

Adaptive Materialbereitstellung im Kontext veränderungsfähiger Produktionssysteme

Strukturierte Zusammenfassung

vorgelegt von
Mathias Knop

Produzierende Unternehmen sehen sich allgegenwärtig mit Veränderungen konfrontiert. Insbesondere die Individualisierung der Nachfrage, Potenziale neuer Technologien, aber auch gesellschaftliche Zäsuren wie die Covid-19-Pandemie erfordern eine Anpassung der Produktion sowie zugehöriger fertigungsnaher industrieller Dienstleistungen wie die Materialbereitstellung. Die Materialbereitstellungsplanung in einer stabiler Produktionsumgebung unterscheidet sich hinsichtlich der Anforderungen an einen solchen Prozess grundlegend von Planungsprozessen in veränderungsfähigen Produktionssystemen.

Neben praktischen Erwägungen belegt die zunehmende Anzahl der Publikationen im internationalen Kontext seit etwa 2010 die Notwendigkeit, Materialbereitstellungsprozesse und deren Planung effizienter auszurichten. Zeitgleich wuchs das Forschungsinteresse an der Gestaltung veränderungsfähiger Produktionssysteme. Eine Zusammenführung dieser Forschungsfelder erfolgte nachweislich bislang nicht, wenn auch auf deren Notwendigkeit hingewiesen wird.

Ziel dieser Arbeit ist daher die Entwicklung eines Konzepts für eine Materialbereitstellungsplanung in veränderungsfähigen Produktionssystemen. Dieses Konzept wird hier als adaptive Materialbereitstellung bezeichnet. Leitende Forschungsfrage der Arbeit ist es, inwieweit die in der Literatur vorgestellten Ansätze den Anforderungen an die Gestaltung einer effizienten Materialbereitstellung im Kontext veränderungsfähiger Produktionssysteme gerecht werden und wie die Planung in einem solchem Planungsumfeld realisiert werden kann. Methodisch ist die Arbeit am sogenannten konstruktionswissenschaftlichen Paradigma ausgerichtet. Nach einer Problemidentifikation, die auf einem strukturierten Literature Review basiert, wird das Forschungsziel abgeleitet und ein Lösungsdesign konzipiert. Eine Demonstration, Evaluation sowie Kommunikation der Untersuchungsergebnisse schließen sich an.

Zunächst werden Anforderungen an die Materialbereitstellung sowie an Entscheidungsmodelle für die Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien im Kontext veränderungsfähiger Produktionssysteme abgeleitet. Hierzu zählen die Veränderungsfähigkeit der technischen Infrastruktur, die Verwendung leistungsorientierter Bewertungsansätze, ein dynamischer Charakter der Materialbereitstellungsplanung, die Integration unscharfer Informationen in den Planungsprozess sowie ein regelungsbasierter Planungsansatz. Auf Basis eines strukturierten Literature Reviews wird der Nachweis erbracht, dass aktuelle Planungsansätze diesen Anforderungen kaum gerecht werden. Auf Basis der abgeleiteten Forschungslücke wird das Konzept der adaptiven Materialbereitstellung erarbeitet, das diese Anforderungen erfüllt.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Planung der Materialbereitstellung, insofern wird die **Veränderungsfähigkeit der technischen Infrastruktur** vorausgesetzt. Hinsichtlich der Anforderung nach einer **leistungsorientierten Bewertung** im Rahmen der Materialbereitstellungsplanung wird festgestellt, dass in der Unternehmenspraxis methoden- oder performancebasierte Ansätze teilweise keine Verwendung finden. Dies motiviert die Entwicklung eines Verfahrens zur leistungsorientierten Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien. Da einige Informationen über bestimmte Performanceattribute in der Betriebspraxis teilweise nicht mit Sicherheit bekannt sind oder unscharfen Charakter aufweisen,

wird hier ein Fuzzy-Axiomatic-Design-basierter Ansatz präsentiert, der die Bewertung von Materialbereitstellungsstrategien hinsichtlich ihrer Eignung erlaubt.

Der Stand der Forschung zeigt, dass aktuelle Planungsansätze für die Materialbereitstellung keinen **dynamischen Charakter** aufweisen. Eine für einen Materialbereitstellungsprozess implementierte Lösung bietet nur für ein definiertes Anwendungsszenario eine adäquate Lösung, verändern sich jedoch Einsatzvoraussetzungen, genügt eine einstmals implementierte Lösung nicht notwendigerweise den Anforderungen an den aktuellen Bereitstellungsprozess. Es wurde daher ein Konzept entwickelt, das explizit realisierte und antizipierte Veränderungen in die Planung von Materialbereitstellungsprozessen integriert. In Bezug auf antizipierte Veränderungen wird ein dynamisches Optimierungsmodell abgeleitet, das die Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien unter Berücksichtigung zukünftiger Anforderungen an den Materialbereitstellungsprozess ermöglicht. In Bezug auf bereits realisierte Veränderungen wird ein agentenbasiertes Modell konstruiert. Durch Einsatz autonomer Softwareagenten wird hierbei die Materialbereitstellung in einem exemplarischen Produktionssystem realisiert.

Hinsichtlich der Anforderung nach einer Berücksichtigung **unscharfer Informationen** im Rahmen der Materialbereitstellungsplanung werden die eingesetzten Methoden zur Verarbeitung unscharfer Informationen befähigt. Beispielsweise wird, wie erwähnt, im Rahmen der leistungsorientierten Bewertung ein Fuzzy-Axiomatic-Design-basierter Ansatz verwendet. Damit können sowohl scharfe als auch unscharfe Informationen berücksichtigt werden. Auch das erwähnte dynamische Optimierungsmodell zur Berücksichtigung antizipierter Veränderungen wird befähigt, unscharfe Informationen zu verarbeiten. Zur Modellierung der Informationen innerhalb dieses Modells wird vorab ein wahrscheinlichkeitsbasierter Ansatz vorgestellt. Dieser weist Limitationen in stärker veränderungsfähigen Produktionsumgebungen auf. Aus diesem Grunde bedient sich die Arbeit anschließend eines possibilistischen Ansatzes zur Modellierung unscharfer Informationen.

Der Gedanke eines **regelungsbasierten Ansatzes** durchzieht die gesamte Arbeit. Das dynamische Optimierungsmodell, das eine antizipative Planung der Materialbereitstellung ermöglicht, ist ein rollierendes Verfahren und ist periodisch oder aperiodisch zu überrollen. Im Hinblick auf die Begegnung bereits realisierter Veränderungen wird hier ein agentenbasiertes Modell eingesetzt, das eine operative Anpassungsplanung abhängig von der Performance oder von Störungen innerhalb des Materialbereitstellungsprozesses ermöglicht.

Alle in der Arbeit entwickelten Methoden bauen aufeinander auf. Die Methode zur leistungsorientierten Auswahl von Materialbereitstellungsstrategien generiert einen Satz zulässiger Materialbereitstellungsstrategien, die im Rahmen der dynamischen Optimierung berücksichtigt werden, um eine periodenübergreifend geeignete Materialbereitstellungspolitik zu definieren. Auf Grundlage der Entscheidung über eine geeigneten Materialbereitstellungsstrategie wird das operative System in seinen Grenzen und hinsichtlich seiner Ziele determiniert. Das agentenbasierte System setzt hier auf und nimmt operative Anpassungen vor. Sollten im Zeitablauf gravierende Veränderungen hinsichtlich der Performance des Materialbereitstellungssystems identifiziert werden, wird auf Basis einer Betriebsdatenerfassung erneut die antizipative Planung durchlaufen.

Das in der Arbeit entwickelte Konzept der adaptiven Materialbereitstellung ermöglicht eine universelle Anwendung in verschiedenen Produktionsumgebungen, da es weitestgehend unabhängig von konkreten Leistungsparametern (z. B. Kosten der Materialbereitstellung, Flächenbedarfe, Erfüllung von Flexibilitätsanforderungen) konzipiert wurde. Obgleich Methoden aus dem Bereich der Fuzzy Set Theory, Possibility Theorie sowie dynamischen Optimierung eingesetzt werden, bleibt ein pragmatischer Ansatz bewahrt. Es werden zur Modellierung ausschließlich lineare Funktionen verwendet, weshalb sämtliche Berechnungen ohne den Einsatz von Solvern realisiert werden können. Der Vorzug des agentenbasierten Modells ist in einer weitgehend effizienten Abwicklung der Materialbereitstellung ohne eine personalkostenintensive Planung zu sehen.