

# Planung der Materialbereitstellung

## Methode und Werkzeuge zur digitalen Planung der Materialbereitstellung

Katharina Müller-Eppendorfer  
und  
Leif Goldhahn, Mittweida

In diesem Beitrag werden die Notwendigkeit der Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung mit Virtual Reality erläutert und deren Erstellung beschrieben. Es wird auf den Aufbau der Methode, die dazugehörigen Werkzeuge sowie die systematische Integration der VR-Technik und die abschließende Validierung mittels Pilotanwendungen eingegangen.\*)

### Einleitung und Motivation

Produzierende Unternehmen müssen kürzere Produktlebenszyklen, steigende Produktkomplexität, starken Wettbewerb sowie die demografisch bedingten Änderungen in der Belegschaft bewältigen. Dazu kommen Anforderungen zur sprunghaften Digitalisierung von Arbeitsprozessen und Logistik. [1]

Mit einer zielorientierten digitalen Planung sowie einer höheren Flexibilität der Arbeitssysteme begegnet man diesen Herausforderungen. Prozesse wie die manuelle Montage sowie die dazugehörige Logistik (z. B. Materialbereitstellung) müssen dafür intensiver vorgeplant werden, um bei disruptiven Veränderungen im Unternehmensumfeld eine stabile Produktion zu ermöglichen. Die systematische Planung der Materialbereitstellung erschließt erhebliche Flexibilitätspotentiale für den Fabrikbetrieb. [2–4]

In aktuellen Veröffentlichungen werden die Themenfelder „Industrie 4.0, Materialbereitstellung, manuelle Montage, Planungsvorgehen und Virtual Reality“ vielfältig betrachtet. Eine Weiterentwicklung der Planung und Realisierung der essentiellen logistischen Nebenprozesse für Montagebereiche, unter Zuhilfenahme virtueller dargestellter Materialbereitstellungen, sowie die Darstellung praxisnaher Anwendungsleitfäden speziell für kleine und mittelständische Unternehmen erfolgte bisher lediglich punktuell.

Die vorliegende Veröffentlichung stellt

die neu entwickelte Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung mit Virtual Reality dar. Diese Methode wird mit ihren drei systemischen Bausteinen (das sind komplexe Vorgehenscluster) sowie den erstellten Werkzeugen beschrieben. Sie berücksichtigt die Montage mit Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Prozessen. Integriert sind digitale Hilfsmittel wie die Strategiematrix, die Förderkettendarstellung, der Digitale Erweiterbare Katalog für Bereitstellungs-equipment sowie virtuelle Bereitstellungs-szenarien. Darüber hinaus zeigen Pilotanwendungen deren Praktikabilität und Nutzbarkeit.

### Grundlagen

#### Materialbereitstellung

Die Materialbereitstellung hat zum Ziel, das im Betrieb benötigte Material zur Durchführung der jeweiligen Arbeitsaufgabe in benötigter Art und Menge sowie zur richtigen Zeit und am richtigen Ort bereitzustellen. [5, 6] Darauf aufbauend müssen die Materialien für den Mitarbeiter ergonomisch angeordnet sein sowie Verwechslungen von ähnlichen Teilen vermieden werden. [4] Diese Anforderungen sollen mit einer Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung erfüllt werden.

#### Virtual Reality

Die Virtuelle Realität (VR) beschreibt nach [7] eine computergenerierte Umgebung mit Interaktion in Echtzeit. Technische Hilfsmittel wie VR-Brille oder Powerwall sowie Interaktionsgeräte unterstützen die nahezu reale Wahrnehmung. Die VR-Technik ermöglicht speziell im Fabrikumfeld die virtuelle Darstellung von digitalen Arbeitssystem-Modellen wie Montagearbeitsplätzen

und deren Materialversorgung sowie alternative Planungsvarianten. Durch die großformatige Darstellung sowie die Möglichkeit der Interaktion können verschiedene Projektbeteiligte (auch abteilungs- und firmenübergreifend) bestehende oder neu zu gestaltende Systeme planen, Ideen austauschen und Fehler frühzeitig entdecken, vgl. auch [8]. Ein weiterer Vorteil einer virtuell geplanten Materialbereitstellung liegt darin, dass zukünftige Mitarbeiter bereits während der Planung Montage, Montageplatz und logistische Bedingungen testen und trainieren können. Aufgrund der dargelegten Aspekte ist es folgerichtig, die Virtual Reality-Technik in ein strukturiertes Vorgehen zur Materialbereitstellung zu integrieren.

### Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung

Die systemische Betrachtung der Materialbereitstellung im System von Haupt- und Nebenprozessen manueller Montage hat zum Ziel, die Durchgängigkeit der Planung zu realisieren.

Mit der dafür generierten Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung wird dem Anwender eine ganzheitliche Vorgehensweise für die Materialbereitstellung von manuellen Montagen speziell in kleinen und mittelständischen Unternehmen an die Hand gegeben.

Der Kern der Methode ist das Planungsvorgehen zur Materialbereitstellung (sieben Schritte) im methodischen Baustein 2, welches auf die in der Literatur vorgefundenen Vorgehensweisen [9–11] zur Planung der Materialbereitstellung aufbaut. Für die Einbeziehung von Techniken der Informationsverarbeitung und Visualisie-

\*) Hinweis

Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen von den Mitgliedern des ZWF-Advisory Board wissenschaftlich begutachteten Fachaufsatz (Peer-Review).

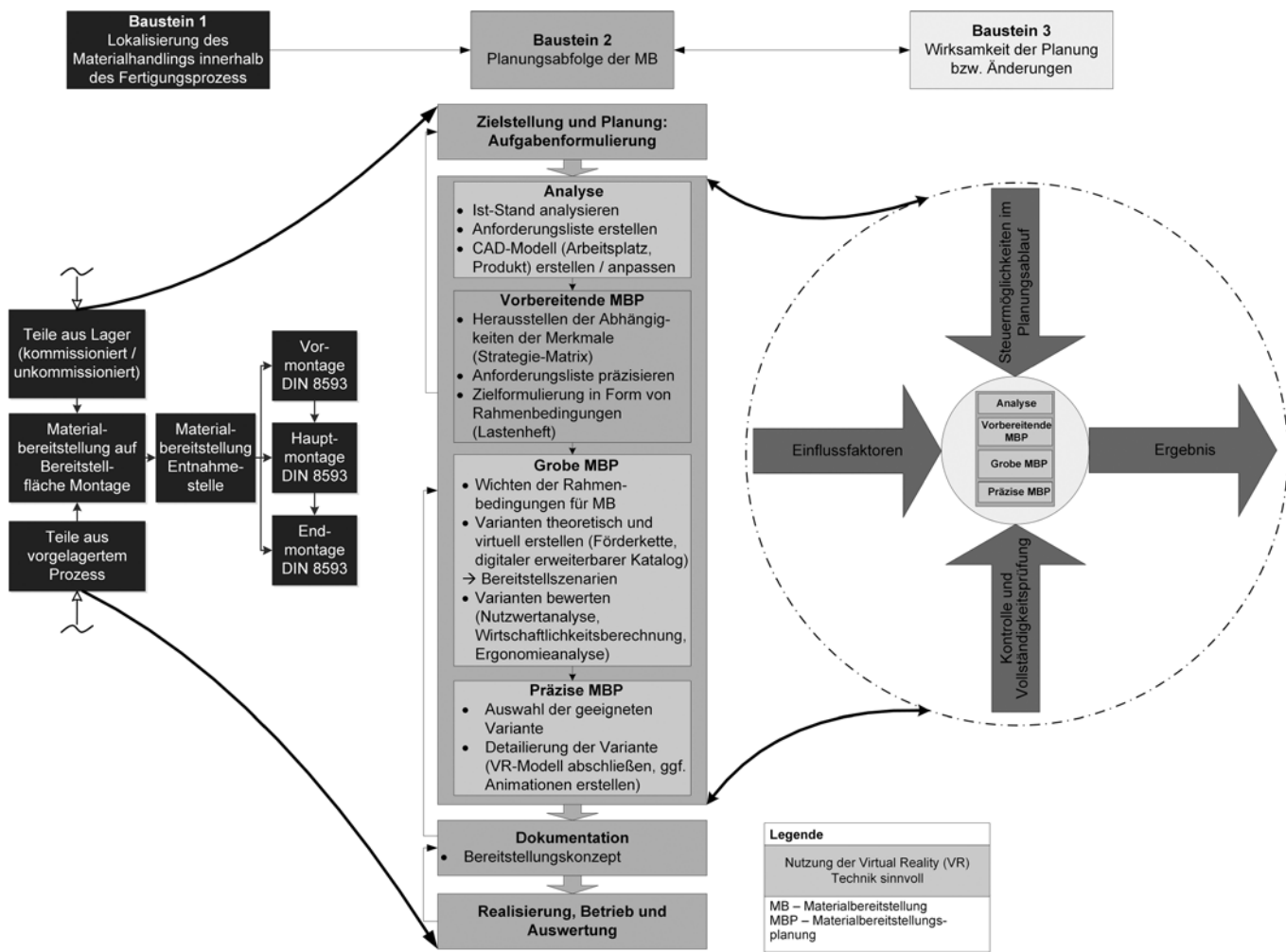


Bild 1. Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung

Die Erweiterung des herkömmlichen Planungsvorgehens um die VR-Technik sowie die neu erstellten Werkzeuge (Strategie-Matrix, Förderkette und Digitaler Erweiterbarer Katalog für Bereitstellungsequipment) folgerichtig. Durch Handlungsanweisungen für diese Methodenwerkzeuge wird ihre systemlogische und zielführende Nutzung für KMU möglich.

Für eine ganzheitlichen Betrachtung von Planungsvorhaben zur Materialbereitstellung der manuellen Montage, speziell in Bezug zu deren vor- und nachgelagerten Prozessen sowie zur Erfolgskontrolle der Planung ist eine inhaltliche Erweiterung um die methodischen Bausteine 1 und 3 essentiell (Bild 1).

Die Wichtigkeit von Baustein 1 – *Lokalisierung des Materialhandlings innerhalb des Fertigungsprozesses* – liegt darin begründet, eine ganzheitliche Planung auch über den zu planenden Fabrikbereich hinaus zu erhalten und wichtige Einflüsse vor- und nachgelagerter Prozesse für die Materialbereitstellung zu berücksichtigen.

Vorherrschende Restriktionen, welche für die Planung der Nebenprozesse von Bedeutung sind, können in das Planungsvorgehen von Baustein 2 übertragen werden. Dazu zählen unter anderem Behälterkonzepte, einheitliche Regalsysteme und Werkstückträger sowie vorhandene Transportmittel.

Diese Faktoren fließen in den Planungsablauf in Baustein 2 – *Planungsabfolge der Materialbereitstellung* – ein und beeinflussen die Planung dadurch positiv. Der Planungsablauf besteht aus sieben Schritten (Aufgabenformulierung, Analyse, Vorbereitende, Grobe sowie Präzise Materialbereitstellung, Dokumentation und Realisierung/Betrieb), welche durch etablierte aber auch neu entwickelte Werkzeuge und Hilfsmittel [8, 12] Unterstützung finden. Die sinnvolle Integration der VR-Technik im Planungsablauf von Baustein 2, bezogen auf die sieben Schritte, wird durch Graustufen (vgl. Bild 1) und im Kapitel Bereitstellungszenarien dieses Beitrags vertieft dargestellt.

Der Baustein 3 – *Wirksamkeit der Planung bzw. Änderungen* – dient dazu, alle Planungsergebnisse bezüglich Plausibilität und Vollständigkeit zu hinterfragen. Geprüft wird dabei, ob durch die vorgenommenen Änderungen ein bestmögliches, der Arbeitsaufgabe entsprechendes Planungsergebnis erzielt worden ist. Darüber hinaus wird validiert, ob das Ergebnis weitere Änderungen für die Materialbereitstellung nach sich zieht und es einer zusätzlichen Planung bedarf. Zum Beispiel wird für eine ergonomische Montage ein höhenverstellbarer Tisch geplant. Dieser macht folgerichtig die Höhenverstellbarkeit ebenso bei Stuhl, Fußauflage und Bereitstelltisch oder Scherenhubtisch für die Erreichbarkeit von Behältern und Paletten sowie die angepasste Strom- und Datenkabelführung am Arbeitstisch erforderlich. Durch diesen iterativ und parallel zum Planungsvorgehen (Baustein 2) nutzbaren Baustein 3, soll ein optimiertes Planungsergebnis für die Materialbereitstellung erzielt werden.

ausgewähltes Merkmal	Ausprägung	betrachtetes Merkmal															
		Art		Materialauslösung		Bereitstellungsmenge		Bereitstellort		Auftragsbezug		Artikelumfang je Bereitstellung		Beispiele Bereitstellform		Objektkategorie	
Art	bedarfsorientiert																
Materialauslösung	verbrauchsorientiert																
	stückzahlgenau																
Bereitstellungsmenge	gebäudeorientiert (Paletten/Gitterboxen)																
	gebäudeorientiert (Standardmenge)																
Bereitstellort	arbeitsplatzübergreifend																
	arbeitsplatzspezifisch																
Auftragsbezug	auftragsneutral																
	auftragsorientiert																
Artikelumfang je Bereitstellung	sortenreine Bereitstellung																
	sortenübergreifende Bereitstellung																
Beispiele Bereitstellform	Einzelteile / Baugruppen (JIT / JIS)																
	nach Auftrag																
	Einzelprodukt																
	Einzelteile / Baugruppen periodisch																
	Kanban																
Objektkategorie	Mehrbehälter																
	Handlager																
	A-Teile																
Objektkategorie	B-Teile																
	C-Teile																
	großvolumige, sperrige Teile																
Objektkategorie	unabhängig, wenn konstanter Teileverbrauch																

hat zur Folge dass →

Legende: nicht möglich / Abhängigkeiten zu den betrachteten Merkmalen

Initialmerkmal: in dieser Zeile abzulesende Ausprägungen für die Planung

Bild 2. Darstellung Strategie-Matrix mit Beispiel Initialmerkmal „Objektkategorie“, Ausprägung „C-Teile“

### Integrierte Hilfsmittel innerhalb des methodischen Bausteins 2

Durch die systemische Sichtweise auf die Planungsaufgabe und die Verzahnung der drei Methoden-Bausteine werden die Anforderungen an eine ganzheitliche, durchgängige und systematische sowie mit digitalen Techniken bereicherte Methode erfüllt. Dies erfolgt insbesondere durch die Integration neu entwickelter Werkzeuge und Hilfsmittel in das Planungsvorgehen (Baustein 2).

#### Strategie-Matrix

Die Strategie-Matrix stellt ein Hilfsmittel innerhalb des Planungsablaufs in den Schritten Analyse und Vorbereitende Materialbereitstellungsplanung (vgl. Baustein 2 in Bild 1) dar. Es wird eine strukturierte Zusammenfassung sowie Darstellung der Abhängigkeiten der für die Planung der Materialbereitstellung

grundsätzlichen, relevanten Merkmale und deren Ausprägungen zur Verfügung gestellt.

Zu den strategischen Merkmalen zählen Materialauslösung, Bereitstellungsmenge, Bereitstellort, Auftragsbezug, Artikelumfang, Bereitstellform oder Objektkategorie. Diese besitzen wiederum Merkmalsausprägungen (z.B. bedarfsorientiert, stückzahlgenau), welche unterschiedliche Abhängigkeiten bzw. Ausschlusskriterien untereinander mit sich führen. Beispielsweise ist hierdurch im Planungsablauf komfortabel ermittelbar, dass die Bereitstellform Just-in-Time die gebäudeorientierte Bereitstellung arbeitsplatzübergreifend ausschließt.

Auf Basis der Analyseergebnisse (Baustein 2 - Schritt Analyse) und der dadurch aufgestellten Anforderungen an Produkt und Prozess erfolgt die Bestimmung eines Initialmerkmals (für die Planung bindende Anforderung). Mit diesem Merkmal können innerhalb der Strategie-Matrix die

verschiedenen Abhängigkeiten der Materialbereitstellungsmerkmale nachvollzogen und für eine zügige Planung berücksichtigt werden. Zur Nutzung wird ein Initialmerkmal (z.B. Objektkategorie) festgelegt und in Spalte 2 die Ausprägung des Merkmals Objektkategorie ausgewählt (z.B. C-Teile). Daraus ergeben sich in der Zeile dieses Merkmals die abhängigen Merkmalsausprägungen (Bild 2). Eine detaillierte Beschreibung der Strategie-Matrix ist in [12] publiziert.

#### Förderkette

Mit einer Förderkette werden nach [7, 13] die physischen Komponenten eines Materialflusssystemes beschrieben. Für die vorliegende Methode stellt die Förderkette eine Übersicht wesentlicher Fabrikbereiche, der Materialflussbeziehungen sowie benötigter Bereitstellungsobjekte dar. Um eine Förderkette aufzubauen, werden zunächst alle für die Planung relevanten Fabrikbereiche wie Wareneingang, Be-

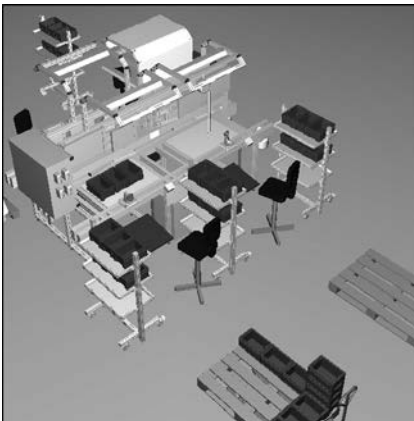


Bild 3. Variante 1 – Materialbereitstellung mittels Kleinladungsträgern, Materialwagen und Europaletten

schaffungslager, Kommissionierung, Bereitstellfläche und Montage erfasst. Anschließend sind für den jeweiligen Bereich das benötigte Bereitstelloquipment (z. B. Paletten, Behälter, Regale und Wägen) sowie für den Materialfluss zwischen den Bereichen die Bereitstellobjekte (z. B. Gabelstapler, Hubwagen und Materialwagen) zuzuordnen.

Mit der Visualisierung einer Förderkette soll dargestellt werden, welche Bereiche, Materialflüsse und Objekte miteinander in Verbindung stehen und vereinfacht werden können. Dies verhindert ein unnötiges Ändern des Transporthilfsmittels (u. a. Umpacken in andere Ladungsträger) und damit verbunden den Austausch von Fördermitteln (z. B. von Materialwagen zu Hubwagen). Die Machbarkeit des Zusammenspiels von Transporthilfsmittel und Fördermittel wird sichergestellt. Somit ist die rasche Generierung von Varianten bei Beachtung der Abhängigkeiten der Fabrikbereiche sowie des verwendeten Equipments für Materialfluss und -bereitstellung möglich.

Mithilfe einer systematischen Planung und der Überprüfung des Behälter- und Transporthilfsmittelkonzeptes auf Durchgängigkeit lassen sich im Ergebnis unnötige, zusätzliche Prozessschritte identifizieren und vermeiden, Behälterarten und -anzahl reduzieren und die Ergonomie bezüglich der Handhabung von Transporthilfs- und Bereitstellmitteln verbessern. Essentielle Parameter für das Bereitstelloquipment, beispielsweise Abmaße oder Traglasten von Paletten und Behältern oder Fördermitteln wie Gabelstapler gehören ebenfalls zur Charakterisierung der Förderkette (vgl. [14, 15]).

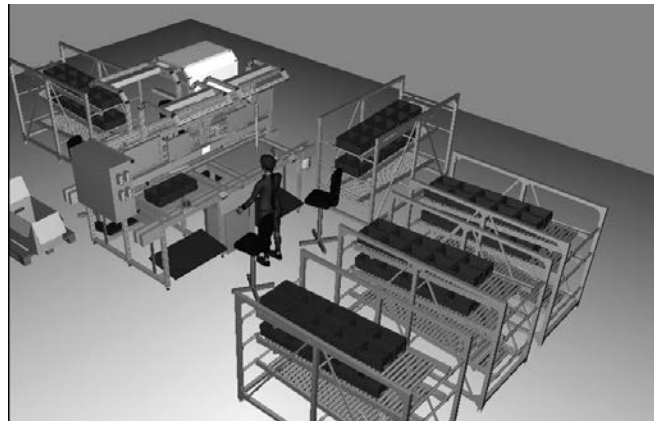


Bild 4. Variante 2 – Materialbereitstellung mittels Kleinladungsträgern und Rollenbahn

Die Auswahl des Bereitstelloquipments für die Förderketten kann mit Hilfe des Digitalen Erweiterbaren Katalogs für Bereitstelloquipment (nächster Absatz) erfolgen.

#### Digitale Erweiterbarer Katalog für Bereitstelloquipment

Der Digitale Erweiterbare Katalog für Bereitstelloquipment ist ein neu erstelltes Hilfsmittel, welches sich innerhalb des Planungsablaufs im Schritt Grobe Materialbereitstellung (vgl. Baustein 2 in Bild 1) einordnet.

Zur Erstellung von virtuellen Bereitstellungszenarien bzw. verschiedenen virtuellen Planungsvarianten wird wiederkehrend unterschiedliches Bereitstelloquipment benötigt, welches dann dem virtuellen Arbeitsplatzmodell hinzugefügt und entsprechend angeordnet wird. Da in der verwendeten VR-Software keine Modell-Bibliothek angebunden ist, bestand die Notwendigkeit der Erstellung des „Digitaler Erweiterbarer Katalog für Bereitstelloquipment – DeKaB“. Der Katalog ist datenbank- und webbasiert aufgebaut. Das Bereitstelloquipment ist in fünf Hauptgruppen (Transporthilfs-, Bereitstell-, Förder- und Handhabungsmittel sowie Bereitstellrichtungen) und zugehörige Untergruppen klassifiziert. Zum Beispiel besitzen Transporthilfsmittel u. a. eine Untergruppe Kleinladungsträger mit vorhandenen Ausprägungen, wie z. B. Falt-Kleinladungsträger. Ähnlich wie in einem Onlinekatalog kann das benötigte Bereitstelloquipment einem Warenkorb hinzugefügt werden. Durch eine anpassbare Matrix (pflgbare Zuordnungstabelle, vgl. [14]), erhält der Katalog seine Logik, um passendes Equipment zum bereits ausgewählten direkt anzuzeigen. Auch kann der Wa-

renkorb als Übersicht des benötigten Bereitstelloquipments im Dateiformat „PDF“ exportiert und zum Beispiel zur Beschaffung des fehlenden Equipments genutzt werden.

In den Veröffentlichungen [8, 12, 14, 16] kann die mittels der Programmiersprache „PHP5“ erfolgte Umsetzung des Digital Erweiterbaren Katalogs für Bereitstelloquipment sowie die Vorgehensweise zur Nutzung des Katalogs nachgelesen werden.

#### ■ Bereitstellungszenarien

Durch das strukturierte Vorgehen innerhalb des Planungsablaufes im Baustein 2 und die Integration der Virtual Reality-Technik können im Schritt Grobe Materialbereitstellung Bereitstellungsvarianten für Planungsvarianten erstellt werden. Diese können dann mit den verschiedenen Projektbeteiligten diskutiert und virtuell auch auf ergonomische Aspekte mittels Menschmodell getestet werden (sogenannte Virtual Reality Session). Beispielhaft werden in Bild 3 und Bild 4 mittels der VR-Software erarbeitete Varianten für die Materialbereitstellung am Montagesystem der Hochschule Mittweida ( im Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft - InnArbeit) für das Montageobjekt Pleuel-Kolben dargestellt. Charakteristisch erfolgt die Bereitstellung der Einzelteile und Komponenten in Variante 1 mittels Materialwagen direkt am Arbeitsplatz sowie per Paletten an der Entnahmestelle. Die Kleinteile werden dafür in Kleinladungsträgern abgepackt angeliefert. Auch in Variante 2 werden die Kleinteile in Kleinladungsträgern geliefert. Für die Bereitstellung werden hier Rollenbahnen um den Arbeitsplatz angeordnet. [15]

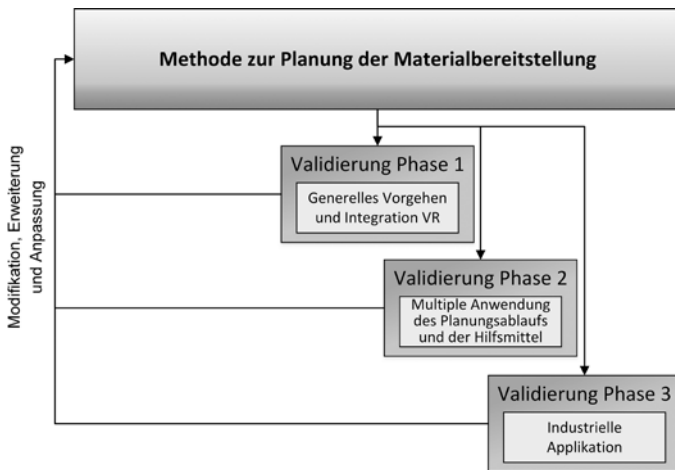


Bild 5. Phasen der Validierung der Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung

Innerhalb einer Virtual Reality Session werden die Varianten diskutiert, eine Vorzugsvariante ggf. auch per Nutzwertanalyse festgelegt oder aus den jeweils charakteristischen Vorzugsvarianten ein abschließendes Planungsmodell erstellt und für die Realisierung vorgesehen.

### Validierung der Methode durch Pilotanwendungen

Die Validierung der Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung erfolgte durch einen iterativen Prozess in drei Phasen, welche in Bild 5 dargestellt sind.

In der Phase 1 erfolgte der Test der Methode unter Realbedingungen für das Pilotprodukt „3-fach Steckdose“ am Arbeitsplatz „Einzelhandarbeitsplatz Montage“ im Labor von InnArbeit. Der Schwerpunkt der Validierung in Phase 1 lag auf dem eigentlichen Planungsvorgehen (Baustein 2) unter Integration der Virtual Reality-Technik. Zusätzlich wurden die konkreten Planungsmaßnahmen zur Verbesserung der Materialbereitstellung auf ihre Wirksamkeit (Baustein 3) geprüft. Das Resultat dieser Phase ist der Nachweis der Anwendbarkeit der Methode. Redaktionelle Änderungen waren in den Formulierungen bzw. für die Beschreibungen der Planungsschritte notwendig. Zusätzliche Handlungsanweisungen für die entwickelten Werkzeuge der Methode wurden für eine bessere Anwendungsfreundlichkeit hinzugefügt. Ferner kann die im Ergebnis erstellte virtuelle Planungsvariante in die Realität umgesetzt werden. Die Applikation führt in der Folge zu einer ergonomischen manuellen Montage sowie zu einer effizienten Materialbereitstellung.



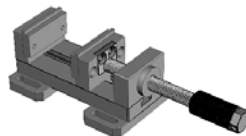

Durch nachfolgende Pilotanwendungen mit einem anderen Personenkreis wurde die Validierung fortgeführt. In der Phase 2 der Validierung folgten vier weitere Pilotanwendungen (vgl. Tabelle 1 mit den in der Anwendung genutzten Produkten/Baugruppen und zwei manuellen Arbeitssystemen), welche durch Belegarbeiten unter Einbeziehung der Methode bearbeitet wurden.

Innerhalb der Validierungsphase 2 lag der Fokus auf der Verwendbarkeit der im Baustein 2 enthaltenen, neu erstellten Hilfsmittel des Planungsvorgehens (Strategie-Matrix, Förderkette, Digitaler Erweiterbarer Katalog für Bereitstellungs-equipment) sowie dem Einsatz der Virtual Reality-Technik. Im Ergebnis entstanden

je Pilotanwendung verschiedene Planungsvarianten für die Materialbereitstellung der jeweiligen Produkte und durch die Variantenbewertung im Planungsschritt Grobe Materialbereitstellungsplanung eine Vorzugsvariante. Dies wurde grafisch innerhalb der Präzisen Materialbereitstellungsplanung mithilfe der VR-Technik aufbereitet und für die Realisierung zur Verfügung gestellt.

Die Phase 3 verfolgte das Ziel, wesentliche Aspekte der gesamten Methode (insbesondere Methoden-Bausteine 1 und 2) innerhalb eines Planungsprozesses in einem KMU anzuwenden, um so die Einsatzfähigkeit im industriellen Umfeld zu bestätigen. Im Ergebnis entstand ein umsetzungsfähiges Layout für die flexible Montage kleiner Stückzahlen, welches mittels systematisch geplanter Anordnung sowie Vereinheitlichung von Arbeitsplätzen und Materialbereitstellungs-equipment die bestmögliche Bereitstellung und Fertigung erlaubt. Durch die strukturierte Anordnung und die Berücksichtigung der Abhängigkeiten der Arbeitsplätze untereinander (Baustein 1) konnten die Laufwege reduziert, die Abläufe strukturiert und die Ergonomie verbessert werden. Weiterhin erfolgte durch die Planung eine Berücksichtigung aller notwendigen Wegbreiten sowie Mindestabstände zwischen Arbeitsplätzen, Equipment sowie Fahrwegen. Diese Planung wurde von der Firma erfolgreich umgesetzt.

Tabelle 1. Darstellung der vier Pilotanwendungen und Nutzung im Arbeitssystem der Validierungsphase 2

Pilotprodukt bzw. -baugruppe	Für die Planung genutzte manuelle Arbeitssysteme
3-fach-Steckdose 	Montagesystem mit manuellen Stationen, Gurtbandförderer und Werkstückträger
Pleuel-Kolben 	
Schraubstock 	Einzelhandarbeitsplatz Montage
Rundleuchte 	

Nach Durchlaufen der drei Validierungsphasen und dem damit verbundenen iterativen Verbesserungsprozess der Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung können die Anwendbarkeit und die Einsatzfähigkeit bestätigt werden.

## Zusammenfassung

Die aufbauend auf Planungskonzepten nach [9, 10] erstellte Methode zur systematischen Planung der Materialbereitstellung berücksichtigt zielführend die vor- und nachgelagerten Prozesse der manuellen Montage, integriert die VR-Technik und gewährleistet die Vollständigkeits- und Plausibilitätsüberprüfung des Planungsergebnisses.

Weiterhin wurden strategische und technische Hilfsmittel speziell für den Planungsablauf im Methoden-Baustein 2 entwickelt (z.B. Strategie-Matrix, Förderkette, Digitaler Erweiterbarer Katalog für Bereitstellungs-equipment). Innerhalb drei verschiedener Validierungsphasen wurde die Methode getestet und deren praktische Einsatzfähigkeit bestätigt. Mittels einer derart strukturierten Planung der Materialbereitstellung und der systematischen Nutzung zielführender Planungswerkzeuge sowie digitaler Techniken werden Planer wirkungsvoll unterstützt, Planungsfehler frühzeitig entdeckt, Fertigungs- und Logistikmitarbeiter beteiligt sowie effiziente und stabile Montageprozesse erreicht.

## Literatur

1. Wiesinger, F.; Thiessen, Th.: Mittelstand 4.0-Agentur Kommunikation – Mittelstand im digitalen Wandel: Bedarfs- und Trendanalyse zu Führungskultur und Veränderungsmanagement. In: BSP Business School Berlin (Hrsg.): Schriftenreihe Mittelstand 4.0, Verlag HBP University Press, Berlin 2016
2. Blöchl, J.-St.; Schneider, M.; Stolz, K.: Industrie 4.0 in der Materialbereitstellung – Eine empirische Analyse der Herausforderungen von Prozessplanern. ZWF 112 (2017) 1–2, S. 91–93  
DOI: 10.3139/104.111663
3. Adolph, S.; Metternich, J.: Materialbereitstellung in der Montage – Eine empirische Analyse zur Identifikation der Anforderungen an künftige Planungsvorgehen. ZWF 111 (2016) 1–2, S. 15–18  
DOI: 10.3139/104.111465
4. Goldhahn, L.; Müller, Egon; Müller-Eppendorfer, K.: Planung der Materialbereitstellung für Montageprozesse. In: Müller, E. (Hrsg.): Tagungsband „Produktion und Arbeitswelt 4.0. Aktuelle Konzepte für die Praxis?“ – TBI 14, Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 20, Chemnitz 2014, S. 205–214
5. Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2012, S. 286  
DOI: 10.1007/978-3-642-29061-9
6. REFA Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V.: Methodenlehre der Planung und Steuerung (6 Bände). Programm und Auftrag – Material-, Kapazitäts-, Personal- und Betriebsmittelplanung und Steuerung (Teil 2). Carl Hanser Verlag, München, Wien 1991
7. Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb – Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2014, S. 115, 125, 266
8. Goldhahn, L.; Müller-Eppendorfer, K.: Integrierte Nutzung von Virtual Reality für die Materialbereitstellungsplanung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 71 (2017) 4, S. 233–241  
DOI: 10.1007/s41449-017-0078-3
9. Bullinger H-J; Lung M.: Planung der Materialbereitstellung in der Montage. Teubner-Verlag, Stuttgart 1994, S. 225 f.  
DOI: 10.1007/978-3-663-11046-0
10. Lotter B; Wiendahl H-P.: Montage in der industriellen Produktion. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2012, S. 289 f.  
DOI: 10.1007/978-3-642-29061-9
11. Dürrschmidt, St.: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion. Dissertation, Forschungsberichte IWB, Band 152. Herbert Utz Verlag, München 2001, S. 91 ff.
12. Goldhahn, L.; Müller, E.; Müller-Eppendorfer, K.: Strategie und Werkzeuge zur Planung der Materialbereitstellung für manuelle Montageprozesse. In Müller, E.; Bullinger-Hoffmann, A. (Hrsg.): Tagungsband „Smarte Fabrik & Smarte Arbeit – Industrie 4.0 gewinnt Kontur - VPP 2016, – Vernetzt planen und produzieren“. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 22, Chemnitz 2016, S. 239–248
13. Hoppel, M.; Schmidt, Th.; Nagel, L.: Materialflusssysteme – Förder- und Lagertechnik. 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 2007, S. 120
14. Goldhahn, L.; Müller, E.; Müller-Eppendorfer, K.: Planung von Förderketten der Materialbereitstellung. In: Müller, E. (Hrsg.), Tagungsband „Arbeitswelten 4.0. Chancen, Herausforderungen, Lösungen“ – TBI 17, Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Chemnitz 2017, Sonderheft 23, S. 83–91
15. Goldhahn, L.; Müller-Eppendorfer, K.: Digitale Planung von Bereitstellungsobjekten für Montageprozesse. In: Schenk, M. (Hrsg.): Tagungsband zur 13. Fachtagung „Digital Engineering technischer Systeme – Der Weg zur Smart Factory“ – 20. IFF-Wissenschaftstage. Fraunhofer IFF, Magdeburg 2017, S. 54–58
16. Goldhahn, L.; Müller-Eppendorfer, K.: Holistic Planning of Material Provision for Assembly. In: Bagnara, S.; Tartaglia, R.; Albolino, S.; Alexander, T.; Fujita, Y. (Hrsg.): Proceedings of the 20<sup>th</sup> Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). Volume VIII: Ergonomics and Human Factors in Manufacturing, Agriculture, Building and Construction, Sustainable Development and Mining. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 825. Springer, Nature Switzerland AG, 2019, S. 258 ff.  
DOI: 10.1007/978-3-319-96068-5\_29

## Die Autoren dieses Beitrags

Katharina Müller-Eppendorfer, M. Eng., geb. 1985, studierte zunächst an der Staatlichen Studienakademie Glauchau Produktionstechnik, danach an der Hochschule Mittweida sowie der Technischen Universität Chemnitz Maschinenbau. Sie ist Forschungsingenieurin am Institut InnArbeit der Hochschule Mittweida.

Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn, geb. 1967, lernte den Beruf des Werkzeugmachers, studierte Maschinenbau und promovierte zum Dr.-Ing. an der Technischen Universität Chemnitz. Beruflich tätig war er in Forschung und Industrie. Ende 2001 wurde er als Professor für Produktionsinformatik an der Fakultät Ingenieurwissenschaften der Hochschule Mittweida berufen. Dort gründete er 2003 das Institut InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft. 2018 konnte hier die Trainingsfabrik 4.0 als komplexes Testfeld aufgebaut werden. Seine Forschungsgebiete sind Arbeitsplanung, Rationalisierung von Fertigungsprozessen/Arbeitsorganisation sowie Ergonomie/Wissensmanagement.

## Summary

Planning of Material Provision – Approach and Tools for Digital Planning of Material Provision. The necessity and the creation of a method for the systematic planning of material provision with virtual reality are explained and described in this article. Contents are the structure of the method, the associated tools as well as the meaningful integration of the virtual reality technology and the final validation using pilot applications.

## Bibliography

DOI 10.3139/104.112449

ZWF 115 (2020) 11; page 818–823

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG

ISSN 0947–0085