



Maik Deininger (Autor)

Modellierungsmethode für die simulationsbasierte Optimierung rekonfigurierbarer Produktionssysteme



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8002>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



1 Einleitung

Produzierende Unternehmen stehen heutzutage vielen Herausforderungen gegenüber. Konkurrenz, technischer Fortschritt sowie die sich verändernden Erwartungen der Kunden ergeben ein sich ständig wandelndes Umfeld, in dem sich das Unternehmen behaupten muss. Dies führt unter anderem zu einer fortwährenden Aktualisierung der Produktpalette, die sich nicht nur an strategischen Neuausrichtungen orientiert, sondern auch durch Kundenanfragen getrieben wird (vgl. Westkämper und Zahn 2009).

Strategische Änderungen lassen sich durch gute Planung realisieren und auf dieser Basis ist die Produktion in der Lage, vorausschauend zu agieren. Stellt ein Kunde eine Anfrage, die dem aktuellen Produktportfolio nicht entspricht, sind dagegen in kurzer Zeit Entscheidungen über die Auftragsannahme zu treffen, ohne deren Auswirkungen sicher absehen zu können. Möchte man den Kunden zufriedenstellen, um sich mögliche Folgeaufträge zu sichern, kann dies dazu führen, dass dem Wunsch des Kunden gefolgt wird, ohne sicher zu wissen, was dies für das Produktionssystem bedeutet. Im Extremfall lässt sich der Auftrag nicht erfüllen oder beeinflusst die Erfüllung anderer Aufträge negativ (Rabe und Deininger 2013).

Im Idealfall lassen sich sowohl die vorhandenen als auch die neuen Aufträge durch das Umstellen der Produktionspläne realisieren. Manchmal ist es jedoch erforderlich, neues Personal einzustellen oder neue Betriebsmittel zu beschaffen. Die Einarbeitung neuen Personals bzw. der Aufbau und die Qualifizierung neuer Betriebsmittel benötigen nicht nur Zeit, sondern auch Ressourcen, welche infolgedessen für die laufende Produktion nicht verfügbar sind. Durch diese zusätzliche Beanspruchung stehen die aufzuwendenden Ressourcen nicht zur Erfüllung von Kundenaufträgen bereit und eine fristgerechte Auftragsabwicklung ist somit gefährdet. Zur Abschätzung der Auswirkungen von Auftragsannahmen ist eine gute Planung erforderlich. Mithilfe von Simulationsstudien lassen sich beispielsweise mögliche Änderungen an einem Produktionssystem untersuchen, bevor diese im realen Umfeld angewendet werden (vgl. Gutenschwager et al. 2017). Insbesondere lässt sich das stochastische Verhalten von Prozessen in Produktionssystemen, wie beispielsweise variierende Bearbeitungszeiten, abbilden und somit das reale Verhalten des Personals nachbilden. Jedoch ist die Simulation nur in der Lage, ein gegebenes System zu bewerten. Die Entscheidung, wie dieses zu verändern ist, um alle Kundenaufträge zu erfüllen, obliegt dem Planer (vgl. Robinson 2014).

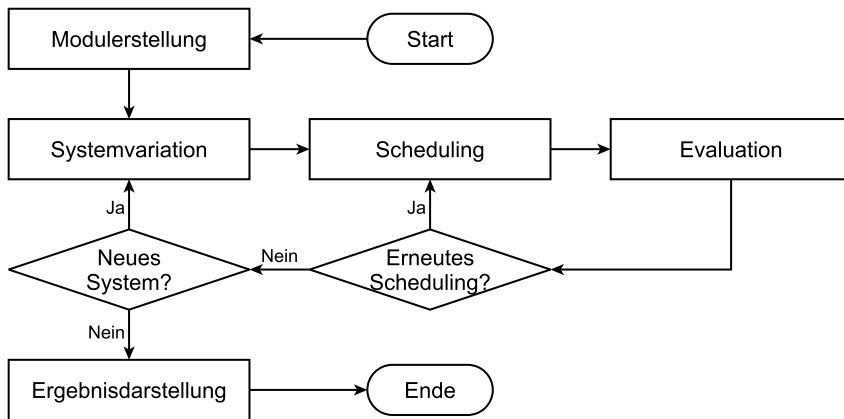
Ein weiteres Hilfsmittel zur Planung stellen Optimierungstechniken dar. Diese erlauben automatisiert verschiedene Konfigurationen eines Systems zu untersuchen und, basierend auf einem Zielkriterium, eine optimale Lösung bereitzustellen. Häufige Einsatzgebiete von Optimierungstechniken im produktionslogistischen Bereich sind die Reihenfolgeplanung (vgl. Arnaout et al. 2008; Aytug et al. 1994; Chiu et al. 2007), die Ressourcenplanung (vgl. Hagedorf et al. 2013) und die Flächenplanung (vgl. Dai et al. 2008). Durch die Kombination von Simulation und Optimierung

entsteht ein mächtiges Werkzeug, das einen Planer, unter Berücksichtigung der stochastischen Einflüsse, bei der Entscheidungsfindung unterstützen kann (vgl. März und Weigert 2011).

Auf Basis des Konzepts der simulationsbasierten Optimierung soll in dieser Arbeit eine Methode zur Einplanung neuer Aufträge entwickelt werden. Im Fokus liegen vor allem die Fälle, in denen ein Auftrag die Bereitstellung neuer Ressourcen erfordert. Die Herausforderung besteht darin, die zusätzlichen Ressourcenbedarfe durch die hinzukommenden Prozesse, wie Aufbau oder Qualifizierung einer Maschine, zu berücksichtigen. Ebenso ist zu ermitteln, zu welchem Zeitpunkt ein Beschaffungsprozess zu starten ist, damit die Ressource rechtzeitig für die Produktion zur Verfügung steht. Hierfür sollen die Techniken der Simulation und Optimierung kombiniert werden.

Grundlage der Simulation stellt ein Modell des zu betrachtenden Produktionssystems dar. Dieses Modell muss so gestaltet werden, dass ein Optimierungsverfahren in der Lage ist, dieses zu verändern. Somit ist eine Modellierungsmethode zu entwickeln, die es ermöglicht, Modelle durch ein Optimierungsverfahren erstellen sowie variieren und durch Simulation evaluieren zu können. Hierfür soll ein modularer Ansatz verfolgt werden, womit sich ein Produktionssystem aus mehreren Modulen zusammensetzen lässt. Weiterhin muss durch die zu entwickelnde Modellierungsmethode nicht nur das Produktionssystem geeignet abbildbar, sondern auch Kundenaufträge zu ausgewählten Zeitpunkten in das System einzulasten sein. Diese Fähigkeit ist essentiell, um die optimale Reihenfolge der Aufträge zu ermitteln, welche sicherstellt, dass alle Kundenaufträge fristgerecht erfüllt werden. Ferner müssen die Beschaffungs- und Qualifizierungsaufträge für neue Ressourcen eingeplant werden. Somit ist nicht nur eine Optimierung für die Ermittlung des Produktionssystems, sondern auch für die Auftragseinplanung notwendig. Um die Untersuchung stochastischer Einflüsse innerhalb der Optimierungsverfahren zu ermöglichen, ist die Optimierung geeignet mit der Simulation zu verbinden. Dafür ist auszuarbeiten, wie die Ergebnisse aus der Simulation an die Optimierung zurückgegeben werden. Insbesondere ist hier zu beachten, dass im Allgemeinen nicht nur ein Zielparаметer zu optimieren ist, sondern meist mehrere, womit ein multikriterielles Optimierungsverfahren zu entwickeln ist, das die Simulation als Bewertungsfunktion nutzt. Abbildung 1.1 stellt die Grundelemente und deren Zusammenhang für eine Modellierungsmethode für die simulationsbasierte Optimierung rekonfigurierbarer Produktionssysteme (MSORP) dar. Es wird, basierend auf Modulen, ein variierbares Modell eines Produktionssystems erstellt, für welches mittels Scheduling-Verfahren eine Auftragsreihenfolge ermittelt wird. In der Evaluation erfolgt die Durchführung von Simulationsläufen, deren Ergebnisse der Bestimmung von Auftragsreihenfolgen sowie der Variation des Modells dienen. Die Auftragsreihenfolge und das Modell werden verändert, bis die gewünschten Zielkriterien erfüllt sind.

Eine Herausforderung bei der Kombination von Simulation und Optimierung ist die Reduktion der Berechnungszeit. Soll MSORP aktiv zur Planung eingesetzt wer-

**Legende:**

□ Prozessschritt ◇ Entscheidung ○ Terminator → Verbindung

Abbildung 1.1: Prozessschritte der Modellierungsmethode für die MSORP

den, müssen die Ergebnisse in recht kurzer Zeit verfügbar sein. Je komplexer das System und damit das Simulationsmodell ist, desto aufwändiger stellen sich die Simulationsläufe dar. Die Evaluation vieler, durch die Optimierung vorgeschlagener, Lösungen ist aufwendig. Daher ist für die Evaluation der Lösungen ein Verfahren umzusetzen, das sicherstellt, so wenig wie möglich Aufwand für die Simulation zu verwenden, um eine möglichst große Anzahl an Lösungen untersuchen zu können.

Dafür ist zu analysieren, was ein rekonfigurierbares Produktionssystem charakterisiert und welche Eigenschaften für die Produktionsplanung relevant sind. Auf dieser Basis lassen sich schlanke Simulationsmodelle erstellen, die keine unnötigen Prozesse enthalten, sich auf das Wesentliche beschränken und somit ermöglichen, Modelle zu erstellen, die sich effizienter analysieren lassen.

Anschließend ist zu erarbeiten, wie sich Produktionssysteme geeignet modellieren lassen. Hier steht eine breite Auswahl an Modellierungstechniken zur Verfügung, die zu untersuchen sind. Ein besonderer Fokus ist auf die Abbildbarkeit zuvor ermittelter Charakteristika rekonfigurierbarer Produktionssysteme zu legen. Die ausgewählte Technik muss eine Überführung in ein ausführbares Simulationsmodell erlauben, sodass dieses zur Evaluation eines Produktionssystems genutzt werden kann. Ebenso ist die Integration in die Optimierung zu berücksichtigen, welche die Ergebnisse verwendet, um Lösungsvorschläge zu erzeugen. Aufbauend auf der ausgewählten Modellierungstechnik muss eine geeignete Simulationstechnik gewählt werden, die es erlaubt, im Rahmen von Optimierungsverfahren genutzt zu werden.

Für die Optimierung gibt es verschiedene Ansätze. Da es sich bei Produktionssystemen um große und komplexe Systeme handelt, kommen hier nur heuristische Ansätze in Frage. Die Vielzahl an verschiedenen heuristischen Optimierungsverfahren hat ein breites Anwendungsfeld gefunden. Aus dieser Fülle sind geeignete

Verfahren für die Systemvariation und die Auftragseinplanung auszuwählen. Nachdem sowohl für die Modellierungstechnik als auch für die Optimierungsverfahren eine Auswahl getroffen wurde, kann darauf aufbauend eine modulare Modellierungsmethode entwickelt werden. Diese muss es dem Planer ermöglichen, Modelle für einzelne Prozessschritte zu erstellen, die innerhalb einer Optimierung Verwendung finden können.

Basierend auf diesen Vorarbeiten lässt sich ein Verfahren entwickeln, in dem die Optimierung und Simulation zusammenarbeiten, um ein Produktionssystem zu bestimmen, das allen Kundenanforderungen gerecht wird. Hierbei müssen die verschiedenen Techniken geeignet miteinander verknüpft werden. Insbesondere sind die Übermittlung der Ergebnisse an die anderen Schritte und die abschließende Ergebnispräsentation für den Planer von Interesse. Abschließend sollen Anwendungsbeispiele die Funktionalität von MSORP darlegen. Dazu werden in einem ersten Beispiel die Systemvariation und die Auftragseinplanung unabhängig voneinander betrachtet, um die Funktionsweise beider Schritte darzulegen. In einem zweiten Beispiel werden alle Schritte miteinander kombiniert, um die entwickelte Methode in einer einzigen Anwendung zu demonstrieren.

2 Rekonfigurierbare Produktionssysteme

Produktionssysteme sind ein zentraler Bestandteil der Wertschöpfungskette von fertigen Unternehmen und dienen der Herstellung von Produkten. Sie können als Zusammenschluss von Produktionsprozessen verstanden werden (vgl. Abbildung 2.1), wobei ein Produktionsprozess „alle Vorgänge zur Herstellung von Sach- und Dienstleistungen in Einheit von Personal (Arbeitskräften), Technik (Arbeitsgegenstand und -mittel) und Organisation“ bezeichnet (Schenk et al. 2014, S. 48). Weiter umfasst ein Produktionsprozess die „Produktentwicklung, Produktherstellung, Beschaffung, Arbeitsplanung, Fertigung, Montage, Qualitätswesen, Service, den Gebrauch und die Nachnutzung eines Produktes“ (Schenk et al. 2014, S. 48).



Legende:

△ Güter □ Prozess → Materialfluss

Abbildung 2.1: Produktionsprozess als Prozessfolge mit Input und Output

Nyhuis et al. (2008) definieren das Produktionssystem als soziotechnisches System, das Input zu Output transformiert (vgl. Definition 2.1).

Definition 2.1 Produktionssystem: „Ein Produktionssystem bezeichnet ein soziotechnisches System, welches Input (z. B. Know-how, Methoden, Material, Finanzmittel, Energie) in wertschöpfenden (z. B. Fertigung oder Montage) und assoziierten Prozessen (z. B. Transport) zu Output (z. B. Produkte, Kosten, Reststoffe) transformiert.“ (Nyhuis et al. 2008, S. 20)

Ausgangspunkt für die Produktion ist ein Auftrag. Dieser „besteht aus einer oder mehreren Auftragspositionen mit der jeweiligen Menge eines Artikels. Kundenaufträge enthalten zusätzlich Lieferbedingungen, Termine, usw.“ (ten Hompel und Heidenblut 2011, S. 17). Aus diesen Angaben lassen sich die benötigten Ressourcen ableiten und die Aufträge dienen als Grundlage der Ressourcenplanung (vgl. Schuh und Roesgen 2006). Die Zusammenfassung mehrerer Aufträge zu einem Verarbeitungslot wird als Auftrags-Batch bezeichnet (vgl. ten Hompel und Heidenblut 2011). Aus Definition 2.1 ergeben sich als zentrale Prozesse der Wertschöpfung die Fertigung und die Montage (vgl. Definition 2.2). Diese Prozesse transformieren den Input zu einem Output mit höherem Wert.

Definition 2.2 Fertigung und Montage: *Fertigung* ist der „Prozeß, bei dem zum Zweck der Erstellung von Gütern Produktionsfaktoren kombiniert und transformiert werden. Die Menge der in die Produktion eingehenden Produktionsfaktoren wird auch als Input, der Kombinations- und Transformationsprozeß als Produktionsprozeß, und die hergestellten Güter werden als Produkte oder Output bezeichnet“ (Domschke et al. 1997, S. 4). „Die *Montage* umfasst sämtliche Vorgänge des Zusammenbaus von geometrisch bestimmten Einzelteilen und Baugruppen sowie gegebenenfalls Software in Form von Betriebs- und Anwendungsprogrammen zu funktionsfähigen Produkten“ (Wiendahl et al. 2014, S. 163). Zusätzlich zu den Einzelteilen bzw. Baugruppen werden häufig Betriebs- und Hilfsstoffe, beispielsweise Fette oder Kleber, benötigt.

Die Produktionslogistik (vgl. Definition 2.3) stellt dabei sicher, dass der Input so durch das Produktionssystem geführt wird, dass der gewünschte Output fristgerecht und mit den festgelegten Eigenschaften zur Verfügung steht.

Definition 2.3 Produktionslogistik: „Produktionslogistik plant, steuert und überwacht den Materialfluss vom Rohmateriallager der Beschaffung über die Stufen des Fertigungsprozesses bis hin zum Fertigwarenlager“ (Klaus et al. 2012, S. 466). Sie „umfasst die Gesamtheit aller logistischen Tätigkeiten, Maßnahmen und Themenstellungen, welche sich aus der Waren- bzw. Leistungserbringung ergeben. Sie ist als Glied der logistischen Kette zwischen Beschaffungslogistik und Absatzlogistik angesiedelt. Beispiele für Tätigkeiten der Produktionslogistik sind Planung, Steuerung, Transport und Lagerung von Rohmaterialien, Hilfs- und Betriebsstoffen, Kauf- und Ersatzteilen oder Halbfertig- und Fertigprodukten sowie die damit verbundenen organisatorischen oder qualitätssichernden Maßnahmen“ (ten Hompel und Heidenblut 2011, S. 238).

Die nachfolgenden Abschnitte erläutern die zur Erfüllung eines Auftrages notwendigen Ressourcen genauer. Insbesondere wird aufgezeigt, wie sich bestimmen lässt, welche Ressource für welchen Auftrag genutzt werden sollte. Anschließend wird ein kurzer Überblick über mögliche Klassifikationen von Produktionssystemen gegeben, um die später folgenden Anwendungsbeispiele einordnen zu können. Der letzte Abschnitt dieses Kapitels hebt hervor, welche Auswirkungen Änderungen an Produktionssystemen haben und welche Herausforderungen sich damit für die Planung ergeben.

2.1 Ressourcen

Im Rahmen der Auftragserfüllung unterteilen sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Ressourcen in Betriebsmittel, Personal, Finanzmittel und Rohstoffe (vgl. Wiendahl et al. 2014). Für diese Arbeit wird davon ausgegangen, dass Finanzmittel

ausreichend vorhanden sind. Diese werden in dieser Arbeit daher nicht weiter betrachtet mit der Ausnahme, dass entstehende Kosten als Bewertungskriterium für die Performance von Produktionssystemen herangezogen werden. Die nachfolgenden Abschnitte betrachten die Ressourcen Betriebsmittel, Personal und Rohstoffe im Detail.

2.1.1 Betriebsmittel

Die Betriebsmittel lassen sich nach Wiendahl et al. (vgl. 2014) in Fertigungs-, Montage- und Logistikmittel untergliedern und dienen der Durchführung von Fertigungs-, Montage- bzw. Logistikverfahren. Die jeweiligen Mittel dienen hierbei der Erreichung der Ziele im Rahmen der Fertigung, der Montage bzw. der Logistik.

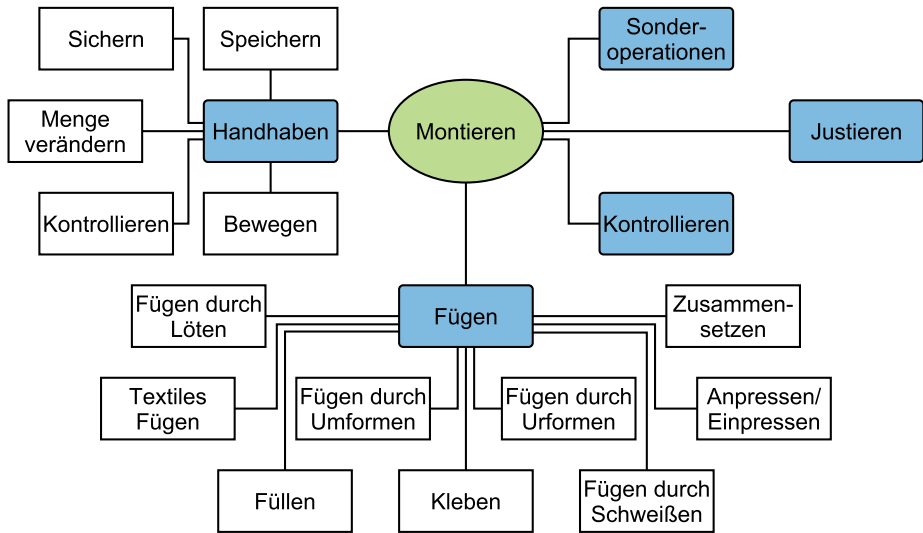
Fertigungsmittel dienen der Durchführung von Prozessen aus der Fertigung (vgl. Definition 2.2). Wiendahl et al. (2014) teilen die angewendeten Verfahren in der Fertigung in sechs Hauptgruppen ein (vgl. Tabelle 2.1). Die Fertigungsmittel lassen sich entsprechend dieser Hauptgruppen klassifizieren. Urformen ist das Überführen eines flüssigen oder zähflüssigen Materials in eine feste Form. Beim Umformen wird ein fester Körper in eine andere Form gebracht. Trennen beschreibt das Zerteilen eines Körpers in mehrere Stücke. Hierzu zählen ebenso spanende Verfahren, die Teile des Körpers abtragen. Fügen bezeichnet das Verbinden von Werkstücken zu komplexeren Bauteilen. Das Beschichten beschreibt das Aufbringen von Verschleiß- und Korrosionsschichten auf Bauteile, um deren Eigenschaften zu verbessern. Bei Verfahren, welche die Stoffeigenschaft ändern, wie beispielsweise Wärmebehandlungen, werden die molekularen Eigenschaften von Bauteilen verändert. Für detailliertere Erläuterungen soll auf Wiendahl et al. (2014) verwiesen werden.

Tabelle 2.1: Hauptgruppen der Fertigungsverfahren nach Wiendahl et al. (2014, S. 160)

	Zusammenhalt	Form
Urformen	schaffen	schaffen
Umformen		
Trennen	verhindern	ändern
Fügen	vermehrten	
Beschichten		
Stoffeigenschaft ändern	Stoffeigenschaft ändern	

Die Betriebsmittel aus der Gruppe der Montagemittel lassen sich entsprechend ihrer Funktion klassifizieren. Hierbei werden die sechs Gruppen Fügen, Handhaben, Kontrollieren, Justieren und Sonderoperationen unterschieden. Sonderoperationen sind beispielsweise das Reinigen oder Bedrucken von Bauteilen. Als Justieren be-

zeichnet man das Feineinstellen von Bauteilen einer Baugruppe. Kontrollieren wird als Qualitätsprüfung aufgefasst. Die für Sonderoperationen, das Justieren und das Kontrollieren „notwendigen Stationen unterscheiden sich aus Sicht der Fabrikplanung nicht von einer Fügestation“ (Wiendahl et al. 2014). Wiendahl et al. bezeichnen daher das Fügen und Handhaben als Kernfunktionen der Montage, die in VDI Richtlinie 2860 (1990) und DIN 8593-0 (2003) detaillierter beschrieben werden. Abbildung 2.2 zeigt die Montagefunktionen sowie die Unterteilungen des Fügens und des Handhabens.



Legende:

- Montieren
- Hauptmontagefunktion
- Montagefunktion
- Zugehörigkeit

Abbildung 2.2: Montagefunktionen nach Wiendahl et al. (2014, S. 166)

Die Logistikmittel umfassen diejenigen Betriebsmittel, die dazu dienen, „Objekte raum-zeitlich zu verändern, um sie in der richtigen Menge, Zusammensetzung und Qualität zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort zur Verfügung zu stellen“ (Wiendahl et al. 2014, S. 170). Nach Klaus et al. (2012) lässt sich die Logistik in die Funktionsbereiche Beschaffungs-, Produktions-, Absatzlogistik- und Entsorgungslogistik einteilen, wobei sich die vorliegende Arbeit auf die Logistik innerhalb der Produktion und somit die Produktionslogistik (vgl. Definition 2.3) beschränkt.

Zusätzlich zu den Fertigungs-, Montage- und Logistikmitteln gibt es die Gruppe der Betriebshilfsmittel, wie beispielsweise Schraubendreher oder Schmierfette. Wie die Betriebsmittel sind die Betriebshilfsmittel zur Herstellung des Produktes notwendig. Jedoch sind diese normalerweise in ausreichender Menge vorhanden. Daher stellen die Betriebshilfsmittel im Produktionsprozess im Allgemeinen keinen Engpass dar, beeinflussen diesen nicht und werden in der vorliegenden Arbeit nicht weiter betrachtet.

Vor dem Beginn eines Arbeitsschrittes mit einem Betriebsmittel sind Vorbereitungen notwendig, die sicherstellen, dass das Betriebsmittel verfügbar ist und sich im richtigen Zustand befindet. Diese Vorbereitungen werden als *Rüsten* oder *Einrichten* bezeichnet (vgl. Definition 2.4).

Definition 2.4 Rüsten: „Rüsten ist das Vorbereiten des Arbeitssystems für die Erfüllung der Arbeitsaufgabe sowie – soweit erforderlich – das Rückversetzen des Arbeitssystems in den ursprünglichen Zustand.“ (REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. 1992, S. 22)

Rüstprozesse unterscheiden sich für verschiedene Betriebsmittel. Insbesondere ist das der Fall, wenn diese unterschiedliche Technologien für die Durchführung von Arbeitsschritten nutzen. Nach Frühwald (1990) lassen sich Rüstprozesse unabhängig davon in fünf Abschnitte unterteilen:

1. Rüstvorbereitung: Bereitstellen der benötigten Ressourcen und Informationen,
2. Abrüsten: Auslauf der Fertigung des alten Erzeugnisses sowie Stillsetzung und Reinigung der Anlage,
3. Aufrüsten: Umstellen bzw. Umbau des Betriebsmittels für das neue Erzeugnis,
4. Probelauf: Sicherstellen der Qualität der Erzeugnisse und
5. Nachbereitung: Reinigung und Abtransport nicht mehr benötigten Ressourcen.

2.1.2 Personal

Das Personal in Unternehmen wird in der Regel in Angestellte und Arbeiter unterteilt. Ein Angestellter ist ein Arbeitnehmer, „der überwiegend geistige Aufgaben (z. B. kaufmännische, höhere technische, büromäßige oder überwiegend leitende Tätigkeiten) erfüllt“ (Piekenbrock 2013, S. 17). Als Arbeiter wird ein Arbeitnehmer bezeichnet, „der nicht die Merkmale eines Angestellten erfüllt. Nach herkömmlicher Auffassung verrichtet der Arbeiter überwiegend körperliche Arbeit“ (Piekenbrock 2013, S. 20). „Die Unterscheidung von Angestellten und Arbeitern stammt aus den Zeiten der entstehenden industriellen Produktion. Die Grenzen zwischen dem ‚Weißen Kragen‘-Angestellten und dem ‚Schwarze Fingernägel‘-Arbeiter verschwimmen mehr und mehr. Vielfach ist der Tätigkeitsinhalt mittlerweile der gleiche. [...] Vielfach wird bei den Angestellten auch noch zwischen kaufmännischen und technischen Angestellten unterschieden.“ (Luczak 1993, S. 543). Kaufmännisch Angestellte sind Arbeitnehmer, die „zur Leistung kaufmännischer Dienste angestellt sind. [...] Die Abgrenzung der kaufmännischen Dienste von anderen richtet sich nach der Verkehrsauffassung: Kaufmännische Dienste sind z. B. Büroarbeit (z. B. Buchhaltung) sowie einkaufende und verkaufende Tätigkeit. Nicht dazu gehört die Beschäftigung als Techniker“ (Berwanger und Wichert 2017). Als

technisch Angestellte werden alle Angestellten aufgefasst, die nicht den kaufmännisch Angestellten zuzuordnen sind.

Je nach Tätigkeit und Ausbildung lassen sich Arbeiter und technische Angestellte in verschiedene Gruppen einteilen (vgl. Statistisches Landesamt Sachsen 2008):

Facharbeiter sind Personen, die mit allen Arbeiten eines bestimmten Arbeitsgebietes vertraut sind. Diese Fachkenntnisse und Fähigkeiten können entweder durch eine abgeschlossene Ausbildung oder durch mehrjährige Tätigkeit im Arbeitsgebiet erworben sein. Infolgedessen können Facharbeiter mit Arbeiten betraut werden, die als besonders schwierig, verantwortungsvoll oder vielgestaltig anzusehen sind.

Fachwerker und Werker sind Personen, die angelernte Spezialtätigkeiten ausüben oder bestimmte Tätigkeitsmerkmale solcher Tätigkeiten erfüllen. Hierzu zählen auch Hilfskräfte.

Die zunehmende Angleichung der Aufgaben von Angestellten und Arbeitern führt dazu, dass stattdessen zunehmend zwischen direktem und indirektem Personal unterschieden wird und die Angestellten gemäß der durchzuführenden Tätigkeiten entgolten werden (vgl. IG Metall 2005). Hierbei bezeichnet indirektes Personal Mitarbeiter, die nicht unmittelbar an der Herstellung von Produkten oder Dienstleistungen beteiligt sind. Beispiele für Tätigkeiten von indirektem Personal sind: Buchhaltung, Rechnungsprüfung, Budgetplanung und -überwachung, Personalverwaltung und Arbeitssicherheit. Als direktes Personal werden die Mitarbeiter bezeichnet, die nicht als indirektes Personal klassifiziert werden. Beispiele für Tätigkeiten von direktem Personal sind: Produktionssteuerung, Instandhaltung, Transport, Qualitätssicherung, Montage, Schweißen, Beschichten, Assistieren und Einrichten. Hervorzuheben ist weiterhin, dass selbst bei gleicher übergeordneter Tätigkeitsbezeichnung (z. B. dem Einrichten) die Entgelteinstufung unter anderem basierend auf der Komplexität der einzurichtenden Betriebsmittel variiert. Weiterhin ist die Klassifizierung von direktem und indirektem Personal abhängig vom hergestellten Produkt.

Es wird angenommen, dass durch die Tätigkeiten des indirekten Personals keine gravierenden Kapazitätsengpässe entstehen, sofern diese die Kapazität von Betriebsmitteln oder direktem Personal, wie beispielsweise Weiterbildungen oder Qualifizierungen, nicht unmittelbar beeinflussen, und diese somit keinen messbaren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Produktionssystems haben. Daher legt diese Arbeit den Fokus auf Tätigkeiten des direkten Personals und auf Tätigkeiten, welche die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln und direktem Personal unmittelbar beeinflussen.

Da die Klassifizierung des Personals, wie oben dargelegt, kaum möglich ist, wird im Weiteren die Bezeichnung *Werker* genutzt, wenn von an der Produktion beteiligtem Personal gesprochen wird. Bei der Betrachtung einer konkreten Tätigkeit erhält der Werker in diesem Rahmen die entsprechende Bezeichnung. Beispielswei-