreitungen ▪ Min. der Umrüstungszeit bzw. Rüstkosten ▪ Min. von Lagerkosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reihenfolgeplanung ▪ Losgrößenplanung ▪ Definition von Produktfamilien 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Losgrößenmodelle ▪ Algorithmen ▪ Simulation 	
Instandhal- tungsablauf- planung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Min. der Häufigkeit der Betriebsmittel-ausfälle bzw. ihrer Ausfalldauer 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instandhaltungsablaufplanung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instandhaltungsmodelle ▪ Algorithmen ▪ Simulation 	

Abbildung 4. Ausgewählter Problem-Zielkatalog in der Betriebsphase

4 ZIELKATALOG

Die Hauptzielgrößen der prozessorientierten Gestaltung und des Betriebs von Fertigungssystemen lassen sich in Zeit, Kosten und Qualität zusammenfassen [Eve95]. Die Maximierung einer Zielgröße kann i.d.R. zur Verschlechterung der beiden anderen führen. Deshalb wird meist ein Gesamtoptimum angestrebt. Dabei sollen alle Einflussgrößen auf die Prozessoptimierung und ihre Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Die Zielgröße (Zeit) fasst grundsätzlich die Reduzierung der Durchlaufzeit, die Erhöhung des Durchsatzes und die Verbesserung der Lieferbereitschaft und Termintreue. Geringe Kosten können in der Fließfertigung hauptsächlich durch die Reduzierung der Stationsanzahl bei einer vorgegebenen Taktzeit sowie auch durch die Erhöhung des Nutzungsgrades bzw. Durchsatzes erreicht werden. Weiterhin lassen sich diese Kosten durch die Optimierung der Pufferkapazitäten zwischen den Stationen sowie auch die Optimierung der Transportprozesse reduzieren. Anschließend verringern sich Bestände- und Lagerhaltungskosten. Die Qualität wurde häufig in der Fachliteratur durch die Hinzufügung von Qualitätskontrollen bzw. die Erstellung von Nachbearbeitungsschleifen berücksichtigt.

Aufbauend auf den erwähnten Hinweisen lässt sich ein Zielkatalog entwickeln, in dem die Optimierungsziele in drei Oberziele zusammengefasst werden:

- Hoher Durchsatz wird traditionell durch die Erhöhung des Nutzungsgrades und die Reduzierung der Durchlaufzeit erreicht
- Hohe Termintreue wird traditionell sowohl durch die Reduzierung der Durchlaufzeit bei der Fertigung variantenreicher Produkte als auch durch die Reihenfolgeplanung erreicht. Vor allem kann diese durch die Erhöhung der Flexibilität der Fließsysteme verbessert werden.
- Geringe Lagerhaltungskosten werden durch die Berücksichtigung von Puffergrößen erzielt.

5 LITERATURAUSWERTUNG

Die ständige Optimierung der Fließmontagesysteme wurde grundsätzlich durch die Behandlung von bestimmten Planungsmaßnahmen, meist mit dem Ziel der Verbesserung einer oder mehrerer ihrer Kenngrößen durchgeführt. Um einen Überblick über die eventuellen gegenwärtigen Planungsprobleme von Fließmontagesystemen zu geben, wird eine Reihe der wichtigsten Publikationen, die sich mit der Planung von Fließmontagesystemen beschäftigen, betrachtet und in einer Tabelle unter Betrachtung des entwickelten Zielkatalogs zusammengefasst. Die Publikationen werden weiterhin sorgfältig ausgewählt, damit sie unterschiedliche Problemfelder, Zielsetzungen und Erscheinungsjahre aufweisen. Dabei

werden außerdem die Oberziele des Zielkatalogs und die in Abbildung 3 bzw. 4 dargestellten Problemfelder berücksichtigt.

Die Ergebnisse zeigt Tabelle 1 an, wobei die Literaturquellen nach dem Erscheinungsjahr sortiert werden. Wichtig ist dabei zu betrachten, welche Zielsetzung in welchem Problemfeld bzw. Erscheinungsjahr mit welcher Methode erreicht wurde. Daraus lassen sich die folgenden Aussagen grob ableiten:

- Bislang hat sich niemand mit allen vorgeschlagenen betrachteten Problemfeldern zugleich auseinander gesetzt. Außerdem unterscheidet sich der Fokus der Publikation bezüglich der Problemfelder und Zielsetzungen.
- Die Termintreue gewinnt in den neusten Publikationen mehr an Bedeutung. Dabei wurde vor allem darauf abgezielt, externe Einflussgrößen (Nachfrageschwankungen und Absatzveränderungen) durch Planungsmaßnahmen in der Betriebsphase zu bewältigen [Kri04; Boy05; Med10]. Als Lösungsansätze wurden hierbei die Reihenfolgeplanung, Mehrschichtbetrieb, Einsatz von fremden Arbeitskräften bzw. Springern etc. vorgeschlagen. Bei Krüger und Medo wurde vor allem angestrebt, neue Vorgehensweisen zur Verbesserung der Wandlungsfähigkeit von manuellen bzw. hybriden Montagesystemen zu entwickeln. Die Anpassungsfähigkeit hybrider und automatisierter Fließsystemen ist jedoch wegen der fehlenden Flexibilität begrenzt, insbesondere bei Auftrags- oder Absatzschwankungen.
- Nachbearbeitungssysteme finden bislang wenig Beachtung.
- Zur Reduzierung der Wirkungen interner Einflussgrößen (Störungen und Nachbearbeitungsschwankungen) findet die Dimensionierung von Puffern und Instandhaltungssystemen in den neuesten Publikationen wenig Beachtung.
- Keine von den betrachteten Publikationen hat die Wirkungen der entwickelten Planungsmaßnahmen auf die Energieeffizienz untersucht. Aufgrund der ständig zunehmenden Energiekosten versuchen die produzierenden Unternehmen seit ein paar Jahren die Zielsetzung „Energieeffizienz“ bei der Planung und Optimierung von Fertigungsanlagen zu berücksichtigen [MGF10].

Diese gewonnenen Aussagen entsprechen dem bekannten Wandel des Zielsystems, der in Abbildung 1 dargestellt wurde. Vielmehr wurde in diesem Beitrag auf die wesentlichen Planungsprobleme eingegangen, wobei man die Defizite in Planungsmaßnahmen bzw. die Tendenz der

Tabelle 1. Grobe Darstellung ausgewählter Veröffentlichungen zu Fließmontagesystemen

Zielsetzung	Planungsphase	Problemfelder	Autoren	[Hof63]	[WG78]	[Jan79]	[Dau94]	[Kut98]	[He199]	[Kri00]	[Kri04]	[Boy05]	[Mon06]	[Med10]	
			Methode	A	A	A	A	A	A	S	A	A	A	S	
Hoher Durchsatz	Konfigurationsphase	Leistungsabstimmung	●	●	○	●	○	○	○	○	●	●	○	●	
		Pufferplanung	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
		Nachbearbeitung	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	
		Instandhaltung	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	
	Betriebsphase	Produktionsprogramm, Reihenfolge	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	●
		Losgröße, Reihenfolge	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Instandhaltung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Geringe Lagerhaltungskosten	Konfigurationsphase	Pufferplanung	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Nachbearbeitung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Instandhaltung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Betriebsphase	Produktionsprogramm, Reihenfolge	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Losgröße, Reihenfolge	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Instandhaltung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Hohe Termintreue	Konfigurationsphase	Leistungsabstimmung	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Pufferplanung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Nachbearbeitung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Instandhaltung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Betriebsphase	Produktionsprogramm, Reihenfolge	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Losgröße, Reihenfolge	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Instandhaltung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

Liegende: ● Trifft zu ● Trifft eher zu ● Teilweise ● Trifft eher nicht zu ○ Trifft nicht zu

A: Analytische Methode, S: Simulation

Optimierung von Fließmontagesystemen besser erkennen kann. So ist ein Optimum nur erreichbar, wenn das Gesamtsystem in Betracht gezogen würde.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit müssen die Fließmontagesysteme in der Lage sein, externe und interne Einflussgrößen effektiv zu bewältigen. Diese

Eigenschaften der Fließmontage können vor allem durch die Planung von flexiblen Fließsystemen und unter Beachtung der unterschiedlichen Zielsetzungen und Problemfelder sowie auch die Interdependenz zwischen ihnen erreicht werden. Die in diesem Beitrag durchgeführte Literaturrecherche gibt einen Überblick über die Hauptziele, Planungsprobleme, Planungsmaßnahmen und verwendeten Vorgehensweisen bei der Konfiguration und dem Betrieb von Fließmontagesystemen. Diese werden weiterhin in Problem-Zielkatalogen (Abb. 3 und 4) anschaulich dargestellt. Anschließend wurden die diesbezüglichen Publikationen in der Tabelle 1 so geordnet, dass man den Fokus einzelner Publikation über die Betrachtungszeit (von 1963 bis 2010) leicht erkennen kann. Der Wandel der Zielgrößen zu Marktzielen (vor allem Termintreue) ist in dieser Tabelle sichtbar. Weiterhin konnten Defizite in Planungsmaßnahmen gefunden werden.

LITERATUR

- [AIK08] Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai: *Handbuch Logistik*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. –ISBN 978-3-540-72929-7
- [BS06] Becker, Christian; Scholl, Armin: *A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing*. In *European Journal of Operational Research*, 2006, 168, 3, S. 694-715
- [BBG04] Bloech, Jürgen; Bogaschewsky, Ronald; Götze, Uwe; Roland, Folker: *Einführung in die Produktion*. Berlin: Springer, 2004
- [Boy05] Boysen, Nils: *Variantenfließfertigung*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2005. –ISBN 3-8350-0058-6
- [Dau94] Daub, Anke: *Ablaufplanung: Modellbildung, Kapazitätsabstimmung und Unsicherheit*. Köln: Eul, Bergisch Gladbach, 1994. –ISBN 3-89012-388-0
- [DS97] Domschke, Wolfgang; Scholl, Armin: *Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte*. Berlin: Springer, 1997. –ISBN 3-540-63560-2
- [DS08] Domschke, Wolfgang; Scholl, Armin: *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre: Eine Einführung aus entscheidungsorientierter Sicht*. Berlin: Springer, 2008. –ISBN 978-3-540-85077-9
- [ES98] Erel, E.; Sarin, S. C.: *A survey of the assembly line balancing procedures*. In *Production Planning and Control*, 1998, 9, S. 414-434
- [Eve95] Eversheim, Walter: *Prozeßorientierte Unternehmensorganisation: Konzepte und Methoden zur Gestaltung "schlanke" Organisationen*. Berlin: Springer, 1995. –ISBN 3-540-58135-9
- [Hel99] Helber, Stefan: *Performance Analysis of flow lines with non-linear flow of material*. Berlin: Springer, 1999. – ISBN 3-540-65954-4
- [Hel03] Hellmich, Kai Peter: *Kundenorientierte Auftragsabwicklung: Engpassorientierte Planung und Steuerung des Ressourceneinsatzes*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, 2003. – ISBN 3-8244-7815-3
- [Hof63] Hoffmann, T.: *Assembly line balancing with a precedence matrix*. In: *Management Science*, 1963, 9, S. 551-562
- [Jan79] Janisch, Hans-Werner: *Optimierung der Puffer bei elastisch verketteten Fertigungssystemen*. Hannover, Diss: 1979
- [Kau11] Kaußler, Johann: *Methodik zur gestuften Gestaltung von Montagesystemen in der Serienproduktion mit dem Ziel ganzheitlicher Prozesseffizienz*. TU Ilmenau, Diss: 2011
- [KS11] Kletti, Jürgen; Schumacher, Jochen: *Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch Schort Interval Technology (SIT)*. Berlin: Springer-Verlag, 2011. –ISBN 978-3-642-13844-7
- [Kra00] Kratzsch, Sabine: *Prozess- und Arbeitsorganisation in Fließmontagesystemen*. Essen: Vulkan-Verl, 2000. – ISBN 3-8027-8654-8
- [Krü04] Krüger, Alexander: *Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme*. München: Techn. Univ., Diss., 2004. –ISBN 3-8316-0371-5
- [Krü00] Krüger, Thomas: *Nutzungssteigerung verketteter Produktionssysteme*. Düsseldorf: VDI Verlag, 2000. –ISBN 3-18-354902-6

- [Kuh98] Kuhn, Heinrich: *Fließproduktionssysteme: Leistungsbewertung, Konfigurations- und Instandhaltungsplanung*. Heidelberg: Physica-Verlag, 1998 – ISBN 3-7908-1128-9
- [WN98] Wiendahl, Hans-Peter, & Nyhuis, Peter: *Engpassorientierte Logistikanalyse: Methoden zur kurzfristigen Leistungssteigerung in Produktionsprozessen*. München: TCW Transfer-Centrum, 1998. –ISBN 3-931511-56-1
- [LW06] Lotter, Bruno, & Wiendahl, Hans-Peter: *Montage in der industriellen Produktion: Ein Handbuch für die Praxis*. Berlin: Springer, 2006. –ISBN 3-540-21413-5
- [Wil88] Wildemann, Horst: *Das Just-In-Time-Konzept: Produktion und Zulieferung auf Abruf*. München: gfmt-Verlags-KG, 1988. –ISBN 3-924875-20-0
- [Med10] Medo, Malte: *Kontinuierliche Planung der Fließfertigung von Varianten*. Braunschweig: Shaker Verlag, 2010. – ISBN 978-3-8322-9546-2
- [ZSH08] Zelewski, Stephan; Hohmann, Susanne; Hügens, Torben: *Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme: Konzepte und exemplarische Implementierungen mithilfe von SAP R/3*. München: Oldenbourg, 2008. – ISBN 978-3-486-58722-7
- [Mon06] Monkman, Susan Kathleen: *Scheduling of product families on multiple, identical parallel production lines to minimize setup costs*. USA: University of Texas at Austin, 2006. –ISBN 0549017755
- [Zoc02] Zoher, Klaus-Peter: *Adaptive und selektive Montage in der flexiblen Fertigung*. In: 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 23. bis 26.09.2002. Ilmenau: Technische Univ. S. 423-424.
- [MGF10] Müller, E.; Götze, U.; Fischer, S.; Veit, T.; Strauch, J.; Krönert, S.: *Auswirkungen von Lean Logistikstrategien auf energieeffiziente Fabrikssysteme*. In H. P.-I. Neugebauer, *Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik*. Chemnitz: Wissenschaftliche Scripten, 2010. S. 551-571
- [SS83] Sarker, B. R., & Shanthikumari, J. G.: *A generalized approach for serial or parallel line balancing*. In: *International Journal of Production Research*, 1983, 21, 1. S. 109-133.
- [Sch99] Scholl, Armin: *Balancing and Sequencing of Assembly lines*. 2. Aufl. Heidelberg: Physica-Verl, 1999. –ISBN 3-7908-1180-7
- [VDI00] VDI 3633: *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen, Grundlagen*. Blatt 1. Düsseldorf: Beuth Verlag GmbH, 2000
- [WG78] Warnecke, H. J.; Görke, M.: *Entwicklung von Verfahren zur Taktabstimmung bei gemischter Fließmontage*. Stuttgart, 1978
- [WGM01] Wenzel, R., Georg, F., Metze, G., & Nieß, P.: *Industriebetriebslehre: das Management des Produktionsbetriebs*. München [u.a.]: Fachbuchverl. Leipzig im Hanser-Verl. –ISBN 3-446-21343-0

Dipl.-Ing. Ayman Al Khateeb; Member of Research Staff at the Department Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technische Universität Ilmenau.

Address:
Department Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technische Universität Ilmenau,
PO Box 10 05 65, 98684 Ilmenau, Germany,
Phone: +49 3677 69 3849, Fax: +49 3677 69-3840,
E-Mail: ayman.al-khateeb@tu-ilmenau.de