

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fakultät für Maschinenwesen

Methode zur kosteneffizienten Konfiguration eines Springer- pools in der taktgebundenen Montage

Christiane Doris Dollinger

Vollständiger Abdruck von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
2. Prof. Dr. Veit St. Senner

Die Dissertation wurde am 18.01.2021 bei der Technischen Universität eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 28.06.2021 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abkürzungsverzeichnis.....	8
Symbolverzeichnis.....	9
1 Einleitung.....	11
1.1 Ausgangssituation und Motivation	11
1.2 Forschungsbedarf und Zielsetzung	14
1.3 Forschungsmethodik	16
1.4 Aufbau der Arbeit	18
2 Springerplanung in der taktgebundenen Montage.....	19
2.1 Beschreibung relevanter Aspekte zu getakteten, variantenreichen Montagesystemen.....	19
2.1.1 Gestaltung eines taktgebundenen Montagesystems	19
2.1.2 Vorgabezeiten in Montagesystemen	22
2.1.3 Austaktung zur Umsetzung der Arbeitsteilung in der Montage.....	23
2.1.4 Verfügbarkeit von Montagesystemen	25
2.1.5 Variantenvielfalt in der Montage	26
2.2 Charakterisierung der Springerplanung	27
2.2.1 Ausprägungsformen von Springern.....	27
2.2.2 Entstehung von Springereinsatzbedarfen	29
2.2.3 Springereinsatzzeitpunkte.....	31
2.2.4 Springerpoolkonfiguration	32

2.3	Personalentlohnung in der Montage	32
3	Wissenschaftliche Vorarbeiten und Handlungsbedarf	35
3.1	Ansätze zur Springerplanung.....	35
3.1.1	Leistungsabstimmungsorientierte Ansätze.....	36
3.1.2	Personalplanungsorientierte Ansätze	40
3.2	Reflexion der Ansätze hinsichtlich ausgewählter Bewertungskriterien ..	42
3.3	Handlungsbedarf.....	43
4	Darstellung der Methode und Modelle im Gesamtkonzept.....	45
4.1	Anforderungen an die Methode sowie Modelle	45
4.1.1	Allgemeine Anforderungen an die Methode sowie an die Modelle.....	45
4.1.2	Inhaltliche Anforderungen an die Methode sowie Modelle.....	46
4.2	Betrachtungsrahmen für den Einsatz der Methode bzw. der Modelle	48
4.3	Grobbeschreibung der Methode als Vorgehen für den Anwender	49
4.4	Grobbeschreibung der Modelle	51
5	Modell I – Anforderungsanalysemodell.....	53
5.1	Grundlagen.....	53
5.1.1	Kategorisierung von Anforderungsarten.....	53
5.1.2	Beschreibung von Qualifikationsmatrizen und des Qualifikationsgrads	58
5.2	Modellierung von Springeranforderungsprofilen	60
5.2.1	Identifikation von Ursachen für Springerbedarfe	61
5.2.2	Formulierung von Springeraufgaben	65

5.2.3	Ableitung von Anforderungsprofilen	68
5.3	Ergebnis: Quantifizierbares Gesamt-Springeranforderungsprofil	72
6	Modell II – Bedarfsidentifikationsmodell	76
6.1	Grundlagen	76
6.1.1	Simulation als Werkzeug zur Abbildung des Montageablaufs	76
6.1.2	Die Rolle der Bedarfsidentifikationslogik innerhalb eines Simulationsmodells	79
6.1.3	Das Flussdiagramm als Werkzeug zur strukturierten Ablaufplanung	80
6.1.4	Beschreibung der gewählten Montagesystemebenen zur Modellierung	81
6.2	Entwicklung der Bedarfsidentifikationslogik für Springereinsätze	82
6.2.1	Bedarfsgerechte Auswahl von Springereinsatzszenarien (Auswahllogik)	83
6.2.2	Zuordnung von Einsatzarten zu Springereinsatzszenarien (Einsatzlogik)	94
6.2.3	Methode zur Springerzuweisung (Zuweisungslogik)	102
6.3	Ergebnis: Bedarfsidentifikationslogik.....	109
7	Modell III – Konfigurationsmodell	111
7.1	Grundlagen	111
7.1.1	Formulierung der Springerpoolkonfiguration als Zuordnungsproblem	111
7.1.2	Heuristische Ansätze zur Lösung von Zuordnungsproblemen	113
7.2	Aufbau des dreistufigen Konfigurationsmodells	115

7.2.1	Stufe 1: Auswahlvorschriften für potenzielle Springer.....	116
7.2.2	Stufe 2: Heuristik zur kosteneffizienten Bedarfsdeckung.....	117
7.2.3	Stufe 3: Fallunterscheidungen zur Springerpoolkonfiguration.....	123
7.3	Ergebnis: Konfigurationslogik.....	128
8	Anwendung der Methode an Hand eines Praxisbeispiels	129
8.1	Beschreibung des Praxisbeispiels	129
8.2	Notwendige Voraussetzungen für die Anwendung der Methode.....	130
8.3	Anwendung der Methode.....	132
8.3.1	Schritt 1 - Erläuterung	133
8.3.2	Schritt 1 - Ergebnisse Praxisbeispiel.....	137
8.3.3	Schritt 2 - Erläuterung	138
8.3.4	Schritt 2 - Ergebnisse Praxisbeispiel.....	140
8.3.5	Schritt 3 - Erläuterung	141
8.3.6	Schritt 3 – Ergebnisse Praxisbeispiel	144
8.3.7	Schritt 4 - Erläuterung	148
8.3.8	Schritt 4 – Ergebnisse Praxisbeispiel	149
8.4	Zusammenfassende Aufwand-Nutzen-Bewertung	152
8.5	Evaluation der Methode sowie darin enthaltener Modelle	154
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	157
9.1	Zusammenfassung	157
9.2	Ausblick	158
10	Literaturverzeichnis	159

11 Anhang	176
11.1 Betreute Studienarbeiten	176
11.2 Grundlagen – Ergänzungen.....	177
11.2.1 Verfügbarkeit von Montagesystemen	177
11.2.2 Modellierung von Flussdiagrammen.....	178
11.3 Anforderungsprofile für Springer	181
11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik.....	185
11.4.1 Auswahllogik.....	185
11.4.2 Einsatzlogik	190
11.4.3 Zuweisungslogik.....	192
11.5 Modell III - Vorgehen zur Prüfung der Kosten einer Umverteilung	198
11.6 Datenerhebung für Anwendungsbeispiel	199
11.7 Weitere Ergebnisdarstellung des Anwendungsbeispiels	205

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d. h.	das heißt
DRM	Design Research Methodology
ERA	Entgelt-Rahmenabkommen
ggf.	gegebenenfalls
MTBF	Mean Time Between Failures
MTM	Methods-Time Measurement
MTTR	Mean Time To Repair
sog.	sogenannte
TV	Teilvorgang
TZÜ	Taktzeitüberschreitung
z. B.	zum Beispiel

Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Bedeutung
A_{Springer}	%	Auslastung der Springer
K_M	€	Kosten pro Mitarbeiter
$\Delta K_{MA, \text{gesamt}}$	€	Gesamtkosten Mitarbeiter
$K_{MA, \text{neu}}$	€	Neue Kosten pro Mitarbeiter
$K_{MA, \text{ursprgl.}}$	€	Ursprüngliche Kosten pro Mitarbeiter
$K_{VZS.}$	€	Kosten für einen Vollzeitspringer
$K_{VZS, \text{gesamt}}$	€	Gesamtkosten für Vollzeitspringer
LG_{mensch}	%	Menschlicher Leistungsgrad
$LG_{\text{techn.}}$	%	Technischer Leistungsgrad
Δt_{ES}	s	Einsatzzeit für Ersatzszenario
Δt_i	s	Einsatzzeit pro Mitarbeiter
t_{Takt}	s	Taktzeit
Δt_{tLG}	s	Taktzeitüberschreitung aufgrund des techn. Leistungsgrads
Δt_{mLG}	s	Taktzeitüberschreitung aufgrund des menschlichen Leistungsgrads
Δt_{Pause}	s	Taktzeitüberschreitung aufgrund Pause (geplant/ungeplant)
$\Delta t_{\text{Störung}}$	s	Taktzeitüberschreitung aufgrund Störung
Δt_{US}	s	Einsatzzeit für Unterstützungsszenario
$\Delta t_{\text{varianz}}$	s	Taktzeitüberschreitung aufgrund Varianz
Δt_{WS}	s	Einsatzzeit für Wissensszenario
$t_{\text{Zyklus, auto}}$	s	Zykluszeit für automatisierte Vorgänge
$t_{\text{Zyklus, manuell}}$	s	Zykluszeit für manuelle Vorgänge

t _{Zyklus,oLG}	s	Zykluszeit ohne Berücksichtigung des Leistungsgrads
Var_gepl_Pause	-	Variable für geplante Pause
Var_gepl_Störung	-	Variable für geplante Störung
Var_lio_D	-	Variable für linksoffenes Driften
Var_menschl_LG	-	Variable für menschlichen Leistungsgrad
Var_präv_SE_gObj	-	Variable für präventiven Springereinsatz mit der Übernahme eines ganzen Objekts
Var_präv_SE_Pers	-	Variable für präventiven Springereinsatz mit Personalersatz
Var_präv_SE_Teil	-	Variable für präventiven Springereinsatz mit der Übernahme von Teiltätigkeiten
Var_reak_SE	-	Variable für reaktiven Springereinsatz
Var_reo_D	-	Variable für rechtsoffenes Driften
Var_techn_LG	-	Variable für technischen Leistungsgrad
Var_ungepl_Pause	-	Variable für ungeplante Pausen
Var_gepl_Pause	-	Variable für geplante Pausen

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Das produktionstechnische Umfeld ist schon immer von Veränderungen geprägt, wobei diese in den vergangenen 20 Jahren deutlich in Schnelligkeit und Innovationskraft zugenommen haben. Insbesondere der Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt stellt Unternehmen vor neue Herausforderungen. Verstärkt durch die weltweite Globalisierung und kürzere Lebenszyklen der Produkte müssen Unternehmen zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit ihr Produktspektrum weiter diversifizieren, individuelle Kundenwünsche berücksichtigen sowie kürzere Lieferzeiten und gestiegene Qualität realisieren (ADAM & JOHANWILLE 1998; WIENDAHL, GERST & KEUNECKE 2004). Aufgrund der Individualisierungszunahme bei gleichzeitig sinkenden Produktionsvolumina pro Produktvariante sind klassische Ansätze der Massenproduktion nicht mehr vertretbar, weshalb Unternehmen die Strategie der sog. *Mass Customization* verfolgen mit dem Ziel, kundenindividuelle Produkte zum Preis von Standarderzeugnissen anbieten zu können (PILLER 2001, S. 1). Aus dieser Produktivitäts- und Effizienz­sicht wird der Punkt der kundenauftragspezifischen Variantenbildung möglichst weit ans Ende des Leistungserstellungsprozesses geschoben, sodass bis zu einer relativ hohen Produktstrukturebene eine auftragsneutrale Fertigung realisierbar ist (KÖSTER 1997, S. 72; SCHUH 2014, S. 274). Demnach wird die Variantenbildung in den Bereich der Montage verlagert, welcher die Aufgabe hat, aus einer Vielzahl von Teilen ein Produkt höherer Komplexität zusammenzubauen (WARNECKE 1995; LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 1, siehe Abbildung 1).

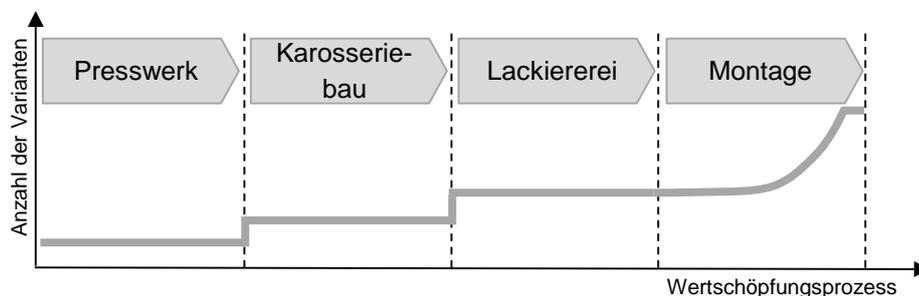


Abbildung 1: Zunahme der Anzahl an Varianten entlang des Wertschöpfungsprozesses (HALUBEK 2012, S. 4)

Die Nutzung produktspezifischer Montagelinien ist aufgrund der gestiegenen Produktvarianz und geringen Variantenvolumina nicht mehr wirtschaftlich, wodurch

die Notwendigkeit für die Einführung von Mehrproduktlinien (*Mixed-Model-Lines*) steigt, in denen eine Variantenproduktion ohne Unterbrechung für Umrüstvorgänge in beliebiger Reihenfolge umgesetzt werden kann (HERMANN 2013, S. 13).

Für eine kundennahe Produktion legen Unternehmen ihre Montagelinien auf Basis des sog. *Kudentakts* aus (SYSKA 2006, S. 145). Der Kundentakt ist an dessen Nachfrage gekoppelt und gibt das Zeitintervall vor, in dem fertige Teile die Linie verlassen müssen. TAKEDA (2004, S. 109) setzt den Kunden mit jedem nachgelagerten Prozess gleich und definiert die Taktzeit demnach als vorgegebene Zeit, die zur Produktion eines Teils im vorgelagerten Prozess bzw. zur Abgabe an den nachgelagerten Prozess zur Verfügung steht. Im Rahmen von *Mixed-Model-Lines* wird für den Kundentakt ein gemittelter Wert für die nachgefragten Produktvarianten angenommen und für den betrachteten Bereich als Richtzeit festgelegt. Die Problematik besteht darin, dass Varianten Unterschiede in ihren Prozesszeiten aufweisen können, wodurch das Einhalten des Kundentakts gefährdet und das System nicht mehr nivelliert ist. Verstärkt wird dieser Effekt durch weitere Ursachen wie z. B. heterogene Leistungsgrade der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter¹ oder ungeplante Ausfälle von Maschinen und Personal (siehe Abschnitt 5.2.1). Insbesondere Leistungsgrade spielen im Rahmen des demografischen Wandels eine zunehmende Rolle. In der deutschen Metall- und Elektroindustrie sind beispielsweise ca. 50 Prozent der Beschäftigten zwischen 40 und 59 Jahre alt (STATISTA 2019). Mit zunehmendem Alter kann man von einem sich reduzierenden Leistungsgrad ausgehen. Verstärkt wird dieser Effekt durch die Verfügbarkeit von nicht leistungsgewandelten Mitarbeitern am Arbeitsmarkt. Im mittleren Qualifikationsbereich z. B. können Unternehmen ausreichend qualifiziertes Personal nur bedingt finden (MAIER, ZIKA, WOLTER, KALINOSWSKI & HELMRICH 2014), wodurch sie vor der Herausforderung stehen, Mitarbeiter mit einem altersbedingt reduzierten Leistungsgrad produktiv einzusetzen und auf fremd- bzw. ungeschulte Mitarbeiter aus dem unteren Qualifikationsbereich ausweichen zu müssen (siehe Abbildung 2). In beiden Fällen üben diese Herausforderungen einen Einfluss auf die Arbeitsgeschwindigkeit und die Einhaltung der Taktzeit aus. Derartige Belastungsschwankungen beeinflussen die Ausbringungsmenge der gesamten Linie sowie die Aus-

¹ Aus Gründen der leichten Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

lastung der Mitarbeiter und müssen demnach minimiert werden. Für die Systemstabilität sind insbesondere die Überschreitungen der Taktzeit kritisch, da sie das System blockieren und somit die Ausbringungsmenge der Linie gefährden.

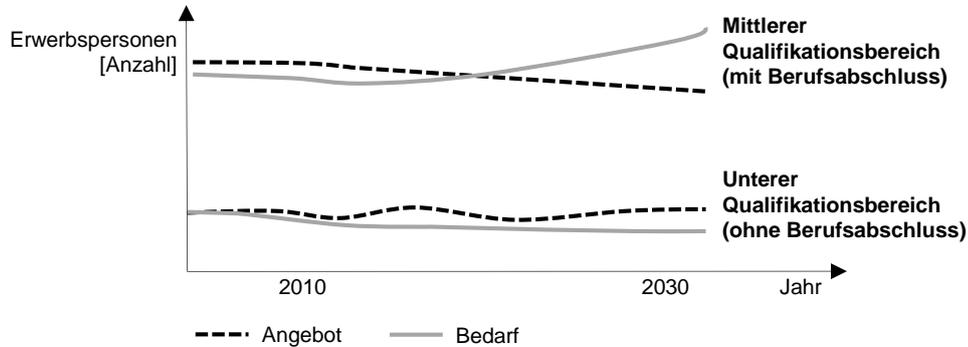


Abbildung 2: Divergenz zwischen Angebot und Bedarf auf dem Arbeitsmarkt
(qualitativer Kurvenverlauf)

In der Praxis existieren bereits diverse Maßnahmen und Methoden, die Taktzeitüberschreitungen präventiv² verhindern bzw. reaktiv³ abbauen. Ein probates und im Rahmen der Arbeit fokussiertes Mittel stellt die Einsatzplanung von sog. *Springern* dar (siehe Abschnitt 2.2). *Springer* sind Arbeitskräfte, die im Bedarfsfall eine kurzfristige Kapazitätserweiterung bewirken, indem sie Tätigkeiten des Stammpersonals übernehmen und somit Zeitverluste verhindern (WEIß 2000, S. 26). Trotz ihrer hohen Flexibilität und kurzfristigen Einsatzmöglichkeit erachten Unternehmen Springer als zu kostenintensiv und nicht wirtschaftlich. Hauptkostentreiber ist die relativ hohe Entlohnung von Springern, welche aus der Mehrfachqualifizierung für ganze Bandabschnitte und einer anspruchsvollen Aufgabenbeschreibung resultiert (MOLLEMEIER 1996). Zudem weisen Springer häufig schwankende Kapazitätsauslastungen auf, welche in Verbindung mit den Kosten die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussen.

Die Personalkosten im Hochlohnland Deutschland beeinflussen die Wettbewerbsfähigkeit der hier ansässigen Unternehmen stark, welche beispielsweise im verarbeitenden Gewerbe einen Anteil von ca. 18 Prozent am Bruttoproduktionswert ausmachen (DESTATIS 2019, S. 278). Durch eine zunehmende Globalisierung

² Präventiv bedeutet, dass Maßnahmen ergriffen werden, die das Auftreten einer Taktzeitüberschreitung verhindern.

³ Reaktiv bedeutet, dass erst nach dem Auftreten der Taktzeitüberschreitung eine Maßnahme zu Abbau ergriffen wird.

steigt der Wettbewerbsdruck für deutsche Unternehmen, weshalb diese angehalten sind, ihre Personalkosten zu reduzieren, ohne dabei die Flexibilität und Produktivität der Produktionslinie zu gefährden. Diese Herausforderung trifft insbesondere auf den personalintensiven Bereich der Montage zu, wo rund ein Drittel der Arbeitnehmer in der Metall- und Elektroindustrie beschäftigt ist (FELDMANN, SLAMA & GERGS 2004, S. VII). Diese Entwicklung zeigt, dass Personal eine wichtige Ressource für die Montage in Deutschland ist und daher die Schaffung von kosteneffizienten Flexibilisierungsmaßnahmen für Personalkapazitäten eine hohe Relevanz für den Standort besitzt.

1.2 Forschungsbedarf und Zielsetzung

Aus der Motivation geht hervor, dass der Einsatz von Springern für den Standort Deutschland zwar relevant ist, die mit ihnen verbundenen Kosten für einen wirtschaftlichen Einsatz jedoch zu hoch sind. Zum aktuellen Stand der Technik liegen bereits Untersuchungen vor, die diese Problematik erkannt und Lösungen dazu entwickelt haben. Diese Ansätze basieren meist auf einer Simulation, welche die Anzahl der benötigten Springer ermitteln kann, um dem Anwender Prognosewerte für eine spätere Einsatzplanung zu liefern. Mit diesen Ansätzen wurde ein Fundament geschaffen, um Bedarfe zu identifizieren und einen Richtwert für anfallende Kosten zu erhalten. Die Qualität der Ergebnisse hängt stark von zu berücksichtigenden Eingangsgrößen ab, wodurch die ermittelte Springeranzahl meist nur eine eingeschränkte Gültigkeit besitzt. Zudem gibt es Ansätze, welche durch Variation der Eingangsparameter (z. B. Produktionsprogramm, Verteilung der Arbeitsschritte) Einfluss auf den Eintrittszeitpunkt von Kapazitätsüberlastungen haben und somit die Anzahl der benötigten Springer beeinflussen. ALTEMEIER (2009) versucht beispielsweise, durch die Anpassung der Reihenfolgeplanung des Produktionsprogramms parallele Springereinsätze zu vermeiden, um somit weniger Springer zur Deckung des Bedarfs vorhalten zu müssen. Von Nachteil ist, dass diese Ansätze eine Anpassungsfähigkeit des Produktionssystems voraussetzen. Somit ist eine kurzfristige Anwendung für bestehende Systeme nicht ohne Weiteres möglich, häufig lassen systembedingte Restriktionen auch keine Anpassung z. B. der Reihenfolgeplanung oder Austaktung in dem benötigten Ausmaß zu. Dennoch finden diese Ansätze ihre Berechtigung und dienen als Grundlage für die vorliegende Untersuchung.

Die Gesamtpersonalkosten für Springer ergeben sich zum einen aus der vorgehaltenen Anzahl der Springer und zum anderen aus den mitarbeiterbezogenen Entgelten. Den zweiten Stellhebel, also die Höhe des Entgelts, erwähnen wissenschaftliche Untersuchungen nur am Rande. Ziel der Entgeltpolitik ist zum einen die Motivation der Mitarbeiter und zum anderen eine gerechte Entlohnung. Gerechtigkeit wird über die Betrachtung der Anforderungen, welche aus der Aufgabenstellung, dem Arbeitsplatz und den Arbeitsbedingungen resultieren, sowie der individuellen Leistung und der Preise am Arbeitsmarkt angestrebt. Eine marktgerechte Entlohnung bedeutet, dass bei der Bestimmung der Entgelthöhe auf örtliche Gegebenheiten (z. B. Region), Berufsgruppen (z. B. Facharbeiter), Branche (z. B. Metall- und Elektroindustrie) sowie Unternehmensgröße geachtet wird (MODEREGGER 1996, S. 1). Grundsätzlich lassen sich diese Inhalte zu drei Bestandteilen des Entgelts zusammenfassen: Grundentgelt, Leistungsentgelt und Zulagen (EYER & BÖDDECKER 2006, S. 17). Die Höhe des Leistungsentgelts und Zulagen werden unternehmensindividuell festgelegt. Das Grundentgelt ist an die Anforderungen der Arbeitstätigkeit gebunden. Die Tätigkeit eines Springers wird heutzutage aufgrund der geforderten Mehrfachqualifizierung und Zuordnung zu ganzen Bandabschnitten als sehr anspruchsvoll bewertet, woraus die relativ hohe Entlohnung resultiert.

Daher besteht ein Forschungsbedarf für die Analyse von Springertätigkeiten, um deren einsatzbezogene Anforderungen zu ermitteln und mögliche Einsparpotenziale hinsichtlich Mehrfachqualifizierung zu identifizieren. Zielführend ist eine bedarfsgerechte Qualifizierung von Springern, wodurch auftretende Einsatzbedarfe erfüllt werden können und gleichzeitig darauf geachtet wird, dass die Kosten für Mehrfachqualifizierung in einem angemessenen Verhältnis zu den Einsatzbedarfen stehen. Somit geht der hier vorliegende Ansatz von personenindividuellen Qualifikationsgraden aus und nicht von einem pauschal relativ hoch angesetzten Wert. Zudem können bestehende Simulationsansätze zur Springerbedarfsermittlung nicht mehr angewendet werden, da diese keine bedarfsgerechte Zuweisung berücksichtigen und häufig nur die Variantenvielfalt als mögliche Ursache für Kapazitätsüberlastungen detailliert abbilden. Für den Ansatz der vorliegenden Untersuchung ist es jedoch essenziell, möglichst viele Ursachen darzustellen, da diese den Einsatz von Springern hinsichtlich ihrer Qualifikation und Aufgabe beeinflussen. Aus dem Forschungsbedarf lässt sich das Ziel ableiten, Kosten beim Springereinsatz durch die Ermittlung einer bedarfsgerechten *Springerpoolkonfiguration* zu

reduzieren. Unter dem Begriff *Springerpoolkonfiguration* ist die qualifikationsheterogene Zusammensetzung des Pools zu verstehen (siehe Abschnitt 2.2.4). Dafür wird eine Methode entwickelt, mit der Springerbedarfe in Abhängigkeit notwendiger Aufgabenprofile identifiziert werden können und anschließend daraus die Springerpoolkonfiguration, welche der Bedarfsdeckung dient, ermittelt werden kann. Hierzu ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Wie lassen sich Springeraufgaben allgemein beschreiben und mit Anforderungen (z. B. Qualifikation) hinterlegen (Springeranforderungsprofile)?
2. Auf welche Weise können Springerbedarfe, basierend auf den zuvor ermittelten Springeranforderungsprofilen, identifiziert werden?
3. Durch welches Vorgehen lässt sich eine kosteneffiziente Springerpoolkonfiguration ermitteln?

1.3 Forschungsmethodik

Allgemein formuliert ist das Ziel eines Forschungsvorhabens ein Forschungsfeld zu identifizieren, in dem eine Lücke existiert, um anschließend mit neuen Erkenntnissen sowie entwickelten Vorgehensweisen diese Lücke zu schließen. Die Relevanz eines Forschungsfelds ergibt sich sowohl aus dem Nutzen für die Wissenschaft als auch für die industrielle Praxis (BLESSING & CHAKRABARTI 2009). Zur Schaffung neuer Erkenntnisse in einem bestimmten Fachbereich sowie deren Übertrag in die Praxis bedarf es eines systematischen Vorgehens – einer sog. *Forschungsmethodik* (BOER 2009). Mithilfe der Forschungsmethodik wird ein Forschungsfeld systematisch und zielgerichtet erörtert, um daraus einen Handlungsbedarf sowie Forschungsfragen abzuleiten und logisch argumentierte Ergebnisse zu generieren. Je nach Wissenschaftsbereich lassen sich unterschiedliche Forschungsarten feststellen. Als die vier wesentlichen Forschungsarten können die folgenden gelten (STEBBINS 2001; SHADISH, COOK & CAMPBELL 2002): explorative Forschung, theoretische Forschung, experimentelle Forschung, angewandte Forschung.

Die vorliegende Untersuchung ordnet sich der *angewandten Forschung* zu mit dem Ziel, einen neuen und in der Praxis anwendbaren Lösungsansatz zu entwickeln. Das Ergebnis der Forschungsarbeit soll eine Problembeschreibung, eine allgemeingültige Methode, eine beispielhafte Anwendung in der Praxis sowie eine

Nutzenbewertung enthalten. Damit die Qualität der Arbeit einem wissenschaftlichen Anspruch gerecht wird, muss sie einen Beitrag zur Problemlösung leisten, darin vorgenommene Entscheidungen auf Basis wissenschaftlicher Vorarbeiten sowie nachvollziehbarer Kausalketten erschließen und ihre Lösung als neu und umsetzbar deklariert werden können. Zur inhaltlichen Ausarbeitung wird auf die Design Research Methodology (DRM) nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009) zurückgegriffen. Der Ansatz ist in vier wesentliche Stufen unterteilt: Stufe 1: Klärung der Forschungsziele, Stufe 2: erste deskriptive Studie, Stufe 3: präskriptive Studie, Stufe 4: zweite deskriptive Studie. Grundsätzlich werden die Stufen sequenziell behandelt, Rücksprünge sind jedoch möglich.

In Stufe 1 wird mit einer Literaturrecherche begonnen, um die Ziele der Untersuchung festzuhalten und Forschungsfragen zu formulieren. Das in diesem Rahmen identifizierte Problem ergibt sich aus der industriellen Praxis. Die vorliegende Arbeit wurde begleitend durch das von der Bayerischen Forschungstiftung geförderte Forschungsvorhaben „Smart Interfaces“ unterstützt.

In Stufe 2 wird das Forschungsfeld analysiert, um ein Verständnis über existente Verfahren, Methoden und Hilfsmittel zu erhalten. Das Forschungsfeld wurde aus zwei unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet. Der Springereinsatz stellt ein Hilfsmittel zur Kapazitätsplanung in der Produktion dar. Daher wurden Ansätze zum einen aus dem Bereich Leistungsabstimmung herangezogen. Zum anderen enthält die Hypothese aber auch Aspekte aus der Personalplanung, wie z. B. ein qualifikationsbasierter Personaleinsatz, weshalb personalplanungsorientierte Ansätze ebenfalls untersucht wurden (siehe Abschnitt 3.1). Als Handlungsbedarf konnte aufgezeigt werden, dass es zur Lösung des Problems keinen vergleichbaren ganzheitlichen Ansatz gibt, der weiterentwickelt werden kann. Zum Stand der Technik (siehe Kapitel 3) wurde sich ausschließlich auf das Gesamtziel und die damit verbundenen wissenschaftlichen Vorarbeiten beschränkt.

Anschließend erfolgt in Stufe 3 die Entwicklung einer Lösung. Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit zielt auf eine anwendungsnahe Methode, die sich dreier Modelle bedient, welche ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden. Für jedes Modell wurde eine eigene Analyse mit relevanten Verfahren und Hilfsmitteln durchgeführt. Daher enthält jedes Kapitel der drei Modelle einen eigenen kurzen Grundlagenteil.

Stufe 4 befasst sich mit der Anwendung der Lösung in der Praxis sowie deren Bewertung. Zudem erfolgt auf Basis der gewonnenen Ergebnisse eine kritische Reflexion, wodurch weiterführende Forschungsaktivitäten aufgezeigt werden können. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Methode bei einem Industrieunternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau angewendet und bewertet (siehe Kapitel 8).

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit orientiert sich an den vier Stufen der DRM-Methode (siehe Abschnitt 1.3). Kapitel 3 gibt einen Einblick in die Themenbereiche der taktgebundenen Montagesysteme sowie der Springerplanung. Er schafft die notwendige Grundlage für ein Verständnis der Gesamthematik. Spezifische Grundlagen für einzelne Modelle sind zu Beginn der jeweiligen Kapitel zu finden (siehe Kapitel 5–7). Das dritte Kapitel enthält wissenschaftliche Vorarbeiten aus dem Bereich der Springerplanung, differenziert nach leistungsabstimmungs- und personalplanungsorientierten Ansätzen. Auf Basis der Reflexionsergebnisse ist in Abschnitt 3.3 der Handlungsbedarf abgebildet. Kapitel 4 dient als Überleitung zur eigentlichen Modell- und Methodenentwicklung. Es erläutert die Anforderungen und den Betrachtungsrahmen. Zudem werden hier sowohl die Methode als auch die drei Modelle beschrieben, sodass der Leser eine Vorausschau der Inhalte in den folgenden Kapiteln erhält. Die Entwicklung sowie das Ergebnis der Modelle sind in den Kapiteln 5 bis 7 beschrieben. Die Arbeit endet mit der Anwendung der Methode einschließlich kritischer Bewertung sowie einem Ausblick für weitere Forschungsaktivitäten (Kapitel 8 und Kapitel 9). Zusammengefasst ist der Aufbau der Arbeit in Abbildung 3 abgebildet.

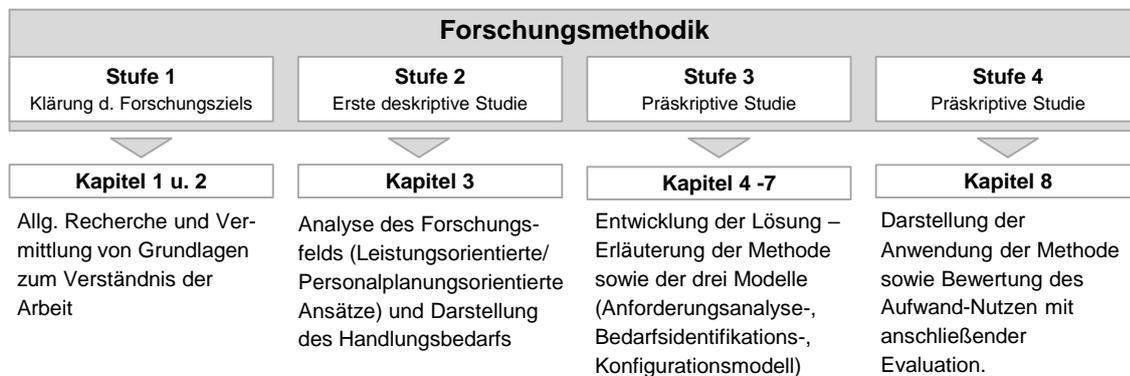


Abbildung 3: Aufbau der vorliegenden Arbeit

2 Springerplanung in der taktgebundenen Montage

Kapitel 2 dient zum allgemeinen Verständnis der Springerthematik in getakteten Fließmontagesystemen. Es wird darauf eingegangen, wie Springerbedarfe entstehen und welche verschiedenen Springerszenarien praktiziert werden können. Darüber hinaus werden die Voraussetzungen zur Integration von Springern erläutert sowie die Vor- und Nachteile, die sich aus ihrem Einsatz ergeben. Abschließend werden bestehende Ansätze vorgestellt und hinsichtlich der Berücksichtigung zuvor erläuterter Verbesserungspotenziale untersucht. Am Ende von Kapitel 2 wird der konkrete Handlungsbedarf, auf dem die vorliegende Arbeit aufbaut, dargestellt.

2.1 Beschreibung relevanter Aspekte zu getakteten, variantenreichen Montagesystemen

In der vorliegenden Arbeit werden Fließmontagesysteme fokussiert, welche sich durch das Objektprinzip sowie einen einheitlichen Materialfluss mit zeitlicher Bindung auszeichnen (DÖRMER & GÜNTHER 2013, S. 12). Das Objektprinzip bezieht sich auf die Anordnung der Produktiveinheiten (Stationen). Diese sind innerhalb eines Fließmontagesystems gemäß der Reihenfolge der Bearbeitungsschritte am Objekt angeordnet und nicht nach Funktionen wie bei der Werkstattfertigung. Die Zuordnung erfolgt unter der Prämisse, dass alle Bearbeitungsschritte innerhalb der vorgegebenen Zeitspanne an einer Station abgeschlossen werden können. Die folgenden Abschnitte gehen auf die Ausprägungsmerkmale von taktgebundenen Montagesystemen und deren Verfügbarkeit ein (siehe Abschnitte 2.1.1–2.1.4). Zudem wird auf die Variantenvielfalt in der Montage eingegangen (siehe Abschnitt 2.1.5).

2.1.1 Gestaltung eines taktgebundenen Montagesystems

Produktionssysteme lassen sich weiter in die Subsysteme Teilefertigung und Montage unterteilen (WILLNECKER 2001, S. 5). Die Teilefertigung umfasst dabei die Herstellung der Einzelteile, wohingegen die Montage sich mit dem Zusammenbau dieser Einzelteile beschäftigt (VDI-Richtlinie 2815). Ein Montagesystem wiederum kann in verschiedene Betrachtungsebenen aufgeteilt werden. Auf unterster Ebene (Ebene 5) bildet der Arbeitsplatz die kleinste Einheit. Dieser ist immer für

maximal einen Mitarbeiter ausgelegt. Darüber liegt die Montagestation (Ebene 4), welche mehrere Arbeitsplätze umfassen kann. Ein Montagebereich (Ebene 3) stellt eine Gruppe von Montagestationen dar. Mehrere Montagebereiche ergeben ein Montagesegment (Ebene 2), welches wiederum Teil des gesamten Montagegesamt-systems (Ebene 1) ist (OCHS 1989; REFA 1985; WILLNECKER 2001, S. 6). Montagesegmente stellen z. B. End- bzw. Vormontagelinien dar und werden in ihrer Gesamtheit als Montagesystem gesehen. Der Produktionsbereich in einem Unternehmen kann aus einem bzw. mehreren Montage-segmenten sowie weiteren Fertigungssegmenten bestehen. Letztere sind nicht Teil, der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Springereinsatzplanung.

Grundsätzlich lassen sich Montagesysteme nach sog. *Organisationstypen* unterscheiden, welche die folgenden Merkmale aufweisen (DÖRMER & GÜNTHER 2013, S. 11):

- Anordnung der Produktiveinheiten,
- Art des Materialflusses,
- zeitliche Bindung des Materialflusses,
- Grad der Automatisierung.

Anordnung der Produktiveinheiten

Bei der *räumlichen Anordnung* der Arbeitsplätze kann nach vier Anordnungsprinzipien unterschieden werden: Linienanordnung, Karree-Anordnung, U-Form sowie Sonderformen, z. B. eine Baumstruktur oder eine Fischgrätenstruktur (KONOLD & REGER 2013, S. 76-78; KÖHRMANN 2000). Die Platzierung der einzelnen Arbeitsstationen ergibt sich aus der Montagereihenfolge, welche der Montagevorranggraphen festlegt (siehe Abschnitt 2.1.3). Der Montagevorranggraph repräsentiert die Vorrangbeziehungen der Arbeitsvorgänge, d. h. welche Vorgänge abgeschlossen sein müssen, bevor weitere Vorgänge beginnen können (WIESBECK 2014, S. 24; PRENTING & BATTGALIN 1964).

Art des Materialflusses

Die Art des Materialflusses kann auf zwei Arten erfolgen: zum einen über die *Anzahl an Produkten*, die von Montagebereich zu Montagebereich weitergegeben werden, und zum anderen durch das *Verkettungsprinzip* (BULLINGER, RIETH & EULER 1993, S. 25). Wird immer nur ein Teil von einer Station zur nächsten gegeben, spricht man von einem *Einzelstückfluss*, werden mehrere Teile zu einer

Charge gruppiert, wird diese als *Los* bezeichnet. Letzteres definiert eine Losgrößenmontage. Bei den Verkettungsprinzipien unterscheiden LOTTER UND WIENDAHL (2012, S. 338) nach drei Prinzipien: starr, elastisch und lose (siehe Abbildung 4). Bei *starr verketteten* Systemen erfolgt ein zeitgleicher Transport der Werkstücke ohne Zwischenlagerung (Puffer) von einer Station zur nächsten (BULLINGER & LUNG 1994, S. 145; LOTTER & WIENDAHL, S. 338). Im Gegensatz dazu sind bei der *losen Verkettung* zwischen den Stationen Puffer ohne mengenmäßige Begrenzung vorgesehen. Dies ist der Unterschied zur *elastischen Verkettung*, welche begrenzte Pufferstrecken zwischen den Stationen besitzt (BULLINGER & LUNG 1994; DEUSE & BUSCH 2012, S. 90). In Abbildung 4 sind die Verkettungsprinzipien von Fließmontagesystemen dargestellt. Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf getaktete Montagesysteme, die durch eine zeitliche Taktbindung charakterisiert sind.

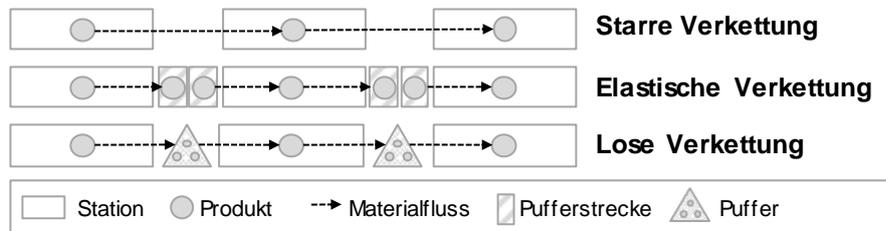


Abbildung 4: Verkettungsprinzipien von Fließmontagesystem

Zeitliche Bindung des Materialflusses

Unter einer *zeitlichen Bindung* des Materialflusses ist die zeitliche Kopplung des Produktionsablaufs zu verstehen (MEINS 1989, S. 657). Diese bedingt, dass das System und die darin vorkommenden Arbeitsstationen eine ähnlich lange Bearbeitungsdauer ähnliche Bearbeitungszeit haben, ansonsten wird der Fluss unterbrochen und das Systemverhalten instabil. In einem taktgebundenen Montagesystem erfolgt die Verteilung der Arbeitsinhalte auf einzelne Stationen auf Basis der sog. *Taktzeit*, welche die Grenze der verfügbaren Bearbeitungszeit pro Station darstellt. Dabei orientiert sich die Taktzeit an der Kundennachfrage. Mathematisch lässt sich diese durch den Quotienten aus

$$Taktzeit = \frac{\text{verfügbare Arbeitszeit pro Schicht in Sekunden}}{\text{abgerufene Stückzahl pro Schicht in Stück}} \quad (1)$$

ermitteln (DEUSE & BUSCH 2012, S. 90).

Grad der Automatisierung

Der Automatisierungsgrad legt den Anteil an automatisierten Vorgängen im Verhältnis zu der Gesamtanzahl aller Montagevorgänge innerhalb eines Montagesystems fest (SPUR & STÖFERLE 1986, S. 594). Die Ausprägung des Automatisierungsgrads lässt sich wie folgt klassifizieren (LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 168; MILBERG & REINHART 1999, S. 30): manuell, mechanisiert, hybrid, automatisiert.

Manuelle Systeme werden ausschließlich von der Ressource Mensch betrieben. Die Produktivität hängt stark von der Qualifikation und Leistung der einzelnen Arbeitskräfte ab. In der Regel werden manuelle Systeme aufgrund ihrer hohen Flexibilität für Montagesysteme mit hoher Variantenvielfalt und geringerer Stückzahl eingesetzt. In *mechanisierten Montagesystemen* erhält der Mensch Unterstützung durch Vorrichtungen und mechanische Betriebsmittel am Arbeitsplatz, z. B. mechanische Pressen. Sie entlasten den Menschen, steigern seine Produktivität und reduzieren das Fehlerpotenzial. Der flexible Umgang mit einer hohen Variantenvielfalt ist gewährleistet. *Hybride Montagesysteme* stellen eine Kombination aus manuellen und automatisierten Vorgängen dar. Es werden somit Vorteile aus beiden Systemen verbunden. Der Mensch übt nach wie vor einen hohen Einfluss auf den Produktionsablauf aus, wird aber durch automatisierte Prozessschritte entlastet. In der Regel können automatisierte Abläufe parallel zum Mitarbeiter stattfinden, wodurch sich die Durchlaufzeit reduzieren kann. *Automatisierte Montagesysteme* werden ohne menschliche Unterstützung in der Montage betrieben. Diese Form bietet sich nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten nur bei einer geringen Variantenvielfalt mit hoher Wiederholhäufigkeit gleicher Abläufe an. Ein flexibles Reagieren auf Prozessveränderungen ist nicht ohne erheblichen Aufwand möglich. Dafür kann eine höhere Produktivität erreicht werden.

2.1.2 Vorgabezeiten in Montagesystemen

Die Zeitspanne, welche zur Bearbeitung eines Bauteils innerhalb eines Montagebereichs bzw. einer Montagestation benötigt wird, heißt *Zykluszeit*⁴ (BRENNER & MATYAS 2019, S. 37–38). Abhängig vom Automatisierungsgrad kann diese Zeitspanne sowohl manuelle als auch automatisierte Vorgänge umfassen.

⁴ Häufig wird in der Praxis der Begriff *Durchlaufzeit* als Synonym zum Begriff *Zykluszeit* verwendet. Jedoch sind streng genommen in der *Durchlaufzeit* Liegezeiten mit eingerechnet, die in der *Zykluszeit* nicht inkludiert sind.

Zusammenfassend lässt sich folgender mathematischer Zusammenhang für die Zykluszeit eines Montagebereichs festhalten (siehe Formel 2):

$$t_{\text{Zyklus}, n} = t_{\text{Zyklus}, \text{man}, n} + t_{\text{Zyklus}, \text{auto}, n} \quad (2)$$

Da die Zykluszeit die Verweildauer eines Bauteils innerhalb des Bereichs bzw. der Station angibt, muss die Zeitermittlung das parallele Verrichten von Vorgängen berücksichtigen. Werden automatisierte und manuelle Tätigkeiten gleichzeitig ausgeführt, ist die Zykluszeit kürzer als bei einer sequenziellen Abarbeitung. In der Zykluszeit sind die nach VDI-RICHTLINIE 3633A definierten Haupt- und Nebentätigkeiten sowie ablaufbedingten Unterbrechungen der Tätigkeit (z. B. Wartezeit aufgrund von Störungen oder persönlichen Unterbrechungen) enthalten. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erhalten diese ablaufbedingte Unterbrechungen einen besonderen Stellenwert, da durch den Einsatz von Springern zeitliche Ausfälle kompensiert und somit die Produktivität des Montagesystems gesteigert werden sollen (siehe Abschnitt 5.2.1). Zur Auslegung von Montagesystemen müssen sog. *Soll-Zeiten* als Vorgabewerte für die Zykluszeit ermittelt werden ($t_{\text{Zyklus}, \text{man}, \text{SOLL}}$, $t_{\text{Zyklus}, \text{auto}, \text{SOLL}}$). Dafür existieren diverse Verfahren, mit denen über vorbestimmte Zeiten Vorgabewerte erhoben werden können. Die bekanntesten Verfahren sind die MTM-Zeitermittlung und die REFA-Zeitmessung (SCHNAUBER 1979, S. 269 ff.).

2.1.3 Austaktung zur Umsetzung der Arbeitsteilung in der Montage

Für den Begriff *Austaktung* existiert in der Literatur keine einheitliche Definition. PRÖPSTER (2015, S. 19) zitiert ausgewählte Autoren, die unterschiedliche Sichtweisen verfolgen, gemeinsamen jedoch die Meinung vertreten, dass es sich bei der Austaktung um die Verteilung von Arbeitsinhalten eines Montageprozesses auf einzelne Montagebereiche handelt. Somit bildet die Austaktung die Grundlage zur Umsetzung von Arbeitsteilung sowie einer verketteten Montagelinie. Damit Arbeitsinhalte auf Bereiche (siehe Abschnitt 2.1.1) verteilt werden können, muss die Teilbarkeit des Montageprozesses analysiert werden. Dazu kann der sog. *Montagevorranggraph* dienen. Dieser stellt aufgrund seiner einfachen Handhabbarkeit und hohen Übersichtlichkeit ein etabliertes Werkzeug zur Strukturierung von Arbeitsvorgängen dar (MÜLLER 2002, S. 40; PRENTING & BATTAGLIN 1964). Die Vorrangbeziehungen der Arbeitsvorgänge eines Montageprozesses bildet ein

Netzplan aus Knoten (Vorgängen) und gerichteten Kanten ab. So kann ein Vorgang erst dann starten, wenn alle vorherigen Vorgänge, die mit ihm über gerichtete Kanten verbunden sind, abgeschlossen wurden (HENLICH, WEIGERT & KLEMMT 2011, S. 81; MÜLLER 2002, S. 40). Nach REFA (1990, S. 158) sind im Montagevorranggraph „sämtliche zur Herstellung eines Produkts gehörenden Tätigkeiten“ enthalten. Diese Tätigkeiten werden als *Teilvorgänge* (TV) bezeichnet und repräsentieren die unterste Ebene derjenigen Vorgänge, bei denen eine weitere Unterteilung nicht mehr sinnvoll erscheint (REFA 1990, S. 158). Teilvorgänge werden immer durch eine ausführende Ressource umgesetzt und können dabei sowohl automatisiert durch Betriebsmittel als auch nicht automatisiert (manuell) durch den Menschen ablaufen. In Abbildung 5 ist ein Montagevorranggraph gemäß der REFA-Beschreibungsweise exemplarisch dargestellt (REFA 1990, S. 158).

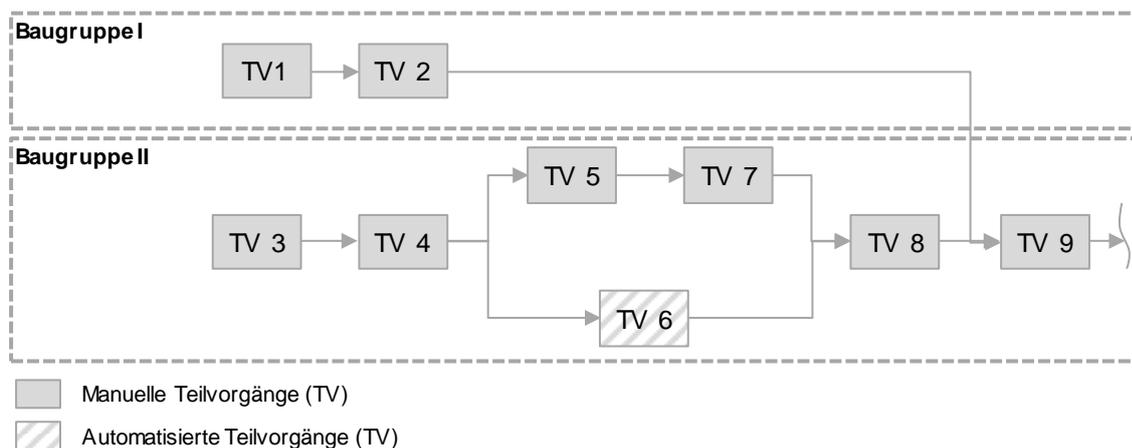


Abbildung 5: Exemplarische Darstellung eines Montagevorranggraphen in Anlehnung an REFA 1990, S. 158

Darüber hinaus müssen bei der Austaktung sowohl die Vorgabezeiten der Teilvorgänge (siehe Abschnitt 2.1.2) als auch die Taktzeit berücksichtigt werden, welche die maximale Arbeitsdauer pro Montagebereich vorgibt. Einige Ansätze zählen die Bestimmung der Taktzeit zur Austaktung hinzu (z. B. ZÄPFEL 2000; WILLNECKER 2001; BOYSEN 2005; WEYAND 2010), andere wiederum erachten die Taktzeit als Eingangsgröße zur Austaktungsdurchführung (z. B. WEIß 2000). WEIß (2000, S. 22) beschreibt die Austaktung als „Zuteilung der auszuführenden

Arbeitsvorgänge zu einzelnen Arbeitszyklen ...“ mit dem Ziel „... bei einer vorgegebenen Taktzeit den Taktausgleich⁵ pro Arbeitszyklus⁶ zu minimieren“. Die Zuteilung der Vorgänge erfolgt auf Basis der Vorrangbeziehungen im Montagevorranggraph. Abschließend können die Ergebnisse der Austaktung mithilfe eines sog. *Taktzeitdiagramms* grafisch festgehalten werden (siehe Abbildung 6). Die dargestellten Zeitanteile pro TV beziehen sich auf eine Standardvariante, für andere Varianten können die Zeitanteile länger oder kürzer sein. Bei der Verteilung der TV auf Stationen wurde der Montagevorranggraph wie in Abbildung 5 dargestellt herangezogen. Somit gehören TV 1 und TV 2 zu einer anderen Baugruppe wie die übrigen Montagevorgänge. TV 6 ist ein automatisierter Prozess, der parallel zu TV 7 und TV 8 ablaufen kann. Daher wurde dieser Vorgang unter Berücksichtigung der Taktzeit auf Station 4 gelegt.

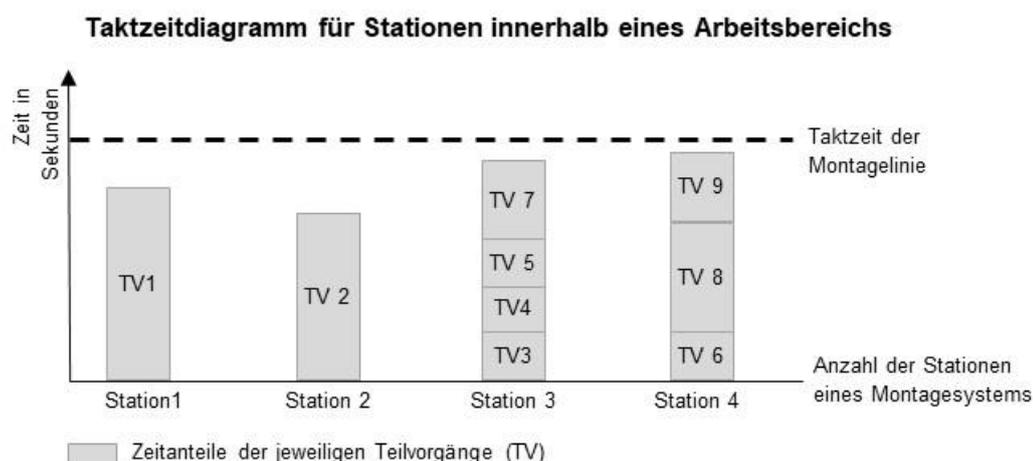


Abbildung 6: Taktzeitdiagramm – Verteilung von TV auf Stationen

2.1.4 Verfügbarkeit von Montagesystemen

Der Begriff der *Verfügbarkeit* besagt nach DECKER (2006, S. 14), dass „ein technisches Erzeugnis, System oder Systemelement unter den zu betrachtenden Bedingungen für eine vorgesehene Aufgabe bei Bedarf tatsächlich eingesetzt werden

⁵ Im Verlauf der Arbeit wird der Begriff *Taktausgleich* durch den Begriff *Taktzeitüberschreitung* (TZÜ) ersetzt. Dieser gibt die Differenz zwischen Taktzeit und tatsächlicher Bearbeitungszeit an (WEIß 2000, S. 21).

⁶ Der Begriff *Arbeitszyklen* kann an dieser Stelle mit dem zuvor definierten Begriff *Montagebereich* (siehe Abbildung 3) gleichgesetzt werden.

kann“. Eine quantitative Definition der Verfügbarkeit liefert die VDI-RICHTLINIE 3649 (1992): „Als Verfügbarkeit wird die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, ein Element oder ein System zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem funktionsfähigen Zustand anzutreffen.“ Als Kenngröße zur Quantifizierung ungeplanter Maschinenausfälle (Störungen) wird die sog. *Anlagenverfügbarkeit* verwendet, diese ist von der Häufigkeit auftretender Ausfälle sowie deren Länge abhängig (BEHRENBECK 1994, S. 31; SCHRÖDER 2010, S. 42). Die Häufigkeit wird durch die Ausfallrate (λ) ausgedrückt und die Störungslänge durch die Reparaturrate (μ). Eine ausführliche Erläuterung zur Herleitung von $V(t)$ ist im Anhang Abschnitt 11.2.1 aufgeführt. Im Rahmen der Verfügbarkeitsrechnungen können die Ausfallrate (λ) und Reparaturrate (μ) durch die Terme MTBF (Mean Time Between Failures) und MTTR (Mean Time To Repair) ausgedrückt werden (siehe Gleichung 3). Zur praktischen Ermittlung der MTBF- und MTTR-Werte einer Anlage eines Montagesystems können diese anhand der Ausfallhistorie (Ausfallanzahl, Ausfallzeit) berechnet werden (DECKER 2006, S. 16, siehe Gleichungen 4 und 5).

$$V(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \quad (3)$$

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{Betriebszeit}}{\text{Ausfallanzahl}} \quad (4)$$

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Ausfallzeit}}{\text{Ausfallanzahl}} \quad (5)$$

2.1.5 Variantenvielfalt in der Montage

Die Zunahme des Variantenangebots ist sowohl auf interne als auch externe Ursachen zurückzuführen. Als *externe Ursachen* können die Entwicklung zu gesättigten Märkten mit der Folge einer zunehmenden Produktdiversifikation genannt werden sowie der Wandel vom klassischen Verkäufermarkt hin zum Käufermarkt (GROBE-HEITMEYER & WIENDAHL 2004, S. 9). *Intern* führen häufig organisatorische Faktoren dazu, dass keine regelmäßigen Programmbereinigungen erfolgen und somit alte Produkte trotz neu eingeführter Produkte weiterhin produziert werden. Zudem können Varianten auch durch die Entwicklungsabteilungen entstehen, die aus zeitlichen Aspekten bevorzugt neue Teile entwickeln, bevor sie nach funktional gleichwertigen, bestehenden Teilen suchen (WIENDAHL ET AL. 2004, S. 9). Nach DIN 199-1 (2003) ist der Begriff *Variante* durch „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen

oder Teile“ beschrieben. GROBE-HEITMEYER UND WIENDAHL (2004, S. 7) definieren demnach *Variantevielfalt* „durch die Anzahl der unterschiedlichen Ausführungsformen eines Teils, einer Baugruppe oder eines Produktes“. Aufgrund der geringen Stückzahl pro Variante ist eine Produktion mithilfe von *Einprodukt-Fließlinien* nicht mehr wirtschaftlich. Daher streben Unternehmen nach dem Aufbau von *Varianten-Fließlinien (Mixed-Model-Lines)*, auf denen in einer beliebigen Reihenfolge verschiedene Varianten im Fluss (ohne Umrüsten) montiert werden können. Ist eine rüstoffreie Montage nicht möglich, spricht man von einer *serienweisen Mehrprodukt-Fließlinie*, auf der Varianten serienweise montiert werden (BOYSEN 2005, S. 11; SCHOLL 1999, S. 7).

Im Hinblick auf eine zeitliche und kapazitative Abstimmung eines Fließmontagesystems spielen insbesondere Varianten mit schwankenden Bearbeitungszeiten (Prozessvarianten) eine Rolle, da diese zu einer unterschiedlichen Beanspruchung der Systemkompetenzen führen und somit den Ablauf gleichmäßiger Prozesse ohne Wartezeiten bzw. Taktzeitverlusten erschweren (GROBE-HEITMEYER & WIENDAHL 2004, S. 7). Detailliertere Erläuterungen dazu sind in Abschnitt 2.2.3 zu finden.

2.2 Charakterisierung der Springerplanung

In den folgenden Abschnitten werden die Ausprägungsformen von Springern erläutert, auf die unterschiedlichen Begriffsdefinitionen in der Literatur eingegangen und einheitliche Begriffe für die vorliegende Arbeit definiert (siehe Abschnitt 2.2.1). Zudem wird auf die Ursachen für Springereinsätze sowie deren unterschiedliche Einsatzzeitpunkte eingegangen (siehe Abschnitte 2.2.2 und 2.2.3). Zuletzt wird der Begriff *Springerpoolkonfiguration* erläutert (siehe Abschnitt 2.2.4).

2.2.1 Ausprägungsformen von Springern

Als *Springer* werden Mitarbeiter bezeichnet, die als zusätzliche Arbeitskraft zur Verfügung stehen und im Bedarfsfall an überlasteten Arbeitsplätzen aushelfen (WEIB 2000, S. 26). Charakteristisch ist, dass ein Springer keine feste Arbeitsplatzzuordnung im Normalbetrieb hat, sondern ausschließlich Tätigkeiten an Arbeitsstationen der betrachteten Montagelinie übernimmt (primäre als auch sekundäre

Arbeitsaufgaben⁷), welche vorhandene Kapazitäten nicht abdecken können (JARR 1978, S. 54). Darüber hinaus verfügen Springer meist über einen hohen Mehrfachqualifizierungsgrad, um einen flexiblen Einsatz an möglichst vielen unterschiedlichen Arbeitsstationen realisieren zu können. Dieser führt dazu, dass Springer häufig höher entlohnt werden als reguläre Montagemitarbeiter (MOLLEMEIER 1996; BOYSEN 2005, S. 218; HALUBEK 2012, S. 51). In der Literatur können für den Begriff *Springer* weitere Synonyme gefunden werden, z. B. *Spitzenbrecher*, *Floater*, *Assistent Worker*, *Auxiliary Worker*, *externer Springer* oder *Unterstützer* (ALTEMEIER 2009, S. 14; HALUBEK 2012, S. 52; DECKER 1993, S. 178; PRÖPSTER 2015, S. 34; KOTANI, ITO & OHNO 2007; ALTEMEIER, HELLMEIER, KOBERSTEIN & DAGELMAIER 2010, S. 6251).

Durch die Aufweitung der Restriktion, dass Springer keine feste Arbeitsplatzzuweisung haben dürfen, lassen sich weitere Ausprägungen in den Betrachtungsbereich der Springerplanung aufnehmen. So können auch linienzugehörige Mitarbeiter als *interne Springer* bzw. *lokale Springer* fungieren. Nach DECKER (1993, S. 22) sind *lokale Springer* reguläre Arbeitskräfte mit einer festen Arbeitsplatzzuordnung innerhalb der Montagelinie, zu deren primären Aufgaben die vollständige Abarbeitung der Tätigkeiten am eigenen Arbeitsplatz zählt. Liegt die kapazitative Auslastung an der eigenen Station unterhalb der vorgegebenen Taktzeit, entstehen Leerzeiten (Unterlastung, siehe Abbildung 8), welche vom Mitarbeiter im Bedarfsfall zur Unterstützung an anderen Stationen genutzt werden können. Mitarbeiter aus bandnahen Vormontagen⁸ können ebenfalls als interne Springer eingesetzt werden (PRÖPSTER 2015, S. 35; VÖLKER, JUNKER, SCHMIDT & SCHNEIDER 2010).

Darüber hinaus wird im Kontext der Springereinsatzplanung häufig das sog. *Driften* aufgeführt. Dabei stellen *Drifter* eine zusätzliche Möglichkeit des kurzfristigen Kapazitätsausgleichs dar (DECKER 1993; MOLLEMEIER 1996; BOCK 1999; ALTEMEIER 2009; PRÖPSTER 2015, S. 32; MÄRZ, MAYRHOFER, SHIN & SIHN 2012A). Der Unterschied zwischen Springen und Driften besteht darin, dass Springer stets die Tätigkeit von anderen Werkern übernehmen und ein Drifter nur seine

⁷ Primäre Aufgaben sind Tätigkeiten, welche direkt zur Wertschöpfung beitragen und sekundäre Aufgaben umfassen Tätigkeiten, z. B. Kontroll- oder Wartungsarbeiten (JARR 1978, S. 54).

⁸ Alle Tätigkeiten, die nicht am Basisprodukt erfolgen, werden der Vormontage zugeteilt. Häufig sind diese Bereiche (zeitlich) entkoppelt von der Hauptlinie und demnach meist taktungebunden (KRATZSCH 2000, S. 59 FF.).

eigenen. Als weiteres Unterscheidungsmerkmal dient der Ort der Tätigkeitsausführung. Beim Driften wird entweder frühzeitig mit der Bearbeitung im vorgelagerten Bereich begonnen bzw. sie in einem nachgelagerten Bereich abgeschlossen (ALTEMEIER 2009, S. 11). Driftbereiche sind immer vor und/oder nach der eigentlichen Arbeitsstation lokalisiert und reichen somit in andere Arbeitsstationen hinein, weshalb sichergestellt werden muss, dass die Arbeit der dort angesiedelten Mitarbeiter nicht beeinträchtigt wird. Die Länge der Driftbereiche (über eine Station oder mehrere Stationen) ist abhängig von produktseitigen Anforderungen, z. B. Vorrangbeziehungen, oder montagesystemseitigen Rahmenbedingungen, z. B. fest installierte Betriebsmittel (HALUBEK 2012, S. 50; ALTEMEIER 2009, S.11). Kommt es in aufeinanderfolgenden Takten zum Abdriften des Mitarbeiters, summieren sich diese Zeitüberschreitungen auf, und der Mitarbeiter bewegt sich immer weiter über die eigentliche Stationsgrenze hinaus, wodurch sich der Engpass zunehmend verstärkt (GANS 2008, S. 10). Dieser Effekt kann entweder dadurch ausgeglichen werden, dass darauffolgenden Produkte (Reihenfolgeplanung) Zykluszeiten besitzen, die deutlich unter der geforderten Taktzeit liegen, oder ein zusätzlicher Springer die kapazitative Unterstützung gewährleistet. Abbildung 7 fasst alle Ausprägungsformen von Springern nach ihren Unterscheidungskriterien zusammen. Im Folgenden werden als Stellvertreter der drei Ausprägungsformen die Begriffe *Interner Springer*, *Drifter* und *Externer Springer* verwendet.

Springer			
Feste Zuordnung in Hauptmontage/ Vormontage		Keine feste Zuordnung in Hauptmontage/Vormontage	
Übernahme von Tätigkeiten anderer Stationen	Fertigstellung von Tätigkeiten der eigenen Station		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Interner Springer ▪ Lokaler Springer 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Drifter 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Externer Springer ▪ Spitzenbrecher ▪ Floater 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Assistent Worker ▪ Auxiliary Worker ▪ Unterstützer

Abbildung 7: Ausprägungsformen von Springern in Montagesystemen

2.2.2 Entstehung von Springereinsatzbedarfen

Springer werden benötigt, sobald eine oder mehrere Arbeitsstationen eines Montagesegments überlastet sind (HALUBEK 2012, S. 51; WIENDAHL 2008, S. 43;

WEIB 2000, S. 26). In getakteten Fließmontagesystemen mit einer hohen Variantenvielfalt treten diese Überlastungen auf, sobald durch die vorhandene Kapazität (das Kapazitätsangebot) an der Station die geforderte Leistung in Zeit und Menge (der Kapazitätsbedarf) nicht erbracht werden kann. Auf die Taktzeit bezogen bedeutet dies, dass die tatsächliche Durchlaufzeit⁹ des Produkts an der Station die vorgegebene Taktzeit überschreitet (siehe Abbildung 8). Es kann aber auch zu Unterlastungen (die Durchlaufzeit ist kürzer als die Taktzeit) kommen, wodurch Leerzeiten bzw. Wartezeiten für den Mitarbeiter entstehen. Sowohl Unter- als auch Überlastungen stören den Fluss des Systems und verursachen durch diese Belastungsschwankungen Kosten (GANS 2008, S. 2). Zur Kapazitätsabstimmung existieren neben dem Springereinsatz weitere Maßnahmen wie beispielsweise die Optimierung der Variantenreihenfolge eines Montagesystems, die Segmentierung der Montage, die montagegerechte Produktgestaltung oder die Entkopplung der Systeme (WILLNECKER 2001). In der vorliegenden Arbeit wird ausschließlich die Springerplanung betrachtet, andere Maßnahmen finden keine weitere Berücksichtigung.

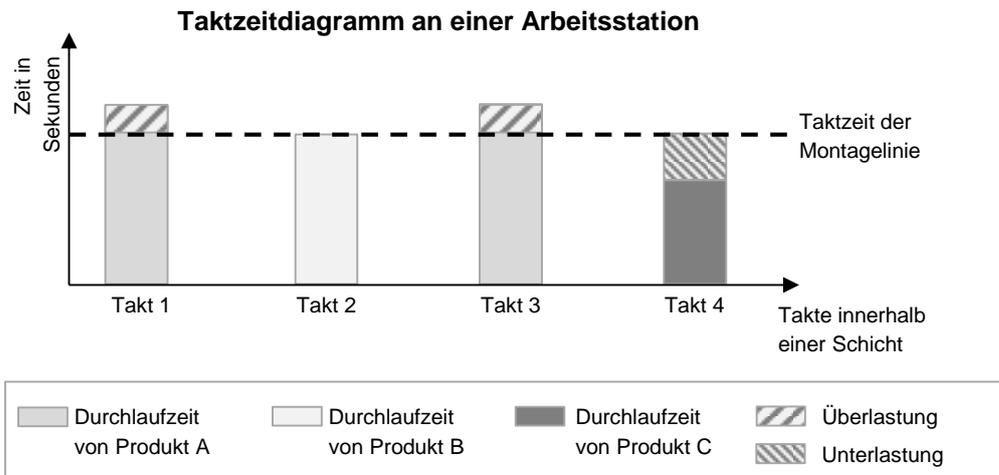


Abbildung 8: Taktzeitdiagramm mit Unter- und Überlastung der Kapazitäten

Ursachen für Belastungsschwankungen sind vielschichtig und werden durch den Menschen, das Betriebsmittel und/oder das Produkt hervorgerufen. Insbesondere

⁹ Unter der Durchlaufzeit ist die Zeitspanne, die von Beginn bis zur Fertigstellung eines Produkts benötigt wird, zu verstehen. Die Fertigstellung kann auf eine Arbeitsstation, aber auch auf die gesamte Linie bezogen werden (REFA 1991).

für Springereinsätze sind die Ursachen relevant, welche eine Überlastung des Systems bewirken. Daher werden im Verlauf dieser Arbeit nur noch diese berücksichtigt.

2.2.3 Springereinsatzzeitpunkte

Das Unterstützungsszenario eines Springers richtet sich nach dem Zeitpunkt des Eintreffens eines Springers an der Station und nach dem Unterstützungsumfang. Das Eintreffen kann über einen reaktiven oder präventiven Springereinsatz gesteuert werden wie Abbildung 9 zeigt (ALTEMEIER 2009; HALUBEK 2012, S. 51).

Steuerung von Springereinsatzätzen			
reaktiv (am Taktende)	präventiv (am Taktanfang)		
Übernahme restlicher Tätigkeiten	Übernahme eines ganzen Produkts	Übernahme ausgewählter Tätigkeiten	Übernahme der ganzen Arbeitsstation (Ersatz)

Abbildung 9: Springerunterstützungsszenarien

Reaktiv bedeutet, dass der Springer die Bearbeitungszeit (Arbeitsschritte) eines Produkts übernimmt, die zur Überschreitung der Taktzeit führt. Die Übernahme der Tätigkeiten findet am Ende des Takts statt, sodass der Mitarbeiter an der Station rechtzeitig mit der Bearbeitung eines neuen Produkts beginnen kann. Bei der *präventiven* Unterstützung übernimmt der Springer die Tätigkeit zu Beginn des Takts und übergibt das Produkt anschließend an einen Stationsmitarbeiter. Insbesondere bei der präventiven Unterstützung kann der Tätigkeitsumfang unterschiedlich groß ausfallen. Der Springer kann zum einen das ganze Produkte übernehmen, sodass der Stationsmitarbeiter parallel mit einem neuen Produkt beginnen kann (ALTEMEIER 2009), und zum anderen kann der Springer auch nur die Umfänge übernehmen, welche zur Überlastung führen (MÄRZ, PRÖPSTER & RÖSER 2012B). Diese Szenarien setzen voraus, dass sich mindestens zwei Mitarbeiter inklusive Springer an einer Station befinden und entweder an einem Produkt gemeinsam arbeiten oder jeder ein eigenes Produkt fertigstellt. Im Fall, dass der Springer den eigentlichen Mitarbeiter ersetzt, tritt ebenfalls ein präventiver Springereinsatz auf mit der Besonderheit, dass sich hier nur ein Mitarbeiter an der Station befindet und keine Kapazitätserhöhung möglich ist.

2.2.4 Springerpoolkonfiguration

Ein *Pool* bezeichnet unter anderem den Zusammenschluss, also einen Verbund aus mehreren Einzelbestandteilen (DUDEN 2019). Demnach ist unter dem Begriff *Springerpool* die Gesamtanzahl an Springern zu verstehen, die für den betrachteten Zeitraum (z. B. eine Schicht) vorgehalten werden. Befinden sich in einem Springerpool ausschließlich Springer mit denselben Eigenschaften, sind keine Unterscheidung und somit auch keine Konfiguration möglich. Eine *Konfiguration* stellt eine bestimmte Art der Gestaltung (DUDEN 2019) dar und benötigt demnach unterscheidbare Einzelbestandteile mit charakteristischen Eigenschaften, die eine genaue Beschreibung zulassen. Abbildung 10 verdeutlicht den Unterschied zwischen einem bestimmten (konfigurierten) und einem unbestimmten Springerpool.

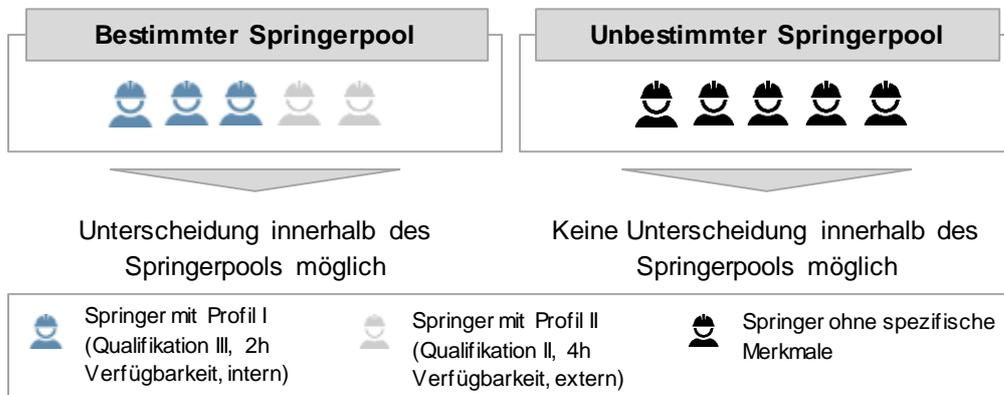


Abbildung 10: Springerpoolkonfiguration

Eine bestimmte *Springerpoolkonfiguration* enthält demnach Springer, die sich über spezifische Ausprägungsgrade ihrer Merkmale (z. B. Qualifikation, Verfügbarkeit, Ausprägungsform usw.) voneinander unterscheiden und somit eine eindeutige Zusammensetzung festlegen. Eine unbestimmte Springerpoolkonfiguration hingegen enthält ausschließlich Springer mit denselben Merkmalsausprägungen.

2.3 Personalentlohnung in der Montage

Unter *Personalentlohnung* ist die Vergütung zu verstehen, die Unternehmen ihren Mitarbeitern als Ausgleich für erbrachte Leistung bieten (HOLTBRÜGGE 2015, S. 196; KUPSCH & MARR 1985, S. 707). Als Oberbegriff mit juristischer Wirksamkeit wird hierfür die Bezeichnung *Entgelt* verwendet. In deutschen Produktionsunternehmen wird die Höhe des Entgelts meist mit paritätischen Kommissionen

unter Einbezug des Betriebsrats ausgehandelt und in einem Tarifvertrag festgehalten. Unterliegt das Arbeitsverhältnis keiner tariflichen Regelung, gibt der jeweilige Arbeitsvertrag das Entgelt vor. Prinzipiell setzt sich das Entgelt aus drei Komponenten zusammen: Grundentgelt, Leistungsentgelt und eine Ausgleichs-/Belastungszulage, wobei diese nicht obligatorisch ist (EYER & BÖDDECKER 2006, S. 17). Die größte Arbeitnehmervertretung in Deutschland ist die Industriegewerkschaft Metall (IG Metall). Diese hat mit dem Arbeitgeberverband Gesamtmetall ein Entgelt-Rahmenabkommen (ERA) geschlossen, welches ca. 1,8 Millionen Arbeitnehmer in 4.000 Unternehmen aus der Elektro- und Metallindustrie betrifft. Daneben existieren zahlreiche Produktionsunternehmen ohne eine offizielle Zugehörigkeit zur IG Metall, welche sich aber dennoch bei der Entlohnung ihrer Mitarbeiter am ERA-Tarifvertrag orientieren. Daher wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit dieses Rahmenabkommen als repräsentative Berechnungsgrundlage für das Entgelt von Produktionsmitarbeitern herangezogen.

Die Ermittlung des *Grundentgelts* erfolgt anhand einer Anforderungsbewertung der Arbeitsaufgabe. Als Methode wird hierzu das Stufenwertzahlverfahren verwendet, welches mithilfe von Bewertungsbögen die Arbeitsaufgabe und darin enthaltene Teilaufgaben bewertet. In den Bewertungsbögen kommen dazu vier Merkmalskategorien (Können, Handlungs- und Entscheidungsspielraum, Kooperation und Mitarbeiterführung) vor, deren Anforderungsniveaus über Stufen differenziert werden. Jeder Stufe ist eine tariflich festgelegte Punktzahl zugewiesen. Für die finale Bewertung der Arbeitsaufgabe werden die Punktwerte aller Bewertungsmerkmale zu einer Gesamtsumme addiert. Die Entgeltgruppe wird anschließend auf Basis der errechneten Gesamtpunktzahl und unter Zuhilfenahme einer vordefinierten Tabelle aus den jeweiligen Tarifverträgen ermittelt. Da sich Stufen, Punktwerte und die Eingruppierung nach den jeweiligen Verträgen der Tarifzonen unterscheiden, wird das Stufenwertzahlverfahren hier nicht weiter vertieft.

Das *Leistungsentgelt* wird nicht anhand der Arbeitszeit, sondern anhand der erbrachten oder zu erbringenden Leistung ermittelt. Es ist ein personenspezifischer Entgeltbaustein und wird auf das Grundentgelt angerechnet. Als Leistungsentgelt sind Zahlungen in Form von Prämien, Akkordlohn, Bonus oder einer Leistungszulage möglich (EYER & BÖDDECKER 2006, S. 18).

3 Wissenschaftliche Vorarbeiten und Handlungsbedarf

Die bereits in der Einleitung (siehe Kapitel 1) beschriebenen relativ hohen Kosten, welche durch den Einsatz von Springern häufig entstehen, stellen eine bekannte Schwierigkeit für Unternehmen dar. Daher gibt es zu diesem Thema in der Literatur bereits Lösungsansätze, die größtenteils aus dem Bereich der Leistungsabstimmung von Montagelinien (Line Balancing/Sequencing) stammen. Neben diesen Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich der Produktivität von Produktionslinien taucht der Einsatz von Springern ebenfalls im Kontext der Personalplanung auf. In Abschnitt 3.1 wurde demnach zwischen leistungsabstimmungs- sowie personalplanungsorientierten Ansätzen unterschieden. Für beide Kategorien wurden wesentliche Arbeiten analysiert und hinsichtlich der Zielsetzung sowie der Forschungsfragen aus Abschnitt 1.2 bewertet. Anhand der wissenschaftlichen Vorarbeiten wird ersichtlich, dass leistungsabstimmungsorientierte Themen insbesondere in den Jahren zwischen 1980 und 2010 relevant wurde. Aktuelle Forschungsaktivitäten lassen sich kaum finden. Ein Grund dafür ist, dass in den 1990er-Jahren das Thema Simulation aufgrund neuer technischer Möglichkeiten als Innovation stark thematisiert wurde und heutzutage aufgrund verbesserter Soft- und Hardware als einzelnes Element keine Revolution mehr darstellt. Das Thema gewinnt heutzutage eher durch die Verknüpfung verschiedener Anwendungsfälle sowie die Darstellung komplexer Zusammenhänge an Bedeutung. Die Simulation von Springereinsätzen unter Berücksichtigung diverser Einsatzszenarien stellt solch eine Neuheit dar. Somit spielt der hier vorgestellte Ansatz aus Sicht der Personalplanung und der mit ihr verbundenen Kosten eine wesentliche und aktuelle Rolle, die in dieser Ausprägungsform noch nicht erforscht wurde (siehe Abschnitt 3.2). In Abschnitt 3.3 wird abschließend der Handlungsbedarf als Überleitung zu den Anforderungen an die Methode sowie an die Modelle dargestellt.

3.1 Ansätze zur Springerplanung

Leistungsabstimmungsorientierte Ansätze legen häufig den Fokus nicht auf die Springereinsatzplanung selbst, sondern auf eine ganzheitliche Reduzierung der Kapazitätsüberlastungen. So wird der Einsatz von Springern mit anderen Maßnah-

men, z. B. einer Anpassung des Produktionsprogramms oder einer flexiblen Taktzeitvariation, kombiniert (siehe z. B. ALTEMEIER 2009; HALUBEK 2012; PRÖPSTER 2016). Eine fokussierte Betrachtung von Springieranforderungsprofilen sowie eine ursachengerechte Einsatzplanung entfallen in dem hier gesteckten Rahmen.

Vertreter der Personalplanung betrachten Springer im Kontext von Reservepersonalkapazitäten. Dazu gibt es Ansätze, die eine Ursachenanalyse zur Bedarfsermittlung durchführen. Eine Logik in Bezug auf die Auswahl und eine Zuweisung von Springern auf Arbeitsstationen wird in diesen Ansätzen dagegen nicht detailliert betrachtet.

3.1.1 Leistungsabstimmungsorientierte Ansätze

Im Bereich der leistungsabstimmungsorientierten Ansätze existieren zahlreiche Vorarbeiten, die nicht alle im Detail beschrieben werden können. Einen guten Überblick gibt BOYSEN, der 32 Ansätze auflistet, die sich mit dem Einsatz von Springern befassen (BOYSEN 2005, S. 219). Er verfolgte im Wesentlichen drei Ziele: Reduktion der Leerzeiten, Kostenoptimierung und geringere Einsatzzeiten von Springern. Vier Ansätze fokussieren die Reduzierung der Leerzeiten von Springern (siehe WESTER & KIBRIDGE 1964; MITSUMORI & TAKADA 1972; WILHELM 1979; SCHNEEWEIß & SÖHNER 1991), weitere sieben Ansätze die Kostenoptimierung beim Springereinsatz (THOMPOPOULOS 1967; GÖRKE 1978; FELBECKER 1980; ZIEGLER 1990; BOLAT 1994; DOMSCHKE, SCHOLL & VOß 1997; SARKER & PAN 2001) und vier Ansätze die Einsatzzeitverkürzung (TSAI 1995; BOLAT 1997; DOMSCHKE ET AL. 1997; LOCHMANN 1999). Nachfolgend werden weitere fünf wissenschaftliche Ansätze aus jüngerer Zeit vorgestellt, die sich mit Springereinsatzplanung beschäftigen. Der im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit gewählte Fokus trifft auf keinen dieser Ansätze vollumfänglich zu, dennoch können Aspekte der genannten Ansätze für die Lösungsentwicklung in den folgenden Abschnitten genutzt werden.

ALTEMEIER (2009)

Altemeier hat einen simulationsbasierten Ansatz zur kostenoptimalen Kapazitätsabstimmung in variantenreichen, manuellen Fließlinien mit einer Taktbindung entwickelt. Darin werden primär schwankende Zykluszeiten der Varianten als Störgrößen betrachtet, Maschinenausfälle, geplante bzw. ungeplante Pausen oder he-

terogene Leistungsgrade der Mitarbeiter in der Linie finden hingegen keine Berücksichtigung. Zur Kompensation von Belastungsschwankungen nutzt der Autor drei Maßnahmen, die eine kurzfristige Kapazitätserweiterung bewirken: Einsatz von Driftern und Springern¹⁰ sowie kurzzeitiger Bandstopp. Darüber hinaus schließt er Rekonfigurationsmaßnahmen mit ein, was bedeutet, dass im Rahmen der Kapazitätsabstimmung regelmäßig neue Zuweisungen von Arbeitsvorgängen auf den Stationen erfolgen können. Seine Kostenbetrachtung umfasst Betriebskosten von Werkern, Springern, Leerzeiten, Nacharbeit sowie Rekonfigurationskosten.¹¹ Neben der Zuordnung von Arbeitsvorgängen befasst sich Altemeier auch mit der Bestimmung einer minimalnotwendigen Anzahl von vorzuhaltenden Unterstützungskräften. Seine Annahme ist, dass sich die Anzahl der Springer durch parallel auftretende Einsatzszenarien erhöht, weshalb sie reduziert werden müssen. Diese Reduzierung erfolgt durch Rekonfigurationsmaßnahmen und Reihenfolgeänderungen des Variantenmix, um somit die Auftretenswahrscheinlichkeit für parallele Springerbedarfe zu verringern. Für anfallende Springerbedarfe werden nur externe Springer vorgehalten. Die Simulation dient als Mittel zur Visualisierung von Auswirkungen der Ergebnisse seines zweistufigen Optimierungsansatzes auf Basis von Heuristiken. Qualifikationsstufen und Leistungsgrade von Mitarbeitern berücksichtigt er bei der Zuweisung von Springern nicht.

HALUBEK (2012)

Der Autor hat ein simulationsbasiertes Konzept zur Planungsunterstützung bei der Gestaltung von Variantenfließlinien am Beispiel der Automobilproduktion entwickelt. Es können sowohl taktgebundene als auch durch Puffer entkoppelte Systeme modelliert werden. Er betrachtet bei den Arbeitsvorgängen keine hybride, sondern ausschließlich manuelle Vorgänge. Dabei werden produkttechnische, produktionssystemtechnische und produktionsplanerische Einflüsse in einem Produktionsablaufmodell berücksichtigt, damit ein dynamisches Systemverhalten abbildbar ist und anschließend eine Bewertung des Gesamtsystems erfolgen kann. Ursachen für Belastungsschwankungen, z. B. ein ungeplanter Mitarbeiterausfall, eine unzureichende Ressourcenausstattung oder Schwankungen der Zykluszeiten von Pro-

¹⁰ Bei ALTEMEIER (2009) werden Springer als *Unterstützer* bezeichnet.

¹¹ Durch die Verschiebung von Arbeitsvorgängen entstehen Kosten z. B. aufgrund von Qualifizierungsmaßnahmen, Umbaumaßnahmen oder Erweiterungsmaßnahmen von Lagerflächen (ALTEMEIER 2009, S. 23).

duktvarianten, werden in das Konzept aufgenommen. Zudem finden Qualifikationen und Arbeitsgeschwindigkeiten der Mitarbeiter bei deren Einsatzplanung Berücksichtigung (HALUBEK 2012, S. 117). Halubeks Konzept sieht sowohl den Einsatz von Springern als auch Driftern zum Abbau von Kapazitätsüberlastungen vor. Sein Fokus liegt jedoch auf der Auslegung von Variantenfließlinien und der Steigerung der Systemperformance. Daher vertieft er die Optimierung einer Springereinsatzplanung nicht weiter. Die Abbildung des Drifteinsatzes hingegen ist im Simulationsmodell ausführlicher erläutert, so sind z. B. Berechnungsvorschriften für zurückgelegte Wegstrecken von Driftern aufgeführt (HALUBEK 2012, S. 116 F.). Zur Planung des Springereinsatzes wird in den Gestaltungsparametern der Montagestationen hinterlegt, ob ein Springereinsatz möglich ist oder nicht (ja oder nein). Die Verfügbarkeitsprüfung für potenzielle interne Springer außerhalb des betrachteten Systems findet nicht statt. Wenn Springer eingesetzt werden, handelt es sich um Mitarbeiter, die zum Zeitpunkt der Betrachtung nicht ausgelastet sind. Der Springereinsatz wird somit durch die Verfügbarkeit interner Kapazitäten (nur innerhalb der betrachteten Montagelinie) beschränkt. Ein Springerpool mit externen Springern sowie internen Springern, die ihre Haupttätigkeiten außerhalb der betrachteten Linie haben, existiert in diesem Ansatz nicht.

GAMBER, LEUPOLD & ZÜLCH (2013)

Hier geht es um ein simulationsbasiertes Leistungsabstimmungsproblem in der hybriden Montage. Die Anteile diverser Automatisierungsgrade erschweren in hybriden Systemen die Verteilung der Arbeitsvorgänge sowie Mitarbeiter auf Stationen. Ziel dieses Ansatzes ist es, die Auslastung der Mitarbeiter so zu erhöhen, dass gleichzeitig keine Taktzeitüberschreitung (Kapazitätsüberlastung) auftritt. Dabei werden jedoch nur die Ausführungszeiten der Varianten sowie Verteilzeiten der Mitarbeiter berücksichtigt. Weitere Störungsursachen, insbesondere Zufallsvariablen, finden keine Beachtung. Mithilfe von Personaleinsatz- und Vorranggraphen kann die Mitarbeiterereinplanung detailliert erfolgen. Die Mitarbeiter werden nicht individuell, sondern als Arbeitsgruppen gleicher Qualifikation betrachtet. Springer sind ebenfalls in einer Gruppe angeordnet und können somit als *Externe Springer* bezeichnet werden. Des Weiteren verfügen sie über einen einheitlichen Mehrfachqualifikationsgrad, der ihnen ein Arbeiten an allen Stationen erlaubt. Die Reduzierung von (Lohn-)Kosten findet keine Berücksichtigung.

PRÖPSTER (2016)

Die Methode hat zum Ziel, Belastungsschwankungen in variantenreichen, getakteten Montagefließlinien einerseits durch kurzfristige Anpassungen der Taktzeit und andererseits durch Springereinsätze auszugleichen. Zur Lösung des Problems wurde ein Simulationswerkzeug gewählt, um Springer im Bedarfsfall an Stationen zuzuweisen. Hierzu werden sowohl interne Springerkapazitäten als auch virtuelle Springer genutzt, welche als externer Springerpool definiert sein können. Qualifikationen von Mitarbeitern sowie Springern werden anfangs genannt, aber nicht weiter spezifiziert bzw. es erfolgt keine Erläuterung für die Nutzung in der Simulation. Weitere Ursachen für Belastungsschwankungen, z. B. Maschinenausfälle, Pausen und heterogene Leistungsgrade von Mitarbeitern, werden nicht berücksichtigt. Zielgröße ist die Glättung der Austaktung hinsichtlich Varianten und Nachfrageschwankungen. Springer dienen primär dazu, um variable Taktzeiten realisieren zu können. Daher werden die für Springereinsätze (Anzahl der Springer) anfallenden Kosten nicht bewertet. Zudem sei an dieser Stelle auf den aktuellen Stand der Technik in PRÖPSTER (2016) verwiesen, der weitere Beiträge erläutert, die sich unter anderem mit dem Einsatz von Springern befassen (HEIKE, RAMULU & SORENSON 2001; MEDO 2010; TRACHT & FUNKE 2011).

KECKL (2018)

In der Arbeit von Keckl wird die Effizienzsteigerung innerhalb der variantenreichen Automobilindustrie fokussiert. Er entwickelt eine Systematik, mit deren Hilfe die Endmontagelinie flexibel an Störgrößen angepasst werden kann. Als Störgröße wird sich ausschließlich auf die produkt- sowie prozessbedingte Varianz beschränkt. Die Auswirkungen von variantenbezogenen Einflüssen wird an Hand von Funktionskategorien, wie z. B. skalierbarer Bereich als auch obligatorische Funktionen, identifiziert und quantifiziert. Zum skalierbaren Bereich zählen unter anderem unterschiedliche Bauteilgrößen, wie z. B. Lenkrad oder Felgen, obligatorische Funktionen beinhalten Elemente, die in unterschiedlichen Ausprägungsformen vorhanden sein müssen, wie z. B. die Lenkradhülle aus Leder oder Carbon. Zur Identifikation von Auswirkungen auf die Prozesszeit verwendet Keckl ein Ordnungssystem, welches den Zusammenhang zwischen Produktbaustein und Montagemodell darstellt. Zur Anpassung der Endmontagelinie werden verschiedene Ansätze, wie z. B. Erhöhung des Vormontagegrades, Änderung der Linienanordnung oder die Integration von Automatisierung gewählt. Der Einsatz von Springern wird in diesem Kontext nicht explizit beschrieben. Da die Ansätze jedoch Auswirkungen auf die Personalzuordnung haben, wird der Springergedanke

in Form einer flexiblen Ressourcenzuordnung aufgegriffen. Eine Detailanalyse hinsichtlich Qualifizierungsgrad und Anforderungsprofil existiert nicht.

3.1.2 Personalplanungsorientierte Ansätze

BORMANN (1978)

Bormann betrachtet die Fertigungsprozesse und analysiert darin auftretende Störungen. Eine verbesserte Prognose dieser Störungen soll Produktivitätsverluste mithilfe von Reservepersonal ausgleichen. Dabei stellt er die Kosten, welche durch einen Ausfall entstehen, den Personalkosten für zusätzliche Mitarbeiter zum Ausgleich gegenüber. Ziel ist es, einen kostenoptimalen Sicherheitsbedarf an Reservepersonal zu bestimmen. Der Autor begründet Störungen mit Ausfällen von Maschinen und Menschen sowie mit dem Fehlen von Werkstoffen und Informationen. Die Ausfallquote geht nicht als durchschnittlicher Wert, sondern als Zufallsvariable, die entweder durch diskrete oder stetige Verteilungen beschrieben wird, in die Berechnung ein (BORMANN 1978, S. 226). Als Lösungsverfahren werden analytische Berechnungsvorschriften verwendet, die zu einem exakten Wert führen. Des Weiteren finden heterogene Qualifikationsstrukturen des Reservepersonals Berücksichtigung. Qualifikationsbedarfe werden mit Kosten sowie Ausfallquoten und -wahrscheinlichkeiten hinterlegt, sodass auf dieser Basis eine bedarfsgerechte und kostengünstige Kombination aus Reservemitarbeitern ermittelt werden kann. Benötigte Qualifikationen werden übergeordnet für einen ganzen Produktionsbereich, d. h., er wird ohne einen direkten Stationsbezug definiert. Das Reservepersonal stellt ausschließlich eine Ersatzkapazität dar, weswegen Reservemitarbeiter keine anderen Aufgaben innerhalb des Fertigungssystems übernehmen. Somit können diese der Springerausprägungsform *Externe Springer* zugeordnet werden. Vorhandene Mitarbeiterverfügbarkeiten innerhalb des Produktionssystems entfallen demnach für die Betrachtung.

STERINGER, SCHLEICHER & HINGERL (1999)

Hier handelt es sich um einen simulationsbasierten Ansatz für die Personaleinsatzplanung in der variantenreichen Nutzfahrzeugmontage mit Taktbindung. Als Stellhebel zur Simulation verschiedener Szenarien dient die Variantenreihenfolge des Produktionsprogramms. Als Ergebnis wird der Personalbedarf je Takt ausgegeben – ist der Wert negativ, ist die Station unterlastet, und ein Springer wird benötigt. Die Personalkonfiguration enthält die Anzahl an regulärem Personal sowie Springer, jeweils unterschieden nach Station, Takt und Qualifikation. Der Einsatz von

Driftern ist nicht relevant. Zudem findet keine Unterscheidung nach Springereinsatzszenarien statt, die benötigten Qualifikationsanforderungen der Springer beziehen sich ausschließlich auf Stationen. Die Herkunft eines Springers (Nutzung interner Ressourcen) findet ebenfalls keine Berücksichtigung. Im Rahmen der Simulation werden keine Störgrößen in Betracht bezogen, wodurch Springerbedarfe allein über einen Variantenmix entstehen.

STOCK (2013)

Dieser Ansatz umfasst die Entwicklung eines Personalplanungs- und -steuerungsverfahrens zur Realisierung eines bedarfsorientierten Personaleinsatzes in der variantenreichen Serienproduktion am Beispiel der Automobilindustrie. Als Ursachen für Veränderungen im Personalbestand wurden das Produktionsprogramm, schwankende Absatzzahlen sowie kurzfristige Mengen-, Varianz- und Sequenzänderungen aufgrund von Lieferengpässen, Exoten oder technischen Ausfällen berücksichtigt (STOCK 2013, S. 44). Im ersten Baustein von Stocks Planungsverfahren wird der Personalbedarf anhand von dynamischen und statischen Parametern ermittelt. Primär berechnet er die Anzahl des Nettopersonalbedarfs über den Quotienten aus der Summe der Vorgabezeiten einzelner Varianten und der produktiven Zeit des Personals im Nenner. Anschließend werden Störgrößen (z. B. Urlaubszeiten, krankheitsbedingte Ausfälle) in die Berechnung einbezogen, sodass daraus der Bruttobedarf resultiert. Zur Erhebung der jeweiligen Zeitanteile sind keine mathematischen Vorschriften aufgeführt. Die Ergebnisse basieren auf einem exakten Lösungsverfahren. Zudem greift Stock Maßnahmen des Personaltransfers auf, um Kapazitätsunterdeckungen auszugleichen (z. B. Gemeinkostenmitarbeiter aus taktungebundenen Bereichen dienen zur Kapazitätsdeckung des Serienpersonalbedarfs). Dabei definiert er potenzielle Bereiche (z. B. Instandhaltung, Qualitätsmanagement, Arbeitsvorbereitung, Arbeitswirtschaft), aus denen Mitarbeiter entliehen werden können (STOCK 2013, S. 70). Derartige Mitarbeiter fungieren jedoch nicht als Springer, sondern arbeiten als reguläre (Vollzeit-)Arbeitskräfte in dem unterlasteten Produktionsbereich. Bei der Auswahl eines zur Verleihung geeigneten Kandidaten findet ein Abgleich zwischen dem Anforderungs- und Qualifikationsprofil der Mitarbeiter statt. Die Qualifikationen sind mit einem über mehrere Stationen gemittelten Wert in einer Matrix aufgeführt. Die Integration von Springerunterstützung wird im Ausblick als Erweiterungsoption genannt.

MAYRHOFER, MÄRZ & SIHN (2013)

Hier geht es um ein simulationsbasiertes Tool zur Personaleinsatzplanung für variantenreiche und getaktete Montagesysteme am Beispiel der Automobilindustrie. Zu Beginn der Simulation werden die Werker in Gruppen nach Qualifikation eingeteilt. Die Zuweisung erfolgt nach Regeln und unter Berücksichtigung von Prozesszeiten sowie Arbeitsschritten pro Variante. Stationen mit einem höheren Personalbedarf werden priorisiert. Die Werker werden im Laufe der Simulation dynamisch den Stationen zugewiesen, und sobald deren Kapazitäten ausgelastet sind, wird sich aus der Gruppe Springer bedient. Ziel ist es, den gesamten Personaleinsatz optimal zu gestalten. Die Springereinsatzplanung wird jedoch nicht im Detail optimiert. Deren Qualifikationsbedarf wird über Stationsanforderungen definiert und nicht über Springertätigkeiten im Detail. Zudem werden außer Varianten keine weiteren Störgrößen hinsichtlich Taktzeitüberschreitungen berücksichtigt. Drifter sind nicht vorgesehen.

3.2 Reflexion der Ansätze hinsichtlich ausgewählter Bewertungskriterien

Die vorliegende Arbeit verfolgt einen Ansatz, mit dem über die *Diversifikation von Springieranforderungsprofilen* und die *Nutzung von internen Mitarbeiterressourcen* das Ziel eines kosteneffizienten Springereinsatzes erreicht werden soll. Interne Mitarbeiterressourcen sind alle Ressourcen, die dem Unternehmen zur Verfügung stehen. Diese müssen nicht gezwungenermaßen aus der betrachteten Hauptmontagelinie stammen. Zudem sollen möglichst *viele verschiedene Ursachen* (Störgrößen) für die Variation der Bearbeitungszeiten im Rahmen der Simulation berücksichtigt werden, damit die Prognose für den realen Springerbedarf möglichst genau ausfällt. Die konkreten Ursachen werden erst im Rahmen des Forschungsvorhabens systematisch festgelegt. Dennoch ist klar, dass es neben der Produktvarianz weitere Ursachen für Zeitschwankungen gibt, z. B. Pausen, unterschiedliche Leistungsgrade der Mitarbeiter oder Ausfälle. Es können dabei planbare und nicht planbare Ereignisse auftreten. Unter anderem sieht der Ansatz vor, dass sowohl Drifter als auch Springer zum Ausgleich von Kapazitätsüberlastungen herangezogen werden sollen. Zusammenfassend lassen sich folgende Bewertungskriterien festhalten:

- Diversifikation von Springieranforderungsprofilen,
- Nutzung von internen Mitarbeiterressourcen,
- verschiedene Ursachen (Störgrößen),
- Pool aus Springern und Driftern.

Untersucht man die in Abschnitt 3.1 beschriebenen Ansätze, zeigt sich deutlich, dass keiner von ihnen auf diversifizierte Springieranforderungsprofile zurückgreift. Kein Autor betrachtet die Qualifikationsanforderungen über die Stationsanforderungen hinaus detailliert. Die Nutzung von unternehmensinternen Mitarbeiterressourcen in Kombination mit Vollzeitspringern sieht ebenfalls keiner explizit vor. Die Störgröße Varianz findet sich in vielen Ansätzen, mitarbeiterbezogene Leistungsgrade sowie Pausen bzw. Verteilzeiten werden vereinzelt in bestehenden Ansätzen berücksichtigt. Eine systematische Aufbereitung von möglichen Ursachen, die zu Springereinsätzen führen kann, fehlt überall. Drifter gelten ebenfalls nur teilweise als Alternative zum klassischen Springer. Abschließend wird deutlich, dass bestehende Ansätze die Bewertungskriterien nicht erfüllen können und ein Handlungsbedarf entsteht.

3.3 Handlungsbedarf

Die vorliegende Arbeit stellt die Hypothese auf, dass durch eine Qualifikationsdifferenzierung beim Springereinsatz verstärkt interne Ressourcen eingesetzt werden können, um eine Kostenreduzierung zu erreichen. Dazu bedarf es Anforderungsprofile für Springer, die im aktuellen Stand der Wissenschaft derzeit fehlen. Zudem verlangt der hier favorisierte Ansatz einen strukturierten Zusammenhang zwischen den Ursachen für das Auftreten von Springereinsätzen und den damit verbundenen Anforderungsprofilen. Diesen Zusammenhang thematisiert die Wissenschaft derzeit nicht. Der Einsatz von internen Ressourcen als Springer ist ebenfalls kein Betrachtungsgegenstand in bisherigen Veröffentlichungen und bedarf daher weiteren Untersuchungen. Zusammengefasst kann das Forschungsthema der vorliegenden Arbeit als eine neue Zusammenstellung von in der Literatur divers diskutierten Aspekten betrachtet werden, wodurch die wissenschaftliche Relevanz unterstrichen wird.

4 Darstellung der Methode und Modelle im Gesamtkonzept

In diesem Kapitel werden die Methode sowie dazugehörige Modelle kurz vorgestellt und deren inhaltlicher Zusammenhang zu den bereits vorgestellten Forschungsfragen (siehe Abschnitt 1.2) aufgezeigt. Des Weiteren werden zu Beginn allgemeine und inhaltliche Anforderungen erhoben, die zum einen als Leitplanken bei der Entwicklung von Methode und Modellen dienen und zum anderen an späterer Stelle zur Evaluierung herangezogen werden (siehe Kapitel 8).

4.1 Anforderungen an die Methode sowie Modelle

Der Begriff *Methode* leitet sich von den griechischen Wörtern *meta* = nach, zwischen und *hodos* = Weg ab, was so viel bedeutet wie „der Weg zu etwas hin“ (KESTLER 2002, S. 157). Demnach bezeichnet eine Methode das planmäßige, auf Regeln und Annahmen beruhende Vorgehen, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen (LINDEMANN 2009). Sie gibt vor, in welcher Reihenfolge Schritte erfolgen sollen und welche Werkzeuge an bestimmten Stellen anzuwenden sind. In der Wissenschaft beinhalten Methoden häufig entwickelte Modelle, um beispielsweise mathematische Berechnungen, Prognosen oder Optimierungen durchführen zu können (BRANDOW & HOLZMÜLLER 2010, S. 8). Ein *Modell* ist im Gegensatz zu einer Methode ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit, welches für einen bestimmten Zweck (Ziel) gebildet wird (ROSKI 1986). Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode basiert auf drei Modellen, welche die Prognose sowie die Bedarfsermittlung für Springereinsätze unterstützen. Zur zielgerichteten Deckung des anfangs erläuterten Forschungsbedarfs werden Anforderungen sowohl an die Gestaltung der Methode als auch an die dazugehörigen Modelle erhoben. Dabei wird nach *allgemeinen Anforderungen*, welche für die Anwendung der Methode bzw. Modelle von Bedeutung sind, und nach *inhaltlichen Anforderungen* unterschieden, welche sich auf den mit der Methode bzw. mithilfe der Modelle zu realisierenden Lösungsumfang beziehen.

4.1.1 Allgemeine Anforderungen an die Methode sowie an die Modelle

Allgemeine Anforderungen stellen sicher, dass der zu entwickelnde Ansatz unabhängig vom inhaltlichen Ziel in der Praxis umgesetzt werden kann. Wesentliche

Anforderungen sind nachfolgend in Anlehnung an KREBS (2012) und LINDEMANN (2009) und ALTEMEIER (2009) aufgelistet. Diese gelten im Kontext dieser Arbeit sowohl für die Methode als auch für die drei Modelle: Anwendbarkeit, Übertragbarkeit, Transparenz, Skalierbarkeit und schnelle Ergebnisgenerierung.

Eine Methode muss so aufgebaut und beschrieben sein, dass der Anwender ohne Vorkenntnisse und Erfahrung das Ziel erreichen kann (*Anwendbarkeit*). Die Funktionsweise der Modelle muss durch die in der Praxis vorkommenden Daten-, Organisations- sowie Prozesslandschaften abbildbar sein.

Übertragbarkeit bedeutet die Anpassbarkeit auf unterschiedliche Rahmenbedingungen, z. B. auf diverse Montagesysteme. Diese können sich z. B. im Grad der Automatisierung, in ihren Arbeitszeitmodellen oder in der Personaleinsatzplanung voneinander unterscheiden. Übertragbarkeit bedeutet jedoch nicht, dass alle existenten Anwendungsfälle abgedeckt werden müssen. Dennoch sollten mehrere Fälle, nicht nur ein spezifischer Fall, mit der Methode adressiert werden.

Aus der Anwendbarkeit und Übertragbarkeit heraus resultiert eine weitere Anforderung – die transparente Darstellung. *Transparenz* ist für das Verständnis der Methode und eine vielseitige Anwendung essenziell. Dafür müssen die Planungsschritte definiert und deutlich voneinander getrennt dargestellt werden.

Die *Skalierbarkeit* setzt voraus, dass zeitliche, räumliche und strukturelle Veränderungen keine maßgebliche Auswirkung auf die Anwendbarkeit der Methode haben. Die verwendeten Berechnungs- sowie Modellierungsvorschriften müssen demnach variabel und unternehmensspezifisch formulierbar sein.

Die Ergebnisgenerierung sollte innerhalb eines kurzen Zeithorizonts ablaufen, so dass die Methode für kurzfristige Planungszwecke auf einer Tagesbasis genutzt werden kann (*schnelle Ergebnisgenerierung*).

4.1.2 Inhaltliche Anforderungen an die Methode sowie Modelle

Inhaltlichen Anforderungen resultieren aus der Zielsetzung und den dazu formulierten Forschungsfragen (siehe Abschnitt 1.2). Durch die Anwendung der Methode sollen Springerbedarfe frühzeitig ermittelt werden und auf Basis vorhandener Ressourcen soll eine kosteneffiziente Deckung erfolgen. Demnach lassen sich für die Methode folgende zwei inhaltliche Anforderungen formulieren:

- Bedarfe müssen auf Basis von Prognosewerten identifizierbar sein.
- Die Zusammensetzung des Springerpools muss kosteneffizient sein.

Jedes Modell beruht auf einer anderen Forschungsfrage, woraus sich jeweils ein konkretes Ziel pro Modell definieren lässt. Das erste Modell beinhaltet die Beschreibung von Springieranforderungsprofilen. Jedes Anforderungsprofil muss zum einen Soll-Vorgabewerte hinsichtlich stationsbezogener Qualifikationsanforderungen und zum anderen Soll-Vorgabewerte hinsichtlich stationsübergreifender Qualifikationsanforderungen enthalten. Stationsbezogene Anforderungen geben vor, wie gut die Tätigkeit am Arbeitsplatz beherrscht werden muss, und stationsübergreifende Anforderungen definieren Charaktereigenschaften, z. B. die Kommunikations- oder Führungsfähigkeit. In beiden Fällen müssen Anforderungen quantifizierbar sein. Somit ergeben sich folgende inhaltliche Anforderungen für Modell I:

- Anforderungsprofile müssen quantifizierbar sein.
- Stationsbezogene Anforderungen müssen enthalten sein.
- Stationsübergreifende Anforderungen müssen enthalten sein.

Das zweite Modell muss ein Vorgehen vorgeben, mit dem Bedarfe anhand der zuvor definierten Springieranforderungsprofile prognostiziert werden können. Dafür müssen diverse Ursachen, die zu einem Springerbedarf führen, berücksichtigt werden und in Relation zu den Anforderungsprofilen gesetzt werden. Am Ende muss erkennbar sein, wie viele Springer an welcher Station für welchen Zeitraum benötigt werden. Der Eintrittszeitpunkt kann nicht festgelegt werden, da die Eingangsdaten auf Prognosewerten beruhen und somit in der realen Situation schwanken können. Folgende Anforderungen werden für Modell II festgehalten:

- Diverse Ursachen für Springerbedarfe müssen berücksichtigt sein.
- Die Relation zwischen Bedarfsursache und Anforderungsprofil muss beschrieben sein.
- Die Anzahl benötigter Springer muss ermittelt werden können.
- Die Station für den Springereinsatz muss ermittelt werden können.
- Der Zeitraum für den Springereinsatz muss ermittelt werden können.

Das dritte Modell unterstützt die kosteneffiziente Zusammensetzung des Springerpools anhand vorhandener Personalressourcen im Unternehmen. Die Zuordnung von vorhandenen Mitarbeiterkapazitäten auf Springerbedarfe muss durchführbar sein. Zudem müssen Qualifikationsbedarfe kenntlich gemacht und der

Einsatz von Vollzeitspringern sollte vermieden werden. Daraus resultieren folgende Anforderungen an Modell III:

- Die Zuweisung von Personalressourcen auf Springereinsätze muss erfolgen.
- Qualifikationsbedarfe müssen aufgezeigt werden.
- Die Auslastung der Mitarbeiter im Unternehmen soll erhöht werden.
- Vollzeitspringer sollten vermieden werden (der Fokus liegt auf der Nutzung interner Kapazitäten).

4.2 Betrachtungsrahmen für den Einsatz der Methode bzw. der Modelle

Springer als Personalressource bieten ihren größten Mehrwert in manuellen Produktionssystemen, wie es in der Montage der Fall ist (siehe Abschnitt 1.1). Daher beschränken sich das Anwendungsgebiet der Methode sowie die Modelle auf *Montagesysteme*. Des Weiteren liegt der Betrachtungsfokus für Springereinsätze nur auf den *Hauptmontagelinien* ohne Berücksichtigung der Vormontagebereiche, d. h. mit der Methode können nur in der Hauptmontage Springerbedarfe identifiziert und gedeckt werden. Mitarbeiter aus den Vormontagebereichen werden dennoch als potenzielle Kandidaten für den Springerpool berücksichtigt. In Abschnitt 2.1 wurden bereits allgemeine Gestaltungsmerkmale von Montagesystemen erläutert (DÖRMER 2013, S. 11). Dabei handelt es sich um folgende Merkmale:

- Anordnung der Produktiveinheiten,
- Grad der Automatisierung,
- zeitliche Bindung des Materialflusses,
- Art des Materialflusses.

Im Weiteren wird anhand dieser Merkmale der Betrachtungsrahmen für den Einsatz der Methode beschrieben. Unter Berücksichtigung von Skalier- und Übertragbarkeit muss die Methode für unterschiedliche Montagesysteme anwendbar sein. Daher werden bei der Anordnung von Produktiveinheiten sowie bei dem Grad der Automatisierung keine Einschränkungen vorgegeben. Der Grad der Automatisierung sollte nicht zu hoch sein, damit der Einsatz von Springern rentabel ist. Primäres Ziel beim Springereinsatz ist der Ausgleich von Kapazitätsüberlastungen in

taktgebundenen Montagesystemen. Daher werden nur Systeme mit einer *Taktbindung* und einer *starrten Verkettung* des Materialflusses berücksichtigt. Systeme mit Pufferstrecken zwischen Stationen werden somit nicht betrachtet. Für den Materialfluss wurde das Prinzip des *Einzelstückflusses (One-Piece-Flow)* gewählt, wonach immer im Takt ein Objekt von einem Montagebereich zum nächsten weitergegeben wird. Im Verlauf der Arbeit wird dies als *1-Objekt-in-Bereich-Regel* bezeichnet. Diese Einschränkungen wurden insbesondere zur Komplexitätsreduzierung im Hinblick auf die Modellierung der Bedarfsidentifikationslogik (siehe Modell II) getroffen. Zusammengefasst lassen sich folgende Restriktionen für den Gestaltungsrahmen festhalten:

- Das betrachtete System muss ein Montagesystem sein.
- Die ausgewählte Linie muss eine Hauptmontagelinie sein.
- Es muss eine Taktbindung vorliegen.
- Die Verkettung des Materialflusses muss starr gestaltet sein.
- Der Materialfluss muss durch einen Einzelstückfluss umgesetzt sein.

Wie bereits im vorherigen Absatz genannt dürfen die Parameter zur Gewährleistung der Skalier- und Übertragbarkeit variieren. Neben der Anordnung von Produktiveinheiten sowie dem Automatisierungsgrad gehören die Personalzuordnung sowie die Produktvarianz ebenfalls in den Betrachtungsrahmen. Folgende variable Gestaltungsparameter lassen sich formulieren:

- Die Produktiveinheiten dürfen variabel angeordnet sein.
- Der Automatisierungsgrad kann entweder rein manuell oder hybrid sein.
- Es können ein bis mehrere Mitarbeiter pro Arbeitsbereich eingesetzt werden.
- Eine hohe Variantenvielfalt kann vorhanden sein, muss aber nicht.

4.3 Grobbeschreibung der Methode als Vorgehen für den Anwender

Die Methode für den Anwender gliedert sich in vier Schritte (siehe Abbildung 11). Im ersten Schritt werden die zur Anwendung notwendigen Randbedingungen geprüft und ggf. Anpassungen am Montagesystem durchgeführt. Die Erfüllung aller Kriterien ist eine Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Methode.

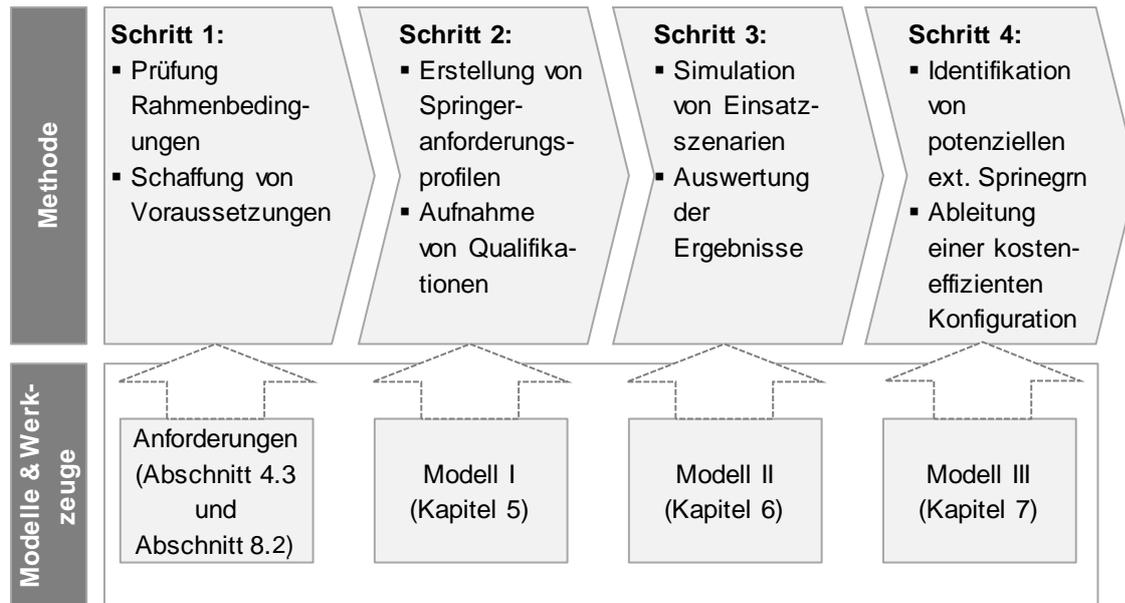


Abbildung 11: Methode inklusive Integrationsstellen der Modelle I bis III

Anschließend ermittelt der Anwender aufgrund der ganzheitlichen Springeranforderungsprofile aus Modell I die Qualifikationen der montagebereichsinternen Mitarbeiter. Die jeweiligen Erfüllungsstufen je Anforderung werden zu einem Qualifikationswert pro Station zusammengefasst. Dieses Ergebnis bildet wiederum die Grundlage für den dritten Methodenschritt, welcher sich primär mit der Integration der Bedarfsidentifikationslogik (Modell II) in das beim Anwender bereits existierende Simulationsmodell befasst. Abschließend folgen im Rahmen von Schritt 4 Simulationsexperimente.¹² Diese werden überlagert, ausgewertet und analysiert, sodass am Ende eine vorläufige Springerpoolkonfiguration feststeht, in der noch fiktive Springer enthalten sind. Die Logik greift auf fiktive Springer zu, sobald der Bedarf nicht von montagebereichsinternen (im Simulationsmodell abgebildete) Ressourcen abgedeckt werden kann. Aus Kostengründen erfolgt der Versuch, den Bedarf an fiktiven Springer im Rahmen von Schritt 4 durch Mitarbeiter außerhalb des betrachteten Montagbereichs zu decken. Deren Einsatz erhöht ihre Kapazitätsauslastung, reduziert Taktzeitverluste in der Linie und vermeidet relativ hohe Kosten für Vollzeitspringer. Dafür steht dem Anwender das Modell II zur Verfügung. Dieses gliedert sich in drei Stufen, die nacheinander zu durchlaufen sind. Mithilfe der Fallunterscheidungen erhält der Anwender eine Entscheidungsunterstützung zur finalen Konfiguration einer kosteneffizienten Springerpoolkonfiguration. Wichtig bei der Anwendung ist, dass die Schritte sequenziell abgearbeitet werden.

¹² Unter einem *Experiment* ist hier die Durchführung von Simulationsläufen zu verstehen.

4.4 Grobbeschreibung der Modelle

Im vorherigen Abschnitt 4.3 wurde die Methode erläutert und auf drei Modelle verwiesen, die zur Anwendung der Methode erforderlich sind. Jedes der Modelle liefert einen Lösungsansatz zur Beantwortung der bereits definierten Forschungsfragen. In Abbildung 12 sind die Forschungsfragen in Relation zu den Modellen sowie deren Ergebnissen zusammengefasst. Anschließend werden die Modelle kurz erläutert.

Die erste Forschungsfrage adressiert die Beschreibung von Springeraufgaben und die dafür notwendigen Qualifikationsanforderungen. Demnach erfolgen für das erste Modell (*Anforderungsanalysemodell*) Anforderungsanalysen, auf deren Ergebnissen Springeranforderungsprofile entwickelt werden. Die Gestaltung der Anforderungsprofile hängt von der Arbeitsaufgabe, d. h. der Art der Unterstützung, die ein Springer an der Station leisten muss, ab. Die Arbeitsaufgaben unterscheiden sich je nach Bedarfsursache voneinander. Fällt z. B. das Stammpersonal vorübergehend aus, muss der Springer in diesem Zeitraum alle Tätigkeiten des zu vertretenden Mitarbeiters übernehmen. Kommt es z. B. zu einer Taktzeitüberschreitung aufgrund höherer Bearbeitungszeiten, muss der Springer das Stammpersonal kapazitativ unterstützen und übernimmt in diesem Fall nur einen Teil der stationsbezogenen Tätigkeiten. Als Ergebnis des ersten Modells liegen für die zuvor identifizierten Springeraufgaben quantifizierbare Anforderungsprofile vor.

Das zweite Modell (*Bedarfsidentifikationsmodell*) liefert eine Antwort auf die Forschungsfrage, wie Springerbedarfe identifiziert werden können und auf welche Weise sie bedarfsgerecht gedeckt werden sollten. Hierfür wurden Entscheidungslogiken entwickelt, welche einen späteren Anwender systematisch bei der Auswahl des Springereinsatzszenarios (Wissen, Ersatz oder Kapazität) sowie der dazugehörigen Einsatzart (Drift-, Präventiv- oder Reaktiveinsatz) unterstützen. Diese Entscheidungslogiken bilden in ihrer Gesamtheit das Bedarfsidentifikationsmodell, welches Kernelement der Identifikationslogik ist. Durch die Integration von Modell II in ein Simulationsmodell können Prozessabläufe simuliert und somit Bedarfe frühzeitig prognostiziert werden.

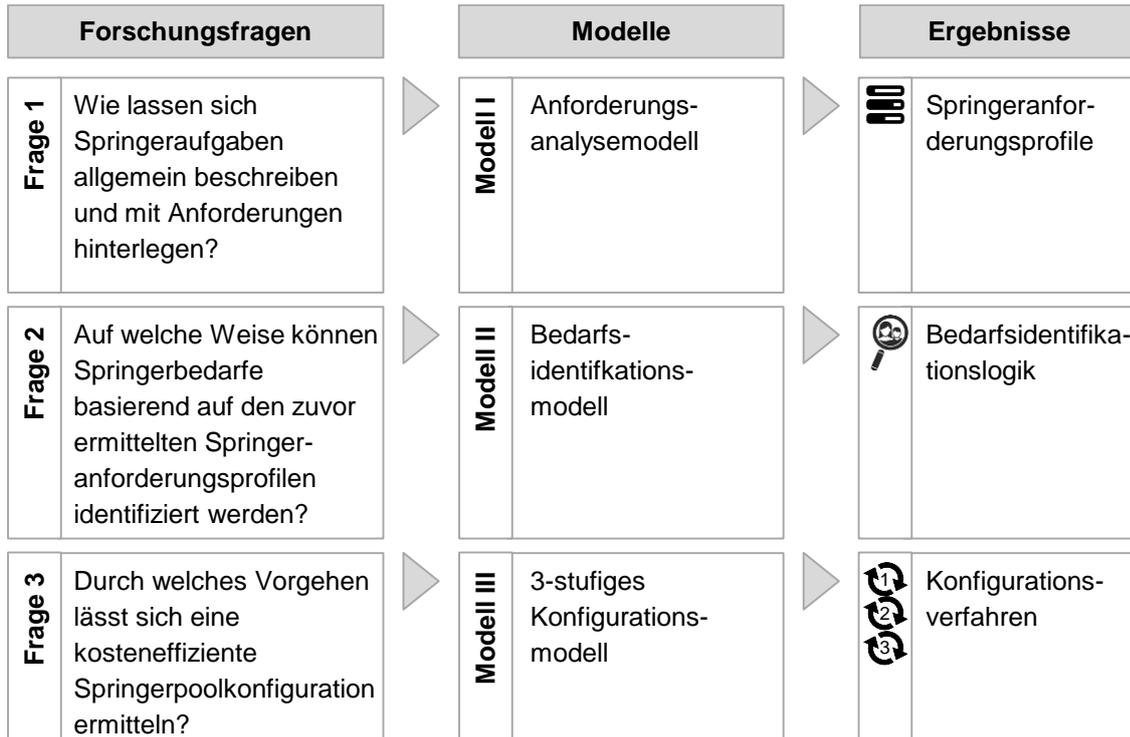


Abbildung 12: Ableitung der Modelle aus den Forschungsfragen

Die letzte Forschungsfrage, welche das Vorgehen zur Ermittlung einer kosteneffizienten Springerpoolkonfiguration in den Fokus stellt, wird mit dem dritten Modell (*dreistufiges Konfigurationsmodell*) beantwortet. Der Unterschied zu dem Ergebnis von Modell II liegt darin, dass Modell II nur den fiktiven Bedarf aufzeigt und Modell III darauf aufbauend reale Personalressourcen den Bedarfen zuordnet. Das Ziel besteht darin, primär vorhandene, freie Personalkapazitäten im Unternehmen zu nutzen, um somit den Anteil an separat vorgehaltenen Springern zu reduzieren. Darüber hinaus wird auf Kosteneffizienz geachtet, indem ein hoher Schulungsaufwand und Veränderungen in der Entgelteingruppierung vermieden werden. Die Zuordnung von freien Kapazitäten zu Springerbedarfen erfolgt anhand einer Optimierung, welche zunächst durch Priorisierungsregeln den Lösungsraum einschränkt und anschließend ein lokales Optimum ermittelt.

5 Modell I – Anforderungsanalysemodell

Im folgenden Kapitel sind der Aufbau von Modell I sowie die daraus resultierenden Springeranforderungsprofile beschrieben, welche zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage beitragen (siehe Abbildung 13). Abschnitt 5.1 befasst sich mit thematischen Grundlagen, Werkzeugen und Methoden sowie Begrifflichkeiten. Die Inhalte dieses Abschnitts sind auf wesentliche Aspekte beschränkt und bei Bedarf wird auf weiterführende Literatur verwiesen. Abschnitt 5.2 behandelt die Modellierung der Springeranforderungsprofile enthalten und erläutert, welche Ursachen zu Springerbedarfen führen und welche Arbeitsaufgaben daraus resultieren. Am Ende des fünften Kapitels (siehe Abschnitt 5.3) sind die Springeranforderungsprofile zusammengefasst beschrieben.

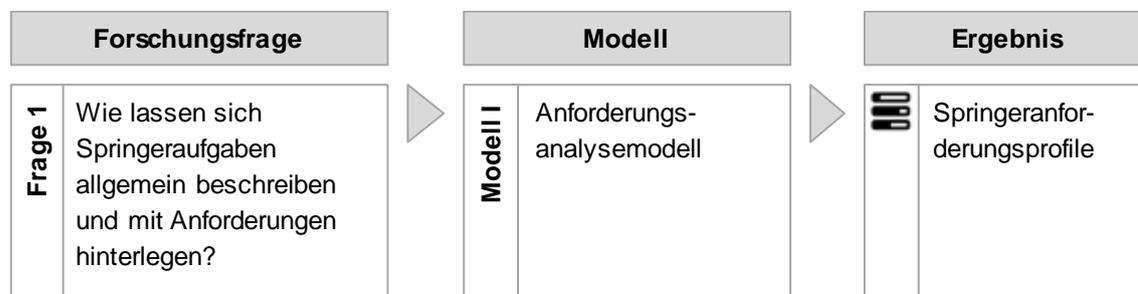


Abbildung 13: Modell I – Anforderungsanalysemodell zur Definition von Springeranforderungsprofilen

5.1 Grundlagen

5.1.1 Kategorisierung von Anforderungsarten

In der Montage variieren Tätigkeiten in Abhängigkeit der Hierarchieebene, in der sich das Personal befindet. Die unterste Ebene in der Organisation bildet die operativen Tätigkeitsbereiche ab. In diesen Bereichen findet die Montage der Bauteile statt, weshalb dort Taktzeitüberschreitungen primär auftreten. Aus diesem Grund stehen im Folgenden nur die ausführenden Tätigkeiten der Montagebereiche im Fokus. Zum konventionellen Arbeitsspektrum von Montagemitarbeitern (Werkern) zählen Montage-, Einlege- und Entnahmevorgänge sowie Sichtkontrollen WIENDAHL ET AL. (2013, S. 98). Je nach Ausprägung der Organisationsform und

Arbeitsteilung können weitere Tätigkeiten anfallen, wie z. B. die Betreuung von automatisierten Prozessen und die Durchführung von Umrüstvorgängen.

Mithilfe von Anforderungsarten können Anforderungen zur Bewertung von Tätigkeiten bzw. Arbeitsplätzen systematisch erhoben und miteinander verglichen werden. Nach REFA stellen Anforderungsarten eine Kennzeichnungs- und Unterscheidungsmöglichkeit einzelner Anforderungen eines Arbeitssystems und dessen Organisationsbeziehungen dar (REFA 1978, S. 42). Demnach geben Anforderungsarten die strukturelle Gestaltung der sog. *Anforderungsprofile* vor. Die Ausprägung einer Anforderungsart wird als *Merkmal* bezeichnet (BOKRANZ & KASTEN 2003, S. 217). Grundsätzlich lassen sich aus Sicht des produktionstechnischen Umfelds folgende vier Verfahren als Referenz zur Kategorisierung von Anforderungsarten nennen:

- Anforderungsarten nach dem Genfer Schema,
- Arbeitsanforderungsarten nach REFA,
- Anforderungsarten aus Tarifverträgen zur Entgeltermittlung (summarisches Verfahren),
- Anforderungsarten aus Tarifverträgen zur Entgeltermittlung (analytisches Verfahren).

Anforderungsarten nach dem Genfer Schema

Das Genfer Schema aus dem Jahre 1950 wurde von Arbeitswissenschaftlern auf einem internationalen Kongress in Genf als Grundlage zur Bewertung von Arbeit verabschiedet (ULMER 2001, S. 50). Das Schema baut auf den folgenden vier Hauptanforderungskategorien auf: *geistige Anforderungen*, *körperliche Anforderungen*, *Verantwortung* und *Umgebungseinflüsse* (siehe Abbildung 14). Geistige und körperliche Anforderungen werden zudem nach *Können* und *Belastung* unterschieden, wobei unter geistigem Können Aspekte, z. B. Fachkenntnisse, Ausbildung oder Erfahrung, verstanden werden und unter körperlichem Können z. B. Geschicklichkeit. Die geistige Belastung bezieht sich dagegen auf Konzentrationsanforderungen und körperliche Belastung auf die Höhe der Muskelbelastungen (BULLINGER 1995, S. 230). Verantwortung und Umgebungseinflüsse sind Anforderungsarten, die nicht weiter unterteilt werden. Die Belastung durch Verantwortung wird in Bezug auf den Arbeitsablauf oder den Grad der Mitarbeiterführung bewertet. Die Belastung aus Umwelteinflüssen ergibt sich aus z. B. Temperatur, Nässe oder Schmutz. Das Genfer Schema bildet die Grundlage für viele weitere

Verfahren zur Anforderungsermittlung (SCHETTGEN 1996, S. 120; LINDNER-LOHMANN, LOHMANN & SCHIRMER 2008, S. 111).

Anforderungsarten nach REFA

REFA erweitert das Genfer Schema um zwei weitere Komponenten (REFA 1987; BULLINGER 1995, S. 230). Dabei werden die geistigen Anforderungen aus dem Genfer Schema in *geistige Belastung* und *Kenntnisse* unterteilt und die körperlichen Anforderungen werden um die Anforderungsarten *muskelmäßige Belastung* und *Geschicklichkeit* ergänzt. Die beiden anderen Anforderungsarten aus dem Genfer Schema – *Verantwortung* und *Umgebungseinflüsse* – wurden beibehalten. Abbildung 14 fasst die Weiterentwicklung vom Genfer Schema hin zum REFA-Schema grafisch zusammen.

Genfer Schema		REFA Schema	
Geistige Anforderungen	Können (z. B. Fachkenntnisse)	Kenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausbildung ▪ Erfahrung
	Belastung (z. B. Konzentration)	Geistige Belastung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufmerksamkeit ▪ Denkfähigkeit
Körperliche Anforderungen	Können (z. B. Geschicklichkeit)	Geschicklichkeit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Handfertigkeit ▪ Körpergewandtheit
	Belastung (z. B. Muskelbelastung)	Muskelmäßige Belastung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dynamische Muskelarbeit
Verantwortung	Belastung (z. B. Arbeitsablauf)	Verantwortung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für eigene Arbeit ▪ Für Arbeit anderer
Umgebungseinflüsse	Belastung (z. B. Temperatur)	Umgebungseinflüsse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klima, Nässe, Lärm, Staub

Abbildung 14: Genfer- und REFA-Schema in Gegenüberstellung (in Anlehnung an SCHETTGEN 1996, S. 120; LINDER-LOHMANN ET AL. 2008, S. 111)

Anforderungsarten aus Tarifverträgen zur Entgeltermittlung (summarisches und analytisches Verfahren)

Wie bereits in Abschnitt 2.3 erläutert findet in den meisten Produktionsbetrieben die Entgeltermittlung auf der Basis von Tarifverträgen statt. Die tariflichen Rege-

lungen verweisen zur Bewertung von Arbeit (Tätigkeiten/Aufgaben) bzw. zur Bestimmung des Grundentgelts ebenfalls auf eine Liste mit Anforderungsarten. Da es in Deutschland keine einheitliche Tarifpolitik gibt, sondern nach dem Grundsatz der TARIFAUTONOMIE (ART. 9 GG) gehandelt wird, können Tarifpartner in autonomer Verantwortung Lohn- und Arbeitsbedingungen festlegen (BULLINGER 1995, S. 245). Diese Autonomie gilt auch für die in der Bewertung enthaltenen Anforderungsarten. Grundsätzlich lassen sich die zur Bewertung existierenden Verfahren nach dem summarischen und dem analytischen Ansatz unterscheiden (BOKRANZ & KASTEN 2003, S. 215). Vergleicht man die Bewertungsansätze der einzelnen Tarifverträge, sind ähnliche Anforderungsarten sowie ein starker Bezug zum Genfer Schema bzw. zu REFA erkennbar (siehe auch Tabelle 3).

Im summarischen Verfahren werden Aufgaben als Ganzes in eine Tarifgruppe eingestuft. Dafür existieren vordefinierte Tarifgruppenbeschreibungen, in denen pro Tarifgruppe die Aufgabe durch Merkmalsausprägungen der Anforderungsarten beschrieben ist. In Bayern findet beispielsweise die Eingruppierung nach diesem Verfahren statt. In Abbildung 15 ist beispielhaft ein Auszug aus der Tarifgruppenbeschreibung dargestellt.

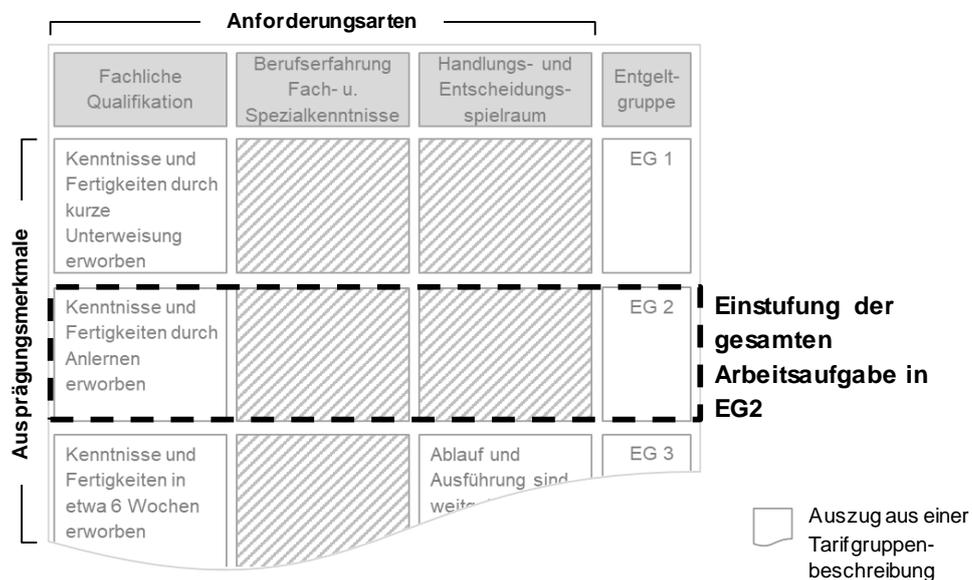


Abbildung 15: Summarisches Verfahren – Beispielhafter Aufbau einer vordefinierten Tarifgruppenbeschreibung

Die Anforderungsarten unterscheiden nach fachlicher Qualifikation, Berufserfahrung/Fach- und Spezialkenntnissen sowie Handlungs-/Entscheidungsspielraum.

Pro Tarifgruppe existiert eine Beschreibung der Merkmalsausprägung (Metall-Tarif-Info). Aus dem Bereich Qualifikation können Aussagen über Ausbildung, Erfahrung sowie Kenntnisse formuliert werden und im Bereich Handlungsspielraum werden Kriterien, z. B. Eigenständigkeit und Verantwortung, abgefragt (BOKRANZ & KASTEN 2003, S. 217).

Bei dem analytischen Verfahren dagegen wird die Aufgabe pro Anforderungsart separat bewertet. Die Einstufung in eine Tarifgruppe erfolgt anschließend durch die Verrechnung von Einzelbewertungen. Somit können Aufgaben in derselben Tarifgruppe unterschiedliche Ausprägungsmerkmale pro Anforderungsart haben. Abbildung 16 stellt Anforderungsarten beispielhaft dar. Als Anforderungsarten werden folgende sechs Kategorien in den Tarifverträgen genannt: Wissen/Können, Denken, Handlungsspielraum/Verantwortung, Kommunikation und Mitarbeiterführung (z. B. siehe ERA-TV 2003, BADEN-WÜRTTEMBERG § 6.1.1, siehe Abbildung 16).

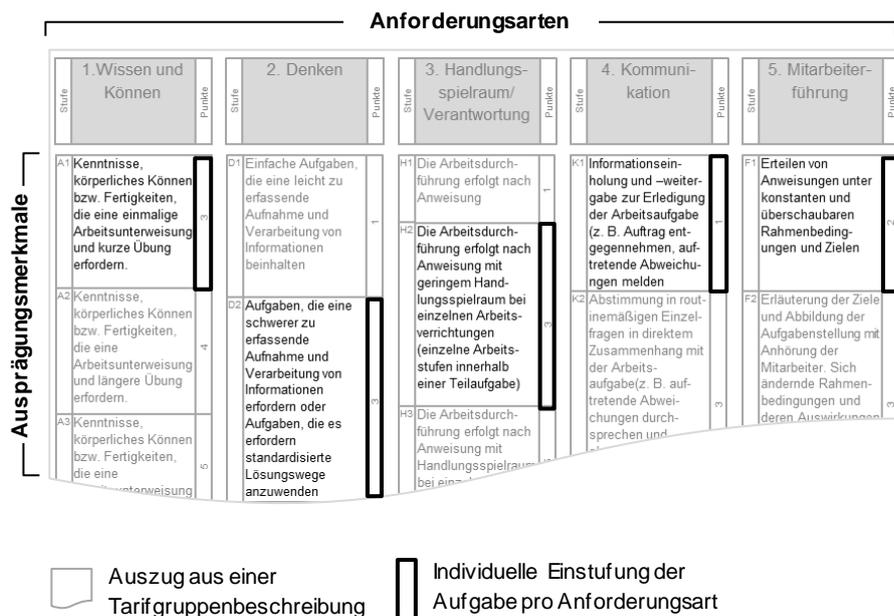


Abbildung 16: Analytisches Verfahren – Aufbau einer vordefinierten Tarifgruppenbeschreibung am Beispiel IG-Metall Baden-Württemberg

5.1.2 Beschreibung von Qualifikationsmatrizen und des Qualifikationsgrads

Im vorhergehenden Abschnitt wurden Anforderungsarten erläutert, die zur Bewertung von Arbeit (Tätigkeiten/Aufgaben) dienen und den Anforderungsgrad festlegen. Daraus resultiert ein Anforderungsprofil, welches als Referenz zur Personaleinsatzplanung genutzt wird. Für die Personalauswahl muss ein Soll-/Ist-Vergleich zwischen Anforderungsprofil und den vorhandenen Mitarbeiterqualifikationen erfolgen (WICKEL-KIRSCH 2008, 31 FF.; IFAA 2017). Unter dem Begriff *Qualifikation* wird das Arbeitsvermögen im Sinne subjektiv-individueller Kenntnisse sowie Fähig- und Fertigkeiten verstanden, welche Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Erfüllung der Arbeitsaufgabe sind (KERN & SCHUMANN 1970, S. 67; MICKLER, DITTRICH & NEUMANN 1976, S. 375; BAETHGE 1974; BRANDES 2013, S. 44 FF.).

Klassischerweise wird die Anforderungsbeherrschung der Mitarbeiter in sog. *Qualifikationsmatrizen* festgehalten, welche sich wiederum inhaltlich sowie in ihrer Darstellung unterscheiden können (BUCK & WITZGALL 2013, S. 403). Im Folgenden werden ausschließlich die Tätigkeiten und Qualifikationsgrade von Produktionsmitarbeitern betrachtet. Zum einen können Qualifikationsmatrizen auf Arbeitsplatzebene beschrieben werden, d. h. wie gut die Person einen Arbeitsplatz beherrscht. Zum anderen können Qualifikationsmatrizen auch ausführlicher aufgebaut sein, indem sie z. B. Qualifikationsanforderungen auf Tätigkeitsbasis, fachliche Ausbildungsabschlüsse und persönlichen Eigenschaften mit einbeziehen. Der zu wählende Detaillierungsgrad hängt vom Inhalt des Anforderungsprofils ab, da zwischen diesem und der Qualifikationsmatrix ein Abgleich erfolgt. Abbildung 17 zeigt Möglichkeiten zur Darstellung von Qualifikationsmatrizen: links eine Matrix mit Arbeitsplatzbezug (Matrix I) und rechts eine detaillierte Matrix mit Tätigkeitsbezug (Matrix II).

Zum Aufbau und zur Pflege von Qualifikationsmatrizen existieren auf dem Markt bereits zahlreiche IT-basierte Tools, z. B. CM Pro Work (WITZGALL 2009). Diese unterstützen das Personalmanagement, nehmen jedoch auch Zeit und personelle Ressourcen in Anspruch, weshalb empfohlen wird, die Komplexität und den Detaillierungsgrad von Qualifikationsmatrizen eher gering zu halten (IFAA 2017). Den Grad der Anforderungsbeherrschung drückt der sog. *Qualifikationsgrad* aus.

Dieser formuliert das Verhältnis von mitarbeiterbezogener Anforderungsbeherrschung gegenüber dem Aufgabenanforderungsprofil. Zur Beschreibung des Qualifikationsgrads existieren diverse Ausprägungsformen. Es gibt die Möglichkeit, mit Symbolen und textuellen Beschreibungen (siehe Abbildung 17) zu arbeiten, aber auch Skalen in Form von Zahlen finden ihre Anwendung, z. B. die Skala nach WICKEL-KIRSCH (2008, S. 89). WICKEL-KIRSCH verwendet eine Skala zwischen 0 – 5, bei der sich die Stufen wie folgt beschreiben lassen: 0 = kein Bedarf, 1 = Einstiegsniveau, 2 = geübter Anwender, 3 = fortgeschrittener Anwender, 4 = Experte, 5 = Multiplikator.

Qualifikationsmatrix I			
	Mitarbeiter		
Arbeitsplatz	MA 1	MA 2	MA 3
AP 1	■	■	■
AP 2	■	■	■
AP 3	■	■	■

■	Kennt und versteht alle Arbeitsplätze	■	Führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität aus
■	Führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität und Quantität aus	■	Beherrscht alle erforderlichen Fertigkeiten des Arbeitsplatzes und gibt sein Wissen an die übrigen Teammitglieder weiter

Qualifikationsmatrix II			
	Mitarbeiter		
Q-Anforder.	MA 1	MA 2	MA 3
Presse bedienen	■	▶	
Presse warten	■	▶	
Presse reinigen	■	■	
Sortieranlage bedienen	▲	■	
Schadstoffe erkennen	▲		■
Kontrolle von Rohmaterial		▲	■

■	Tätigkeit wird beherrscht
▶	Tätigkeit in der Lernphase
▲	Gewünschte Qualifikation
□	Tätigkeit wird nicht beherrscht

AP = Arbeitsplatz MA = Mitarbeiter Q-Anforder. = Qualifikationsanforderungen

Abbildung 17: Zwei Arten der Darstellung von Qualifikationsmatrizen (eigene Darstellung in Anlehnung an BUCK & WITZGALL 2013, S. 404; GALILÄER 2008, S. 95)

5.2 Modellierung von Springieranforderungsprofilen

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Beantwortung der ersten Forschungsfrage, welche bereits in Abschnitt 1.2 vorgestellt wurde und wie folgt lautet: Wie lassen sich Springeraufgaben allgemein beschreiben und mit Anforderungen, z. B. der Qualifikation, hinterlegen (Springieranforderungsprofile)?

Nachfolgend wird das gewählte Vorgehen zur Modellierung von Springieranforderungsprofilen beschrieben, wobei die Ausarbeitung auf dem Grundlagenteil aus Abschnitt 5.1 aufbaut. Ziel ist es, Springieranforderungsprofile zu formulieren. Dafür müssen Aufgaben und Tätigkeiten für Springer im Montageumfeld analysiert und Anforderungsprofile erstellt werden. Die in Abschnitt 350 vorgestellten wissenschaftlichen Vorarbeiten liefern dazu keine fundamentalen Inhalte, welche als Ausgangsbasis dienen können. Die einzige Aussage hinsichtlich Springeraufgaben ist, dass Springer im Bedarfsfall das Stammpersonal unterstützen und deren Aufgaben übernehmen (HALUBEK 2012, S. 51; WIENDAHL 2008, S. 43; WEIB 2000, S. 26).

Zur Formulierung der Anforderungsprofile für Springer ist es notwendig, deren Aufgaben und dazugehörige Tätigkeiten zu definieren. Diese unterscheiden sich von den Tätigkeiten des Stammpersonals und können somit nicht direkt aus existenten Arbeitsplatzbeschreibungen übernommen werden. Das Stammpersonal führt die Aufgaben mit einer anderen Zielerreichung als ein Springer aus. Ziel des Stammpersonals ist es, die Tätigkeiten so auszuführen, dass Produktivitätsvorgaben (z. B. Ausbringungsmenge, Bearbeitungszeiten) eingehalten werden, Springer dagegen bauen durch ihre Tätigkeitsausführung kapazitative Überlastungen ab. Daraus ergeben sich für das Stammpersonal andere Aufgaben und Anforderungen als für Springer. Die Ermittlung der Springieranforderungsprofile erfolgt im Rahmen der Arbeit in drei Schritten (siehe Abbildung 18).

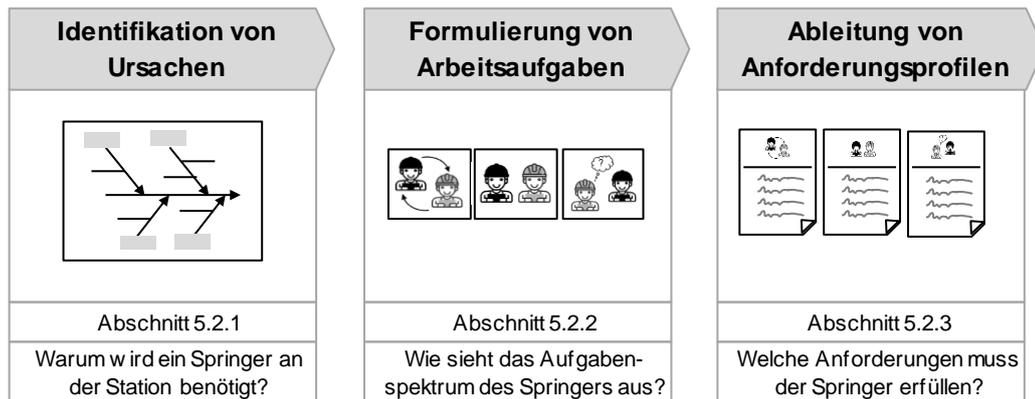
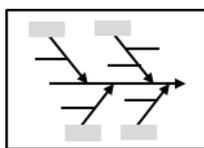


Abbildung 18: Vorgehen zur Modellierung von Springeranforderungsprofilen

Im ersten Schritt werden Ursachen identifiziert, die zu Kapazitätsüberlastungen führen und somit einen Springereinsatzbedarf hervorrufen (siehe auch Abschnitt 2.2.2). Auf Basis der Ursachen können Aufgabenprofile erstellt werden, in denen Aufgaben sowie Tätigkeiten für Springer beschrieben sind. Als letzter Schritt schließt sich die Ableitung von Anforderungsprofilen an. Aus den Aufgaben leiten sich die Anforderungen für Springer ab.

5.2.1 Identifikation von Ursachen für Springerbedarfe



Springer werden in getakteten Montagesystemen mit dem Ziel eingesetzt, Kapazitätsüberlastungen abzubauen. Somit muss untersucht werden, welche Ursachen zu Kapazitätsüberlastungen führen, um danach die Aussage treffen zu können, wie sich diese Ursachen im Hinblick auf die Erfüllung der Arbeitsaufgabe auswirken. Zur Analyse von Ursachen existieren im Stand der Technik bereits zahlreiche Methoden und Vorgehensweisen, die aus dem Lean Management bzw. Qualitätsmanagement stammen, z. B. das Ishikawa-Diagramm, das Fünffache Warum oder die Fehlerbaumanalyse (MAGENHEIMER 2014, S. 60). Diese Methoden werden nachfolgend kurz erläutert und im Hinblick auf das vorliegende Problem bewertet:

- **Ishikawa-Diagramm (ISHIKAWA 1985; ZOLLONDZ 2006)**

Das Ishikawa-Diagramm, auch Ursache-Wirkungs- oder Fischgräten-Diagramm genannt, stellt eine Möglichkeit zur Visualisierung von möglichen Ursachen und ihren Auswirkungen auf das Problem dar (ZOLLONDZ 2006, S. 115). Ausgangspunkt ist das Problem, welches genauer analysiert werden soll. Dieses steht auf der horizontalen Achse in der Mitte des Diagramms,

auf diese treffen die Haupteinflussgrößen, z. B. Material, Mensch und Maschine, in Form von schrägen Pfeilen. Unter selektiver Betrachtung der Haupteinflussgrößen werden nun Haupt- und Nebenursachen gesammelt und in das Diagramm aufgenommen. Somit können komplexe Sachverhalte systematisch erarbeitet und Zusammenhänge transparent visualisiert werden. Abbildung 19 zeigt die schematische Darstellung des Ishikawa-Diagramms.

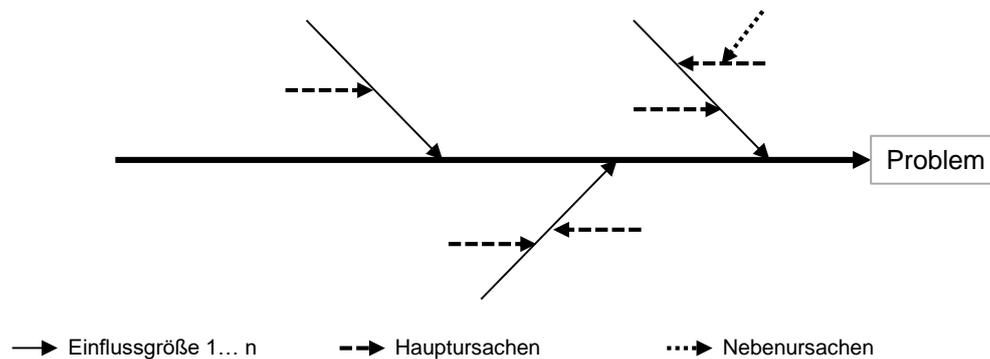


Abbildung 19: Schematische Darstellung eines Ishikawa-Diagramms

▪ **Fünffaches Warum**

Die Frage nach dem Fünffachen Warum, in der Literatur auch als *5W-Methode* bezeichnet, ist im Toyota-Produktionssystem verankert und bildet die Grundlage für eine kontinuierliche Verbesserung (LIKER 2007, S. 352). Liegt ein Problem vor, kann auf dieses die Fragemethodik angewendet werden, wobei die Angabe der fünf Fragen nur als Orientierung verstanden werden soll (ONO 2009, S. 43 F.). Ziel ist es, so lange zu fragen, bis die Grundursache für das Problem identifiziert ist. In der Anwendung können dadurch schnell und effektiv Ergebnisse erzielt werden, wobei keine systematische Dokumentation sowie Visualisierung der Wirkzusammenhänge vorgenommen wird.

▪ **Fehlerbaumanalyse**

Die Fehlerbaumanalyse unterstützt mit einem strukturierten Vorgehen bei der Antwortsuche auf die Frage: „Wie kann es dazu kommen, dass ...?“ (EDLER, SODEN & HANKAMMER 2015, S. 1). Die Verästelungen im Fehlerbaum bildet die Kausalitäten (Frage nach dem Warum) ab, wobei an der Spitze des Baums das Hauptereignis steht und nachfolgend die Ursachen auf verschiedenen Ebenen untergeordnet werden (REINHART 1996). Die

Fehlerbaumanalyse findet häufig dann Anwendung, wenn z. B. Ereigniskombinationen mit Wahrscheinlichkeitswerten hinterlegt dargestellt werden sollen und/oder die Hauptereignisse eine gewisse Kritikalität aufweisen (EDLER ET AL. 2015, S. 3–4).

Methodenauswahl im Hinblick auf das Problem

Das vorliegende Problem besitzt weder eine ausreichend hohe Komplexität noch können Wahrscheinlichkeitswerte über das Eintreten der Ursache hinterlegt werden, wodurch die Fehlerbaumanalyse keinen ausreichenden Nutzen im Verhältnis zum Aufwand liefert. Das Ishikawa-Diagramm und das Fünffache Warum sind in ihrer Durchführung aufwandsärmer und führen ebenfalls strukturiert zu einem Ergebnis. Nachteil am Fünffachen Warum ist, dass keine systematische Darstellung und Visualisierung existiert. Aus diesem Grund wurde sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit für das Ishikawa-Diagramm entschieden.

Ursachenidentifikation mithilfe des Ishikawa-Diagramms

Im vorliegenden Fall wird untersucht, wodurch Kapazitätsüberlastungen in getakteten Montagelinien entstehen. Somit kann als Problem die *Kapazitätsüberlastung* in das Diagramm aufgenommen werden. Eine Kapazitätsüberlastung tritt dann auf, wenn die tatsächliche Durchlaufzeit des Produkts länger als die vorgegebene Taktzeit ist (siehe Abschnitt 2.2.2). Als Nächstes müssen *Einflussgrößen* bestimmt werden, hierzu können die beiden Elemente „Mensch“ und „Betriebsmittel“ des soziotechnischen Systems genutzt werden, da durch deren Zusammenspiel ein Prozess ausgeführt bzw. eine Aufgabe umgesetzt wird (WIENDAHL ET AL. 2014, S. 157). Die Inhalte der Aufgabe bzw. des Prozesses hängen wiederum von den Eigenschaften des zu produzierenden Produkts ab. Daher wird als dritte Einflussgröße das „Produkt“ gewählt. Der Mensch und die Betriebsmittel beeinflussen die geplanten Durchlaufzeiten, das Produkt dagegen den planmäßigen Wert der Durchlaufzeit. In beiden Fällen können Taktzeitüberschreitungen entstehen. Anschließend werden *Haupt- und Nebenursachen* identifiziert und in das Diagramm übertragen (siehe Abbildung 20). Die genannten Ursachen weisen eine für Produktionsunternehmen relevante Auswahl auf, besitzen jedoch keine Vollständigkeit. Sie wurden in einem Workshop erarbeitet und mit Expertenmeinungen validiert

(Workshop und Interview beim Anwendungspartner). Hierfür wurden folgende drei Fragestellungen bearbeitet, deren Antworten anschließend erläutert werden:

- (1) Wodurch kann der *Mensch* eine Verlängerung der geplanten Durchlaufzeit bewirken?
- (2) Wodurch können *Betriebsmittel* eine Verlängerung der geplanten Durchlaufzeit bewirken?
- (3) Wodurch kann das *Produkt* bzw. können die Produkteigenschaften die Länge der geplanten Durchlaufzeit beeinflussen?

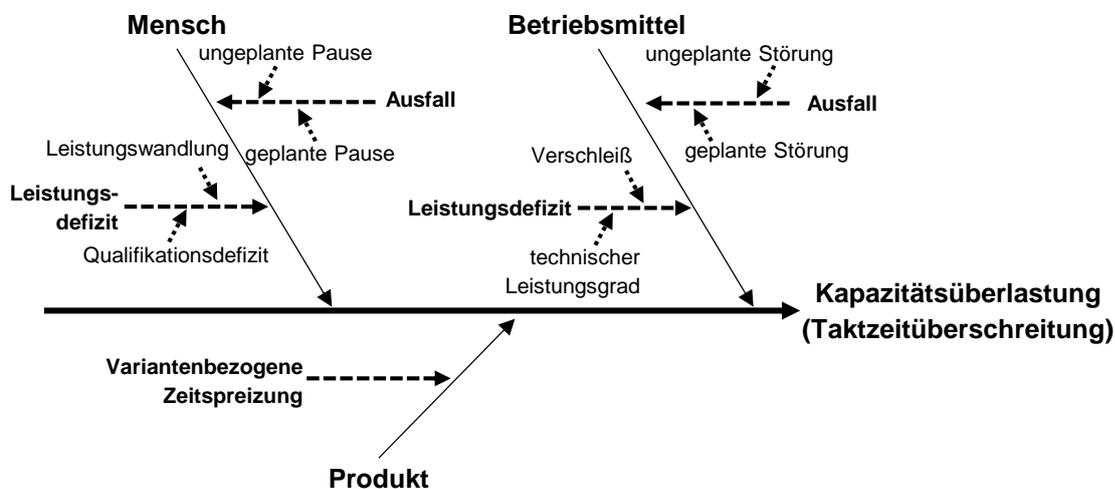


Abbildung 20: Ishikawa-Diagramm zur Ursachenidentifikation für Taktzeitüberschreitung

(1) Einfluss des Menschen

In einer manuellen bzw. hybriden Montageumgebung ist der Mensch zentraler Ausführer von Montagetätigkeiten, wodurch er auf die Fertigstellung des Produkts einen hohen Einfluss ausübt. Es kommt dann zu einer Überlastung, wenn er aufgrund zu geringer Leistung (z. B. altersbedingte Leistungswandlung oder Qualifikationsdefizit) die vorgegebene Bearbeitungszeit nicht erreichen kann oder aufgrund von Pausenzeiten oder Terminen ausfällt. Pausen können sowohl geplant (z. B. Mittagspause mit fester Uhrzeit) als auch ungeplant (z. B. Verteilzeit ohne vorgegebene Zeitpunkte) sein. Längere Ausfälle durch Krankheit oder Arbeitsunfall zählen ebenfalls zu den ungeplanten Pausen.

(2) Einfluss der Betriebsmittel

Betriebsmittel weisen ein ähnliches Verhalten auf. Es kommt zu Überlastungen, wenn beispielsweise eine Störung auftritt, die technische Leistung (technischer Leistungsgrad¹³) zu gering ist oder die Vorgabezeiten verschleißbedingt nicht erreicht werden können. Unter dem Begriff technischer Leistungsgrad ist nicht die Verfügbarkeit von Anlagen zu verstehen, sondern das Verhältnis aus tatsächlicher Arbeitsgeschwindigkeit zur geplanten Arbeitsgeschwindigkeit. Störungen können nach geplanten (z. B. Wartungsarbeiten, Rüstvorgänge) und ungeplanten (z. B. defekte Anlage) Störungen unterschieden werden.

(3) Einfluss des Produkts

In einer Mixed-Model-Line, auf der mehrere Produktvarianten mit unterschiedlichen Durchlaufzeiten produziert werden, kann es bei einer einheitlich vorgegebenen Taktzeit zu planmäßigen Taktzeitüberschreitungen kommen. Zudem kann es vorkommen, dass das Produkt an vorhergehenden Stationen fehlerhaft montiert wurde bzw. vorgesehene Anbauteile nicht der erforderlichen Qualität entsprechen und somit der Prozess nicht ohne Nacharbeit bzw. Unterbrechung weiter durchgeführt werden kann. Dieser Fall wird im Rahmen der Arbeit nicht als Ursache für Springereinsätze aufgenommen, da der Umgang mit Nacharbeit sehr unternehmensspezifisch ist. Es wird die Annahme getroffen, dass das Produkt aus der Linie genommen wird, die Nacharbeit an einem anderen Ort stattfindet und dieser nicht mehr im Aufgabenspektrum des Springers liegt.

5.2.2 Formulierung von Springeraufgaben



Weitere Untersuchungen zeigen, dass Ursachen unterschiedlich auf die Arbeitsaufgaben von Springern wirken können.

Die Arbeitsaufgabe beschreibt in diesem Fall die Art der Unterstützung, die ein Springer bei seinem Einsatz übernimmt. In der folgenden Tabelle 1 sind die Ursachen dargestellt und deren Wirkung sachlogisch hergeleitet, sodass daraus Arbeitsaufgaben für Springer formuliert werden können. Vergleicht

¹³ Diese Ursache wurde im Rahmen eines Workshops mit dem Anwendungspartner festgelegt. In der Praxis kommt es durchaus vor, dass Anlagen die geplante Leistung nicht zu 100% umsetzen können. Geplante Schnittgeschwindigkeiten können z. B. die Oberflächengüte nicht gewährleisten und müssen somit reduziert werden. Dadurch entsteht ein zeitliches Delta gegenüber der geplanten Zeit. Dies tritt insbesondere bei neuen eingeführten Prozessen auf, die sich noch in der Stabilisierungsphase befinden. Ziel ist es, dass Planwerte auf realistische Sollwerte angepasst werden und somit der techn. Leistungsgrad 100% erreicht.

man die in Tabelle 1 gelisteten Wirkungen, werden drei grundsätzliche Wirkrichtungen erkennbar:

- keine Prozessausführung,
- langsamere Prozessausführung,
- verlängerte Prozessausführung.

Keine Prozessausführung bedeutet, dass der Prozess so lange unterbrochen ist, bis der Mensch oder das Betriebsmittel die Arbeit wiederaufnimmt. Hinsichtlich der Aufgaben des Springers muss an dieser Stelle nach den Einflussgrößen Mensch und Betriebsmittel differenziert werden. Fällt der Mensch aus, muss der Springer diesen ersetzen und alle Tätigkeiten an der Station übernehmen. Fällt dagegen ein Betriebsmittel aus, kann der Springer dieses ggf. nicht ersetzen. Der Springer kann seine Arbeit erst dann antreten, sobald das Betriebsmittel wieder funktionsfähig ist. Durch den Ausfall ist ein Zeitverlust entstanden, der im laufenden Betrieb aufzuholen ist. In diesem Fall unterstützt der Springer das Stammpersonal durch die Übernahme von Tätigkeiten so lange, bis der Verlust ausgeglichen ist. *Langsamere Prozessausführung* beschreibt den Fall, dass entweder der Mensch oder das Betriebsmittel länger als die geplante Zeit für die Erledigung der Aufgabe benötigt. Weicht die Arbeitsgeschwindigkeit der Einflussgröße Mensch von den Planzeiten ab, so unterstützt der Springer, indem er Teile der Tätigkeiten am Arbeitsplatz übernimmt. Liegt der Fall vor, dass der Werker an der Station Qualifikationsdefizite besitzt und daher nicht in der Lage ist, die geforderte Arbeitsgeschwindigkeit einzuhalten, kann der Springer zusätzlich als Mentor dienen. Dies entspricht dem Hancho-Prinzip (Mentor-Mentee-Prinzip) aus dem Lean Management, bei dem ein erfahrener Mitarbeiter (Mentor) einem weniger erfahrenen Mitarbeiter (Mentee) während der Arbeitszeit Hilfestellungen gibt und bei Bedarf den Prozess selbst durchführt, um verlorene Zeitanteile auszugleichen (DOMBROWSKI & MIELKE 2015, S. 138). Da der Springer eine Personalressource darstellt, kann er die Maschine nicht direkt, sondern nur indirekt unterstützen. Er übernimmt in diesem Fall manuelle Prozessschritte an der Station und gleicht somit den Zeitverlust aus.

Eine *verlängerte Prozessausführung* resultiert aus dem Produkt und dessen variierenden Prozesszeiten. Zur Verkürzung der Durchlaufzeit übernimmt der Springer Tätigkeiten und unterstützt das Stammpersonal am Arbeitsplatz. Aus den dargestellten Ursache-Wirkung-Beziehungen lassen sich folgende drei Aufgabenarten ableiten:

- Der Springer *ersetzt* das Stammpersonal und übernimmt alle Tätigkeiten am Arbeitsplatz.
- Der Springer *unterstützt* das Stammpersonal und übernimmt nur Teile des Tätigkeitsspektrums am Arbeitsplatz (Kapazitätserweiterung).
- Der Springer *vermittelt Wissen* und unterstützt durch seine Erfahrung, wobei er im Bedarfsfall auch Tätigkeiten an der Station übernimmt.

Tabelle 1: Taktzeitüberschreitung – Ursachen und Wirkung

	Ursachen	Wirkung
Mensch	Ungeplante Pause	Keine Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Pausenlänge
	Geplante Pause	Keine Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Pausenlänge
	Leistungswandlung	Langsamere Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Anteil
	Qualifikationsdefizit	Langsamere Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Anteil
Betriebsmittel	Ungeplante Störung	Keine Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Störungslänge
	Geplante Störung	Keine Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Störungslänge
	Verschleiß	Langsamere Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Anteil
	Technischer Leistungsgrad	Langsamere Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Anteil
Produkt	Variantenbezogene Zeitspreizung	Verlängerte Prozessausführung, Durchlaufzeit erhöht sich um Anteil

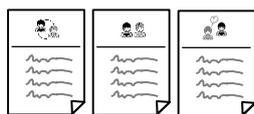
Zusammenfassend ist in Tabelle 2 der Zusammenhang zwischen Ursachen und entsprechenden Springerarbeitsaufgaben dargestellt. Hier sind nur diejenigen Aufgaben berücksichtigt, die er als Springer ausführt, um die Taktzeitüberschreitung abzubauen. Diese Aufgaben gelten stationsübergreifend, d. h. sie sind unabhängig von den montagebezogenen Arbeitsinhalten. Hinzu kommen die Montagetätigkeiten, die er am Arbeitsplatz ausführt (siehe Abschnitt 5.1.1). Deren Anforderungen

hängen jedoch von den Arbeitsinhalten der einzelnen Stationen ab und können somit nicht pauschal beschrieben werden. In Abschnitt 5.2.3 erfolgt die Anforderungsanalyse sowohl auf Basis der reinen Springeraufgaben als auch der Aufgaben am Montagearbeitsplatz.

Tabelle 2: Springeraufgaben in Abhängigkeit der Ursachen

	Ursachen	Springeraufgaben	Kurzbez.	Symbol
Mensch	Ungeplante Pause	Springer ersetzt das Stammpersonal; vollständige Tätigkeitsübernahme	Ersatz	
	Geplante Pause	Springer ersetzt das Stammpersonal; vollständige Tätigkeitsübernahme	Ersatz	
	Leistungswandlung	Springer unterstützt das Stammpersonal; Kapazitätserweiterung	Kapazität	
	Qualifikationsdefizit	Springer vermittelt Wissen; ggf. Übernahme der Tätigkeiten	Wissen	
Betriebsmittel	Ungeplante Störung	Springer unterstützt das Stammpersonal; Kapazitätserweiterung	Kapazität	
	Geplante Störung	Springer unterstützt das Stammpersonal; Kapazitätserweiterung	Kapazität	
	Verschleiß	Springer unterstützt das Stammpersonal; Kapazitätserweiterung	Kapazität	
	Technischer Leistungsgrad	Springer unterstützt das Stammpersonal; Kapazitätserweiterung	Kapazität	
Produkt	Variantenbezogene Zeitspreizung	Springer unterstützt das Stammpersonal; Kapazitätserweiterung	Kapazität	

5.2.3 Ableitung von Anforderungsprofilen



Inhalt dieses Abschnitts ist die Analyse der im vorherigen Abschnitt definieren Aufgaben hinsichtlich der Anforderungen. In Abschnitt 5.1.1 wurden bereits Verfahren zur Kategorisierung von Anforderungen vorgestellt. In Tabelle 3 werden diese mit den Anforderungsarten gegenübergestellt. Diese Darstellung zeigt, dass die Verfahren unter-

schiedliche Begrifflichkeiten für ähnliche Inhalte verwenden, d. h. die Bezeichnung *Wissen & Können* beinhaltet ähnliche Anforderungsmerkmale wie die Anforderungsarten *fachliche Qualifikation*, *Berufserfahrung* und *Fach- und Spezialkenntnisse*. Unternehmen unterliegen bei der Auswahl eines dieser Verfahren keinen gesetzlichen Regelungen. Da der größte Anteil produzierender Unternehmen in Deutschland jedoch an Tarifverträge gebunden ist, wird sich im Folgenden auf die Anforderungsarten der analytischen und summarischen Verfahren beschränkt. Dafür werden die Anforderungsarten beider Verfahren zusammengefasst. Da die Arten beider Verfahren sehr ähnlich sind, muss bei der Konsolidierung darauf geachtet werden, dass keine inhaltlichen Dopplungen entstehen. Es werden immer die detaillierter beschriebenen Anforderungsarten des jeweiligen Verfahrens gewählt. Daraus ergeben sich folgende sieben Anforderungsarten, auf denen die Anforderungsprofile für die zuvor identifizierten Springeraufgaben (siehe Abschnitt 5.2.1) aufbauen: fachliche Qualifikation, Berufserfahrung, Fach- und Spezialkenntnisse, Denken, Handlungsspielraum/Verantwortung, Kommunikation, Mitarbeiterführung.

Tabelle 3: Darstellung der Anforderungsarten nach dem summarischen und analytischen Verfahren sowie dem REFA- und Genfer Schema

	Analytische Verfahren	Summarische Verfahren	REFA	Genfer Schema
Anforderungsarten der jeweiligen Verfahren	Wissen & Können	Fachliche Qualifikation	Kenntnisse	Geistige Anforderungen
		Berufserfahrung	Geschicklichkeit	Körperliche Anforderungen
		Fach- & Spezialkenntnisse	Muskelmäßige Belastung	
	Denken	Handlungs- und Entscheidungsspielraum	Geistige Belastung	Geistige Anforderungen
	Handlungsspielraum/ Verantwortung		Verantwortung	Verantwortung
	Kommunikation			
	Mitarbeiterführung			
		Umgebungseinflüsse	Umgebungseinflüsse	

Nach HEBELER, HOOD & MISLING (2004, S. 42 f.) muss bei der Formulierung von Anforderungen auf eine gewisse Struktur geachtet werden, damit diese eindeutig zu verstehen sind und eine belastbare Aussagekraft besitzen. Eine Anforderung wird durch einen vollständigen Satz, bestehend aus Subjekt und Prädikat, beschrieben. Das enthaltene Verb gibt Aufschluss über die Wichtigkeit der Anforderung, d. h. eine Anforderung mit dem Verb *muss* stellt eine Zwangsbedingung dar, wohingegen das Verb *sollte* einen Wunsch ausdrückt. Des Weiteren empfiehlt HEBELER ET AL. (2004, S. 43), Schachtelsätze zu vermeiden, in denen mehrere Anforderungen gleichzeitig aufgeführt sind. Angaben, an denen die Anforderungen ausgerichtet sind, müssen quantifizierbar sein, d. h. deren Einhaltung muss belegbar sein. Eine Anforderung, die beispielsweise besagt, dass in einer Datenbank alle Daten enthalten sein müssen, ist nicht messbar, da die genaue Datenspezifikation fehlt. Die nachfolgenden Springeranforderungsprofile (siehe Anhang - Abbildung 68 - Abbildung 70) wurden anhand der zuvor erläuterten Richtlinien nach HEBELER ET AL. (2004) formuliert.

Anforderungsprofil – Ersatzspringer

Die Merkmalsausprägung der zuvor genannten Anforderungsarten hängt sowohl von der wertschöpfenden Tätigkeit am jeweiligen Arbeitsplatz als auch von der Springeraufgabe (siehe Abschnitt 5.2.2) ab. Ein Ersatzspringer hat die Aufgabe,

einen Mitarbeiter des Stammpersonals während seiner Abwesenheit zu ersetzen. Dabei übernimmt er dessen kompletten Arbeitsumfang und muss alle Tätigkeiten in der vorgegebenen Qualität und Quantität ausführen. Darüber hinaus ist es seine Aufgabe, im Bedarfsfall und auf Anweisung an verschiedenen Stationen auszuhalten. Daraus kann das in Abbildung 68 (siehe Anhang) beschriebene Anforderungsprofil abgeleitet werden.

Anforderungsprofil – Kapazitätsspringer

Ein Kapazitätsspringer hat die Aufgabe, im Bedarfsfall in einer Arbeitsstation das Stammpersonal zu unterstützen (siehe Abschnitt 5.2.2). Dazu müssen im Vorfeld durch die Planung Tätigkeiten bzw. standardisierte Abfolgen definiert werden, die der Springer an diesen Stationen übernimmt. Zum einen werden so die Arbeitsinhalte klar zugewiesen und zum anderen wird eine prognostizierbare Prozessstabilität erreicht. Für die Produktivität ist es wichtig, dass ein Ersatzspringer die geforderte Qualität umsetzen kann. Die Quantität steht dabei nicht im Vordergrund, da ein Kapazitätsspringer nur einen Anteil von Tätigkeiten parallel zum Stammpersonal übernimmt. Das Überlappen von Tätigkeiten spart Zeit ein, somit ist das Einhalten der Soll-Zeiten keine notwendige Voraussetzung. Im Normalfall ist es jedoch so, dass ein Mitarbeiter, der die Qualitätsanforderungen erfüllen kann, nicht erheblich länger als die Soll-Zeiten für die Durchführung benötigt. Dieser Zusammenhang ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. Abbildung 69 (siehe Anhang) zeigt das Anforderungsprofil für Kapazitätsspringer.

Anforderungsprofil – Wissensspringer

Ein Wissensspringer hat zwei Aufgaben in seiner Rolle als Springer. Zum einen fungiert er als Mentor, indem er seinem Mentee Wissen vermittelt und ihm für Fragen zur Verfügung steht. Zum anderen muss er die Tätigkeiten an der Arbeitsstation von seinem Mentee übernehmen, falls dieser die geforderte Qualität sowie Quantität nicht einhalten kann und die Produktivität der Linie gefährdet ist (siehe Abschnitt 5.2.2). Die Einsatzorte und -zeitpunkte werden dem Springer vorgegeben; die Entscheidung darüber, welche Anweisungen bzw. Hinweise er dem Mentee gibt und ab welchem Zeitpunkt er dessen Tätigkeit übernimmt, muss der Wissensspringer eigenständig treffen. Die Wissensvermittlung sowie die vollständige Tätigkeitsübernahme setzen eine gewisse Erfahrung und Arbeitsroutine voraus, damit die geforderte Qualität und die Quantität sichergestellt sind. Nachfolgend ist

das Anforderungsprofil eines Wissensspringers beschrieben (siehe Anhang - Abbildung 70).

5.3 Ergebnis: Quantifizierbares Gesamt-Springeranforderungsprofil

 Anforderungsprofile stellen die Referenz zu benötigten Qualifikationen dar, welche die Mitarbeiter zur Erfüllung einer Aufgabe besitzen müssen. Damit der Abgleich zwischen beiden Profilen erfolgen kann, bedarf es einer einheitlichen Vergleichsbasis. Somit müssen die Springeranforderungsprofile wie in Abschnitt 5.2.3 beschrieben in quantifizierbare Anforderungsprofile überführt werden, damit sie sich mit den Qualifikationsmatrizen decken.

Wie bereits in Abschnitt 5.2.2 erläutert müssen Springer einerseits die Tätigkeiten am Arbeitsplatz und andererseits springerspezifische Aufgaben erfüllen. Die in Abschnitt 5.2.3 definierten Anforderungsarten werden demnach in diese beiden Kategorien unterteilt:

- (1) arbeitsplatzspezifische Anforderungsarten,
- (2) springerspezifische Anforderungsarten.

Zu den arbeitsplatzspezifischen Anforderungsarten zählen die fachliche Qualifikation, Berufserfahrung sowie Fach- und Spezialkenntnisse. Mithilfe dieser Anforderungsarten erfolgt die Messung, wie gut ein Mitarbeiter die Tätigkeiten an einer Station ausüben kann. Springerspezifische Anforderungsarten sind durch Denken, Handlungsspielraum/Verantwortung und Kommunikationsfähigkeit geprägt. Diese Arten haben keinen direkten Bezug zu einem Arbeitsplatz, sie gelten stationsübergreifend. Daher müssen arbeitsplatzspezifische Anforderungsarten für jeden Arbeitsplatz erhoben werden, springerspezifische Anforderungsarten dagegen nur ein Mal pro Springeranforderungsprofil. Nachfolgend ist sowohl die Modellierung des arbeitsplatzspezifischen Teils als auch die des springerspezifischen Teils der Anforderungsprofile dargestellt.

(1) Springeranforderungsprofile – Arbeitsplatzspezifischer Teil

Bei den arbeitsplatzspezifischen Anforderungsarten handelt es sich um Anforderungen, welche alle den Grad der Arbeitsplatzbeherrschung adressieren. Für die Bewertung, ob eine Person die Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz übernehmen

kann, sind die Anforderungsarten nicht im Detail erforderlich. Daher wird aus Aufwand-Nutzen-Sicht auf eine Einzelbewertung aller Anforderungsarten verzichtet und anstelle einer gemeinsamen Bewertung unter dem Begriff *Arbeitsplatzbeherrschung* durchgeführt. In Abschnitt 5.1.2 wurden bereits Möglichkeiten zur Beschreibung von Qualifikationsprofilen erläutert. Die hier vorliegende Arbeit folgt dem Verfahren von BUCK UND WITZGALL (2013, S. 404). Deren Skalierungsvorschrift drückt die Aufnahme der personellen Qualifikationsgrade in Bezug auf die Arbeitsplatzbeherrschung aus. Die Einstufung des vorhandenen Qualifikationsgrads erfolgt somit auf der Arbeitsstationsebene und erlaubt eine Aussage darüber, inwiefern der Mitarbeiter die Arbeitsplatzanforderungen in Quantität und Qualität beherrscht und ob dieser ggf. sein Wissen an Kollegen weitergeben kann. Ein Vergleich dieser Unterscheidungsmerkmale mit den Ausprägungen der Springeranforderungsprofile zeigt, dass sich die Springeranforderungen mit dem Ansatz von Buck und Witzgall gut beschreiben lassen. Dennoch muss eine Anpassung bezüglich der Darstellung erfolgen. Die ursprünglich von Buck und Witzgall verwendeten Symbole zur Abstufung des Qualifikationsgrads (siehe Abbildung 17 und Abschnitt 5.1.2) sind für eine spätere Einbindung in das Simulationsmodell nicht praktikabel. Daher werden diese in eine mathematisch beschreibbare Skalierung (Stufen) überführt und zur Bewertung der *Arbeitsplatzbeherrschung* verwendet:

- 0 = keine Kenntnisse und Verständnis vorhanden
- 1 = kennt und versteht alle Arbeitsplätze
- 2 = führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität aus
- 3 = führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität und Quantität aus
- 4 = beherrscht alle erforderlichen Qualifikationen des Arbeitsplatzes und gibt sein Wissen an die übrigen Teammitglieder weiter

Überträgt man diese Skalierung auf die Anforderungsprofile aus Abschnitt 5.2.3, ergibt sich folgende Logik (siehe Tabelle 4). Ein Kapazitätsspringer muss Stufe 2 erfüllen, da er die Qualität am jeweiligen Arbeitsplatz erreichen muss. Ein Ersatzspringer muss neben der Qualität auch die Quantität leisten, weshalb die Anforderung an ihn Stufe 3 entspricht. Ein Wissensspringer dagegen muss alle erforderlichen Qualifikationen am Arbeitsplatz beherrschen und darüber hinaus sein Wissen an Mentees weitergeben, deshalb bedarf es für ihn Stufe 4.

Tabelle 4: Arbeitsplatzspezifischer Teil aus dem Gesamt-Anforderungsprofil

Anforderungsart	Kapazitäts- springer 	Ersatz- springer 	Wissens- springer 
Arbeitsplatz- beherrschung	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4

(2) Springeranforderungsprofile – Springerspezifischer Teil

Springerspezifische Anforderungsarten (Denken, Handlungsspielraum/Verantwortung, Kommunikationsfähigkeit und Mitarbeiterführung) lassen sich stationsübergreifend für jedes Springeranforderungsprofil bewerten. Die Quantifizierung der in Abschnitt 5.2.3 textuell beschriebenen Anforderungsarten erfolgt anhand einer vierstufigen Bewertungsvorschrift:

- **kein:** kein Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart
- **gering:** ein geringer Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart
- **mittel:** ein mittlerer Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart
- **hoch:** ein hoher Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart

Als Bewertungsgrößen werden Denkvermögen, Handlungsspielraum, Kommunikationsfähigkeit/-bereitschaft und Mitarbeiterführung verwendet. Die Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die textuell beschriebenen Anforderungsarten in den jeweiligen Anforderungsprofilen (siehe Abbildung 68 - Abbildung 70) liefert das in Tabelle 5 dargestellte Ergebnis. Ein Wissensspringer benötigt beispielsweise ein höheres Denkvermögen als ein Kapazitätsspringer. Dieser muss wiederum ein mittleres Denkvermögen besitzen, ansonsten kann er die Anforderungen nicht erfüllen. Es gibt aber auch Anforderungsarten, die keinen Qualifikationsgrad voraussetzen, z. B. die Mitarbeiterführung bei Ersatz- und Kapazitätsspringer.

Tabelle 5: Springerspezifischer Teil aus dem Gesamt-Anforderungsprofil

5.3 Ergebnis: Quantifizierbares Gesamt-Springeranforderungsprofil

Anforderungsarten	Kapazitäts-springer	Ersatz-springer	Wissens-springer
Denken	mittleres Denkvermögen	mittleres Denkvermögen	höheres Denkvermögen
Handlungsspielraum/Verantwortung	kein Handlungsspielraum	kein Handlungsspielraum	geringer Handlungsspielraum
Kommunikation	mittlere Kommunikationsfähigkeit/-bereitschaft	mittlere Kommunikationsfähigkeit/-bereitschaft	höhere Kommunikationsfähigkeit/-bereitschaft
Mitarbeiterführung	keine Mitarbeiterführung	keine Mitarbeiterführung	geringe Mitarbeiterführung (Anlernen)

- Kein = kein Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart ist notwendig
- Gering = ein geringer Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart muss vorliegen
- Mittel = ein mittlerer Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart muss vorliegen
- Hoch = ein hoher Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart muss vorliegen

Ergebnis: Quantifizierbares Gesamt-Springeranforderungsprofil

Abschließend lässt sich aus den Erkenntnissen ein ganzheitliches Anforderungsprofil (inklusive der einzelnen Springeranforderungsprofile) ableiten, welches als Referenz für den Soll-/Ist-Vergleich zwischen Anforderungsprofil und Qualifikationsmatrix dient (siehe Anhang Abschnitt 11.3, Abbildung 71). In Abbildung 21 ist das Gesamtprofil schematisch dargestellt (siehe Bedeutung Ideogramme in Tabelle 5). Der obere Teil umfasst die stationsbezogenen Anforderungsarten, darunter sind die springerspezifischen. Auf der linken Seite ist die Qualifikationsmatrix zur Aufnahme der mitarbeiterindividuellen Qualifikationen abgebildet.

		Springeranforderungsprofile				Qualifikationsmatrix (mitarbeiterbezogen)		
		Kapazität (SOLL)	Ersatz (SOLL)	Wissen (SOLL)	Qualifikationsgrade (IST)	Qualifikationsgrade (IST)		
		Anforderungsarten			(IST)	Station 1	Station 2	Station n
stationsbezogen	Arbeitsplatzbeherrschung	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4				
	Denken							
stationsübergreifend	Handlungsspielraum/Verantwortung							
	Kommunikation							
	Mitarbeiterführung							

Abbildung 21: Gesamt-Springeranforderungsprofil

6 Modell II – Bedarfsidentifikationsmodell

Modell II fokussiert sich auf die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage (siehe Abbildung 22). Dafür wird eine Bedarfsidentifikationslogik entwickelt, die in ein Simulationsmodell integriert wird. Diese Logik gibt ein Verfahren vor, wie Springerbedarfe simulationsbasiert und in Abhängigkeit der zuvor erläuterten Anforderungsprofile ermittelt werden können.

Der erste Abschnitt des sechsten Kapitels (Abschnitt 6.1) schafft das grundlegende Verständnis, welche zum Aufbau der Logik erforderlich ist. Dazu gehören Grundkenntnisse im Bereich der Simulation und Ablaufmodellierung. Zudem wird der Betrachtungsrahmen, auf dem die Bedarfsidentifikationslogik aufbaut, festgelegt. Die Entwicklung des Modells basiert auf drei Logiken (Auswahl-, Einsatz- und Zuweisungslogik), deren Aufbau in Abschnitt 6.2 beschrieben ist.

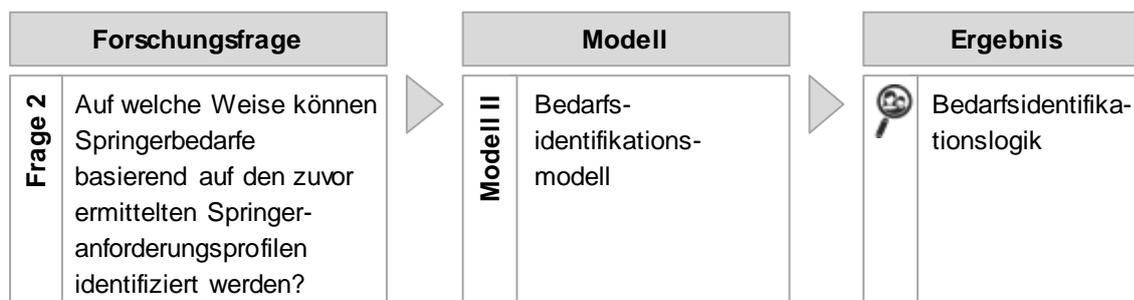


Abbildung 22: Modell II – Bedarfsidentifikationslogik für Springereinsätze

6.1 Grundlagen

6.1.1 Simulation als Werkzeug zur Abbildung des Montageablaufs

Nach der VDI-RICHTLINIE 3633B stellt die Simulation das „Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell“ dar mit dem Ziel, gewonnene Erkenntnisse auf die Wirklichkeit zu übertragen. Als Ausgangspunkt wird das reale/geplante System genutzt, welches durch das Aufeinandertreffen von Annahmen und Vereinfachungen in ein Simulationsmodell überführt wird. Ergebnisse werden durch die Simulation (sog. *Simulationsexperimente*) generiert. Im Fall der Verwendung von stochastischen Größen müssen Simulationsexperimente mehrmals durchgeführt werden, da die Ergebnisse von Zu-

fallsvariablen abhängen und diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten eintreten können. Danach werden die Ergebnisse ausgewertet und anhand zuvor definierter Kennwerte interpretiert. Anschließend können diese auf das reale System übertragen werden, d. h. in der Praxis Anwendung finden (ELEY 2012, S. 4 F.; HALUBEK 2012, S. 14 F.).

Die Vorteile einer Simulation sind beispielsweise das vorherige Testen ohne Eingriff in reale Produktionsprozesse, die Erfassung der Systemkomplexität bei dynamischem Verhalten und somit das Schaffen einer Entscheidungsgrundlage (ELEY 2012, S. 6; PAGE 1991, S. 21 F.). Die Dynamik von Montageprozessen sowie die Vielfalt an Ursachen für Springereinsätze haben dazu geführt, dass ein simulationsbasierter Ansatz zur Lösung des vorliegenden Problems gewählt wurde. Grundsätzlich lassen sich Simulationen anhand ihrer Zustandsübergänge durch folgende Kriterien klassifizieren (LAW 2015, S. 5 F.; PAGE 1991, S. 6):

- statisch/dynamisch,
- deterministisch/stochastisch,
- kontinuierlich/diskret.

Statische Simulationsmodelle bilden im Gegensatz zu *dynamischen* keine zeitliche Abhängigkeit ab, d. h. es treten keine Zustandsänderungen auf (HALUBEK 2012, S. 13). Bei *deterministischen* Modellen ist das Verhalten auf bestimmte Eingaben eindeutig bestimmbar, *stochastische* Modelle liefern dagegen keine exakt vorhersehbaren Werte, da diese über eine Wahrscheinlichkeitsverteilung festgelegt werden (PAGE 1991, S. 6). Stellt ein Modell Zustandsänderungen stetig (zeitabhängig) dar, handelt es sich um eine *kontinuierliche* Simulation. Bei sprunghaft, an bestimmten Zeitpunkten erfolgenden Zustandsänderungen wird von einem *diskreten* Verhalten gesprochen (PAGE 1991, S. 6; HALUBEK 2012, S. 13). Abbildung 23 zeigt die Klassifizierung der genannten Zustandsänderungsarten in einer hierarchischen Zusammenfassung.

Diskrete Modelle finden insbesondere in den Ingenieurwissenschaften eine breite Anwendung, da sich z. B. der dynamische Ablauf von Montageprozessen durch zeitpunktbezogene Änderungen relativ einfach abbilden lässt. Zur Modellierung muss jedoch der Bezug zwischen Zeitablauf und Zustandsänderung in Relation zueinander gesetzt werden (PAGE 1991, S. 26). Diese kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Als wesentliche Ansätze sind dazu in der Literatur die folgenden zu finden (VDI-RICHTLINIE 3633A, S. 15; PAGE 1991, S. 27; HALUBEK 2012, S.

14): ereignisorientierter Ansatz, transaktionsorientierter Ansatz, aktivitätsorientierter Ansatz, prozessorientierter Ansatz.

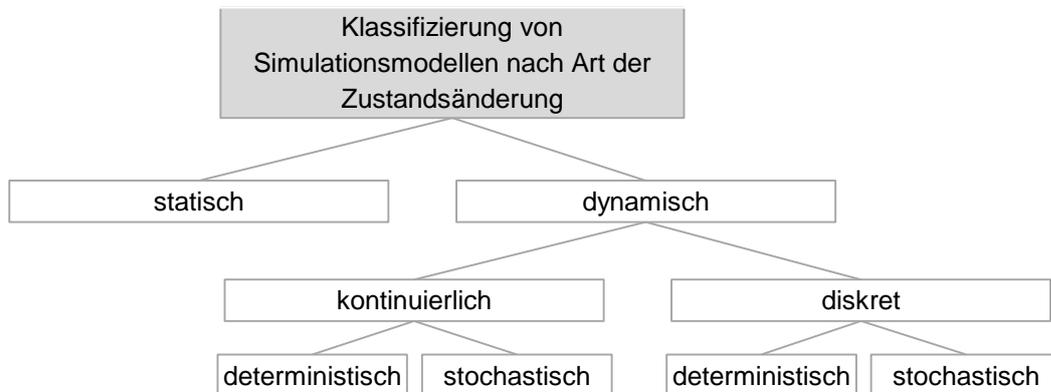


Abbildung 23: Klassifizierung von Simulationsmodellen

Ereignisorientiert bedeutet, dass das Systemverhalten über „Zustandsänderungen beim Eintritt von Ereignissen“ abgebildet wird (MÄRZ, KRUG, ROSE & WEIGERT 2011, S. 14). Das Eintreffen eines Bearbeitungselements an einer Station stellt beispielsweise ein solches Ereignis dar. Blöcke mit fest vorgegebenen Funktionen (statische Systemkomponenten, z. B. Maschinen) und Transaktionen (dynamische Systemkomponenten) sind die beiden Kernelemente des *transaktionsorientierten Modells* (PAGE 1991, S. 32). Eine Zustandsänderung ergibt sich durch die Transaktionen, welche während des Durchlaufens der Blöcke ihre Parameter verändern können (HALUBEK 2012, S. 14). Bei der *aktivitätsorientierten* Sichtweise wird davon ausgegangen, dass Systemelemente (z. B. Maschinen) zwischen zwei Ereignissen eine Aktivität ausführen (FRIEDRICH 2013, S. 63). Dabei ist ihr Startzeitpunkt fixiert und das Ende ergibt sich aus der Ausführungsdauer (WITTE, CLAUS & HELLING 1994, S. 20). In *prozessorientierten* Modellen werden Abläufe von Ereignissen (= zum Objekt gehörende Aktivitäten mit Objektattributen) zu einem Prozess zusammengefasst (WALDMANN & HELM 2016, S. 92). Der Prozess führt in seiner aktiven Phase Zustandsänderungen durch, die zeitverzugslos, d. h. ohne Weiterlaufen der Simulationsuhr, erfolgen (PAGE 1991, S. 30 F.). Die Eigenheit dieser Modellierung ist die Inaktivsetzung von Prozessen, wodurch diese nach Beendigung der Zustandsänderung bestehen bleiben und somit zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt werden können.

Für die Produktionsplanung besitzt die ereignisdiskrete Simulation die größte Relevanz. Nach MÄRZ ET AL. (2011, S. 14) werden in diesem Bereich meist „Anla-

gen oder Abläufe simuliert, die das dynamische Verhalten des Systems unter Verwendung stochastischer Komponenten mit Zustandsänderungen an diskreten Zeitpunkten abbilden“. Da die in Abschnitt 6.2 entwickelte Logik Springerbedarfe im Fall von Taktzeitüberschreitungen identifiziert und diese Zeitüberschreitungen Ereignisse darstellen, wurde als Entwicklungsumgebung ein ereignisdiskretes Simulationsmodell gewählt.

Zur Modellierung von Montageabläufen existieren in der Praxis zahlreiche kommerzielle Simulationssoftwaretools (z. B. Technomatix Plant Simulation), welche ereignisdiskret arbeiten und durch die vordefinierte Entwicklungsumgebung eine Anwendung erleichtern. Im Rahmen dieser Arbeit wurde zur Umsetzung des Anwendungsbeispiels die Software *Technomatix Plant Simulation* verwendet (siehe Kapitel 8). Dadurch, dass die Software keine Auswirkung auf die Anwendungsqualität der entwickelten Modelle hat, wurde keine Entscheidungsmatrix erstellt, sondern eine bereits mit Lizenzen verfügbare Software eingesetzt. Im Fokus der Arbeit steht die Modellierung der Flussdiagramme in denen die Funktionsweise der Bedarfsidentifikationslogik beschrieben ist. Somit dient die Software selbst nur als Werkzeug, mit dem eine rechnergestützte Anwendung der entwickelten Logik möglich wird. Der Aufbau eines Simulationsmodells ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, weshalb an dieser Stelle auf Fachliteratur verwiesen sei (z. B. BANGSOW 2011).

6.1.2 Die Rolle der Bedarfsidentifikationslogik innerhalb eines Simulationsmodells

Die *Bedarfsidentifikationslogik* stellt kein eigenständiges *Simulationsmodell* dar (siehe Abbildung 24). Die Logik wird in Form von Methodenbausteinen in ein bestehendes Modell integriert, um auf Basis eines bereits im Simulationsmodell abgebildeten Montageablaufs (*Montagesystemmodell*) den Zeitpunkt der Taktzeitüberschreitung zu identifizieren und Springer (inklusive Drifter) einem Arbeitsplatz zu zuweisen. Aufgabe der Logik ist somit das Erkennen von Taktzeitüberschreitungen sowie die bedarfsgerechte Zuordnung von Springern und Driftern.

Als Schnittstelle zwischen dem bestehenden Modell und der Logik fungiert ein *Datenmodell*, auf das beide Elemente zugreifen. Inhalte des Datenmodells, welche für die Bedarfsidentifikationslogik relevant sind, werden ihm Rahmen der Ergebnispräsentation in Abschnitt 6.3 dargelegt. Das Montagesystemmodell verarbeitet

relevante Eingangsdaten aus der Datenbank zur Simulation des Montageablaufs, und sobald eine Ursache (Ereignis) für das Überschreiten der Taktzeit eintritt, wird die Bedarfsidentifikationslogik aufgerufen. Sie bezieht über das Datenmodell notwendige Systemdaten, verarbeitet diese und meldet dem Montagesystem die daraus resultierende Springer-/Drifterzuweisung zurück. Die Zuweisungen werden gespeichert und am Ende des Simulationslaufs als Kapazitätsbedarf tabellarisch ausgegeben.

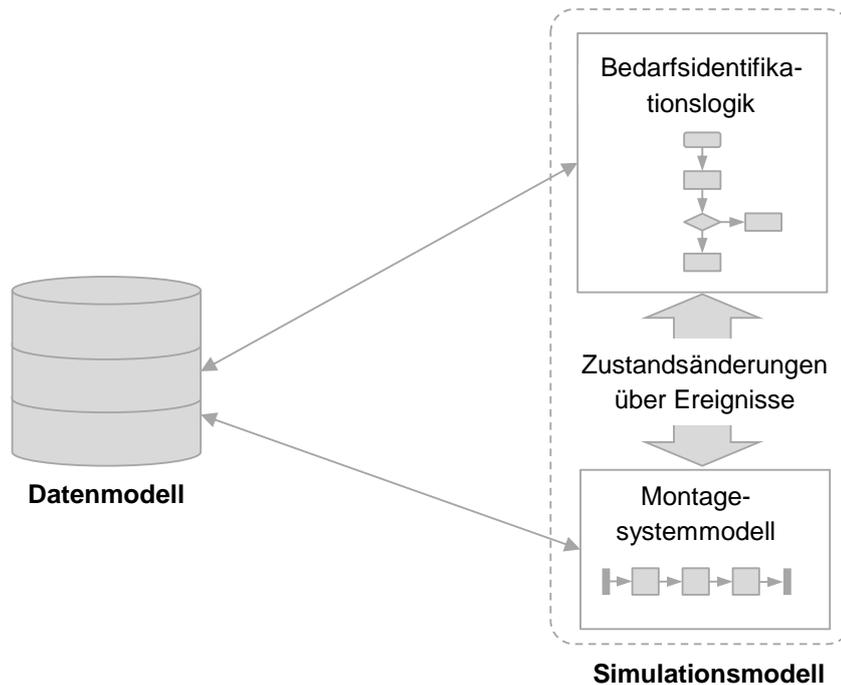


Abbildung 24: Bedarfsidentifikationslogik als Teil eines Simulationsmodells

6.1.3 Das Flussdiagramm als Werkzeug zur strukturierten Ablaufplanung

Die zu entwickelnde Bedarfsidentifikationslogik besteht aus zahlreichen Operationen, auf deren Basis ursachenbezogenen Entscheidungen hinsichtlich der Springer- bzw. Drifterauswahl getroffen werden. Damit diese Operationen strukturiert in eine Programmierung überführt werden können, bedarf es einer formalen Beschreibung der Abläufe. Dafür können diverse Formalismen genutzt werden, z. B. das Flussdiagramm oder das Nassi-Shneiderman-Diagramm. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das *Flussdiagramm* gewählt, da dieses auf dem Programmablaufplan nach DIN 66001 aufbaut und in der Praxis bereits als Werkzeug etabliert ist. Eine

detaillierte Erläuterung zu den zugehörigen Modellierungsvorschriften ist im Anhang (siehe Abschnitt 11.2.2) zu finden.

6.1.4 Beschreibung der gewählten Montagesystemebenen zur Modellierung

In Abschnitt 4.2 wurden bereits der Betrachtungsrahmen für den Einsatz der Methode sowie die Modelle beschrieben. Aus den Vorschriften zur Montagesystemgestaltung ergeben sich grundlegende Leitplanken für den Aufbau und die Funktionsweise des im Rahmen dieser Arbeit benötigten Simulationsmodells. Neben den Ausprägungsmerkmalen, z. B. Taktbindung, starre Verkettung oder Einzelstückfluss, spielt die Gestaltung der Systemebenen ebenfalls eine zentrale Rolle (siehe Abschnitt 2.1.1).

Je nachdem, welche Ebenen in einer zeitlichen Verkettung stehen, verändert sich die Funktionsweise des Simulationsmodells sowie der Bedarfsidentifikationslogik. Diese Arbeit beschränkt sich bei der Identifikation von Springerbedarfen auf die Betrachtung eines Segments (= Hauptmontagelinie) innerhalb eines Montagesystems. Dennoch können weitere Segmente des Montagesystems (= Vormontagen) in das Simulationsmodell einbezogen werden, sofern diese zeitlich über Puffer entkoppelt sind. Segmente lassen sich in folgende drei Systemebenen weiter unterteilen:

- Montagebereichen innerhalb eines Segments,
- Montagestationen innerhalb eines Bereichs,
- Arbeitsplätzen innerhalb einer Station.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird auf der Ebene der Montagebereiche die Taktung vorgegeben. Das bedeutet, dass einzelne Montagebereiche zeitlich miteinander verkettet sind (Taktzeit) und innerhalb eines Bereichs keine Taktbindung besteht (siehe Abbildung 25). Somit können Taktzeitüberschreitungen immer nur auf Montagebereichsebene auftreten.

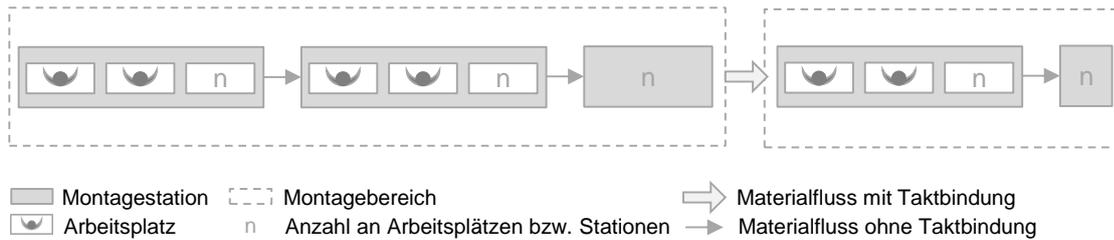


Abbildung 25: Darstellung der zeitlichen Verkettung von Montagebereichen

Mit dieser Modellierungsvorschrift lassen sich zahlreiche Anwendungsfälle aus der Praxis abbilden, wodurch die Anforderung an die Skalierbarkeit gewährleistet wird. Sind beispielsweise einzelne Arbeitsplätze getaktet, besteht jeder Montagebereich immer nur aus einer Station und einem Arbeitsplatz. Arbeiten mehrere Werker an einem Produkt innerhalb einer Station, die mit den benachbarten Stationen zeitlich verkettet ist, so besitzt jeder Montagebereich eine Station und mehrere Arbeitsplätze.

6.2 Entwicklung der Bedarfsidentifikationslogik für Springereinsätze

Kapitel 6 befasst sich mit der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage, welche bereits in Abschnitt 1.2 vorgestellt wurde und wie folgt lautet: Auf welche Weise können Springerbedarfe, basierend auf den zuvor ermittelten Springeranforderungsprofilen, ermittelt werden?

In Kapitel 5 wurden Anforderungsprofile für Springer in Abhängigkeit diverser Ursachen definiert. Die Bedarfsidentifikationslogik ermittelt simulationsbasiert, ob eine Ursache für Taktzeitüberschreitung eintritt, und wählt je nach Ursache einen geeigneten Springer aus. Diese Auswahl erfolgt mithilfe von drei Logiken (siehe Abbildung 26).

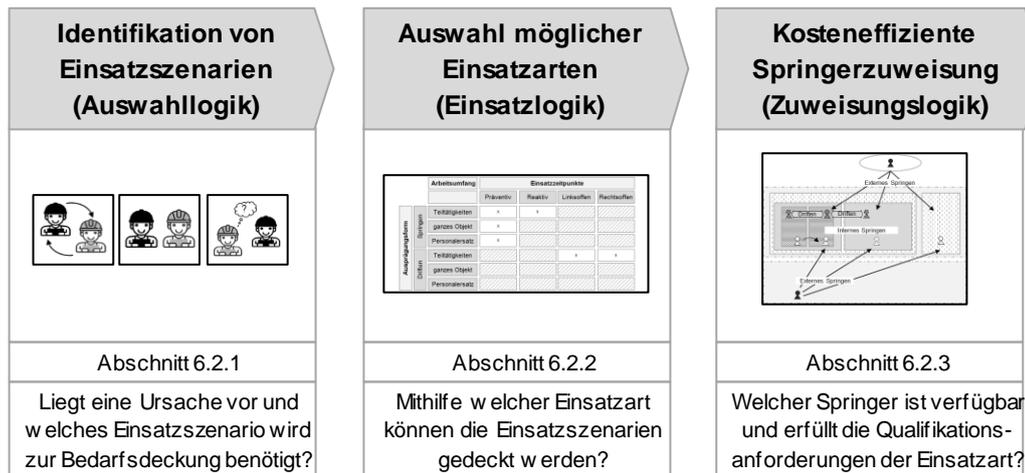


Abbildung 26: Vorgehen zur Entwicklung der Bedarfsidentifikationslogik

Im ersten Schritt wird mithilfe der Auswahllogik ein passendes Einsatzszenario ausgewählt. Ein Einsatzszenario ist beispielsweise das Ersatzszenario, bei dem ein Springer einen Mitarbeiter ersetzt. Danach greift die Einsatzlogik, mit der für das bereits ermittelte Einsatzszenario eine mögliche Einsatzart ausgewählt wird. Eine Einsatzart gibt beispielsweise vor, ob ein präventiver oder reaktiver Springereinsatz benötigt wird. Als Ergebnis der Einsatzlogik können mehrere Einsatzarten zur Deckung eines Springereinsatzes infrage kommen. Welche Option gewählt wird, hängt z. B. von den vorhandenen Personalressourcen ab. Die finale Auswahl einer Einsatzart wird anschließend durch die Zuweisungslogik übernommen.

6.2.1 Bedarfsgerechte Auswahl von Springereinsatzszenarien (Auswahllogik)



Im Folgenden wird der Aufbau der Auswahllogik zur bedarfsgerechten Auswahl von Einsatzszenarien erläutert. Zunächst werden die Ursachen aus Abschnitt 5.2.1 aufgegriffen und aus Komplexitätsgründen konsolidiert. Anschließend erfolgt die Erhebung von Prognose-Indikatoren, anhand derer die Ursachen während der Simulation identifiziert werden können. Für eine bedarfsgerechte Auswahl von Einsatzszenarien ist es notwendig, Ursachen mit Szenarien zu verknüpfen, weswegen eine Verknüpfungsmatrix erstellt wurde. Da unterschiedliche Ursachen auch gleichzeitig eintreten können, kann es sein, mehrere Einsatzszenarien miteinander kombinieren zu müssen. Darauf aufbauend wird im Anschluss die Auswahllogik entwickelt und anhand von Flussdiagrammen schrittweise beschrieben. Eine detaillierte Erläuterung

zur Erstellung von Flussdiagrammen ist dem Anhang zu entnehmen (siehe Abschnitt 11.2.2). Zusammenfassend lassen sich folgende inhaltliche Aspekte festhalten:

- (1) Konsolidierung von Ursachen für Taktzeitüberschreitungen
- (2) Ermittlung von Prognose-Indikatoren für das Eintreten der Ursachen
- (3) Bedarfsgerechte Zuordnung der Einsatzszenarien zu Ursachen
- (4) Bedarfsgerechte Auswahllogik für Springereinsatzszenarien

(1) Konsolidierung von Ursachen für Taktzeitüberschreitungen

Die in Abschnitt 5.2.1 ermittelten Ursachen lassen sich nach Mensch, Betriebsmittel und Produkt kategorisieren. In der Kategorie Mensch sind ungeplante/geplante Pausen, Leistungswandlung und Qualifikationsdefizite aufgeführt. Planmäßige sowie nicht planmäßige Störungen, Verschleiß und technische Grenzen können den Betriebsmitteln zugeordnet werden. Das Produkt verursacht durch variantenbezogene Zeitspreizungen Taktzeitüberschreitungen.

Eine Analyse der Ursachen hat ergeben, dass sich die Anzahl auf sieben wesentliche Ursachen reduzieren lässt. So können Leistungswandlung und Qualifikationsdefizit unter der Ursache *Leistungsgrad* zusammengefasst werden und die Ursache *Verschleiß* ist Bestandteil ungeplanter Störungen. Nachfolgend ist die Herleitung zur Konsolidierung der Ursachen beschrieben. Zur Entwicklung der Bedarfsidentifikationslogik werden folgende Ursachen berücksichtigt:

- ungeplante Pause
- geplante Pause
- Leistungsgrad des Menschen (Leistungswandlung + Qualifikationsdefizit)
- ungeplante Störung (inklusive Verschleiß)
- geplante Störung
- technischer Leistungsgrad
- variantenbezogene Zeitspreizung

Der Verschleiß von Anlagen steht in engem Zusammenhang mit dem Ausfall einer Anlage, den die sog. *Ausfallrate* beschreibt. Die Ausfallrate drückt die Zuverlässigkeit einer Anlage durch die Häufigkeit von Ausfällen pro Zeitspanne aus. In der Praxis wird die Ausfallrate von Anlagen über die gesamte Lebensdauer in Form einer sog. *Badewannenkurve* dargestellt (BERTSCHE & LECHNER 2004, S. 23). Ausfälle während der Lebensdauer einer Anlage können nach drei Arten unter-

schieden werden: Frühausfälle, Zufallsausfälle sowie Verschleiß-/Ermüdungsausfälle (VDI-RICHTLINIE 4010). In Abbildung 27 ist dieser Zusammenhang grafisch dargestellt und mit je einem Beispiel hinterlegt. Die Darstellung verdeutlicht, dass der Verschleiß von Anlagen der Grund für Ausfälle bzw. ungeplante Störungen in der dritten Phase ist und somit im Weiteren nicht als eigene Ursache für Taktzeitüberschreitungen berücksichtigt werden muss.

Die Ursachen *Leistungswandlung* und *Qualifikationsdefizit* resultieren beide in einer langsameren Prozessausführungszeit. Dieser zeitliche Anteil kann durch den sog. *Leistungsgrad des Menschen* festgelegt werden. Nach REFA drückt der menschliche Leistungsgrad „das Verhältnis von beeinflussbarer Ist- zur beeinflussbaren Bezugsmengenleistung (Soll) in Prozent aus“ (REFA 1997, S. 126). Demnach gibt der menschliche Leistungsgrad (LG_{Mensch}) Aufschluss darüber, wie durchschnittlich geeignet bzw. geübt das zur Verfügung stehende Personal ist. Der Prozentsatz hängt von den individuellen Fähig- und Fertigkeiten sowie der Leistungsbereitschaft eines Mitarbeiters ab. In der Regel liegt der Leistungsgrad innerhalb eines standardisierten Beurteilungsbereichs zwischen 80 und 135 Prozent.

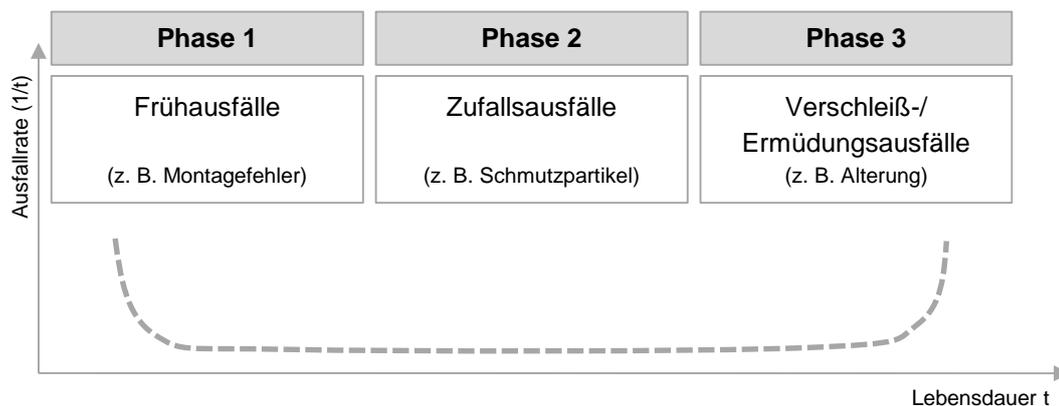


Abbildung 27: Badewannenkurve (in Anlehnung an BERTSCHE & LECHNER 2004, S. 24)

(2) Ermittlung von Prognose-Indikatoren für das Eintreten der Ursachen

Wie in Abschnitt 6.1.1 erläutert verändern sich Zustände im Rahmen der ereignisdiskreten Simulation durch das Auftreten eines Ereignisses, welches in diesem Fall durch die zuvor gelisteten Ursachen initiiert wird. Zur Ermittlung des Eintrittszeitpunkts müssen die Ursachen hinsichtlich ihrer Prognostizierbarkeit analysiert werden. Liegen kausale Zusammenhänge vor, so kann das Eintreten der Ursache zeitpunktbezogen im Vorhinein ermittelt werden (*planbare Ursachen*). Unterliegen Ereignisse dem Zufall, kann deren Eintrittszeitpunkt nicht im Vorfeld eindeutig

bestimmt werden (*nicht planbare Ursachen*), weshalb stochastische Ansätze herangezogen werden müssen (siehe Abschnitt 2.1.4). In Tabelle 6 sind die für die Identifikationslogik relevanten Ursachen gemäß ihrer Prognostizierbarkeit aufgeteilt und mit Prognose-Indikatoren hinterlegt.

Der Zeitpunkt geplanter Pausen wird im Rahmen der Schichtplanung festgelegt, wodurch vor Schichtbeginn feststeht, an welchem Tag welcher Mitarbeiter an einem Arbeitsplatz eingeteilt ist und zu welcher Uhrzeit ihm Pausen zustehen. Bezogen auf die Simulation bedeutet dies, dass im Fall einer Pause deren Zeitpunkt vor Schichtantritt bereits vorliegt und das Eintreten der Ursache direkt terminiert werden kann. Analog dazu verhält sich das Auftreten von geplanten Störungen, welche beispielsweise durch Rüstvorgänge oder Wartungsarbeiten entstehen. Damit Produktivitätsverluste so gering wie möglich ausfallen, wird im Vorfeld der optimale Zeitpunkt mithilfe von Verfahren aus dem Bereich *Operations Research* ermittelt. Der Leistungsgrad von Mitarbeitern sowie der technische Leistungsgrad der Maschinen sind prozentuale Kennwerte, welche individuell aufgenommen werden und als Eingangsgrößen eine Auswirkung auf die Dauer der Zykluszeit haben. Die vorgegebenen Planzeiten basieren auf einem Leistungsgrad von 100 Prozent. Arbeiten Mensch und Maschine langsamer (Leistungsgrad < 100 Prozent, Technischer Leistungsgrad < 100 Prozent), kann es zu Überschreitungen der geplanten Taktzeit kommen. Variantenbezogene Zeitspeizungen sind ebenfalls planbare Ereignisse. Zu jeder Produktvariante existiert in der Regel ein Arbeitsplan, in dem alle notwendigen Arbeitsschritte pro Arbeitsbereich mit Zeitangaben aufgeführt sind. Durch Aufsummierung dieser Zeiten, unter Berücksichtigung parallel ablaufender Vorgänge, ergibt sich die Zykluszeit pro Arbeitsbereich. Weicht diese Zeit von der vorgegebenen Taktzeit ab, liegt eine Taktzeitüberschreitung vor.

Tabelle 6: Planbare und nicht planbare Ursachen mit Prognose-Indikatoren

	Ursachen	Prognose-Indikatoren
planbar	Geplante Pause	Fest terminierte Pausenzeiten aus dem Schichtplan (Zeitplan)
	Geplante Störung	Fest terminierte Unterbrechungen aus Rüstzeit-/ Instandhaltungszeitplan (Zeitplan)
	Leistungsgrad des Menschen	Individuell erhobener Leistungsgrad zur Leistungsgradbeurteilung
	Technischer Leistungsgrad	Festgelegte Leistungskennwerte von Anlagen
	Variantenbezogene Zeitspreizung	Summe der variantenbezogenen Zykluszeit innerhalb eines Montagebereichs (Arbeitsplan)
nicht planbar	Ungeplante Pause	Verfügbarkeit d. Mitarbeiter (REFA-Verteilzeit) und durchschnittliche Pausenlänge (vgl. MTTR)
	Ungeplante Störung	Ausfallhistorie (Verfügbarkeit und MTTR)

Zur Kategorie nicht planbarer Ursachen zählen ungeplante Pausen der Mitarbeiter und Störungen. Letztere können während einer Schicht zu beliebigen Zeitpunkten auftreten und mithilfe von Verfügbarkeitskennwerten sowie der mittleren Störungsdauer MTTR (Mean Time To Repair) prognostiziert werden. Eine detaillierte Erläuterung der Verfügbarkeit von Montagesystemen steht in Abschnitt 2.1.4. Nach REFA ist in den mitarbeiterbezogenen Arbeitszeiten ein prozentualer Anteil einer sog. *persönlichen Verteilzeit* vorgesehen (REFA 1997, S.20). Dieser Zeitananteil ist nicht zeitlich fixiert und erlaubt ein sporadisches Unterbrechen der Arbeit aufgrund persönlicher Bedürfnisse, z. B. für Toilettengänge oder Raucherpausen. In der Regel wird für die persönliche Verteilzeit ein Prozentsatz von ca. fünf Prozent angesetzt, was bei einer Produktivzeit (exklusive geplanter Pausen) von sieben Stunden ca. 21 Minuten entspricht (EYER 2004, S. 260). Somit sind Mitarbeiter ohne die Berücksichtigung geplanter Pausen zu 95 Prozent verfügbar. Die Eintrittszeitpunkte der einzelnen Unterbrechungen sind dem Zufall unterworfen und müssen daher stochastisch verteilt werden (siehe Abschnitt 2.1.4). Weichen die tatsächlichen Verfügbarkeiten der Mitarbeiter von der standardmäßig angesetzten Verteilzeit ab, so können diese jederzeit durch exakte Vergangenheitswerte ersetzt werden.

(3) Bedarfsgerechte Zuordnung der Einsatzszenarien zu Ursachen

Die Einsatzszenarien leiten sich aus den Aufgaben der Springer ab (siehe Abschnitt 5.3), wodurch sich folgende drei Szenarien ergeben: das *Unterstützungs-*, das *Ersatz-* und das *Wissensvermittlungsszenario*. Die Verknüpfung zwischen Ursachen und Einsatzszenarien basiert auf derselben Logik wie in Abschnitt 5.2.2 bereits erläutert, jedoch mit dem Unterschied, dass nachfolgend ausschließlich die konsolidierten Ursachen berücksichtigt wurden. In Abbildung 28 ist die bedarfsgerechte Verknüpfungsmatrix von Ursachen und Einsatzszenarien dargestellt. *Bedarfsgerecht* bedeutet, dass eine Ursache durch ein Einsatzszenario gedeckt wird, welches die minimal notwendigen Anforderungen erfüllt. Somit wird die Nutzung von überqualifizierten Ressourcen vermieden.

		Ursachen						
		Geplante Pause	Geplante Störung	Leistungsgrad des Menschen	Technischer Leistungsgrad	Variantenbezogene Zeitspreizung	Ungeplante Pause	Ungeplante Störung
Einsatzszenarien	Unterstützungsszenario	+	■	■	■	■	+	■
	Ersatzszenario	▨	+	■	+	+	▨	+
	Wissensvermittlungsszenario	▨	▨	+	▨	▨	▨	▨

Abbildung 28: Bedarfsgerechte Verknüpfungsmatrix

Sofern mehrere Ursachen gleichzeitig auftreten, besteht ggf. in Abhängigkeit der Ursachen die Notwendigkeit, mehrere Einsatzszenarien auszuwählen, um Taktzeitüberschreitungen abzubauen. In Abbildung 29 sind mögliche Kombinationsformen der Szenarien abgebildet. Für den Fall, dass Ersatz benötigt wird und gleichzeitig Ursachen eines Unterstützungsszenarios (z. B. variantenbezogene Zeitspreizung, technischer Leistungsgrad) auftreten, müssen verschiedene Springer sowohl das Ersatzszenario als auch das Unterstützungsszenario übernehmen. Ein Wissensvermittlungsszenario kann bei Ersatz nicht auftreten, da der Werker mit dem geringeren Leistungsgrad durch den Springer ersetzt wird. Unterstüt-

zungsszenarien können sowohl mit Ersatz- als auch mit Wissensvermittlungsszenarien kombiniert werden. Ein Wissensvermittler gleicht primär das Defizit des Leistungsgrads aus, und sobald Taktzeitüberschreitungen aufgrund von variantenbezogener Zeitspreizung oder technischem Leistungsgrad auftreten, wird ein zusätzlicher Unterstützer benötigt. Im Umkehrschluss bedeutet dies für Unterstützungsszenarien, dass diese sowohl mit Ersatz- als auch mit Wissensvermittlungsszenarien gemeinsam auftreten können.

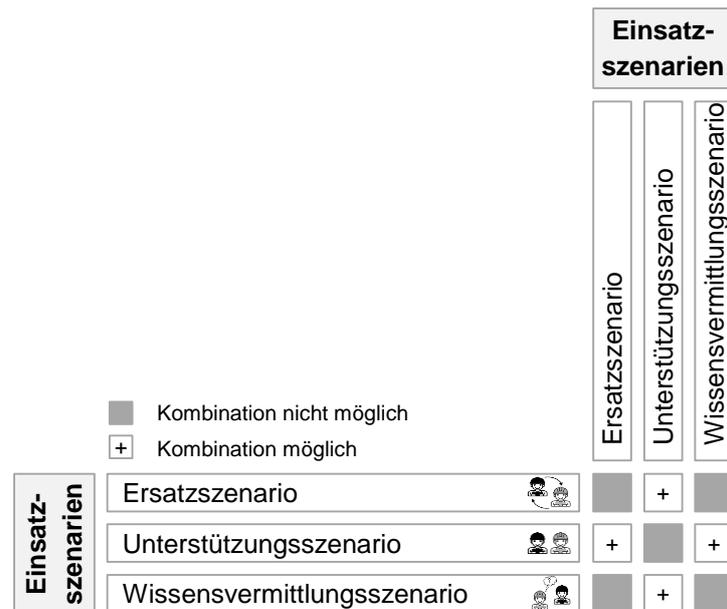


Abbildung 29: Kombinationsmöglichkeiten von Einsatzszenarien

(4) Bedarfsgerechte Auswahllogik für Springereinsatzszenarien

Die Auswahllogik besteht aus zwei Teilen (Abbildung 30). Der erste Teil beschreibt den Ablauf der Identifikation von Ursachen der Taktzeitüberschreitung und der zweite Teil gibt den Prozess zur bedarfsgerechten Auswahl von Einsatzszenarien vor. Zur Identifikation von Ursachen werden die Prognose-Indikatoren herangezogen und schrittweise überprüft. Auch an dieser Stelle müssen planbare und nicht planbare Ursachen unterschiedlich behandelt werden. Nach der Montage-systemdefinition aus Abschnitt 2.1.1 wird die Taktzeit auf einen Montagebereich ausgelegt, und dieser enthält wiederum Stationen mit Arbeitsplätzen. Trifft ein Bauteil an der ersten Station eines Montagebereichs ein, so kann bei planbaren Ursachen bereits an dieser Stelle die Berechnung möglicher Taktzeitüberschreitungen für den kompletten Arbeitsbereich durchgeführt werden. Nicht planbare Ursachen weisen dagegen ein anderes Verhalten auf, da Maschinen sowie Mitarbeiter zu jedem Zeitpunkt ausfallen können. Demnach erfolgt zur Identifikation dieser

Ursachen eine Verfügbarkeitsprüfung mit jeder Verlagerung des Bauteils an die nächste Station. Gemäß dieser Unterscheidung prüft die Auswahllogik in einem ersten Schritt, an welcher Stationsnummer innerhalb des Arbeitsbereichs sich das umgelagerte Bauteil befindet. Wird das Bauteil an der ersten Station bearbeitet, so werden alle Ursachen mithilfe der Prognose-Indikatoren geprüft; bei allen weiteren Stationen werden nur noch ungeplante Störungen sowie Mitarbeiterausfälle analysiert. Sobald sich das Bauteil an der letzten Station des Montagebereichs befindet, wird die Schleife abgebrochen. Das Schema, nach dem die Logik eintretende Ursachen schrittweise prüft, sowie die anschließende Auswahl eines Einsatzszenarios sind in Abbildung 30 dargestellt.

Im Hinblick auf eine spätere Zuweisung von Springern zu Arbeitsplätzen müssen die Ereignisse zeitpunkt- sowie ortsbezogen gespeichert werden. Dazu wird jeder Ursache eine Variable zugeordnet, die entweder den Zustand *true* oder *false* annehmen kann. Diese Zustände werden in eine Tabelle geschrieben und für den zweiten Teil der Logik als Eingangsgröße bereitgestellt. Die Variablen werden wie folgt definiert:

- **Geplante Störung:** *Var_gepl_Störung*
- **Ungeplante Störung:** *Var_ungepl_Störung*
- **Technischer Leistungsgrad:** *Var_techn_LG*
- **Variantenbezogene Zeitspreizung:** *Var_Varianz*
- **Geplante Pause:** *Var_gepl_Pause*
- **Ungeplante Pause:** *Var_ungepl_Pause*
- **Leistungsgrad des Menschen:** *Var_menschl_LG*

Die Länge der Taktzeitüberschreitungen aufgrund spezifischer Ursachen wird durch folgende Variablen beschrieben:

- **variantenbez. Zeitspreizung:** $\Delta t_{\text{varianz}}$
- **techn. Leistungsgrad:** Δt_{LG}
- **Störung:** $\Delta t_{\text{Störung}}$
- **Pause:** Δt_{Pause}
- **menschl. Leistungsgrad:** Δt_{mLG}

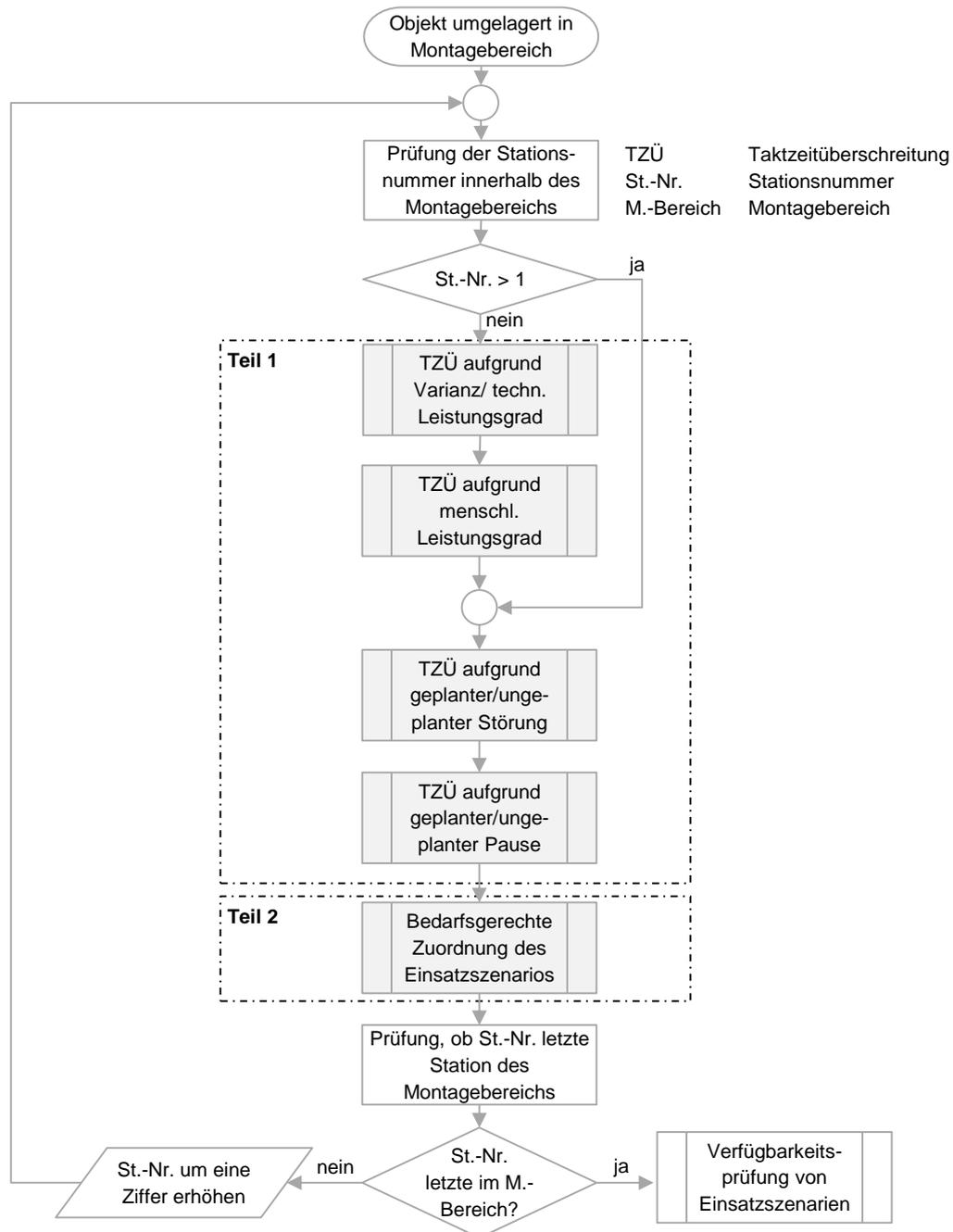


Abbildung 30: Ablaufdiagramm – Auswahllogik

Teil 1 – TZÜ aufgrund von Varianz und/oder technischem Leistungsgrad

Die Prüfung einer *Taktzeitüberschreitung aufgrund von Varianz und/oder technischem Leistungsgrad* erfolgt durch den Abgleich der Zykluszeit des Montagebereichs und der vorgegebenen Taktzeit (siehe Anhang - Abbildung 72). Bei der Berechnung der Zykluszeit wird vorerst nur der Soll-Wert der manuellen Zykluszeit verwendet (siehe Index oLG). Die Auswirkungen des menschlichen Leistungsgrads finden erst später statt. Der technische Leistungsgrad ist dagegen bereits in

der Formel enthalten. Ist die Zykluszeit eines Montagebereichs ($t_{\text{Zyklus,oLG,n}}$) kleiner als die Taktzeit (t_{Takt}), so liegt keine Taktzeitüberschreitung vor und beide Variablen erhalten den Wert *false*. Die zeitlichen Variablen (Δt_{LG} ; $\Delta t_{\text{Varianz}} = 0$) erhalten jeweils den Wert null. Die Differenz aus Zykluszeit und Taktzeit wird durch die Variable Δt_{oLG} ausgedrückt und für weitere Berechnungen gespeichert.

Entspricht Δt_{oLG} einem Wert größer null, müssen weitere Abfragen erfolgen. Als Nächstes wird geprüft, ob der technische Leistungsgrad (LG, tech) den Planwerten (d. h. ≤ 100 Prozent) entspricht. Ist dies der Fall, so kann die Taktzeitüberschreitung einer variantenbezogenen Zeitspreizung zugeschrieben werden ($\text{Var_Varianz} = \text{true}$; $\text{Var_techn_LG} = \text{false}$; $\Delta t_{\text{Varianz}} = \Delta t_{\text{oLG}}$; $\Delta t_{\text{LG}} = 0$). Ist der Leistungsgrad dagegen größer 100 Prozent, muss die Höhe der Taktzeitüberschreitung weiter analysiert werden. Dafür muss die zeitliche Überschreitung ($= \Delta t_{\text{LG, tech}}$), die sich aus einem langsameren Leistungsgrad ergibt, berechnet werden. Nimmt $\Delta t_{\text{LG, tech}}$ einen Wert an, für den $\leq \Delta t_{\text{oLG}}$ gilt, so liegt ausschließlich die Ursache *technischer Leistungsgrad* vor ($\text{Var_techn_LG} = \text{true}$; $\text{Var_Varianz} = \text{false}$; $\Delta t_{\text{Varianz}} = 0$; $\Delta t_{\text{LG}} = \Delta t_{\text{oLG}}$). Ist dieser Zusammenhang nicht zutreffend, können beide Variablen auf *true* gesetzt werden sowie die Längen der jeweiligen Taktzeitüberschreitung auf $\Delta t_{\text{Varianz}} = \frac{1}{2} \Delta t_{\text{oLG}}$ und auf $\Delta t_{\text{LG}} = \frac{1}{2} \Delta t_{\text{oLG}}$. Die Differenz der Zykluszeit kann vereinfacht beiden Zeitvariablen zur Hälfte zugeschrieben werden, da beide Ursachen zu demselben Einsatzszenario führen (siehe Abschnitt 6.2.2). Für eine zusammenfassende Auswertung ist nur relevant, ob beide Ursachen auftreten, die zeitliche Komponente ist dabei nebensächlich.

Teil 1 – TZÜ aufgrund menschlichem Leistungsgrad

Zur anschließenden Prüfung, ob der *menschliche Leistungsgrad eine Taktzeitüberschreitung* bewirkt, wird zunächst der im Modell hinterlegte Faktor des Leistungsgrads ($\text{LG}_{\text{Mensch}}$) analysiert (siehe Anhang - Abbildung 73). Ist dieser kleiner eins bzw. kleiner 100 Prozent, arbeitet der Werker schneller als die geplante Zeit, wodurch keine Taktzeitüberschreitung entsteht ($\text{Var_menschl_LG} = \text{false}$). Dennoch wird anschließend die manuelle Soll-Zykluszeit mit dem Faktor $\text{LG}_{\text{Mensch}}$ multipliziert, um daraus die Zykluszeit im Montagebereich unter Berücksichtigung des menschlichen Leistungsgrads zu berechnen. Im nächsten Schritt wird die Differenz zwischen Zykluszeit und Taktzeit ermittelt (Δt_{mLG}). Nachfolgend wird der zuvor im Programm TZÜ aufgrund Varianz und technischen Leistungsgrads gespeicherten Wert Δt_{oLG} mit dem Zahlenwert von Δt_{mLG} überschrieben. Somit wird im weiteren Verlauf die tatsächliche Ist-Zykluszeit inklusive des menschlichen

Leistungsgrads als Berechnungsgrundlage verwendet. Wird ein Leistungsgrad größer eins ermittelt, besteht die Möglichkeit einer Taktzeitüberschreitung. In diesem Fall wird analog zu vorher die Differenz Δt_{mLG} ermittelt. Da ein Leistungsgrad größer eins nicht zwangsläufig zu einer Taktzeitüberschreitung führt, muss anschließend geprüft werden, ob Δt_{mLG} kleiner null ist. Ist das Ergebnis negativ, liegt eine Taktzeitüberschreitung vor, und die Variable `Var_menschl_LG` wird auf *true* gesetzt und der Wert Δt_{mLG} mit dem Wert der Taktzeit (t_{Takt}) überschrieben. Diese Überschreibung wird vorgenommen, da ein Wissensvermittler eine gesamte Taktlänge dem Hauptwerker zur Verfügung stehen sollte. Nur so kann dieser den Bearbeitungsprozess ganzheitlich erläutern.

Teil 1 – TZÜ aufgrund geplanter bzw. ungeplanter Störungen

Die Prüfung, ob eine Taktzeitüberschreitung aufgrund *geplanter* bzw. *ungeplanter Störungen* auftritt, kann in einem gemeinsamen Ablaufdiagramm dargestellt werden (siehe Anhang - Abbildung 74). Zunächst erfolgt eine Unterscheidung, ob das Produkt an die erste Station eines Bereichs umgelagert wurde oder nicht. Geplante Störungen können bereits an der ersten Station für den gesamten Montagebereich anhand von Planwerten erhoben werden. Sind geplante Störungen für den betrachteten Takt vorgesehen, so gilt `Var_gepl_Störung = true`. Anschließend wird die Störungsdauer berechnet und gespeichert ($\Delta t_{Störung, gepl}$). Liegen keine geplanten Störungen vor, wird geprüft, ob eine ungeplante Störung vorliegt, d. h. ob die Anlage(n) der Station nicht verfügbar ist bzw. sind. Ist dieser Zustand zutreffend, so wird die Variable `Var_ungepl_Störung` auf *true* gesetzt sowie die Störungsdauer berechnet und gespeichert ($\Delta t_{Störung, ungepl}$). Für den Fall, dass sich das Produkt nicht mehr an der ersten Station befindet (Stationsnummer > 1), erfolgt in einem ersten Schritt die Prüfung des Variablenwerts `Var_gepl_Störung`. Ist dieser *true*, so werden keine weiteren Untersuchungen vorgenommen. Ansonsten wird geprüft, ob eine ungeplante Störung vorliegt. Diese Prüfung erfolgt analog zu der vorherigen Erläuterung.

Teil 1 – TZÜ aufgrund geplanter bzw. ungeplanter Pausen

Die Ablauflogik zur Ermittlung von Taktzeitüberschreitungen aufgrund *geplanter* bzw. *ungeplanter Pausen* kann ähnlich wie für geplante/ungeplante Störungen abgebildet werden. Auch hier gilt die Annahme, dass entweder eine geplante oder eine ungeplante Pause je Takt auftreten kann. Der Unterschied zum Störungsablaufdiagramm liegt darin, dass im Fall einer Pause die Variablen `Var_gepl_Pause` oder `Var_ungepl_Pause` auf *true* gesetzt werden und gleichzeitig die Variable

Var_menschl_LG auf *false*. Diese Zustandsänderung hängt damit zusammen, dass der Mitarbeiter mit geringerem Leistungsgrad durch einen vollleistungsfähigen Springer ersetzt wird und somit kein menschliches Leistungsdefizit mehr vorliegt. Abschließend wird die Länge der geplanten bzw. ungeplanten Pause berechnet sowie gespeichert ($\Delta t_{\text{Pause, gepl}}$ bzw. $\Delta t_{\text{Pause, ungepl}}$). Das zugehörige Ablaufdiagramm in Abbildung 75 (siehe Anhang) dargestellt.

Teil 2 - Auswahllogik

Der zweite der Teil der Auswahllogik beschreibt die bedarfsgerechte Zuweisung von Einsatzszenarien und Ursachen (siehe Anhang - Abbildung 76). Dafür werden in einem ersten Schritt die zuvor identifizierten Ursachen nach ihrem Zustand (*true/false*) gefiltert. Für die weitere Betrachtung werden nur Variablen in Verbindung mit dem Zustand *true* herangezogen. Anschließend wird diesen auf Basis der in Abbildung 28 dargestellten Verknüpfungsmatrix ein passendes Einsatzszenario (Ersatzszenario = ES, Unterstützungsszenario = US, Wissensvermittlungsszenario = WS) zugewiesen. Als Ergebnis werden die benötigten Einsatzszenarien inklusive der damit verbundenen Einsatzzeiten aufgeführt. Die Zeiten der einzelnen Szenarien lassen sich mit den Formeln 6, 7 und 8 berechnen.

$$t_{\text{ES}} = \Delta t_{\text{Pause}} \tag{6}$$

$$t_{\text{US}} = \Delta t_{\text{Störung}} + \Delta t_{\text{Varianz}} + \Delta t_{\text{tLG}} \tag{7}$$

$$t_{\text{WS}} = \Delta t_{\text{mLG}} \tag{8}$$

6.2.2 Zuordnung von Einsatzarten zu Springereinsatzszenarien (Einsatzlogik)

Ausprägungsform	Einsatzart	Arbeitsumfang		Einsatzzeitpunkte			
		Präventiv	Reaktiv	Linkslaufen	Rechtslaufen		
Ersatzszenario	Tätigkeiten						
	gerates Objekt						
	Personaleinsatz						
	Tätigkeiten						
Unterstützungsszenario	gerates Objekt						
	Personaleinsatz						
	Tätigkeiten						
	Personaleinsatz						

Im folgenden Abschnitt wird die Entwicklung der Einsatzlogik erläutert, mit der eine Zuordnung von Einsatzarten zu Einsatzszenarien möglich ist. Der Begriff *Einsatzart* fasst sowohl die Art und Weise des Einsatzes (Ausprägungsform des Springers) als auch den Einsatzzeitpunkt (präventiv/reaktiv) zusammen. Es werden erstmals nur die prozesseitigen Anforderungen an die Einsatzarten untersucht (z. B. Parallelität der Vorgänge vorhanden), personalseitige Anforderungen (z. B. Mitarbeiterverfügbarkeit, Qualifikation) sind für die Einsatzlogik nicht relevant.

Diese Anforderungen an die Einsatzarten sind für die Zuweisungslogik im nächsten Abschnitt erforderlich. Das Ergebnis der Einsatzlogik gibt eine tabellarische Auflistung aller möglichen Einsatzarten in Relation zu den Szenarien vor. Eine konkrete Auswahl erfolgt erst nach Prüfung der personalseitigen Anforderungen in Abschnitt 6.2.3.

Die Modellierung der Einsatzlogik beginnt mit der Definition von Einsatzarten, wozu Ausprägungsformen sowie Einsatzzeitpunkte der Springereinsätze analysiert werden müssen. Als Nächstes werden der Zusammenhang zwischen Einsatzarten und Einsatzszenarien erläutert sowie prozessseitige Prüfkriterien definiert. Diese Kriterien stellen eine essenzielle Entscheidungsgrundlage für den Ablauf der Logik dar. Abschließend können die Ergebnisse durch die Einsatzlogik in Form eines Ablaufdiagramms dargestellt werden. Der Aufbau des Abschnitts lässt sich wie folgt gliedern:

- (1) Ermittlung von Einsatzarten
- (2) Zuordnung der Einsatzarten zu Einsatzszenarien
- (3) Erhebung von prozessseitigen Prüfkriterien
- (4) Einsatzlogik zur Zuordnung von Einsatzarten zu Einsatzszenarien

(1) Ermittlung von Einsatzarten

Da Einsatzarten von Ausprägungsformen des Springers sowie dem Einsatzzeitpunkt abhängen, werden diese beiden Bestandteile zunächst separat diskutiert und anschließend zu einem Gesamtbild zusammengefügt. Durch die Kombination der beiden Aspekte lassen sich unterschiedliche Einsatzarten bilden. Das Ergebnis präsentiert Abbildung 31.

		Arbeitsumfang	Einsatzzeitpunkte			
			Präventiv	Reaktiv	Linksoffen	Rechtsoffen
Ausprägungsform	Springen	Teiltätigkeiten	x	x		
		ganzes Objekt	x			
		Personalersatz	x			
	Driften	Teiltätigkeiten			x	x
		ganzes Objekt				
		Personalersatz				

Abbildung 31: Darstellung der Einsatzarten in Abhängigkeit von Ausprägungsform und Einsatzzeitpunkt

In Abschnitt 2.2.1 wurden bereits Ausprägungsformen von Springereinsätzen erläutert, welche zum einen das Springen und zum anderen eine erweiterte Form, das sog. *Driften*, umfassen. Unterscheidungsmerkmale sind dabei die Tätigkeitszuordnung sowie der Ausführungsort. Ein Springer übernimmt stets Tätigkeiten von anderen Werkern und führt diese im dafür vorgesehenen Arbeitsbereich aus. Dagegen führen Drifter nur ihre eigenen Aufgaben aus, indem sie mit diesen frühzeitig in einem vorgelagerten Bereich beginnen oder sie nachgelagert beenden. Zur Festlegung der Einsatzarten werden als Nächstes die vorkommenden Einsatzzeitpunkte erläutert. In diesem Fall muss das Springen und Driften separat voneinander betrachtet werden, da Drifter und Springer ein anderes Einsatzverhalten aufweisen. Zunächst werden die Zeitpunkte von Springereinsätzen vorgestellt. Diese lassen sich grundsätzlich nach *präventiv* und *reaktiv* unterscheiden (siehe Abschnitt 2.2.3). Präventiv bezieht sich darauf, dass der Springer zu Taktbeginn ausgewählte Tätigkeiten, ein ganzes Produkt oder den Arbeitsplatz des Stammpersonals übernimmt. Bei einem reaktiven Einsatz unterstützt der Springer am Taktende durch die Übernahme von restlichen Tätigkeiten, die zur Taktzeitüberschreitung führen. Daher kann das Stammpersonal mit der Bearbeitung des nächsten Produkts rechtzeitig am Anfang des Montagebereichs beginnen. Externe Springer können sowohl präventive als auch reaktive Einsätze übernehmen. Bei internen Springern innerhalb des betrachteten Montagesegments ist die Übernahme von ganzen Objekten nicht möglich, da diese selbst während des Takts montieren müssen und nur im Rahmen von Wartezeiten an anderen Stationen aushelfen können. Interne Springer aus einem anderen Montagesegment (z. B. der Vormontage) können in

Abhängigkeit ihrer freien Kapazitäten sowohl ganze Objekte übernehmen als auch das Stammpersonal ersetzen.

Beim Driften wird nicht nach präventiv und reaktiv unterschieden, sondern nach links- bzw. rechtsoffenen Driftbereichen, in denen Drifter mit ihren Tätigkeiten vorgezogen beginnen bzw. sie nachgelagert beenden. Driften bewirkt dann eine Taktzeitreduktion, wenn die Tätigkeiten parallel zu anderen ausgeführt werden. In folgender Abbildung 31 sind die genannten Einsatzzeitpunkte sowie Ausprägungsformen in den möglichen Kombinationen abgebildet. Beim Driften werden ausschließlich Teiltätigkeiten in links- bzw. rechtsoffenen Driftbereichen ausgeführt. Abschließend lassen sich die Einsatzarten mithilfe von nachfolgend gelisteten Variablen definieren. Diese sollen an späterer Stelle im Ablaufdiagramm der Einsatzlogik zur Prüfung der Einsatzarten verwendet werden:

- **Präventiver Springereinsatz – Personalersatz:** Var_präv_SE_Pers
- **Präventiver Springereinsatz – Teiltätigkeiten:** Var_präv_SE_Teil
- **Präventiver Springereinsatz – ganzes Objekt:** Var_präv_SE_gObj
- **Reaktiver Springereinsatz:** Var_reak_SE
- **Rechtsoffenes Driften:** Var_reo_D
- **Linksoffenes Driften:** Var_lio_D

(2) Zuordnung der Einsatzarten zu Einsatzszenarien

Es wurden bereits zuvor drei Einsatzszenarien definiert: Ersatz-, Unterstützungs- und Wissensvermittlungsszenario. Da nicht jede Einsatzart pauschal auf alle Einsatzszenarien angewendet werden kann, muss eine differenzierte Zuordnung von Einsatzarten zu Einsatzszenarien erfolgen. Das Ergebnis ist in Abbildung 32 dargestellt. Anschließend wird die Zuordnung für jedes Einsatzszenario erläutert.

Das *Ersatzszenario* tritt ein, sobald ein regulärer Werker sich in einer geplanten bzw. ungeplanten Pause befindet und ersetzt werden muss. Da es sich dabei um einen Personalersatz handelt, kommen laut Abbildung 31 nur ein präventiver Einsatz infrage. Die Übernahme durch den Springer erfolgt immer präventiv zu Taktbeginn. Selbst bei ungeplanten Pausen wird davon ausgegangen, dass der Werker nicht während des Takts den Arbeitsplatz verlässt.

		Einsatzszenarien						
		Unterstützungsszenario			Ersatzszenario	Wissensvermittlungsszenario		
Einsatzarten	Präventiver Springereinsatz	Teiltätigkeiten	Varianz	Techn. LG			Störung	
		ganzes Objekt						
		Personalersatz						
	Reaktiver Springereinsatz (Teiltätigkeiten)							
	Linksoffenes Driften (Teiltätigkeiten)							
	Rechtsoffenes Driften (Teiltätigkeiten)							

Abbildung 32: Zuordnung von Einsatzarten zu Einsatzszenarien

Im Fall des *Unterstützungsszenarios* stehen diverse Einsatzarten zur Verfügung. Bei der Auswahl muss neben dem Szenario auch die Ursache berücksichtigt werden. Laut Abbildung 28 führen folgende Ursachen zu Unterstützungsbedarfen: geplante bzw. ungeplante Störung, technischer Leistungsgrad sowie eine variantenbezogene Zeitspreizung. Als Arbeitsumfänge können entweder Teiltätigkeiten durchgeführt oder ganze Objekte bearbeitet werden. Letzteres tritt nur bei geplanten bzw. ungeplanten Störungen ein, da ein technischer Leistungsgrad sowie variantenbezogene Zeitspreizungen in der Regel keine gesamte Taktdauer in Anspruch nehmen. Ist dies dennoch der Fall, müssen andere Maßnahmen zur Austaktungsoptimierung ergriffen werden. Bei Störungen können auch Teiltätigkeiten erledigt werden, z. B. wenn kein zweites Objekt an der Station bearbeitet werden kann oder die Störung nur kurze Zeit dauerte.

Das *Wissensvermittlungsszenario* beruht darauf, dass der reguläre Werker in der Linie ein Leistungsgraddefizit besitzt, welches beispielsweise aus einer kürzeren Dienstzugehörigkeit und somit einer geringeren Erfahrung resultiert. In diesem Fall wird dem Werker ein Springer zur Verfügung gestellt, der ihn einerseits verbal

mit Ratschlägen unterstützt und andererseits im Bedarfsfall seine Tätigkeiten kurzzeitig übernimmt. Da der Springer die gesamte Taktlänge am Arbeitsplatz verweilt und nicht parallel mit dem Werker an einem Objekt arbeitet, kann diese Art der Unterstützung mit den Rahmenbedingungen für Personalersatz gleichgesetzt werden. Daher wird der Springer immer präventiv an die Station gerufen.

(3) Erhebung von prozesseitigen Prüfkriterien

Die Auswahl der Einsatzarten hängt von prozesseitigen Anforderungen ab, ohne deren Erfüllung keine Anwendung stattfinden kann. Im Folgenden werden diese Anforderungen für jede Einsatzart als prozesseitige Prüfkriterien definiert. Bei einem *präventiven Springereinsatz* mit der Übernahme von Teiltätigkeiten muss der Springer gemeinsam mit dem Werker an dem Objekt arbeiten. Dafür müssen ein Arbeitsplatz sowie Betriebsmittel vorhanden und verfügbar sein. Des Weiteren muss der Arbeitsablauf ein paralleles Arbeiten am Objekt erlauben. Wird ein ganzes Objekt übernommen, muss es möglich sein, dass mehr als ein Objekt innerhalb des Bereichs bearbeitet werden kann. Dadurch wird einerseits das Aufheben der 1-Objekt-in-Bereich-Regel (siehe Abschnitt 6.1.4) gefordert und andererseits muss an jeder Station ein Arbeitsplatz mit Betriebsmitteln für den Springer zugänglich sein. Im Fall des Personalersatzes werden zum regulären Betrieb keine weiteren Anforderungen benötigt.

Bei einem *reaktiven Springereinsatz* übernimmt der Springer die restlichen Teiltätigkeiten und der eigentliche Werker beginnt mit der Bearbeitung des nächsten Teils. Dazu muss ein neues Objekt am Anfang des Bereichs verfügbar und die 1-Objekt-in-Bereich-Regel muss aufhebbar sein, d. h. es müssen mehrere Objekte in einem Bereich montiert werden können. Betriebsmittel müssen so verfügbar sein, dass Werker und Springer unabhängig voneinander arbeiten können. Eine Parallelisierung von Arbeitsvorgängen innerhalb eines Bereichs ist nicht notwendig, da der Springer am Arbeitsplatz des Werkers dessen Tätigkeiten durchführt. Eine Taktzeitreduktion innerhalb des Takts wird in diesem Fall nur erreicht, wenn ein linksoffener Drifteinsatz des nachgelegten Werkers parallel dazu stattfinden kann. Ansonsten wird in diesem Fall nur das Aufstauen von Objekten vor der Station verhindert. Die Taktzeitüberschreitung des Objekts, an dem der Springer arbeitet, bleibt bestehen, wodurch an jeder Station ein Springerbedarf entsteht.

Damit ein *linksoffenes Driften* möglich ist, müssen ein Arbeitsplatz sowie Betriebsmittel im vorgelagerten Bereich vorhanden sein. Des Weiteren müssen die Arbeitsvorgänge parallel ablaufen können. Beim linksoffenen Driften müssen

dazu die Vorgänge aus dem Bereich, der dem Bereich mit Taktzeitüberschreitung nachgelagert ist, untersucht werden. Für das *rechtsoffene Driften* gelten die gleichen Anforderungen wie für den Arbeitsplatz und die Betriebsmittel. Hier müssen die Vorgänge des Bereichs, in dem die Taktzeitüberschreitung auftritt, parallelisierbar zu den Arbeitsvorgängen des nachgelagerten Bereichs sein.

Abschließend sei festgehalten, dass über alle Einsatzarten hinweg prozessseitige Prüfkriterien folgende Aspekte umfassen: Arbeitsplatz, Betriebsmittel, Parallelität von Arbeitsabläufen, die Aufhebung der 1-Objekt-in-Bereich-Regel sowie die Verfügbarkeit eines neuen Objekts. Je nach Einsatzart werden unterschiedliche Kriterien adressiert. Da der präventive Springereinsatz aus verschiedenen Arbeitsumfängen (Teiltätigkeiten, ganzes Objekt und Personalersatz) bestehen kann, müssen die Prüfkriterien für jeden Umfang separat untersucht werden. Die anderen Einsatzarten umfassen ausschließlich die Übernahme von Teiltätigkeiten, weshalb an dieser Stelle keine weitere Differenzierung erfolgt. Das Vorhandensein eines Arbeitsplatzes, die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln sowie das Aufheben der 1-Objekt-in-Bereich-Regel hängen primär von den Rahmenbedingungen des jeweiligen Produktionssystems ab und sind somit fest definierte Zustände, die für das Simulationsmodell als Eingangsgröße bereitstehen. Bei der Betrachtung von Betriebsmitteln kann zudem die zufallsbedingte Ausfallwahrscheinlichkeit durch Verfügbarkeitswerte hinterlegt werden (siehe Abschnitt 2.1.4). Zur Ermittlung, ob die Bedingung der Parallelisierbarkeit von Vorgängen erfüllt ist, kann der Montagevorranggraph herangezogen werden. In diesem sind alle Vorgänge in ihrer sequenziellen Abhängigkeit enthalten (siehe Abschnitt 2.1.3). Abbildung 33 führt die prozessseitigen Prüfkriterien für die jeweiligen Einsatzarten auf.

		Prozesseitige Prüfkriterien					
		Arbeitsplatz vorhanden	Betriebsmittel verfügbar	Parallelität d. Tätigkeiten	1-Objekt-in-Bereich Regel	Neues Objekt verfügbar	
Einsatzarten	Präventiver Springereinsatz	Teiltätigkeiten	x	x	x	▨	▨
		ganzes Objekt	x	x	▨	x	x
		Personalersatz	▨	▨	▨	▨	▨
	Reaktiver Springereinsatz (Teiltätigkeiten)		x	x	▨	x	x
	Linksoffenes Driften (Teiltätigkeiten)		x	x	x	▨	▨
	Rechtsoffenes Driften (Teiltätigkeiten)		x	x	x	▨	▨

Abbildung 33: Prozesseitige Prüfkriterien für die jeweiligen Einsatzarten

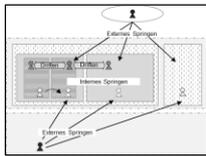
(4) Einsatzlogik zur Zuordnung von Einsatzarten zu Einsatzszenarien

Mithilfe der Auswahllogik wie in Abschnitt 6.2.1 beschrieben werden Einsatzszenarien bedarfsgerecht ermittelt. Diese stellen die Eingangsgröße(n) der in diesem Abschnitt beschriebenen Einsatzlogik dar (siehe Anhang - Abbildung 77). Den Szenarien Wissensvermittlung und Ersatz kann ohne Berücksichtigung der Ursachen eine Einsatzart zugeordnet werden, beim Unterstützungsszenario dagegen müssen die ausschlaggebenden Ursachen bei der Zuordnung explizit berücksichtigt werden. Zu Beginn wird überprüft, ob ein Einsatz- oder Wissensvermittlungsszenario vorliegt. Eine Abfrage der prozesseitigen Prüfkriterien (siehe Abbildung 33) ist in beiden Fällen nicht notwendig, da keine über den regulären Betrieb hinausgehenden Vorkehrungen getroffen werden müssen. Somit kann die Einsatzart „Präventiver Springereinsatz – Personalersatz“ direkt zugewiesen werden.

Anschließend wird ermittelt, ob Unterstützungsszenarien vorliegen. Trifft dies zu, so werden zunächst die beiden Kriterien „Arbeitsplatz vorhanden“ und „Betriebsmittel verfügbar“ überprüft, da diese auf jede Einsatzart zutreffen. Die beiden Kriterien „1-Objekt-in-Bereich-Regel“ und „neues Objekt verfügbar“ müssen dagegen nur bei einem reaktiven sowie präventiven Springereinsatz mit der Übernahme

eines ganzen Objekts erfüllt sein. Die Übernahme eines ganzen Objekts ist wiederum nur im Fall einer Störung, die größer/gleich der Taktzeit ist, von Bedeutung, ansonsten wird diese Einsatzart nicht benötigt. Abschließend erfolgt die Kontrolle, ob ein paralleles Arbeiten an einem Objekt gewährleistet ist. Diese Bedingung muss bei einem präventiven Einsatz von Springern bei der Übernahme von Teiltätigkeiten sowie dem rechts- und linksoffenen Driften erfüllt sein. Ansonsten können diese Einsatzarten nicht gewählt werden. Am Ende der Einsatzlogik besitzen alle Variablen der Einsatzarten einen Wert (*true* oder *false*), der an die Zuweisungslogik übergeben wird.

6.2.3 Methode zur Springerzuweisung (Zuweisungslogik)



In den vorherigen Abschnitten wurden die Auswahl- sowie Einsatzlogik vorgestellt. Bestandteil dieses Abschnitts ist die Zuweisungslogik, mit der den zuvor ermittelten Einsatzarten, Personalkapazitäten als Springer bzw. Drifter zugewiesen werden können.

Im Rahmen einer kosteneffizienten Springereinsatzplanung spielen zum einen der bedarfsgerechte Einsatz (entsprechend der Ursachen) und zum anderen die Auslastung von Springern eine Rolle. Die Auslastung soll dadurch erhöht werden, indem Mitarbeiter ihre freien Kapazitäten für Springereinsätze nutzen. Erst wenn keine Mitarbeiter verfügbar sind, werden sog. *Vollzeitspringer* eingeplant. Zum Aufbau der Zuweisungslogik muss zunächst Verständnis über die Unterscheidung von Springerausprägungsformen nach ihrer Herkunft geschaffen werden. Dies stellt die Grundlage für eine spätere kosteneffiziente Priorisierung der Kapazitäten dar. Zudem müssen personalseitige Prüfkriterien definiert werden. Zusammengefasst ergibt sich folgender Aufbau für diesen Abschnitt:

- (1) Unterscheidung der Springerausprägungsformen nach ihrer Herkunft
- (2) Personalseitige Prüfkriterien
- (3) Priorisierung im Rahmen einer kosteneffizienten Springereinsatzplanung
- (4) Zuweisungslogik zur Erfüllung der Einsatzarten

(1) Unterscheidung der Springerausprägungsformen nach ihrer Herkunft

Wie zuvor erläutert stellen das Springen und Driften die beiden Hauptausprägungsformen dar, wobei Springen weiter in ein internes und ein externes untergliedert werden kann. Letzteres ist von der Herkunft des Springers abhängig. Die Systemgrenze zwischen den Bezeichnungen *interner* und *externer Springer* wird

um das betrachtete Montagesystem gezogen. Interne Springer arbeiten innerhalb des Systems, d. h. sie können im betrachteten Segment arbeiten oder aber auch in einem benachbarten Segment. Externe Springer gehören entweder einem anderen Montage- bzw. Fertigungssystem an oder sind sog. *Vollzeitspringer*, die neben der Springertätigkeit keine weiteren Tätigkeiten ausüben. Drifter gehören immer dem betrachteten Montagesegment an und können entweder innerhalb eines Bereichs oder über die Bereichsgrenzen hinaus driften. Bezogen auf die Person werden die Ausprägungsformen von Springereinsätzen als *Springerarten* bezeichnet. Zusammengefasst sind in Abbildung 34 alle Springerarten sowie Ausprägungsformen dargestellt.

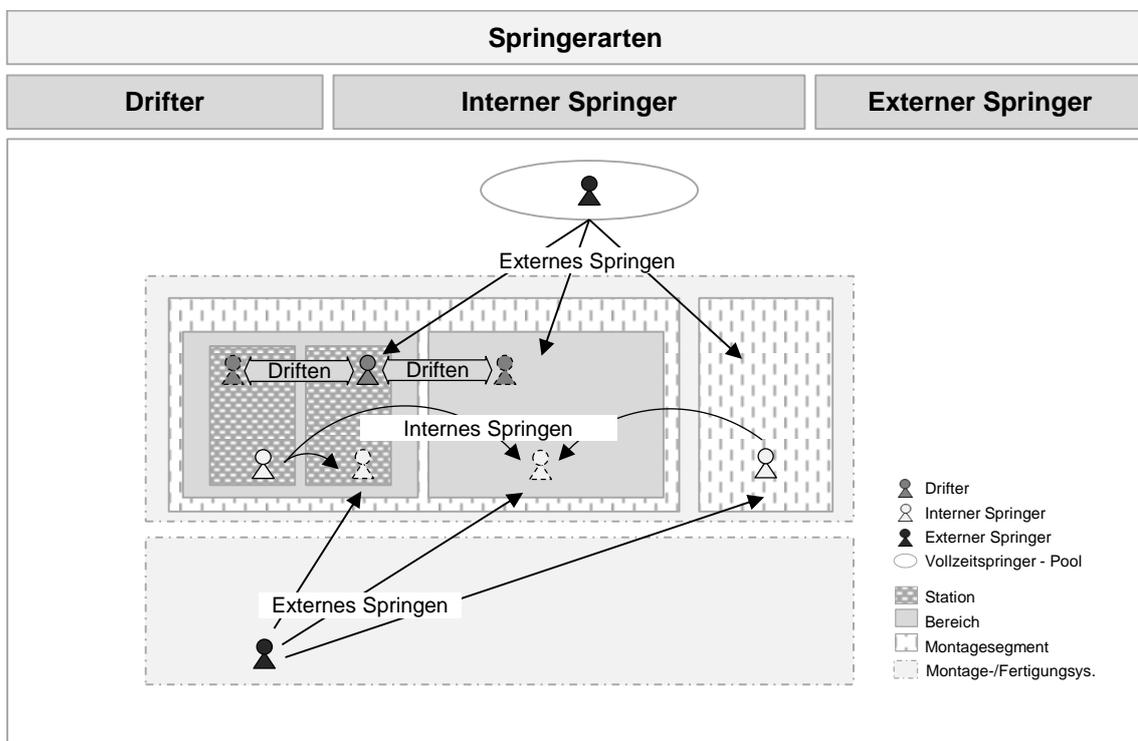


Abbildung 34: Springerarten

Da das Simulationsmodell nur das Montagesegment der Hauptmontage und ggf. entkoppelte Vormontagesegmente zeigt, können externe Springer nicht aufgrund ihrer kapazitiven Verfügbarkeiten zugewiesen werden. Im Modell können externe Springer über einen fiktiven Springerpool gewählt werden. Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, wie häufig und an welchen Stationen ein fiktiver Springer eingesetzt wurde. Anschließend können diese durch reale Mitarbeiter aus dem Unternehmen ersetzt werden (siehe Kapitel 7).

(2) Personalseitige Prüfkriterien

Sind die prozesseitigen Prüfkriterien vollumfassend erfüllt, können mehrere Einsatzarten zur Bedarfsdeckung in Erwägung gezogen werden. Die Auswahl einer Einsatzart hängt jedoch von den Voraussetzungen der vorhandenen Mitarbeiterkapazitäten ab. Dafür werden personalseitige Prüfkriterien erhoben, welche zum einen notwendig und zum anderen aus Sicht der Kosteneffizienz wünschenswert sind. Notwendig ist die Mitarbeiterverfügbarkeit für die gesamte Einsatzzeit inklusive Laufwege. Die Laufwege können über die durchschnittliche Schrittgeschwindigkeit von 1 m/s ermittelt werden. Bei der Qualifikation muss mindestens die minimal erforderliche Anforderung erfüllt sein, ansonsten kann der Mitarbeiter die Springertätigkeit nicht übernehmen. Die Qualifikationsanforderung hängt von der Einsatzart ab. Aus Sicht der Kosteneffizienz sollte darauf geachtet werden, dass die Zuweisung bedarfsgerecht erfolgt, d. h. ein überqualifizierter Einsatz sollte vermieden werden. Sind keine Mitarbeiter mit ausreichender Qualifikation verfügbar, so werden Springer aus dem fiktiven Springerpool zugewiesen. Als personalseitige Prüfkriterien lassen sich somit festhalten:

- Verfügbarkeit während Einsatzdauer inklusive Laufwege,
- ausreichende Qualifikation.

Die Prüflogik, nach der Springer ausgewählt werden, ist in Abbildung 78 (siehe Anhang) dargestellt. Diese Logik wird im Rahmen aller Springereinsatzarten zur Auswahl von geeigneten Mitarbeitern als Springer verwendet. Beim Driften sieht die Prüflogik anders aus, da in diesem Fall auf einen Qualifikationsabgleich verzichtet werden kann (siehe Anhang - Abbildung 81). Zur Prüfung dienen folgende Variablen, die Kennzeichnung (*) dient als Platzhalter für die jeweilige Mitarbeiteridentifikationsnummer:

- **Mitarbeiterverfügbarkeit:** MA_(*)_verfügbar
- **Mitarbeiterqualifikation:** MA_(*)_quali
- **Mitarbeitereinsatz als Springer:** MA_(*)_Einsatz

Zum Abgleich des Anforderungsprofils mit dem Qualifikationsprofil des Mitarbeiters muss der Zusammenhang zwischen Einsatzart und bedarfsgerechtem Springerprofil (Ersatz-, Kapazität- und Wissensspringer) fest definiert werden (siehe Abbildung 35). Der *präventive Springereinsatz in Form von Personalersatz* wird immer dann benötigt, wenn entweder das Stammpersonal ersetzt werden soll

oder ein Wissensdefizit vorliegt. Daher kommt in Abhängigkeit des Einsatzszenarios entweder der Ersatz- oder der Wissensspringer zum Einsatz. Die Einsatzart *präventiver Springereinsatz – ganzes Objekt* stellt eine Besonderheit hinsichtlich der Qualifikationsanforderungen dar. Aus der logischen Argumentationskette ergab sich für Störungen das Unterstützungsszenario (siehe Abbildung 28), welches als Anforderungsprofil den Kapazitätsspringer vorsieht. Bei der Übernahme eines ganzen Objekts muss der Springer jedoch innerhalb eines Bereichs den gesamten Tätigkeitsumfang an einem Objekt ausführen. Diese Tätigkeit entspricht dem Anforderungsprofil des Ersatzspringers. Ein Kapazitätsspringer wird für die Einsatzarten *präventiver Springereinsatz – Teiltätigkeiten* und den *reaktiven Springereinsatz* benötigt. Im Fall des Driftens muss kein Qualifikationsabgleich erfolgen, da der Drifter ein regulärer Mitarbeiter ist und davon ausgegangen werden kann, dass dieser alle Tätigkeiten an seinem Arbeitsplatz beherrscht. Sobald ein Wissensdefizit vorliegt, kann die Einsatzart Driften nicht ausgewählt werden (siehe Abbildung 35).

		Springer-profile (Qualifikat.)				
		Wissensspringer (Stufe 4)	Ersatzspringer (Stufe 3)	Kapazitätsspringer (Stufe 2)		
Einsatzarten	Präventiver Springereinsatz	Teiltätigkeiten			x	
		ganzes Objekt		x		
		Personalersatz	Ersatzszenario		x	
			Wissensverm.sz.	x		
	Reaktiver Springereinsatz (Teiltätigkeiten)			x		
	Linksoffenes Driften (Teiltätigkeiten)					
	Rechtsoffenes Driften (Teiltätigkeiten)					

Abbildung 35: Qualifikationsanforderungen (Springerprofile) für Einsatzarten

(3) Priorisierung im Rahmen einer kosteneffizienten Springerzuweisung

Das übergeordnete Ziel der Kosteneffizienz wird bei der Zuweisung durch den bedarfsgerechten Qualifikationsabgleich sowie eine effiziente Auswahl der Springerart erreicht. Die Springerart sollte demnach so gewählt werden, dass die Auslastung der Personalkapazitäten, welche im Unternehmen bereits verfügbar sind, durch die zusätzliche Springeraufgabe(n) zunimmt und die Entfernung zum Einsatzort relativ gering ist. Grundsätzlich sind Drifteinsätze den Springereinsätzen vorzuziehen, da keine weiteren Kapazitäten erforderlich sind und Drifter den Prozess routiniert beherrschen. Ist sowohl links- als auch rechtsoffenes Driften möglich, wird das rechtsoffene präferiert, da in diesem Fall das Objekt den Bereich bzw. die Station verlässt und das nächste Objekt in den Bereich nachrücken kann. So kann ein Aufstauen verhindert und ggf. die Arbeit an der ersten Station aufgenommen werden (siehe prozesseitige Prüfkriterien).

Beim Springen wird den internen Springern der Vorzug gegeben, da diese in der Regel näher am Einsatzort arbeiten und mit den dort vorhandenen Prozessen vertrauter sind als Drifter. Innerhalb der internen Springer werden sie je nach der Entfernung priorisiert, d. h. bereichs- bzw. segmentzugehörige Springer werden den Springern aus einem anderen Segment vorgezogen. Da im Simulationsmodell nur interne Springer direkt abgebildet sind und externe Springer in Form eines fiktiven Springerpools, erfolgt unter den externen Springern zunächst keine Unterscheidung. In Abbildung 36 sind die Priorisierungen der Springerarten grafisch zusammengefasst.

		Priorisierung	
Springerarten	Drift-einsatz	Rechtsoffenes Driften	Prio. 1
		Linksoffenes Driften	Prio. 2
	Springer-einsatz	Intern – kurze Entfernung	Prio. 3
		Intern – längere Entfernung	Prio. 4
		Extern – fiktiver Springerpool	Prio. 5

Abbildung 36: Priorisierung der Springerarten

(4) Zuweisungslogik zur Erfüllung der Einsatzarten

Mithilfe der Einsatzlogik werden die Einsatzszenarien geprüft und möglichen Einsatzarten zugeordnet. Somit werden an die Zuweisungslogik alle im Rahmen der

Einsatzszenarien benötigten Einsatzarten übergeben. Folglich ist die Hauptaufgabe der Zuweisungslogik, den ermittelten Einsatzarten jeweils eine kosteneffiziente Springerart zuzuweisen. Zunächst muss überprüft werden, welche Einsatzarten vorliegen und ob die vorhandenen Ressourcen den Bedarf decken können. Für den Fall, dass mehrere Ressourcen aufgrund ihrer Verfügbarkeit und Qualifikation infrage kommen, muss die Auswahl gemäß der Priorisierungsvorschrift aus Abbildung 36 getroffen werden.

Zuweisungslogik – präventiver Springereinsatz - Personalersatz

Für die Einsatzszenarien zur Ersatz- und Wissensvermittlung sieht die Einsatzlogik als Einsatzart immer den *präventiven Springereinsatz – Personalersatz* vor. Da dieser Einsatz nicht durch Driften abgebildet werden kann, wird nur die Abstufung innerhalb der Springerplanung (intern/extern) als Priorisierungsvorschrift herangezogen. Aufgrund der Qualifikation werden entweder Ersatz- oder Wissensspringer benötigt. Die Verfügbarkeits- sowie Qualifikationsprüfung erfolgen mithilfe der Prüflogik wie in Abbildung 78 (siehe Anhang) dargestellt. Beide Szenarien können gleichzeitig mit einem Unterstützungsszenario auftreten. Der zugehörige Teil der Zuweisungslogik ist in Abbildung 79 abgebildet.

Zuweisungslogik – präventiver Springereinsatz – ganzes Objekt

Treten Störungen auf, welche die Taktzeit überschreiten, so wird von der Einsatzlogik als Einsatzart der *präventive Springereinsatz – ganzes Objekt* gewählt. Auch hier ist kein Driften möglich, weshalb nur die Priorisierungsregel für Springereinsätze (intern/extern) greift. Wie bereits in Abbildung 35 zu sehen wird als Anforderungsprofil zum Qualifikationsabgleich der Ersatzspringer gewählt (siehe Prüflogik in Abbildung 78 (siehe Anhang)). Die Zuweisungslogik für präventive Springereinsätze mit der Übernahme eines ganzen Objekts ist in Abbildung 80 (siehe Anhang) visualisiert.

Zuweisungslogik – Drifteinsatz

Komplexer wird die Abfrage für das Unterstützungsszenario, welches prinzipiell durch *Driften*, *reaktiven Springereinsatz* sowie *präventiven Springereinsatz – Teiltätigkeiten* erfüllt werden kann. Laut der Priorisierungsvorschrift werden Drifteinsätze den Springereinsätzen vorgezogen (siehe Abbildung 36). Diese bewirken jedoch nur eine ganzheitliche Taktzeitreduktion, wenn aufgrund der unter Umständen entstehenden Wartezeit für das nachfolgende Objekt keine erneute Taktzeitüberschreitung verursacht wird. Beim Driften erfolgt nur eine Verfügbarkeitsprüfung des Driftkandidaten, da die Qualifikationserfüllung vorausgesetzt wird. Eine

Auswahl muss ebenfalls nicht stattfinden, da der Drifter immer fest vorgegeben ist. Die Kontrolle, ob das Driftpotenzial zur Reduzierung der Taktzeitüberschreitung ausreicht, erfolgt an späterer Stelle (siehe Anhang - Abbildung 82). Die Zuweisungslogik für Drifteinsätze veranschaulicht Abbildung 81 (siehe Anhang).

Zuweisungslogik – reaktiver und präventiver Einsatz - Teiltätigkeit

Entsteht eine Wartezeit, wird geprüft, ob ein reaktiver Einsatz möglich ist, denn dann kann das Stammpersonal mit der Bearbeitung des Objekts am Taktanfang beginnen. Es wird deutlich, dass Driften und der reaktive Springereinsatz meist nur in Verbindung eine ganzheitliche Taktzeitreduktion bewirken. Ein reaktiver Einsatz alleine hat keine Auswirkung auf die Taktzeit (Hinweis: In Abbildung 81 wurde dafür $t_{\text{Driftpotenzial}} = 0$ angenommen). Dieser Einsatz ist nur für das darauffolgende Objekt von Vorteil, da mit dessen Bearbeitung rechtzeitig begonnen werden kann. Entsteht keine Wartezeit aufgrund des Driftpotenzials, so wird überprüft, ob ein präventiver Einsatz mit der Übernahme von Teiltätigkeiten möglich ist. Auch jetzt wird analysiert, ob die zeitliche Überschreitung kompensiert werden kann. Ist das nicht der Fall, fließt die verbleibende Zeit in Form von Wartezeit in die Bearbeitungszeit für den nächsten Bereich mit ein. Für reaktive und präventive Springereinsatz findet die Auswahl analog zu der Prüflogik wie in Abbildung 78 (siehe Anhang) dargestellt statt. Der Ablauf der Zuweisungslogik für den *reaktiven Springereinsatz* sowie den *präventiven Springereinsatz – Teiltätigkeiten* zeigt Abbildung 82 (siehe Anhang).

6.3 Ergebnis: Bedarfsidentifikationslogik



Die Bedarfsidentifikationslogik besteht aus drei Partiallogiken: der Auswahl-, der Einsatz- und der Zuweisungslogik. In ihrem Gesamtprozess erreichen diese die Identifikation von ursachenbasierenden Springerbedarfen bis hin zu deren kosteneffizienten Deckung durch Springer. Zur praxisnahen Anwendung müssen die Ablaufdiagramme in Algorithmen übersetzt und in ein Simulationsmodell integriert werden (siehe auch Abschnitt 1.2). Dieses Simulationsmodell greift auf eine Datenbank zu, die zum einen Daten zur Abbildung des Montageablaufs und zum anderen spezifische Daten für die Bedarfsidentifikationslogik enthält. Allgemein gesprochen besteht solch eine Datenbank aus drei Hauptbestandteilen (HOMPEL, SADOWSKY & BECK 2011, S. 240): den *Systemlastdaten*, den *Organisationsdaten* und den *Technischen Daten*.

Unter *Systemlastdaten* fallen alle Daten, welche für die Auftragseinstellung relevant sind, z. B. Produktionsprogramm/-reihenfolge, Stücklisten, Mengen oder Termine. *Organisationsdaten* dagegen umfassen Aspekte der Arbeitszeitorganisation und Ressourcenzuordnung z. B. Schichtpläne, Mitarbeiterzuordnung oder Pausenzeiten. Für den Bereich der *Technischen Daten* können Fabrikstruktur, Fertigungs-, Material- sowie Stördaten genannt werden, z. B. Layout, Bearbeitungs- und Rüstzeit, MTTR usw. Für die Datenauswahl, die für den Aufbau eines Simulationsmodells, das den Montageablauf abbildet, relevant ist, sei auf weiterführende Literatur verwiesen (z. B. BANGSOW 2011).

Im Rahmen der Bedarfsidentifikation werden neben denselben Daten wie zur Abbildung des Montageprozesses spezifische Daten benötigt, die zum einen zur Ursachenidentifikation und zum anderen zum Abgleich der prozess- sowie personalseitigen Prüfkriterien notwendig sind.

Für die **Ursachenidentifikation** sind folgende Daten erforderlich:

- **Leistungsgrade der Mitarbeiter** (Abbildung des Wissensvermittlungsszenarios),
- **Leistungsgrade der Betriebsmittel und Anlagen** (Abbildung der technischen Verluste),
- **zufallsabhängige Störungsdaten** (MTTR, durchschnittliche Zeit zwischen Störungen),
- **geplante Störungsdaten** (Wartungen, Werkzeugwechsel usw.),
- **Pausenzeiten** (geplante Abwesenheiten),

- zufallsabhängige Pausendaten über **Verteilzeiten**,
- **Bearbeitungszeiten** der Produkte (auf Prozessvariantenbasis).

Für den Abgleich von **prozess- sowie personalseitigen Prüfkriterien** sind folgende Daten erforderlich:

- **vorhandene Arbeitsplätze** für Springer/Drifter,
- **vorhandene Betriebsmittel** für Springer/Drifter,
- Kennzeichnung von **Abläufen**, die **parallel** erfolgen können,
- **Sonderfreigaben** zur Aufhebung der 1-Objekt-in-Bereich-Regel,
- **Verfügbarkeiten** aller Mitarbeiter,
- **Entfernung von Mitarbeitern** (zur Komplexitätsreduktion gelten feste Werte für die Entfernung sowohl zwischen Segment und Hauptmontagelinie als auch zwischen Bereich und Montagelinie),
- **Qualifikationsprofile** der Mitarbeiter (Anforderungsabgleich – derselbe Aufbau wie bei den Anforderungsprofilen der Springer).

7 Modell III – Konfigurationsmodell

Modell III dient zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage (siehe Abbildung 37). Das Konfigurationsmodell wurde entwickelt, um einen kosteneffizienten Springerpool bilden zu können. Das Konfigurationsmodell baut auf dem Bedarfsidentifikationsmodell auf und unterstützt insbesondere bei der Deckung des fiktiven Springerpools. Interne Springer, die im Simulationsmodell abgebildet sind, werden bereits durch Modell II zugewiesen. Des Weiteren werden am Ende von Kapitel 7 Handlungsempfehlungen gegeben, wie Schulungsmaßnahmen dazu dienen, weitere Springerressourcen aufzubauen, um den Einsatz von Vollzeitspringern langfristig zu reduzieren und somit eine Kostenreduktion zu bewirken.

Der Grundlagenteil von Kapitel 7 zeigt auf, wie die Konfiguration eines Springerpools als Zuordnungsproblem formuliert werden kann und welche gängigen Optimierungsansätze existieren, um dieses Problem zu lösen. Grundlagen aus dem Bereich Personalentlohnung sind Abschnitt 2.3 zu entnehmen. Anschließend werden die drei Stufen des Konfigurationsmodells vorgestellt.

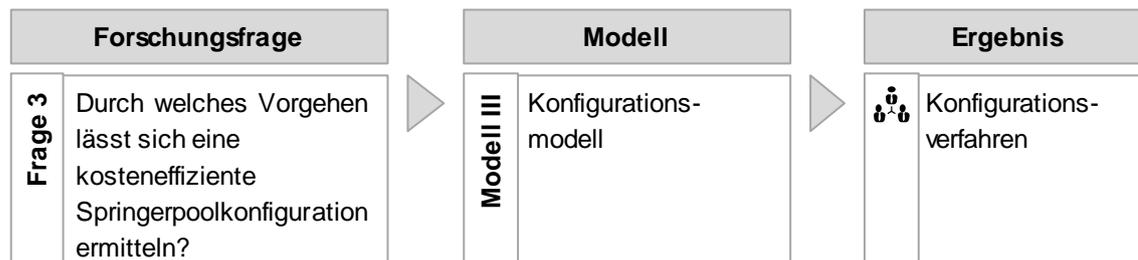


Abbildung 37: Modell III – dreistufiges Konfigurationsmodell

7.1 Grundlagen

7.1.1 Formulierung der Springerpoolkonfiguration als Zuordnungsproblem

Bei der Konfiguration eines Springerpools handelt es sich um ein sog. *Zuordnungsproblem*, bei dem Mitarbeiterkapazitäten den Springerbedarfen zugewiesen werden. Zuordnungsprobleme stellen diskrete Optimierungsprobleme dar, welche zudem nach linearen und nicht linearen Problemen differenziert werden können. Bekannte lineare Zuordnungsprobleme sind z. B. die Zuordnung von Aufträgen zu

Maschinen (Maschinenbelegung) oder die Mitarbeiterereinsatzplanung, die Mitarbeiter auf Aufträge verteilt (DOMSCHKE ET AL. 2015). Häufig ist es bei diesen Problemen so, dass als Zielfunktion die Maximierung der Auslastung oder die Minimierung der Durchlaufzeit angesetzt wird. Charakteristisch für lineare Probleme ist, dass die Zielfunktion linear verläuft und die Nebenbedingungen meist eindeutig definiert sind, z. B. dass immer ein Auftrag bzw. eine Person einer Maschine bzw. Station zugeteilt wird. Zu linearen Zuordnungsproblemen sei auf die weiterführende Literatur verwiesen: BURKARD UND DERIGS (1980), CARPANETO ET AL. (1988), DERIGS (1988), DOMSCHKE (2007) UND DOMSCHKE, DREXL, KLEIN & SCHOLL (2015).

Im Fall der Springerpoolkonfiguration handelt es sich um ein nicht lineares Problem, welches in Bezug auf die Nebenbedingungen eine gewisse Komplexität aufweist, da keine Eindeutigkeit bei der Zuweisung gegeben ist. Personalkapazitäten können beispielsweise mehrmals innerhalb einer Schicht den Bedarfen zugewiesen werden. Bei der qualifikationsbasierten Auswahl wird die Vermeidung der Überqualifikation angestrebt, jedoch nicht vorausgesetzt. Die übergeordnete Zielfunktion der Kosteneffizienz wird nicht nur durch eine Zielgröße erreicht, sondern durch das optimale Zusammenspiel mehrerer Größen. Darüber hinaus existieren Nebenbedingungen, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Im Folgenden werden sowohl die Zielfunktionen als auch die Nebenbedingungen erläutert.

Die Zielfunktionen zur kosteneffizienten Zuweisung lauten:

- Bei der Auswahl der Mitarbeiterressourcen sollen günstigere Mitarbeiter bevorzugt werden (= Minimierung der Personalkosten).

Folgende Ziele begünstigen die Kosteneffizienz:

- Jeder Bedarf sollte mit verfügbaren Ressourcen gedeckt werden (= Minimierung der Restbedarfe).
- Bedarfe mit hohen Qualifikationsanforderungen sind zu priorisieren (= Minimierung von Restbedarfen mit hohen Qualifikationsanforderungen).
- Die Zuweisung sollte qualifikationsgerecht erfolgen (= Minimierung von überqualifizierten Einsätzen).

Nebenbedingungen für eine kosteneffiziente Zuweisung:

- Mitarbeiter müssen verfügbar sein.
- Die Bedarfe können nicht gesplittet werden, d. h. ein Bedarfseinsatz muss immer von einem Springer ohne Unterbrechung erfüllt werden (keine Übergabe).
- Mitarbeiterkapazitäten lassen sich in mehrere Bedarfe splitten, d. h. ein Mitarbeiter kann während der Schicht mehrere Einsätze übernehmen.
- Es sind keine parallelen Einsätze von einem Mitarbeiter möglich, d. h. es kann immer nur ein Einsatz von einem Mitarbeiter übernommen werden.
- Bedarfe können parallel auftreten.
- Eine unterqualifizierte Zuweisung ist nicht möglich.
- Eine überqualifizierte Zuweisung ist möglich.

7.1.2 Heuristische Ansätze zur Lösung von Zuordnungsproblemen

Grundsätzlich kann bei der Lösung von Zuordnungsproblemen nach drei Verfahrensarten unterschieden werden: Probierv Verfahren, Heuristiken sowie exakte Verfahren (PRÖPSTER 2015). *Probierv Verfahren* basieren auf Expertenwissen und nutzen Planungshilfsmittel, z. B. Arbeits- und Schichtpläne. Eine softwaretechnische Unterstützung kommt häufig nur in sehr geringem Maß zum Einsatz. Da die Ergebnisqualität sehr vage ist, finden diese Verfahren keine weitere Berücksichtigung. *Heuristiken* führen zu keiner optimalen Lösung, sondern nur zu einer hinreichend guten Lösung. Die Aufstellung einfacher Vorschriften und Regeln führt zu suboptimalen Ergebnissen. Vorzugweise werden diese Ansätze gewählt, wenn der Rechenaufwand zur Generierung eines Optimums zu hoch ist und für den Anwendungsfall eine Näherung ausreicht. *Exakte Verfahren* basieren hingegen auf exakten Lösungen, welche systematischen Algorithmen sowie die IT-Unterstützung ermitteln.

Die Auswahl eines geeigneten Verfahrens ist unter anderem von der Komplexität des Problems abhängig, deren Grad die *Klassen P* und *NP* ausdrücken. Klasse *P* bedeutet, dass die Problemlösung mithilfe Algorithmen durchgeführt werden können, bei denen der Rechenaufwand proportional zur Problemgröße steigt. Somit können bei *P*-schweren Problemen exakte Verfahren zur Lösung gewählt werden. Bei *NP*-schweren Problemen steigt der Rechenaufwand exponentiell, wodurch

diese nicht effizient mit exakten Lösungsverfahren bedient werden können. Zu deren Lösung bieten sich Heuristiken an, welche anhand folgender Eigenschaften beschrieben werden können (ZIMMERMANN 2015):

- **Ausschluss potenzieller Lösungen:** Der Lösungsraum wird vorab eingegrenzt, wodurch keine Garantie der optimalen Lösung gegeben werden kann.
- **Nicht willkürliche Suchprozesse:** Die Suche im verbleibenden Lösungsraum wird durch ein definiertes Regelwerk vorgeschrieben.
- **Fehlende Lösungsgarantie:** Das Konvergenzverhalten der ermittelten Lösung lässt sich nicht nachweisen, wodurch keine Garantie gegeben werden kann.

Das vorliegende Problem der Springerpoolkonfiguration ist NP-schwer. Daher wird als Lösungsansatz ein heuristisches Vorgehen gewählt. In der weiterführenden Literatur sind diverse Methoden und Verfahren zur heuristischen Lösung von Zuordnungsproblemen zu finden, weshalb an dieser Stelle auf sie verwiesen wird (z. B. KRATZSCH 2000; GÖRKE 1978; BULLINGER 1986). Im Folgenden werden nur die beiden Verfahren detailliert erläutert, welche zur Entwicklung von Modell III eingesetzt wurden:

- Prioritätsregelverfahren
- Lokale Suchverfahren

Prioritätsregelverfahren

Das Prioritätsregelverfahren trägt zur Lösung von Problemen bei, welche zu einem betrachteten Zeitpunkt mehrere, gleichzeitig durchführbare Operationen besitzen. Dieser Charakter beschreibt die sog. *Warteschlangentheorie*, worin die verfügbaren Operationen eine Warteschlange bilden. Deren Abarbeitung kann stochastisch oder mithilfe sog. *Prioritätsregeln* erfolgen (SIEDENTOPF 2013). Eine Priorisierung der Auswahlmöglichkeiten stellt ein unkompliziertes Vorgehen zur Eingrenzung des Lösungsraums dar, weshalb es häufig mit weiteren heuristischen Ansätzen kombiniert wird. Im Rahmen dieser Arbeit wird dieses Verfahren mit der sog. *lokalen Suche* verknüpft.

Lokale Suchverfahren

Das lokale Suchverfahren stellt ein interaktives Näherungsverfahren dar, bei dem von einer anfänglichen Lösung x ausgegangen und iterativ nach besseren Lösungen gesucht wird (DOMSCHKE ET AL. 2007, S. 136). Die Suche erfolgt lokal in der

sog. *Nachbarschaft* $NB(x)$. Darin sind alle zulässigen Lösungen enthalten, welche sich durch Transformationsvorschriften generieren lassen. Transformationsvorschriften können z. B. das Vertauschen sowie das Verschieben von Lösungselementen sein. Es wird geprüft, ob die neu erzeugte Adaption eine Verbesserung (hinsichtlich der Zielfunktion) gegenüber der vorhergehenden Konfiguration darstellt. Ist dies der Fall, wird davon ausgehend so lange nach weiteren Möglichkeiten gesucht, bis das Abbruchkriterium erfüllt ist.

7.2 Aufbau des dreistufigen Konfigurationsmodells

Im Folgenden geht es um die Beantwortung der dritten Forschungsfrage, welche bereits in Abschnitt 1.2 vorgestellt wurde und wie folgt lautet: Durch welches Vorgehen lässt sich eine kosteneffiziente Springerpoolkonfiguration ermitteln?

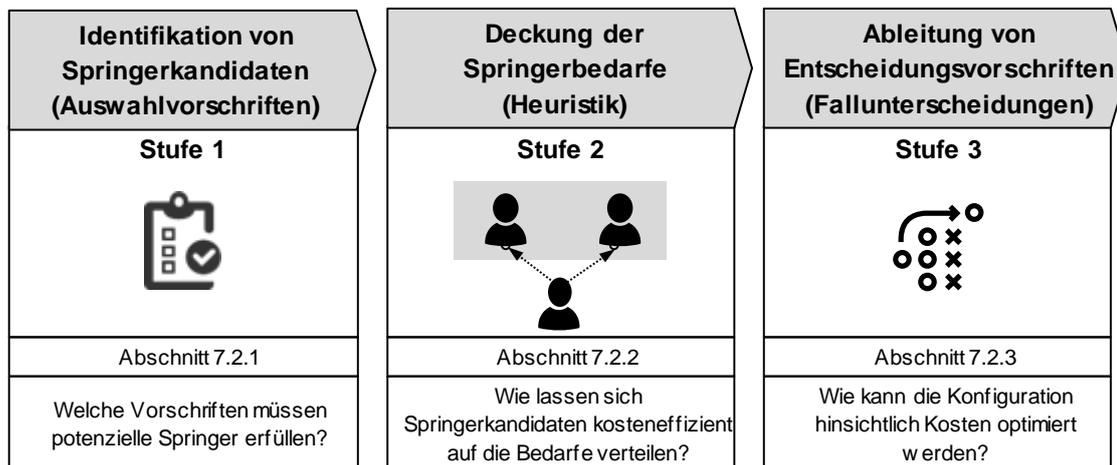


Abbildung 38: Vorgehen zur Entwicklung des Konfigurationsmodelles

Die Konfiguration des Springerpools soll auf Basis der mithilfe des Simulationsmodells ermittelten Bedarfe erfolgen (siehe Kapitel 6). Durch die Simulation können Anzahl und Dauer von Springer- bzw. Driftbedarfen bestimmt werden. In der Simulation wird ein Teil der Bedarfe direkt durch interne Springer sowie Drifter gedeckt und der andere Teil durch externe Springer aus einem fiktiven Pool. Modell II befasst sich ausschließlich mit der Deckung des fiktiven Springerpools. Ziel ist es, die verbleibenden Springerbedarfe mit vorhandenen Ressourcen aus anderen Fertigungs- bzw. Montagesystemen (Linien) zu decken. Dazu bedarf es eines Modells, welches unter Berücksichtigung der Kosteneffizienz die Bedarfe optimal mit vorhandenen Mitarbeiterkapazitäten deckt und die nicht zu bedienenden Lücken aufzeigt. Vollzeitspringer können diese kurzfristig decken, und aus mittel- bis

langfristiger Sichtweise müssen Fallunterscheidungen durchgeführt werden, um unternehmensübergreifend Kosteneffizienz zu erreichen. Daraus ergeben sich drei wesentliche Elemente des Konfigurationsmodells. Diese Elemente werden nachfolgend als Stufen bezeichnet (siehe Abbildung 38). Im Rahmen dieser Arbeit wurde zur softwareseitigen Unterstützung das Programm *MatLab* verwendet.

7.2.1 Stufe 1: Auswahlvorschriften für potenzielle Springer



Ziel von Modell III ist es, den fiktiven Teil des Springerpools, welcher Ergebnis von Modell II ist, durch reale Personalressourcen zu ersetzen.

Dazu müssen unternehmensintern potenzielle Personalressourcen identifiziert werden. Als potenzielle Kandidaten kommen Mitarbeiter infrage, die folgende Vorschriften erfüllen:

- zeitliche Kapazität vorhanden (Minimum abhängig von der Taktzeit sowie Entfernung am/zum Einsatzort),
- Verlassen des Arbeitsplatzes möglich,
- Tätigkeitsunterbrechung jederzeit möglich,
- Qualifikation/en für Einsatzort vorhanden (arbeitsplatzspezifisch),
- springerspezifische Anforderungen erfüllt.

Diese Vorschriften resultieren aus den Eigenschaften und Anforderungen der Springereinsatzbedarfe. Um einen Springerbedarf übernehmen zu können, müssen die Mitarbeiter zeitliche Kapazitäten besitzen. Da Bedarfe jederzeit auftreten können, müssen potenzielle Springer ihren Arbeitsplatz jederzeit verlassen und ihre eigentlichen Tätigkeiten unterbrechen können. Arbeitsplatzspezifische Qualifikationen müssen in ausreichendem Maß verfügbar sein. Neben den Qualifikationen am Einsatzort spielen die springerspezifischen Anforderungen (siehe Abschnitt 5.3) eine entscheidende Rolle. Mitarbeiter, die diesen Anforderungen nicht gerecht werden, können unabhängig von der Arbeitsplatzqualifikation nicht als Springer fungieren. Diese Mitarbeiter werden nicht als Potenzialkandidat in der Datenbank berücksichtigt.

Sind jedoch alle Vorschriften erfüllt, können die Kandidaten in eine Datenbank aufgenommen werden. Diese Datenbank liefert unter anderem die Eingangsgrößen für die im folgenden Abschnitt erläuterte Heuristik. Diese Daten müssen für eine effiziente Zuweisung erhoben werden:

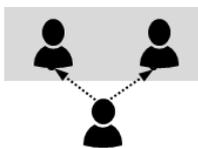
- Mitarbeiteridentifikationsnummer (Mitarbeiter-ID),
- verfügbarer Zeitanteil des Mitarbeiters,
- stationsbezogene/-übergreifende Qualifikationsmatrix,
- Personalkosten je Mitarbeiter.

In Abbildung 39 ist ein Beispiel mit relevanten Daten für die Auswahlvorschrift aufgeführt. Die Qualifikationsgrade in der Qualifikationsmatrix müssen der Stufenskala aus Kapitel 5 entsprechen. Nur so kann eine direkte Zuweisung von Springerkapazitäten auf qualifikationsbasierte Bedarfe erfolgen (siehe Springeranforderungsprofil in Abschnitt 5.3). Die Personalkosten basieren auf Kostensätzen, welche sich aus der Qualifikation bzw. der Einstufung nach den ERA-Tarifverträgen (siehe Abschnitt 2.3) ergeben.

Mitarbeiter-ID	Verfügbarer Zeitanteil in Minuten	Vorhandene Qualifikation im Einsatzbereich			
		Station A	Station B	Station C	...
200-5-1	60	n/v	Stufe 4	n/v	...
200-6-7	45	n/v	n/v	n/v	...
200-9-1	30	n/v	Stufe 4	Stufe 2	...
200-3-3	60	Stufe 4	n/v	n/v	...
...

Abbildung 39: Exemplarische Darstellung relevanter Daten für Auswahlvorschrift

7.2.2 Stufe 2: Heuristik zur kosteneffizienten Bedarfsdeckung



Wie bereits in Abschnitt 7.1.2 erläutert ist die folgende Heuristik auf den Prinzipien der Prioritätsregelverfahren sowie auf lokalen Suchverfahren aufgebaut. Mithilfe des Prioritätsregelverfahrens reduzieren sich kombinatorische Möglichkeiten, wodurch der Rechenaufwand abnimmt. Eine derartige Einschränkung ist für das vorliegende Problem ausreichend, da die Anwendbarkeit in der Praxis und die schnelle Ergebnisgenerierung im Vordergrund stehen. Für das Prioritätsregelverfahren erfolgen Priorisierungen, damit es für die Springerzuweisung eine vorgegebene Reihenfolge zur Bedarfsdeckung gibt. Bevor Personalressourcen final zugewiesen werden können, müssen zeitliche

Voraussetzungen sowie Qualifikationsanforderungen geprüft werden. Darauf aufbauen wird unter Berücksichtigung der Personalkosten eine kosteneffiziente Springerpoolkonfiguration gebildet. Im Folgenden sind diese drei Aspekte erläutert:

- (1) Priorisierung der Einsatzbedarfe aus Modell II
- (2) Prüfung von Qualifikationsanforderungen von zeitlichen Voraussetzungen
- (3) Kosteneffiziente Konfiguration des Springerpools

(1) Priorisierung der Einsatzbedarfe aus Modell II

Aus den Zielfunktionen ergibt sich, dass Bedarfe mit hohen Qualifikationsanforderungen minimiert werden sollen (siehe Abschnitt 7.1.1). Dies bedeutet, dass Bedarfe mit höheren Qualifikationsanforderungen bevorzugt werden. Existieren mehrere Bedarfe innerhalb einer Qualifikationsstufe, so werden diese nach der Dauer priorisiert, d. h. längere Einsätze werden den Kürzeren vorgezogen. Grund dafür ist, dass längere Einsätze mit höherer Wahrscheinlichkeit gedeckt werden, und falls es keine Personalressourcen mehr gibt, kürzere Einsätze übrigbleiben. Zusätzliche Kapazitäten für ausreichend qualifiziertes Personal zu schaffen, fällt bei kürzeren Einsatzzeiten leichter als bei längeren.

Unter Berücksichtigung beider Regeln können die Bedarfe aus Modell II in eine bestimmte Reihenfolge gebracht werden (siehe Abbildung 40). Darüber hinaus spielt der Zeitpunkt, wann der Bedarf auftritt, eine Rolle. Kommt es zu überlappenden, parallel ablaufenden Einsätzen, müssen diese von zwei unterschiedlichen Ressourcen bedient werden. Deshalb müssen als Eingangsdaten für das Konfigurationsmodell die in Abbildung 40 dargestellten Kategorien vorhanden sein. Der Beginn des Einsatzes wird über den Takt festgelegt und nicht über die Uhrzeit, da durch die Taktnummer eine vom geplanten Zeitpunkt unabhängige Zuordnung zur Bauteilnummer vorgenommen werden kann. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn es zu ungeplanten Unterbrechungen kommt und die geplanten Zeiten sich verschieben. Der Einsatz wird zu Beginn des Takts gemessen und das Ende des Einsatzes hört mit dem Beginn eines neuen Takts auf. Daher ist als Endpunkt die Nummer des neun Takts angegeben.

Priorisierung	Bedarfs-ID	Benötigte Qualifikation	Stationsnummer	Dauer d. Einsatzes	Beginn Einsatz (Taktnr.)	Ende Einsatz (Taktnr.)
1	001-2	Stufe 4	Station A	15 min	Takt 28	Takt 31
2	001-4	Stufe 4	Station B	10 min	Takt 30	Takt 32
3	001-3	Stufe 4	Station A	5 min	Takt 2	Takt 3
4	001-1	Stufe 3	Station A	10 min	Takt 14	Takt 16
5	002-7	Stufe 2	Station C	15 min	Takt 20	Takt 23
6	001-7	Stufe 2	Station D	10 min	Takt 2	Takt 4
...

- 1. Priorisierung erfolgt nach Qualifikation
- 2. Priorisierung erfolgt nach Dauer des Einsatzes

Abbildung 40: Priorisierung von Springerbedarfen nach Qualifikation und Dauer

(2) Prüfung von Qualifikationsanforderungen und von zeitlichen Voraussetzungen

Die Auswahl von Personalressourcen und somit die kosteneffiziente Konfiguration des Springerpools erfolgt auf Basis der lokalen Suche (siehe Abschnitt 7.1.2). Dabei werden durch Kombinatorik mögliche Lösungen generiert, hinsichtlich des Zielkriteriums (Kosteneffizienz) verglichen und so lange angepasst, bis näherungsweise ein Optimum entstanden ist. Ob eine Lösung zulässig ist, hängt von den folgenden Fragen ab:

- Ist ausreichend Qualifikation vorhanden (Stufe und Station)?
- Ist der Mitarbeiter verfügbar (nicht an einer anderen Station bereits tätig)?
- Reicht die Mitarbeiterkapazität für den Einsatzzeitraum aus?

Die Qualifikationsprüfung erfolgt statisch, da sie von keinen weiteren Randbedingungen abhängig ist. Dafür wird die Liste mit priorisierten Bedarfen zeilenweise durchlaufen und mit den vorhandenen Ressourcen abgeglichen. Das Ergebnis wird in einer Matrix mit binärer Zuordnung (1 = erfüllt, 0 = nicht erfüllt) festgehalten (siehe Abbildung 41). Diese bildet den möglichen Lösungsraum basierend auf vorhandenen Qualifikationen ab. Sind in einer Zeile mehr als nur eine eins enthalten, so bestehen dort mehrere Kombinationsmöglichkeiten, die anhand von Transfor-

mationsvorschriften variiert werden können. Am Beispiel der Matrix aus Abbildung 41 betrifft dies den Bedarf 001-4. Hier kann sowohl Mitarbeiter 2 als auch Mitarbeiter 3 den Einsatz übernehmen. Eine zeitliche Prüfung hat an dieser Stelle noch nicht stattgefunden. Diese erfolgt im Anschluss.

Priorisierte Bedarfe				Lösungsraum – Mitarbeiterqualifikation		
Priorisierung	Bedarfs-ID	Benötigte Qualifikation	Stationsnummer	Mitarbeiter 1 (200-3-3)	Mitarbeiter 2 (200-5-1)	Mitarbeiter 3 (200-9-1)
1	001-2	Stufe 4	Station A	1	0	0
2	001-4	Stufe 4	Station B	0	1	1
3	001-3	Stufe 4	Station A	1	0	0
4	001-1	Stufe 3	Station A	1	0	0
5	002-7	Stufe 2	Station C	0	0	1
6	001-7	Stufe 2	Station D	0	0	0
...

1 = Mitarbeiter erfüllt Qualifikation
 0 = Mitarbeiter erfüllt Qualifikation nicht

Abbildung 41: Binäre Zuordnung der Qualifikationserfüllung

Die Tabelle in Abbildung 41 stellt die Eingangsdaten zur zeitlichen Prüfung dar. Die Bedarfe werden chronologisch von oben nach unten durch Mitarbeiterressourcen gedeckt. Dafür wird zeilenweise abgefragt, ob ein Mitarbeiter die Qualifikation besitzt, ob dieser verfügbar ist und ausreichend Kapazität für den Einsatz vorhanden ist. Sind alle Kriterien erfüllt, wird der Mitarbeiter zugewiesen. Für den Fall, dass es mehrere Möglichkeiten pro Zeile gibt, werden in weiteren Durchläufen Alternativszenarien gebildet (siehe Abschnitt 7.1.2 – Transformationsvorschriften). Wird keine Personalressource gefunden (Kriterien sind nicht erfüllt), übernimmt den Einsatz ein Vollzeitspringer (siehe Abbildung 41 – Zeile 5).

(3) Kosteneffiziente Konfiguration des Springerpools

Die Auswahl der kosteneffizienten Konfiguration basiert auf der Minimierung der Kostenfunktion. Dafür wurde bereits in Stufe 1 eine Tabelle mit Personalkosten erzeugt. Es wird empfohlen, die Kosten in der Tabelle je Takt darzustellen und nicht die Gesamtkosten. Für Vollzeitspringer wird ebenfalls eine Kostentabelle er-

stellt, jedoch mit fiktiven Werten, welche bewusst hoch und mit sehr großer Differenz zu den realen Kostensätzen gewählt wurden (z. B. 9.999 €/Takt). Dadurch wird deren Auswahl stets vermieden und findet nur dann Anwendung, wenn keine unternehmensinternen Ressourcen verfügbar sind. Bei den Einträgen in der Datenbank muss darauf geachtet werden, dass die Anzahl an Vollzeitspringern auf die maximale Belastung des Systems ausgelegt ist, d. h. die Anzahl an Vollzeitspringern muss der Anzahl an Springerarbeitsplätzen im System entsprechen. Nur so ist sichergestellt, dass ein gleichzeitig stattfindender Einsatz an allen Stationen erfolgen kann. Dennoch unterliegen die Vollzeitspringer einer Priorisierung. Diese wird benötigt, um die Anzahl an eingesetzten Vollzeitspringern so gering wie möglich zu halten. Der Qualifikationsgrad von Vollzeitspringern entspricht der höchsten Stufe an jedem Arbeitsplatz.

Nachfolgend wird anhand der bisher in den Abbildungen dargestellten Beispiele eine exemplarische Berechnung durchgeführt. Die angenommenen Kostensätze sind vereinfachte Annahmen und entsprechen nicht der Realität (siehe Abbildung 42). In Abbildung 43 sind die Mitarbeiterkosten pro Einsatz dargestellt. Die Berechnung erfolgt zum einen auf Basis der binären Zuordnung hinsichtlich der Qualifikationserfüllung und zum anderen auf der Taktanzahl pro Einsatz. Das Produkt dieser Werte ergibt die Kosten pro Springereinsatz. Zur Ermittlung der kosteneffizientesten Konfiguration werden die Kombinationsmöglichkeiten verglichen. Im Beispiel in Abbildung 43 gibt es zwei Möglichkeiten zur Konfiguration des Springerpools, da den Bedarf 001-4 zwei Mitarbeitern decken können. Das lokale Suchverfahren findet an dieser Stelle Anwendung, indem die verschiedenen Möglichkeiten berechnet und die kostengünstigere Variante gewählt wird. Variante 1 ist in diesem Fall kosteneffizienter (siehe Abbildung 43).

Mitarbeiter ID	Kosten (k _M)
200-3-3	10 €/ Takt
200-5-1	5 €/ Takt
200-9-1	15 €/ Takt
...	...

Abbildung 42: Kostensätze pro Mitarbeiter

Priorisierung	Bedarfs - ID	Anzahl Takte* (t _i)	Kosten pro Einsatz und Mitarbeiter** (k _M * t _i)		
			Mitarbeiter (200-3-3)	Mitarbeiter (200-5-1)	Mitarbeiter (200-9-1)
1	001-2	3	30 €	0	0
2	001-4	2	0	10 €	30 €
3	001-3	1	10 €	0	0
4	001-1	2	20 €	0	0
5	002-7	3	0	0	45 €
6	001-7	2	0	0	0
...

* Die Anzahl der Takte kann aus Abbildung 50 übernommen werden

**Die Kostensätze pro Takt können aus Abbildung 51 übernommen werden und t_i gibt die Anzahl der Takte vor

Variante 1: 30 € + 10 € + 10 € + 20 € + 45 € = 105 € **Kosteneffizientere Variante**

Variante 2: 30 € + 30 € + 10 € + 20 € + 45 € = 135 €

Abbildung 43: Mitarbeiterkosten pro Springereinsatz

Da der Bedarf 001-7 nicht durch interne Personalressourcen gedeckt werden kann, muss ein Vollzeitspringer eingesetzt werden. Wie bereits erläutert wird zur Berechnung der Kosten ein fiktiver Kostensatz von 9.999 Euro/Takt angesetzt. Bei einem Einsatz über zwei Takte ergeben sich Vollzeitspringerkosten in Höhe von 19.998 Euro. Die Berechnung der Kosten für die gesamte Konfiguration des Springerpools kann mithilfe folgender Formel erfolgen:

$$\sum_{i=1}^n k_M * t_i \quad (9)$$

i = Einsatznummer, t_i = Einsatzzeit pro Einsatznummer,
 k_M = Kosten pro Mitarbeiter

Wählt man Variante 2 und addiert dazu die Vollzeitspringerkosten, ergeben sich 20.103 Euro für die Springerpoolkonfiguration. Als Ergebnis erhält man eine Tabelle, in der die Bedarfs-ID verknüpft mit der Mitarbeiter-ID aufgeführt wird. Die Bedarfe, welche die Vollzeitspringer decken, sind durch eine eigene ID-Nummer (z. B. VZS-1) gekennzeichnet.

Bedarfs ID	Mitarbeiter ID
001-2	200-3-3
001-4	200-5-1
001-3	200-3-3
001-1	200-3-3
002-7	200-9-1
001-7	VZS-1
...	...

Abbildung 44: Kosteneffiziente Springerpoolkonfiguration

7.2.3 Stufe 3: Fallunterscheidungen zur Springerpoolkonfiguration

 Die Springerpoolkonfiguration, welche sich aus dem vorherigen Abschnitt 7.2.2 ergibt, kann nicht pauschal als finale Lösung gelten. Das Ergebnis muss abschließend insgesamt auf seine Kosteneffizienz hin geprüft werden. Bei der Zuweisung von Ressourcen auf Einsatzbedarfe wurde auf eine geringe Kostenverursachung geachtet. Dennoch können die Personalkosten der internen Ressourcen aufgrund der Übernahme von Springertätigkeiten steigen (tarifliche Neueinstufung) oder die Auslastung von Vollzeitspringern kann aufgrund zu geringen Bedarfs auf ein unwirtschaftliches Niveau fallen. Deshalb werden anschließend Entscheidungsvorschriften vorgestellt, die bei der Kostenanalyse unterstützen.

Die Kostenermittlung beruht auf zwei wesentlichen Kosten. Zum einen handelt es sich um die Mehrkosten für unternehmensinternes Personal, welche sich aus tariflichen Neueinstufungen ergeben, und zum anderen um die Personalkosten, die beim Einsatz von Vollzeitspringern anfallen. Die gesamten Mehrkosten werden dadurch berechnet, indem die Kostendifferenzen aller Mitarbeiter (m) aufsummiert werden ($\Delta K_{MA, gesamt}$). Die Kostendifferenz pro Mitarbeiter ergibt sich aus dem Delta zwischen neuen ($K_{MA, neu, i}$) und ursprünglichen Kostensätzen ($K_{MA, uspgl, i}$). Die Kosten für Vollzeitspringer (K_{VZS}) hängen einerseits von der Qualifikationsanforderung und der damit verbundenen (tariflichen) Einstufung ab und andererseits von der benötigten Anzahl (n). Diese wiederum ergibt sich aus der maximalen Anzahl an parallel auftretenden Springerbedarfen bzw. direkt aus der Konfiguration wie in Abschnitt 7.2.2 beschrieben. Ein standardisiertes Vorgehen zur Ermittlung einzelner Personalkostensätze kann nicht vorgegeben werden, da dieses von der unternehmensspezifischen Gestaltung der Tarifverträge abhängt. Mathematisch lassen sich die Formeln zur Gesamtkostenberechnung wie folgt beschreiben:

Mehrkosten aufgrund Übernahme von Springertätigkeiten:

$$\Delta K_{MA, gesamt} = \sum_{i=1}^m (K_{MA, uspgl, i} - K_{MA, neu, i}) \quad (10)$$

Kosten für den Einsatz von Vollzeitspringern:

$$K_{VZS, gesamt} = n \times K_{VZS} \quad (11)$$

Da die Qualifikationsmatrix auf Basis der Kostensatz für Vollzeitspringer berechnet wird, muss sie einerseits eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten aufweisen, andererseits sollte dennoch auf die Kosteneffizienz geachtet werden, weshalb eine vollumfängliche Qualifikation an allen Stationen nicht als Standard angenommen wird. Zur Erstellung der Qualifikationsmatrix werden Simulationsergebnisse aus der Vergangenheit überlagert und ausgewertet (siehe Abschnitt 8.3). Die maximal angefallene Anforderungsstufe pro Station wird als Benchmark in die Matrix aufgenommen. Dadurch kann beispielsweise verhindert werden, dass Vollzeitspringer für Stationen qualifiziert sind, an denen es nie zu Einsätzen kommen wird.

Die Entscheidungsvorschriften lassen sich in zwei größere Blöcke einteilen. Der erste Block bezieht sich auf den Fall, dass alle Einsatzbedarfe von internen Personalressourcen gedeckt werden können und keine Vollzeitspringer erforderlich

sind. Der zweite Block analysiert die Kostenstruktur, wenn der Einsatz von Vollzeitspringern benötigt wird. Nachfolgend werden die Entscheidungsvorschriften mit Fallunterscheidungen und Handlungsempfehlungen beschrieben.

- (1) Bedarfsdeckung durch interne Personalressourcen gewährleistet
- (2) Bedarfsdeckung nur durch den zusätzlichen Einsatz von Vollzeitspringern gewährleistet

(1) Bedarfsdeckung durch interne Personalressourcen gewährleistet

In diesem Fall werden keine zusätzlichen Vollzeitspringer benötigt. Dennoch sollte geprüft werden, ob ggf. anfallende Mehrkosten durch tarifliche Neueinstufungen im Verhältnis zum Einsatz von Vollzeitspringern kostengünstiger sind. Insbesondere wenn mehrere Personalressourcen von Lohnsteigerungen betroffen sind, kann in Summe deren Steigerung höher sein als die Kosten für einen Vollzeitspringer. Dafür muss in einem ersten Schritt untersucht werden, ob sich durch die Übernahme von Springertätigkeiten Mehrkosten ergeben (siehe Formel 12).

$$\Delta K_{MA, \text{gesamt}} = \begin{cases} > 0 & \rightarrow \text{Fall 1: Kein Kostenvergleich notwendig} \\ \leq 0 & \rightarrow \text{Fall 2: Kostenvergleich notwendig} \end{cases} \quad (12)$$

Falls Mehrkosten auftreten erfolgt anschließend die Prüfung, ob diese Kosten über den Gesamtkosten für den Einsatz von Vollzeitspringern liegen (siehe Formel 13). Tritt Fall 1 ein und Vollzeitspringer sind günstiger, so werden diese den internen Personalressourcen vorgezogen und bilden den kosteneffizienten Springerpool ab.

$$K_{VZS, \text{gesamt}} = \begin{cases} < \Delta K_{MA, \text{gesamt}} & \rightarrow \text{Fall 1: Einsatz VZS empfehlenswert} \\ \geq \Delta K_{MA, \text{gesamt}} & \rightarrow \text{Fall 2: Kein Einsatz von VZS empfohlen} \end{cases} \quad (13)$$

(2) Bedarfsdeckung nur durch den zusätzlichen Einsatz von Vollzeitspringern gewährleistet

Sobald Vollzeitspringer benötigt werden, muss eine Analyse auf Basis ihrer Auslastung erfolgen. Unter Auslastung (A_{Springer}) ist das Verhältnis zwischen tatsächlicher Nutzungsdauer ($t_{\text{Nutzung, ist}}$) und maximal möglicher Nutzungsdauer ($t_{\text{Nutzung, max}}$) zu verstehen (siehe Formel (14)) (EVERSHEIM 1989, S. 34). Die tatsächliche Nutzungsdauer ergibt sich aus den Einsatzzeiten, welche in der Konfiguration bereits ermittelt wurden (siehe Stufe 2, Abschnitt 7.2.2). Zu dieser Nutzungsdauer wird pro Einsatz ein Aufschlag von ca. 2 bis 3 Minuten¹⁴ addiert als eine Art Rüstzeit für den Springer. Die maximal mögliche Nutzungsdauer ergibt sich aus der Schichtzeit abzüglich Pausen sowie persönlichen Verteilzeiten. Für reguläre Montagemitarbeiter ergibt sich daraus eine Auslastung zwischen 80 und 90 Prozent. Eine Vollausslastung von 100 Prozent wäre theoretisch möglich, allerdings dient ein Puffer von 10 bis 20 Prozent als Sicherheitsfaktor bzw. enthält dieser Verteilzeiten.

$$A_{\text{Springer}} = \frac{t_{\text{Nutzung, ist}}}{t_{\text{Nutzung, max}}} \quad (14)$$

Ist die Auslastung der Vollzeitspringer zu gering, muss untersucht werden, ob eine Umverteilung von Springertätigkeiten aus Kostensicht sinnvoll ist. Das heißt: Entweder übernehmen interne Personalressourcen die Vollzeitspringertätigkeiten oder Vollzeitspringer die Tätigkeiten der internen Personalressourcen. Dazu wird eine Fallunterscheidung durchgeführt (siehe Formel 15). Die prozentualen Grenzwerte wurden anhand der Ergebnisse aus einer Expertenbefragung festgelegt. Sie können aber auch individuell angepasst werden. Wichtig ist das Wissen darüber, dass drei Maßnahmen zur weiteren Optimierung existieren.

$$A_{\text{Springer}} = \begin{cases} \geq 70\% & \rightarrow \text{Fall 1: Keine Umverteilung vornehmen} \\ 30\% < A_{\text{Springer}} < 30\% & \rightarrow \text{Fall 2: Prüfung, ob Umverteilung kosteneffizienter} \\ \leq 30\% & \rightarrow \text{Fall 3: Prüfung, ob interner Ressourcenaufbau kosteneffizienter} \end{cases} \quad (15)$$

¹⁴ Diese Zeit ist abhängig von den Abmaßen der Montagelinie und den damit verbundenen Wegen. Die Zeit kann unternehmensindividuell angepasst werden.

Fall 1:

Ist die Auslastung größer als 70 Prozent, dann muss keine Umverteilung erfolgen. Eine Vergleichsrechnung wie unter (1) ist dennoch empfehlenswert (siehe Formeln 12 - 13).

Fall 2:

Für den Fall, dass die Auslastung der Vollzeitspringer zwischen 30 und 70 Prozent liegt, wird berechnet, inwiefern eine Umverteilung von internen Personalressourcen auf Vollzeitspringer kostengünstiger ist. Die Entscheidung hängt insbesondere von den Mehrkosten ($\Delta K_{MA, \text{gesamt}}$) ab. Zur Identifikation, welche Tätigkeiten umverteilt werden, bietet es sich an, die individuellen Mehrkosten pro Mitarbeiter nach der Kostenhöhe zu priorisieren. Das heißt: Die Tätigkeiten des Mitarbeiters, welcher durch die Übernahme von Springereinsätzen die höchsten Mehrkosten verursacht, werden als erstes den Vollzeitspringern übertragen. Somit steigt die Auslastung der Vollzeitspringer und die Gesamtkosten nehmen ab. Die Reduzierung der Auslastung von internen Personalressourcen wird an dieser Stelle vernachlässigt. Führen interne Ressourcen parallel zum Vollzeitspringer Tätigkeiten aus, so können diese nicht übertragen werden. Zudem muss eine Prüfung erfolgen, ob die umzuverteilende Einsatzzeit die verfügbare Kapazität des Vollzeitspringers nicht übersteigt. Im Anhang sind die drei Schritte beispielhaft aufgeführt (siehe Abschnitt 11.5 - Abbildung 83). Dabei wurde sich auf das bereits im vorherigen Abschnitt eingeführte Beispiel bezogen (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44).

Fall 3:

Ist die Auslastung des Vollzeitspringers kleiner als 30 Prozent, dann sollte die Prüfung erfolgen, ob ein interner Ressourcenaufbau kosteneffizienter ist. Voraussetzung ist, dass interne Ressourcen zeitlich verfügbar und ausreichend qualifiziert sind. Die Ressourcen, welche an dieser Stelle noch als potenzielle Springer zur Verfügung stehen, erfüllen die Voraussetzungen nicht, sonst wären sie bereits ausgewählt worden. Daher muss untersucht werden, ob eine Kapazitätserweiterung oder/und Nachschulung möglich ist. Eine Kapazitätserweiterung ist nur dann sinnvoll, wenn dadurch kein drastischer Produktivitätsverlust an anderer Stelle zu erwarten ist. Qualifizierungsmaßnahmen sollten nur angestoßen werden, wenn eine freie Kapazität gewährleistet ist und die Kosten angemessen sind.

7.3 Ergebnis: Konfigurationslogik

Die Konfigurationslogik besteht aus drei Stufen und beinhaltet die sukzessive Optimierung des Springerpools. Es werden Fallunterscheidungen zwischen Vollzeitspringern und internen Ressourcen auf Basis von Auslastung und Personalkosten durchgeführt. Somit wird ein ganzheitlicher Ansatz gewählt, der nachhaltig Flexibilität und Kosteneffizienz ermöglicht.

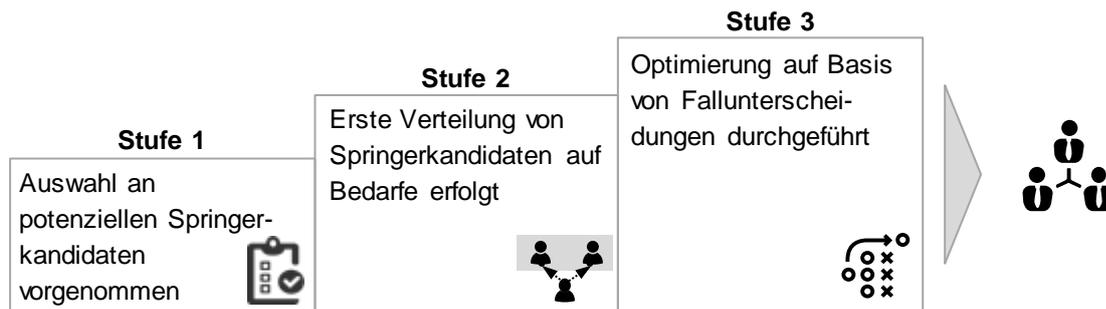


Abbildung 45: Zusammenfassende Darstellung der dreistufigen Konfigurationslogik

In Stufe 1 werden interne Ressourcen als Springerkandidaten mithilfe von Auswahlkriterien identifiziert und in den Pool für potenzielle Springer (Angebot) aufgenommen. In Stufe 2 wird durch Priorisierung und das lokale Suchverfahren eine kosteneffiziente Konfiguration gebildet. Diese wird in Stufe 3 auf Basis von Fallunterscheidungen optimiert, sodass ein langfristiger Nutzen für Unternehmen generiert werden kann. Zur praxisnahen Anwendung wird empfohlen, die Priorisierungsvorschriften sowie Kriterien der lokalen Suche in Form eines mathematischen Algorithmus zu beschreiben und in eine Softwareumgebung zu integrieren (z. B. *MatLab*).

8 Anwendung der Methode an Hand eines Praxisbeispiels

Kapitel 8 erläutert die Ergebnisse, die sich durch die Anwendung der Methode in der Praxis ergeben haben. Dabei wird zu Beginn des Kapitels in Abschnitt 8.1 das Praxisbeispiel beschrieben. Anschließend ist in Abschnitt 8.3 die Anwendung der Methode dargestellt. Dieser Abschnitt enthält Unterabschnitt zu den einzelnen Methodenschritten. Als erstes ist der jeweilige Schritt allgemein erklärt und anschließend die Ergebnisse des Praxisbeispiels (siehe Abschnitte 8.3.1 – 8.3.8). Die beiden letzten Abschnitte des Kapitels enthalten eine zusammenfassende Aufwand-Nutzen-Bewertung (siehe Abschnitt 8.4) und die Evaluation der Methode (siehe Abschnitt 8.5)

8.1 Beschreibung des Praxisbeispiels

Der im Maschinen- und Anlagenbau angesiedelte Anwender verfügt über ein Produktportfolio, welches von Hydraulik- und Bremssystemen bis hin zu Getrieben und Antrieben reicht. Die Anwendung der hier vorgestellten Methode erfolgt im Bereich der Endmontage von Automatikgetrieben, welche in Nutzfahrzeugen verbaut werden. Die Endmontagelinie besteht aus fünf Arbeitsbereichen in einem Kundentakt, der 18 Minuten beträgt. Die Arbeitsbereiche lassen sich in zwölf Stationen mit je einem Arbeitsplatz unterteilen. Im Normalbetrieb sind somit zwölf Mitarbeiter tätig. An die Stationen der Hauptmontagelinie sind vier Vormontagebereiche angegliedert. Diese sind über Pufferstrecken zeitlich entkoppelt. In der Hauptmontagelinie gibt es keine Pufferplätze.

Für das Unternehmen liegt die Herausforderung im Umgang mit der hohen Produktvarianz, wodurch stark schwankende Bearbeitungs- bzw. Prozesszeiten entstehen. Zum einen ergeben sich diese Schwankungen der Prozesszeiten durch zeitintensivere Tätigkeiten und zum anderen durch eine höhere Anzahl an Montageschritten, z. B. die Anzahl der zu montierenden Getriebestufen. Meist handelt es sich bei den Produkten mit einer längeren Bearbeitungszeit um sog. Exoten, die seltener vorkommen und spezielles Wissen voraussetzen. Um Taktzeitüberschreitungen zu kompensieren, werden bereits heute schon Springer eingesetzt. Zu den häufig auftretenden Problemen gehört dabei die nicht ausreichend gewährleistete

Verfügbarkeit von Springern, welche auf eine unzureichende Transparenz der auftretenden Bedarfe zurückzuführen ist. Aufgrund der im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Methode können die Prognosegüte und somit auch die Gewährleistung von Springereinsätzen verbessert werden. Taktzeitüberschreitungen entstehen verstärkt häufig auch durch die mangelnde Erfahrung oder das nicht ausreichende Spezialwissen, wie es beispielsweise die Montage von „Exotengetrieben“ erfordert. In diesem Fall kann der Einsatz von Springern, um dieses Spezialwissen zu vermitteln, Abhilfe leisten. Da die Endmontagelinie überwiegend¹⁵ manuelle Tätigkeiten umfasst und Störungen von Betriebsmitteln nicht ausreichend dokumentiert werden, können Ausfälle aufgrund von Betriebsmittelstörungen für das vorgestellte Modell nicht berücksichtigt werden. Personalausfälle hingegen fließen in die Validierung mit ein.

8.2 Notwendige Voraussetzungen für die Anwendung der Methode

Voraussetzungen für den Einsatz von Springern/Driftern

In Abschnitt 4.2 wurde bereits der Betrachtungsrahmen zur Anwendung der Methode erläutert. Dabei wurden sowohl Restriktionen als auch variable Gestaltungsparameter für das Montagesystem aufgezeigt. Zur Umsetzung von Springereinsätzen müssen neben der Montageumgebung weitere Bedingungen erfüllt sein. Diese unterscheiden sich jeweils nach Einsatzszenario und Springerausprägungsform (Springer/Drifter). Das Unterstützungsszenario erfordert beispielsweise einen zweiten Arbeitsplatz, an dem der Springer parallel arbeiten kann. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, kann der Springer beim Abbau der Taktzeitüberschreitung nicht unterstützen. Ausnahmen sind das Ersatz- sowie das Wissensvermittlungsszenario. In beiden Fällen findet keine parallele Tätigkeitsübernahme zum eigentlichen Werker statt. Es muss weder ein weiterer Arbeitsplatz an der Station vorhanden sein, noch muss das Produkt ein paralleles Arbeiten ermöglichen. Somit müssen die im Folgenden genannten Bedingungen nur im Rahmen des Unterstützungsszenarios erfüllt sein.

¹⁵ Die Stationen können alle rein manuell betrieben werden, zur Unterstützung der Mitarbeiter existieren jedoch teilautomatisierte Betriebsmittel, wie z. B. Drehmomentgesteuerte Schrauber oder hydraulische Pressen.

Die Bedingungen werden nach der Ausprägungsform (interner/externer Springer und Drifter) und der Art der Tätigkeitsunterstützung unterschieden. Bei der Tätigkeitsunterstützung kommt es darauf an, ob der Springer mit dem regulären Mitarbeiter gemeinsam an einem Produkt arbeitet oder jeder an einem separaten. In Abbildung 46 sind die Bedingungen für Springer und Drifter gelistet. Zeitliche Aspekte, z. B. die Verfügbarkeit des Springers, sind nicht genannt, da diese eine übergeordnete Grundvoraussetzung darstellen.

Externer Springer	
Gemeinsam an einem Produkt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tätigkeiten sind teilbar und autark bearbeitbar (Arbeitsplan, Vorranggraph) ▪ Produkt erlaubt Parallelarbeit (Größe, Zugänglichkeit) ▪ Zusätzliche Betriebsmittel am Arbeitsplatz sind vorhanden
Jeder an einem Produkt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tätigkeiten sind teilbar und autark bearbeitbar (Arbeitsplan, Vorranggraph) ▪ Zusätzlicher Arbeitsplatz vorhanden (in Linie/ außerhalb der Linie) ▪ Zusätzliche Betriebsmittel am Arbeitsplatz sind vorhanden
Interner Springer	
Gemeinsam an einem Produkt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tätigkeiten sind teilbar und autark bearbeitbar (Arbeitsplan, Vorranggraph) ▪ Produkt erlaubt Parallelarbeit (Größe, Zugänglichkeit) ▪ Zusätzliche Betriebsmittel am Arbeitsplatz sind vorhanden ▪ Springerstation fußläufig erreichbar
Jeder an einem Produkt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tätigkeiten sind teilbar und autark bearbeitbar (Arbeitsplan, Vorranggraph) ▪ Zusätzlicher Arbeitsplatz vorhanden (in Linie/ außerhalb der Linie) ▪ Zusätzliche Betriebsmittel am Arbeitsplatz sind vorhanden ▪ Springerstation fußläufig erreichbar
Drifter	
Gemeinsam an einem Produkt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stationsgrenzen sind offen (d. h. Drifter kann seine Station verlassen) ▪ Betriebsmittel sind portabel ▪ Drifter und regulärer Mitarbeiter behindern sich bei der Ausführung der Tätigkeiten nicht ▪ Produkt erlaubt Parallelarbeit (Größe, Zugänglichkeit)
Jeder an einem Produkt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stationsgrenzen sind offen (d. h. Drifter kann seine Station verlassen) ▪ Betriebsmittel sind portabel ▪ Drifter und regulärer Werker behindern sich bei der Ausführung der Tätigkeiten nicht ▪ Regulärer Werker beginnt in seinem Bereich neues Produkt

Abbildung 46: Voraussetzungen für den Einsatz von Springern und Driftern

Voraussetzungen hinsichtlich der Datengrundlage

Zur Anwendung von Simulations- und Optimierungswerkzeugen muss eine Datenbasis vorhanden sein, mit der das Montagesystem realitätsnah abgebildet werden kann. Doch die Ergebnisse sind immer nur so gut, wie die Qualität der Eingangsdaten ist. Für die Auswahl von Springern (intern/extern) sowie die Profilerstellung müssen aktuelle Qualifikationsprofile, Arbeitsplatzbewertungen sowie Schichtpläne vorliegen. Zur Abbildung des Montageprozesses werden die realen Prozesszeiten pro Variante, die Bearbeitungsabläufe pro Variante sowie das geplante Produktionsprogramm benötigt. Eine detaillierte Beschreibung zur Datenaufnahme und -strukturierung erfolgt in Abschnitt 8.3.1.

8.3 Anwendung der Methode

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Methode (siehe Abbildung 11) bietet eine große Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten. Dennoch war es unmöglich, einen Anwendungspartner zu finden, bei dem alle Szenarien auftreten und simuliert werden können. Das ausgewählte Anwendungsbeispiel bietet jedoch eine ausreichend breite Basis, um die Methode zu validieren. Der Anwender arbeitet im Zwei-Schichten-Betrieb, wobei sich für die beispielhafte Anwendung auf die Frühschicht beschränkt wurde. Aufgrund der an allen Stationen erforderlichen Mehrfachqualifikation können die Mitarbeiter innerhalb der Stationen im Hauptmontagebereich wechseln. Diese Rotation wirkt sich nicht auf die Simulation aus, da sich die Leistungsgrade der Hauptmonteure nicht voneinander unterscheiden. Das Auftragsvolumen je nach Variante verhält sich auf das Jahr gesehen konstant, wodurch die Produktionsreihenfolge in der Regel nicht stark variiert werden muss.¹⁶ Diese wird bereits von der Planungsabteilung so vorgegeben, dass Taktzeitüberschreitungen aufgrund unterschiedlicher Bearbeitungszeiten minimiert werden. Somit reduziert sich der Aufwand für die Durchführung unterschiedlicher Simulationsszenarien. Das Simulationsergebnis einer Frühschicht kann repräsentativ für weitere Frühschichten dienen. In den nachfolgenden Abschnitten 8.3.1-8.3.8 werden zuerst die vier Schritte jeweils allgemein erläutert und anschließend in einem weiteren Abschnitt die Ergebnisse der Methodenanwendung vorgestellt. Detaillierte Informationen zu den Modellen stehen in den Kapiteln 5 bis 7.

¹⁶ Änderungen der Produktionsreihenfolge können nicht komplett ausgeschlossen werden, sie wurden jedoch aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit für das Beispiel vernachlässigt.

8.3.1 Schritt 1 - Erläuterung

In diesem Schritt prüft der Anwender, ob das vorliegende Montagesystem den Rahmenbedingungen zur Methodenanwendung gerecht wird. Dafür muss er sowohl die zuvor genannten Voraussetzungen für Springereinsätze bzw. Drifter prüfen (siehe Abschnitt 8.2) als auch die Restriktionen wie in Abschnitt 4.2 beschrieben. Folgende Checkliste zur *Überprüfung von Rahmenbedingungen* steht dem Anwender zur Verfügung:

- Springer einsetzbar
- Drifter einsetzbar
- Manuelles/hybrides Montagesystem vorhanden
- Fokus Hauptmontage vorhanden
- Taktbindung vorhanden
- Starres Materialflussverhalten vorhanden
- Einzelstückfluss vorhanden

Die ersten beiden Aspekte müssen nicht für das gesamte Montagesystem gelten. Es ist ausreichend, wenn in einzelnen Montagebereichen Springer bzw. Drifter einsetzbar sind. Sind die Rahmenbedingungen erfüllt, ist eine Anwendung der Methode möglich und der Anwender kann mit der *Schaffung von Voraussetzungen* fortfahren. Dafür muss er sicherstellen, dass die Art, Struktur und Qualität der Daten so vorhanden sind, dass sie den Eingangsgrößen der Modelle entsprechen. Im Folgenden werden diese für jedes Modell beschrieben.

Voraussetzungen – Modell I

Zur Erstellung von quantifizierbaren Springeranforderungsprofilen werden Qualifikationsprofile der Mitarbeiter, die im betrachteten Montagesystem (Haupt- und Vormontage) arbeiten, benötigt. Diese sollten nach der Skalierungsvorschrift (Stufen 0–4), welche in Abschnitt 5.3 entwickelt wurde, beschrieben sein. Zur weiteren Datenverarbeitung empfiehlt es sich, die Profile digital in tabellarischer Form zu pflegen (z. B. in Datenbanken). Wichtig ist, dass die Tabelleninhalte durch eine Schnittstelle zu anderen Systemen weiterverarbeitet werden können (z. B. von dem Simulationsmodell). Abbildung 47 zeigt exemplarisch eine tabellarische Darstellungsform.

Mitarbeiter-ID	Station A	Station B	Station C	Station ...	
199-2-3	4	0	4	...	0 = Keine Kenntnisse und Verständnis vorhanden
199-2-4	4	0	4	...	1 = Kennt und versteht alle Arbeitsplätze
201-3-1	0	3	2	...	2 = Führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität aus
201-3-5	0	3	0	...	3 = Führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität und Quantität aus
201-3-7	0	3	0	...	4 = Beherrscht alle erforderlichen Qualifikationen des Arbeitsplatzes und gibt sein Wissen an die übrigen Teammitglieder weiter
201-4-8	2	0	1	...	
201-4-9	2	0	0	...	
...	

Abbildung 47: Darstellung der vorhandenen Mitarbeiterqualifikation

Voraussetzungen – Modell II

Dass zweite Modell enthält die Bedarfsidentifikationslogik, mit der Springerbedarfe identifiziert und ursachengerecht gedeckt werden. In Kapitel 6 sind der Aufbau und die Funktionsweise der Identifikationslogik ausführlich erläutert. Zur Anwendung der Logik muss der Anwender über bestimmte Daten verfügen, auf deren Basis die Auswahl-, Einsatz- sowie Zuweisungslogik Ergebnisse generieren (siehe Abschnitt 6.3). Die Auswahllogik ermöglicht eine Ursachenidentifikation, für die folgende Daten benötigt werden:

- Leistungsgrade der Mitarbeiter
- Leistungsgrade der Betriebsmittel und Anlagen
- Zufallsabhängige Stördaten (z. B. MTTR)
- Geplante Störungsdaten (z. B. Wartungsplan)
- Pausenzeiten
- Zufallsabhängige Pausenzeiten über Verteilzeiten
- Bearbeitungszeiten der Produktvarianten

Mitarbeiterbezogene Daten sind bereits durch die Qualifikationen aus Abbildung 47 erfasst. Die Dokumentation der Leistungsgrade von Betriebsmitteln und Anlagen sowie der zufallsabhängigen Stördaten, wird in Zusammenhang mit der Strukturierung einzelner Stationen empfohlen (siehe Abbildung 48). Pausenzeiten sowie Wartungszeiten werden mit Hilfe von Schichtplänen erfasst. Ein Beispiel ist in Abbildung 48 dargestellt. Bearbeitungszeiten können aus den Arbeitsplänen entnommen werden (siehe Abbildung 50).

Station - ID	Arbeitsbereich - ID	Anzahl Arbeitsplätze	Verfügbarkeit	MTTR (h:min)	Betriebsmittel vorhanden	Aufhebung 1-Objekt-in-Bereich möglich
1	A	1	100%	00:00	x	x
2	A	1	100%	00:00	x	x
3	B	1	90%	00:50	x	x
4	B	1	100%	00:00	x	x
5	B	1	100%	00:00	x	x
6	C	1	100%	00:00	x	x
...

Abbildung 48: Beispiel Strukturierung der Stationen

Schicht	Mo	Di	Mi	Fr	Sa	So	Schichtzeit	Pause I	Pause II	Pause III
Früh	x	x	x	x			06:00-14:00	08:15-08:30	08:30-08:45	11:30-12:00
Spät	x	x	x	x			14:30-23:00	17:00-17:15	17:15- 7:30	19:30-20:00

Abbildung 49: Beispiel - Schichtplan mit Pausenzeiten der Mitarbeiter

Tätigkeit- Nr.	Station-ID	Arbeitsplatz - ID	Bearbeitungszeit
001	1	1A	00:01
002	1	1A	00:03
003	1	1A	00:03
004	2	2A	00:02
005	2	2A	00:01
006	2	2A	00:01
007	2	2A	00:03
008	3	3A	00:05
...

Abbildung 50: Beispiel – Arbeitsplan für eine Produktvariante

Die Einsatzlogik ermittelt mögliche Einsatzszenarien, wie z. B. ob ein präventiver oder reaktiver Springereinsatz zur Bedarfsdeckung benötigt wird. Hierzu muss der Anwender folgende prozesseitige Daten aufbereiten, welche die Logik als Prüfkriterien verwendet:

- Vorhandene Arbeitsplätze für Springer/Drifter
- Vorhandene Betriebsmittel für Springer/Drifter an den Arbeitsplätzen
- Parallelisierbarkeit von Tätigkeiten
- Aufhebbarkeit der 1-Objekt-in-Bereich-Regel

Die Anzahl der Arbeitsplätze und vorhandener Betriebsmittel wird im Rahmen der Strukturierung der einzelnen Stationen dokumentiert. Zur Ermittlung der Ablaufreihenfolge von Tätigkeiten wird in der Regel der sog. Montagevorranggraph verwendet (siehe Abbildung 5). Zur systemischen Erfassung bietet es sich jedoch an den Montagevorranggraphen in eine Montagevorrangmatrix¹⁷ zu überführen. In Abbildung 51 ist solch eine Matrix aufgeführt. Die Nomenklatur hat folgende Bedeutung:

- Eine -1 bedeutet, Tätigkeit läuft vor der anderen Tätigkeit ab
- Eine 1 bedeutet, Tätigkeit läuft im Anschluss an die Tätigkeit ab
- Eine 0 bedeutet, Tätigkeit läuft parallel zu anderen Tätigkeiten ab

		Tätigkeit - Nr.							
		001	002	003	004	005	006	007	008
Tätigkeit - Nr.	001		0	1	1	1	1	1	0
	002	0		0	0	1	1	1	0
	003	-1	0		1	1	1	1	0
	004	-1	0			1	1	1	0
	005	-1	-1	-1	-1		1	1	0
	006	-1	-1	-1	-1	-1		1	0
	007	-1	-1	-1	-1	-1	-1		0
	008	0	0	0	0	0	0	0	

Abbildung 51: Beispiel – Montagevorrangmatrix in Anlehnung an Halubek 2012

Die Aufhebbarkeit der 1-Objekt-in-Bereich Regel ist nur dann gegeben, wenn ein Arbeitsbereich mehrere Stationen hat, da sich an einer Station nicht mehrere Objekte (Produkte) befinden können. Die Entscheidung, ob eine Aufhebung dieser Regel möglich ist, muss der Anwender selbst treffen. Gekennzeichnet wird dies in Strukturierung der einzelnen Stationen (siehe Abbildung 48).

Im Rahmen der Zuweisungslogik werden den zuvor ermittelten Bedarfen Personalressourcen zugewiesen. Dazu prüft die Logik ob folgende personalseitige Anforderungen erfüllt sind:

¹⁷ Für weitere Informationen wird an dieser Stelle auf Halubek 2012 verwiesen.

- Verfügbarkeit während Einsatzdauer
- Ausreichende Qualifikation

Die Verfügbarkeit ergibt sich aus dem Prozessablauf und den hinterlegten Regeln. So wird im Rahmen der Arbeit empfohlen, Mitarbeiter aus den Vormontagen als Springer einzusetzen. Vorausgesetzt die Vormontagen sind zeitlich von der Hauptmontage entkoppelt und ermöglichen somit ein Verlassen des Vormontagearbeitsplatzes. Sind die Bearbeitungszeiten in den Vormontagen kürzer als die Taktzeit der Hauptmontage kann eine zeitliche Entkopplung über sog. Pufferstrecken erreicht werden. Das heißt, die Mitarbeiter der Vormontage produzieren solange bis der maximale Füllstand der Pufferstrecke erreicht ist und können danach als Springer eingesetzt werden. Der Zeitraum für Springereinsätze ist die Zeitspanne, bis der minimale Füllstand der Pufferstrecke erreicht ist. Dann müssen die Vormonteur ihre Arbeit in der Vormontage fortführen. Die Datenbasis für den Qualifikationsgrad wird bereits mit Modell I geschaffen und muss nicht erneut durchgeführt werden.

Voraussetzungen – Modell III

Das dritte Modell unterstützt die finale Konfiguration des Springerpools. Zur Identifikation von potenziellen Springern außerhalb des betrachteten Montagesystems (Haupt- und Vormontage) werden die Qualifikationsmatrizen der Mitarbeiter benötigt (siehe Voraussetzungen – Modell I) sowie deren zeitliche Verfügbarkeit. In Abschnitt 7.2.1 sind im Rahmen der Auswahlvorschriften die benötigten Daten detailliert beschrieben.

8.3.2 Schritt 1 - Ergebnisse Praxisbeispiel

Im Rahmen des Praxisbeispiels wurden die in Abschnitt 8.3.1 gelisteten Rahmenbedingungen geprüft und bestätigt. Es handelt sich um ein getaktetes, hybrides Montagesystem mit starrem Materialfluss nach der One-Piece-Logik. Es können sowohl Springer als auch Drifter eingesetzt werden. Des Weiteren wurden alle relevanten Daten erhoben, welche unter den Voraussetzungen für die Modelle I bis III in Abschnitt 8.3.1 aufgeführt sind. Die Tabellen sind im Anhang aufgeführt (siehe Abbildung 84 - Abbildung 92). Da die Methode ein sehr breites Spektrum an möglichen Ursachen für Taktzeitüberschreitungen berücksichtigt und mit den Einsatzszenarien diverse Fälle abdeckt, diese jedoch in der Praxis nicht alle gleichzeitig realisiert werden können, treten im Rahmen des Praxisbeispiels nur ein Teil

an möglichen Ursachen sowie Einsatzszenarien auf. Diese Einschränkung wirkt sich jedoch nicht auf die Aussagekraft und Ergebnisqualität der Anwendung aus. Die Grundzüge und Funktionalität der Methode können auch mit den vorhandenen Rahmenbedingungen plausibel und valide dargelegt werden.

Da die Mitarbeiter der Hauptmontage ausreichend qualifiziert sind, kann das Wissensvermittlungsszenario nicht abgebildet werden. Daher verbleiben das Unterstützungsszenario und Ersatzszenario. Welches der beiden Szenarien ausgewählt wird, hängt von den auftretenden Ursachen ab, die nachfolgend analysiert wurden. Nachdem das Wissensvermittlungsszenario nicht auftritt, wird die Ursache *Leistungsgrad des Menschen* nicht berücksichtigt. Während planmäßigen Pausen soll beim Anwendungspartner keine Arbeitsfortführung stattfinden, weswegen die *geplanten Pausen* nicht als Ursache berücksichtigt wurden. Die Arbeitsstationen werden hybrid betrieben, im Falle einer Störung kann jedoch auf manuelle Werkzeuge ausgewichen werden, wodurch *technische Leistungsdefizite* und *Störungen* durch den Anwendungspartner als nicht relevante Ursachen deklariert wurden. Zusammenfassend lassen sich folgende Ursachen festhalten: variantenbezogene Zeitspreizung (planbar) und ungeplante Pausen (nicht planbar).

Trotz der relativ geringen Anzahl an Ursachen bietet das Anwendungsbeispiel eine solide Validierungsmöglichkeit. Da aus den beiden Kategorien (planbar und nicht planbar) die wesentlichen Ursachen simuliert werden können. Die Ursachen innerhalb einer Kategorie unterscheiden sich primär in ihrer Datenbasis und weniger in Bezug zum Vorgehen zur Bedarfsidentifikationsermittlung.

8.3.3 Schritt 2 - Erläuterung

Im Abschnitt zuvor wurde unter dem Punkt „Voraussetzungen – Modell I“ bereits darauf eingegangen, dass Qualifikationsprofile für Mitarbeiter aus der Haupt- sowie Vormontage vorliegen müssen. Neben den arbeitsplatzspezifischen Qualifikationsanforderungen spielen die springerspezifischen ebenfalls eine wichtige Rolle. Das Unterstützungsszenario erfordert z. B. weniger Routine und Qualifikation als die beiden anderen Szenarien. Daher muss für alle Mitarbeiter ein Gesamt-Springeranforderungsprofil über die in der Hauptmontage vorkommenden Stationen erstellt werden (siehe Abschnitt 5.3). Die stationsbezogenen Qualifikationsinformationen liegen aus Methodenschritt 1 bereits vor und können übertragen werden.

Für die Anforderungsarten Denken, Verantwortung, Kommunikation und Mitarbeiterführung (siehe Abbildung 52) müssen im Rahmen des zweiten Methodenschritts Qualifikationsgrade ermittelt werden.

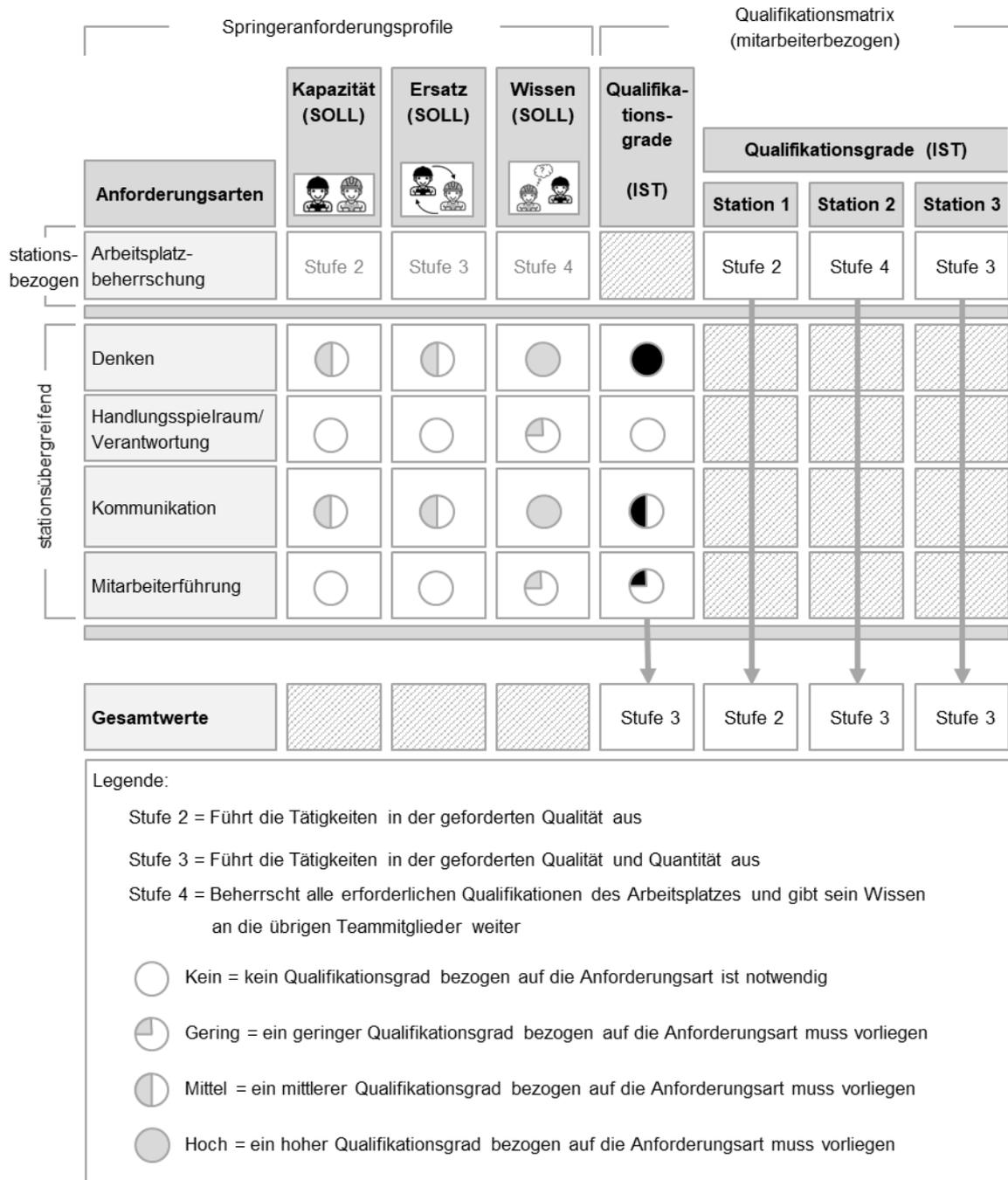


Abbildung 52: Beispiel – Gesamt-Springeranforderungsprofil

Diese Ermittlung kann im Rahmen von Interviews oder Workshops erfolgen (siehe EVERSHEIM & SCHUH 1999, S. 9–115). Zur weiteren Datenverarbeitung muss der

Anwender die springerspezifischen Qualifikationswerte mit dem Qualifikationsgrad je Station vergleichen und daraus einen stationsbezogenen Wert festlegen (Gesamtwerte, siehe Abbildung 52). Dafür muss zuerst eine maximal zu erreichende Springerstufe (Kapazität, Ersatz und Wissen) festgelegt werden. Diese Festlegung erfolgt durch die Bildung der kleinsten Teilmenge aus den einzelnen stationsübergreifenden Qualifikationen. Abbildung 52 zeigt ein Beispiel, in dem der Mitarbeiter in zwei Kategorien der Stufe 4 entspricht und in den anderen der Stufe 3. Daher wird für ihn als Gesamtwert Stufe 3 definiert. Dieser Wert gibt anschließend den maximal zu erreichenden Qualifikationsgrad pro Station vor. Das heißt: Entspricht die stationsbezogene Qualifikation einer höheren Stufe als der übergreifende Wert, so wird der übergreifende Wert für eine Gesamtqualifikation herangezogen (siehe Abbildung 52, Ergebnis an Station 2). Liegt der umgekehrte Fall vor, so wird der niedrigere stationsbezogene Wert verwendet (siehe Abbildung 52, Ergebnis an Station 1).

8.3.4 Schritt 2 - Ergebnisse Praxisbeispiel

Im Rahmen einer Befragung wurde zusammen mit dem Leiter der Montage und dem zuständigen Schichtverantwortlichen (Teamsprecher) von allen Werkern im Bereich der Hauptmontage sowie der Vormontage ein Springerprofil aufgenommen. Da das Wissensvermittlungsszenario in der Anwendung entfällt, wurde das Anforderungsprofil gekürzt. Für das Unterstützungs- sowie das Ersatzszenario werden als stationsübergreifende Anforderungen, ein mittleres Denkvermögen sowie eine mittlere Kommunikationsfähigkeit vorausgesetzt. Die stationsbezogene Qualifikation bedarf maximal Stufe 3 für den Ersatzspringer und Stufe 2 für das Unterstützungsszenario. Die Mitarbeiter im Bereich der Hauptmontage erfüllen aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung und ihres relativ hohen Qualifikationsgrads die Anforderungen für einen Einsatz als Ersatzspringer an allen Stationen der Hauptmontage. Bei den Mitarbeitern aus der Vormontage musste eine stärkere Differenzierung erfolgen, da diese nicht für alle Stationen der Hauptmontage qualifiziert sind und teilweise nicht den stationsübergreifenden Ansprüchen gerecht werden. Das Resultat der Befragung ist in Abbildung 53 dargestellt. Aufgrund des Datenschutzes wurde als Mitarbeiter-ID eine fortlaufende Nummer gewählt.

Mitarbeiter-ID	Einsatz-bereich	Schicht	Verteil-zeit	Qualifi-kation	Stationen												
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
W1	HaMo	Früh	10%	2													
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W2	HaMo	Früh	10%	2													
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W3	HaMo	Früh	10%	2													
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W4	HaMo	Früh	10%	2													
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W5	HaMo	Früh	10%	2													
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W6	VoMo	Früh	10%	2	x	x											
				3													
W7	VoMo	Früh	10%	2													
				3													
W8	VoMo	Früh	10%	2					x	x	x	x					
				3													
W9	VoMo	Früh	10%	2													
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W10	VoMo	Früh	10%	2													
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W11	VoMo	Früh	10%	2			x	x									
				3													
W12	VoMo	Früh	10%	2										x	x	x	x
				3													
W13	VoMo	Früh	10%	2										x	x	x	x
				3													
W14	VoMo	Früh	10%	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
				3													

HaMo = Hauptmontage VoMo = Vormontage

Abbildung 53: Springerprofile der Mitarbeiter in der Haupt- und Vormontage

8.3.5 Schritt 3 - Erläuterung

In Kapitel 6 wurde das Bedarfsidentifikationsmodell bereits erläutert. Darin sind die Funktionsweise der Identifikationslogik sowie deren Integration in ein bestehendes Simulationsmodell beschrieben. Das existente Simulationsmodell muss den Randbedingungen aus den Abschnitten 6.1.4 und 8.3.1 entsprechen. Der Anwender kann individuell darüber entscheiden, welche Ursachen bei der Springerbedarfsidentifikation berücksichtigt werden sollen. In Abschnitt 8.3.1 – Voraussetzungen Modell II wurde bereits aufgezeigt, welche Daten zur Berücksichtigung der jeweiligen Ursachen benötigt werden. Die Ursachenauswahl ist für die Modellierung der Auswahllogik relevant, welche je Ursache in Abschnitt 6.2.1 beschrieben ist.

Zur Bedarfsdeckung muss der Anwender neben der Auswahllogik eine Einsatzlogik integrieren, welche nach dem am besten geeigneten Springer zur Bedarfsdeckung sucht. Die Modellierungsvorschriften für die Einsatzlogik sind bereits in

Abschnitt 6.2.2 aufgeführt. Die Einsatzszenarien sind wiederum mit Ursachen verknüpft, wodurch es vorkommen kann, dass aufgrund der Ursachenauswahl Einsatzszenarien entfallen. Als Einsatzszenarien können das Unterstützungs-, das Ersatz- sowie das Wissensvermittlungsszenario vorkommen. Das Ersatzszenario tritt dann ein, wenn geplante oder ungeplante Pausen der Mitarbeiter entstehen. Das Wissensvermittlungsszenario setzt einen reduzierten Leistungsgrad des Menschen voraus. Alle weiteren Ursachen führen zu einem Ersatzszenario. Darüber hinaus kann der Anwender über Einsatzarten entscheiden. Unter den Begriff *Einsatzarten* fallen die beiden Unterscheidungen nach Springer (präventiv/reaktiv) und Drifter (links- und rechtsoffen). Deren Umsetzbarkeit hängt wiederum von prozessseitigen Prüfkriterien ab wie in Abschnitt 6.2.2 (siehe Abbildung 33) beschrieben. Die Einsatzlogik überprüft jedes Mal, ob diese Kriterien erfüllt sind. Dennoch sollte der Anwender im Vorfeld prüfen, ob diese Kriterien grundsätzlich an einigen Stationen erfüllt sind oder nicht. Trifft Letzteres zu bzw. gibt es nur sehr wenige Anwendungsmöglichkeiten, so können bestimmte Einsatzarten im Vorfeld bereits ausgeschlossen und der Programmieraufwand reduziert werden.

Entscheidet sich der Anwender für die Berücksichtigung von nicht planbaren Ursachen, z. B. ungeplante Störungen oder ungeplante Pausen, wird empfohlen, mehrere Simulationsexperimente durchzuführen (ca. 5–10 Durchläufe), um aus deren Gesamtheit einen durchschnittlichen Näherungswert zu bilden. Hintergrund ist, dass der Eintrittszeitpunkt solcher Ursachen nicht zu 100 Prozent vorhergesagt werden kann. Der Zeitpunkt ist jedoch entscheidend für die vorzuhaltenden Springerkapazitäten. Würde beispielsweise an allen Stationen gleichzeitig ein Bedarf anfallen, werden in Summe so viele Springer benötigt wie Stationen, da ein Springer immer nur in einem Takt an einer Station unterstützen kann. Des Weiteren hat die Methode das Ziel, vorhandenen Mitarbeiterkapazitäten als Springer zu nutzen. Diese freien Kapazitäten können von Zeitpunkten abhängen. Daher ist es wichtig, dass der Zeitpunkt des Springereinsatzes mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit vorhergesagt wird. Eine konkrete Vorhersage ist insbesondere für nicht planbare Ursachen, z. B. Pausen und Störungen schwierig.

Wurde die Bedarfsidentifikationslogik in das Simulationsmodell integriert und wurden Simulationsexperimente durchgeführt, erhält der Anwender eine Auswertung. Diese zeigt ihm die montagebereichsinternen Mitarbeiter, welche Springereinsätze übernehmen, und an welchen Stationen sie eingesetzt werden. Darüber hinaus werden die Zeitdauer und das Einsatzszenario angegeben. In den folgenden

Abbildungen sind beispielhaft Auswertungen aus der Simulation dargestellt. Abbildung 54 zeigt die Gesamtdauer der Springereinsätze pro Mitarbeiter (Mitarbeiter-ID). Der Vollzeitspringer stellt zu diesem Zeitpunkt der Methode eine fiktive Größe dar, die im nächsten Methodenschritt durch reale Mitarbeiterkapazitäten ersetzt wird.

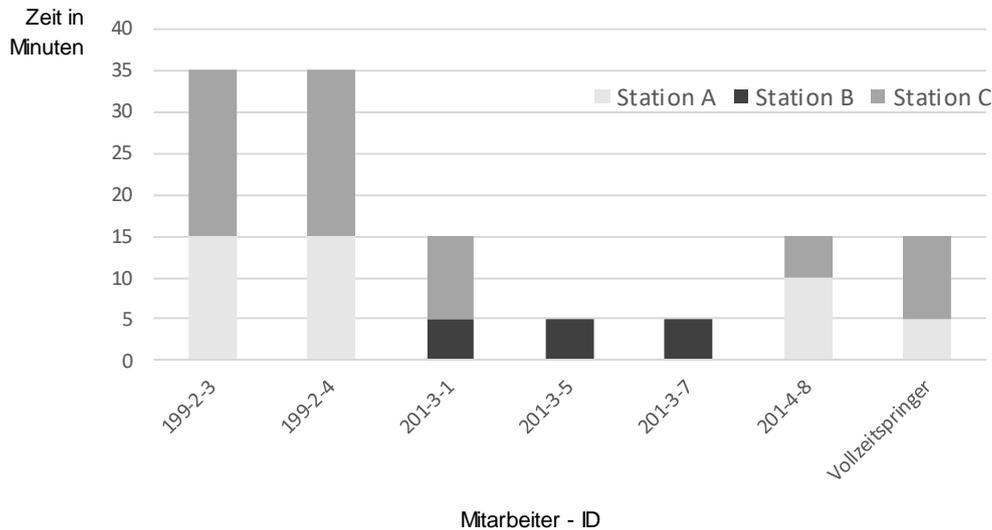


Abbildung 54: Springereinsätze pro Mitarbeiter nach Stationen unterteilt

Die Verteilung der Springereinsatzbedarfe auf Takte zeigt Abbildung 55. Im gewählten Beispiel beträgt die Taktzeit fünf Minuten und ein Springereinsatz entspricht immer einem Vielfachen der Taktzeit. Durch die Kennzeichnung der Balken in verschiedenen Graustufen ist erkennbar, an welchen Stationen ein Springerbedarf anfällt. In der Regel werden Springereinsätze, die an einer Station über mehrere Takte gehen, von einem Mitarbeiter geleistet.

Die Simulationsergebnisse dienen zur mittelfristigen Personaleinsatzplanung. Aufgrund von sich kurzfristig ändernden Rahmenbedingungen bedarf es zusätzlich einer operativen Planung. Diese kann z. B. mithilfe der Digitalisierung und dem Einsatz von Smart Devices erfolgen. Jeder Arbeitsplatz ist beispielsweise mit einem Tablet ausgestattet, über das der Mitarbeiter die Mitteilung erhält, dass an einer anderen Station seine Unterstützung erforderlich ist. Der Informationsfluss wird in Abhängigkeit der Ursache auf unterschiedliche Weise angestoßen. Bei ungeplanten Störungen oder Pausen kann der Mitarbeiter selbst einen Springer anfordern. Varianten können über die Reihenfolgeplanung und das Produkt selbst

identifiziert werden und somit automatisch einen Springerruf initiieren. Leistungsgrade sind ebenfalls vorab bekannt und können automatisch an den Springer versendet werden.

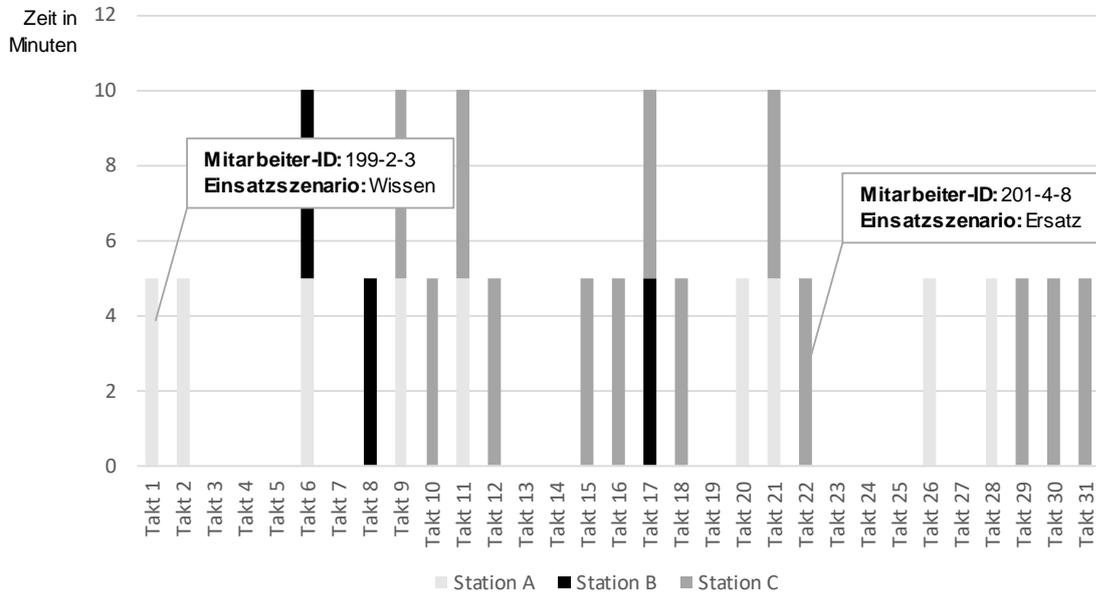


Abbildung 55: Springereinsätze pro Takt und nach Stationen unterteilt

8.3.6 Schritt 3 – Ergebnisse Praxisbeispiel

Zur Durchführung der Simulationen wurde im Rahmen des Praxisbeispiels ein Fabrikmodell mithilfe des Simulationsprogramms *Tecnomatix Plant Simulation* erstellt (siehe Abbildung 56). Dafür wurde als Erstes das Montagesystem, bestehend aus Haupt- und Vormontage inklusive Personalzuordnung und Materialfluss, digital abgebildet. Die Hauptmontage umfasst fünf Arbeitsbereiche und die Vormontage vier, welche über Pufferstrecken entkoppelt sind. Über den Füllstand der Pufferstrecken (maximale und minimale Werte) wird die potenzielle Verfügbarkeit der Vormonteure als interne Springer ermittelt. Diese Verfügbarkeitslogik muss im Modell hinterlegt werden. Die Werker sind während einer Schicht immer einem Arbeitsbereich zugeordnet, d. h. es wird keine Rotation abgebildet. Das Produktionsprogramm wird durch die Planungsabteilung als Eingangsgröße vorgegeben. Ohne die Integration von Modell II käme es zu Taktzeitüberschreitungen und einen geringeren Output an fertigen Produkten. Der Nutzen ist in Abschnitt 8.4 dargestellt.

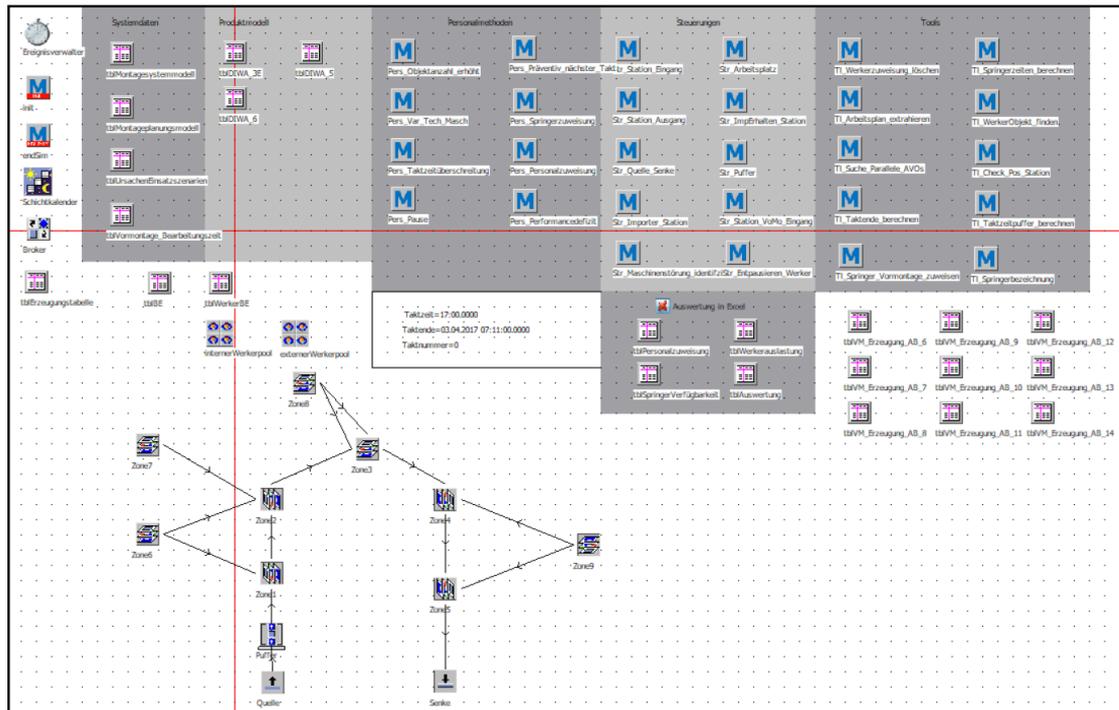


Abbildung 56: Auszug aus der Tecnomatix Plant Simulation

Sobald das Grundmodell fertiggestellt ist, kann die Bedarfsidentifikationslogik implementiert werden. Diese besteht aus drei Teilen: der Auswahllogik, der Einsatzlogik und der Zuordnungslogik. Der Umfang der Auswahllogik hängt von den abzubildenden Ursachen ab. Da im Anwendungsbeispiel nur Varianz und ungeplante Pausen relevant sind, müssen auch nur die entsprechenden Ablaufdiagramme berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 6.2). Die Einsatzlogik wählt basierend auf prozesseitigen Prüfkriterien die entsprechenden Einsatzarten aus. Diese sind in Abschnitt 6.2.2 beschrieben und seien hier wiederholt:

- Arbeitsplatz vorhanden,
- Betriebsmittel verfügbar,
- Parallelität der Tätigkeiten,
- 1-Objekt-in-Bereich-Regel,
- neues Objekt verfügbar.

Grundsätzlich sind für das Anwendungsbeispiel die ersten beiden Prüfkriterien immer erfüllt. Die parallele Ausführung von Tätigkeiten an einem Bauteil ist jedoch aufgrund der Bauteilgröße nicht gewährleistet. Da dieses Kriterium nicht erfüllt ist, treten die Einsatzarten, bei denen die Übernahme von Teiltätigkeiten erforderlich ist, nicht auf. Die Auflösung der *1-Objekt-in-Bereich-Regel* ist umsetzbar, wodurch ein Unterstützungsszenario realisiert werden kann. Der Zustand, ob ein

neues Objekt verfügbar ist, hängt von dem Systemverhalten ab und muss pro auftretender Taktzeitüberschreitung geprüft werden.

Die Ergebnisse der Zuweisungslogik hängen von der Verfügbarkeit der Werker ab, welche über das dynamische Verhalten der Simulation ermittelt wird. Sind keine Werker verfügbar, so werden Springer aus einem fiktiven Pool zugewiesen. Da die Verfügbarkeiten der internen Springer von dem Zeitpunkt des Einsatzbedarfs abhängt, kann bei sporadischen Ereignissen, z. B. ungeplante Pausen, die Einsatzmöglichkeit interner Springer variieren. Daher werden bei nicht planbaren Ursachen mehrere Simulationsdurchläufe empfohlen (siehe Abschnitt 8.3.5). Im Rahmen des Anwendungsbeispiels wurden somit zehn Simulationsexperimente durchgeführt und aus den einzelnen Ergebnissen ein Mittelwert mit einer Standardabweichung gebildet, um das Risiko zu bewerten. Auf Basis der Standardabweichung wird der Sicherheitsfaktor für Zusatzkapazitäten aus dem externen Springerpool errechnet. Für den Anwender sind zur Konfiguration des Springerpools die einzelnen Springereinsatzzeitpunkte zunächst zweitrangig. Dieser benötigt zuerst eine Einschätzung, wie hoch der gesamte Kapazitätsbedarf an externen Springern ist, damit er im folgenden Methodenschritt die Ressourcen zur Deckung dieses Kapazitätsbedarfs feststellen kann.

Nachfolgend werden die Simulationsergebnisse präsentiert. In Summe sind sechs Springer erforderlich – drei interne (W9, W10 und W14) und drei externe (E22, E23 und E25). Die Gesamteinsatzdauer beträgt 17.575 Sekunden (ca. 4,9 Stunden). In Abbildung 57 ist die Einsatzdauer je Springer in Abhängigkeit der Stationen dargestellt. Davon sind 12.975 Sekunden (ca. 3,6 Stunden) Unterstützungsszenarien (ca. 74 %) und 4.600 Sekunden (ca. 1,28 Stunden) Ersatzszenarien (ca. 26 %) (siehe Abbildung 58). In Abbildung 59 sind die Einsatzszenarien auf Werker (interne und externe Springer) verteilt.

Für das weitere Vorgehen sind insbesondere die Einsätze der externen Springer relevant, welche zu diesem Zeitpunkt noch nicht durch die tatsächlichen Ressourcen gedeckt sind, sondern lediglich aus einem fiktiven Springerpool zugeteilt wurden. Die im Rahmen der Simulation ermittelte Anzahl an externen Springern zeigt, dass mindestens drei Ressourcen erforderlich sind, da es Takte gibt, in denen gleichzeitig an drei Stationen bzw. in drei Zonen Springer benötigt werden. Das Ergebnis der Simulation bedeutet jedoch nicht, dass es nur drei Springer sein müssen. Der fiktive Springerpool im Simulationsmodell verfügt über eine Mehrfachqualifikation an allen Stationen und über eine durchgehende Verfügbarkeit. Da

aber das Ziel der Methode eine kosteneffiziente Springerpoolkonfiguration ist, die möglichst nicht aus Vollzeitspringern besteht, sondern aus unternehmensinternen Ressourcen, kann diese Ressourcenverteilung nicht pauschal verwendet werden. Somit erfolgen im nächsten Methodenschritt eine weitere Analyse der Bedarfe und ein potenzielles Angebot an unternehmensinternen Ressourcen.

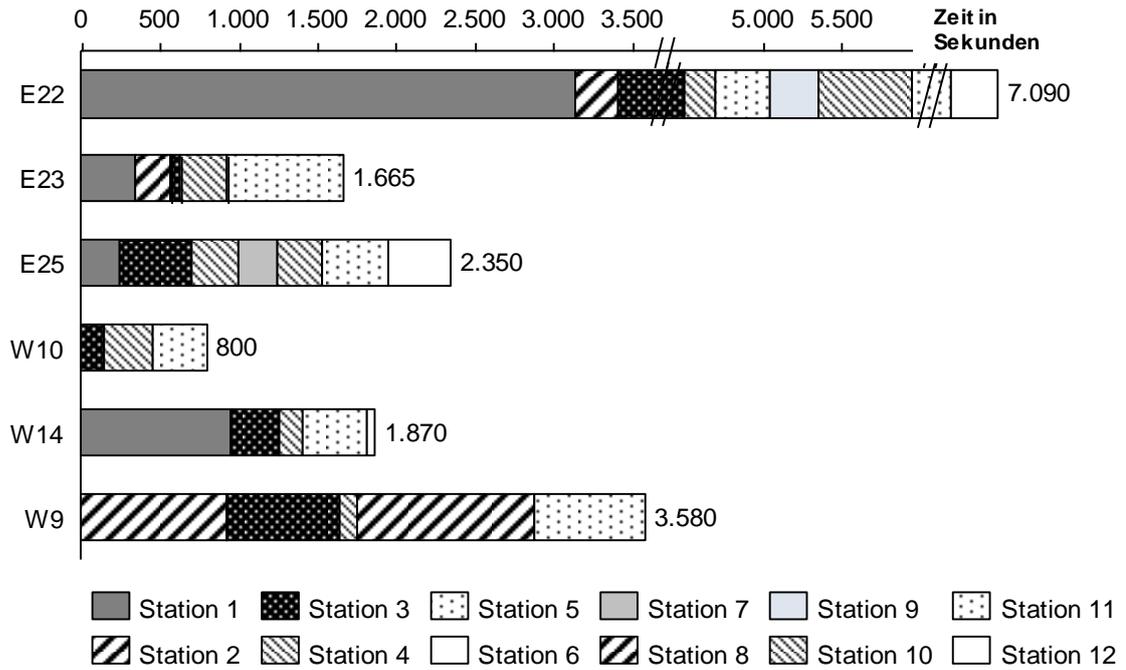


Abbildung 57: Dauer der Springereinsätze je Mitarbeiter und Station

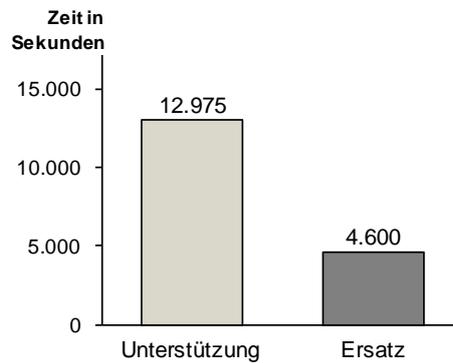


Abbildung 58: Gesamteinsatzdauer – Ersatz- und Unterstützungsszenario

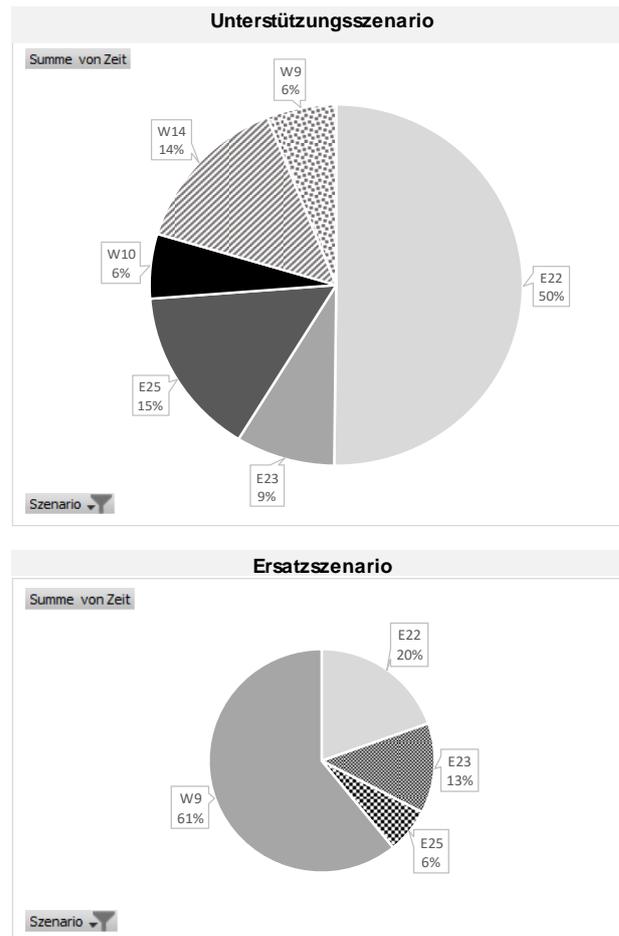


Abbildung 59: Verteilung der Kapazitäten auf Springer

8.3.7 Schritt 4 - Erläuterung

Im letzten Methodenschritt muss der Anwender zur Bildung einer kosteneffizienten Springerpoolkonfiguration die Ergebnisse aus der Simulation weiter analysieren. Einsatzmöglichkeiten von montagebereichsinternen Mitarbeitern als Springer wurden bereits durch die Simulation aufgezeigt. Bedarfe, die nicht durch montagebereichsinterne Ressourcen gedeckt werden können, werden in der Simulation durch Springer aus einem fiktiven Pool bedient. Als Nächstes muss der fiktive Pool mit realen Ressourcen besetzt werden, was in Schritt 4 erfolgt. Als methodische Unterstützung steht dem Anwender das Konfigurationsmodell mit drei Stufen zur Verfügung (siehe auch Modell III in Kapitel 7):

- Stufe 1: Auswahlvorschriften für potenzielle Springer,
- Stufe 2: Heuristik zur kosteneffizienten Bedarfsdeckung,
- Stufe 3: Fallunterscheidungen zur Springerpoolkonfiguration.

8.3.8 Schritt 4 – Ergebnisse Praxisbeispiel

Stufe 1: Im Rahmen des Anwendungsbeispiels stand der demografische Wandel im Fokus und der damit verbundene Anstieg an leistungsgewandelten Mitarbeitern, die nicht mehr dauerhaft in getakteten Systemen eingesetzt werden können. Diese Mitarbeiter waren zuvor im betrachteten Montagesystem tätig, wodurch sie über eine langjährige Montageerfahrung sowie eine ausreichende Qualifikation (Stufe 3) verfügen. Durch ihre Leistungswandlung wurden sie jedoch in die Geriebeaufbereitung und Nacharbeit mit einer geringeren Arbeitsbelastung umgesiedelt. Im Rahmen des Anwendungsbeispiels hat eine Mitarbeiterbefragung stattgefunden, bei der ein Teil der leistungsgewandelten Mitarbeiter befragt wurden, ob sie sich einen Einsatz als Springer vorstellen können (siehe Abbildung 60).

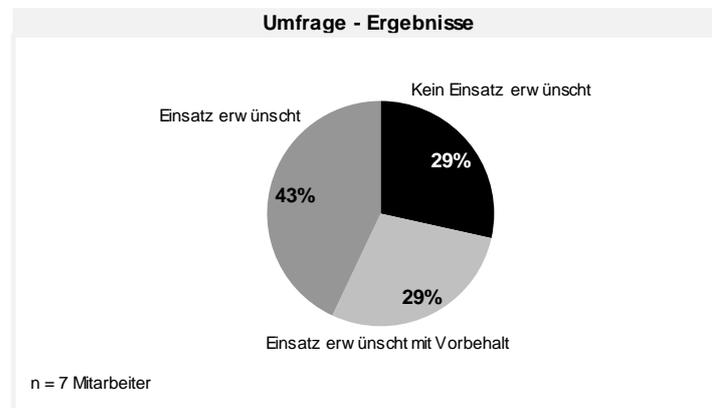


Abbildung 60: Ergebnisse der Mitarbeiterbefragung

Drei von sieben Mitarbeiter haben sich bereit erklärt, einen solchen Einsatz zu übernehmen, weshalb sie nach Prüfung der Auswahlvorschriften in den potenziellen Pool aufgenommen wurden. Zwei Mitarbeiter, welche sich unter Vorbehalt einen solchen Einsatz vorstellen konnten, stellen ebenfalls potenzielle Kandidaten dar, die im Anschluss an das Anwendungsbeispiel und anhand der gesammelten Erfahrungen ihrer Kollegen erneut befragt werden. Neben den leistungsgewandelten Mitarbeitern wurden zwei weitere Kandidaten in der Fertigung identifiziert. Diese sind für den Härtingsprozess bei Zahnrädern zuständig, welche prozessbedingt Wartezeit enthält. Diese Wartezeiten könnten für Springereinsätze in der Montagelinie genutzt werden. Beide Mitarbeiter kennen das Produkt, da sie in der Vergangenheit bereits an einzelnen Stationen bzw. Zonen eingesetzt wurden. Aufgrund der geringeren Routine besitzen sie jedoch nur Qualifikationsstufe 2. Zudem sind diese Mitarbeiter nicht pauschal für alle Zonen qualifiziert. Abbildung 61

zeigt die Qualifikationsverteilung und Verfügbarkeiten der potenziellen Springerkandidaten. Da alle Mitarbeiter immer für eine Zone qualifiziert werden und nicht nur für einzelne Stationen, wurden die Qualifikationsmatrizen auf Zonenbasis und nicht auf Stationsbasis erhoben.

Mitarbeiter-ID	Qualifikation	Zonen					Verfügbare Zeit
		1	2	3	4	5	
1	2						3600
	3	x	x	x	x	x	
2	2						2500
	3	x	x	x	x	x	
3	2						2000
	3	x	x	x	x	x	
4	2	x					2700
	3						
5	2					x	2800
	3						

Abbildung 61: Qualifikation und verfügbare Zeit der potenziellen Springer

Stufe 2: In Stufe 2 werden die zuvor ermittelten Kapazitäten den Einsatzbedarfen zugeteilt. Dazu müssen als Erstes die Einsatzbedarfe nach Qualifikation und Zeitbedarf priorisiert werden, d. h. die Bedarfe mit höheren Zeiten und Qualifikationsanforderungen werden den anderen vorgezogen (siehe Anhang - Abbildung 93). Anschließend wurde mithilfe des Programms *MatLab* die Heuristik aus Abschnitt 7.2.2 angewandt. Neben der reinen Einsatzzeit wurde im Beispiel eine Zeit von 4 Minuten auf jeden Einsatz aufgeschlagen, z. B. für die Laufzeit zur Station. Daraus ergab sich, dass die vorgehaltene Kapazität von fünf Ressourcen nicht ausreicht, um alle Springereinsätze zu erfüllen (siehe Abbildung 62).

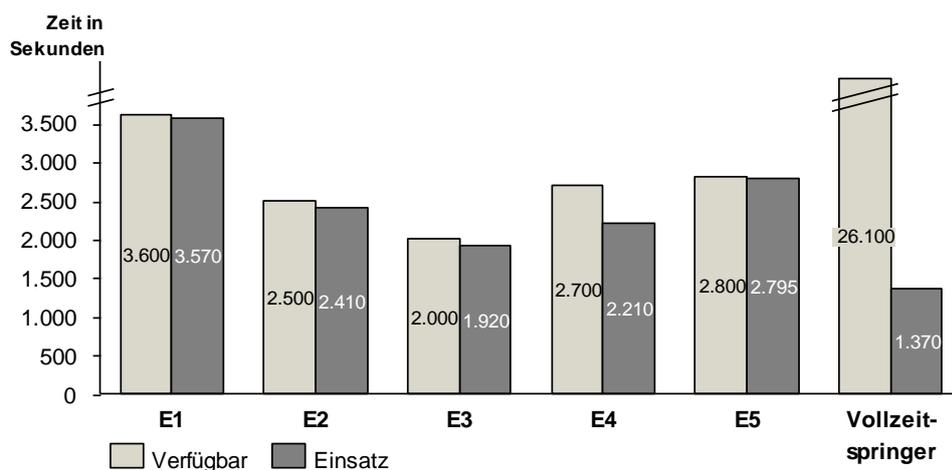


Abbildung 62: Ergebnisse – Verteilung der Springerbedarfe

Demnach müssen vier Einsätze mit einer Gesamtdauer von ca. 30 Minuten von einem Vollzeitspringer ausgeführt werden. Vor dem Hintergrund, dass der Einsatz von Vollzeitspringern vermieden werden sollte, wird in Stufe 3 von Modell III eine Fallunterscheidung zur Erreichung einer kosteneffizienten Konfiguration durchgeführt.

Stufe 3: Die Entscheidungsvorschriften dieser Stufe lassen sich in zwei größere Blöcke einteilen. Der erste Block bezieht sich auf die Situation, in der alle Springereinsätze durch unternehmensinterne Bedarfe gedeckt werden können. Der zweite Block gilt für den Fall, dass Vollzeitspringer erforderlich sind. Im vorliegenden Beispiel tritt Letzteres ein, da ein Vollzeitspringer für ca. 30 Minuten benötigt wird. Für eine weitere Analyse muss die Auslastung des Vollzeitspringers ermittelt werden. Diese berechnet sich aus dem Quotienten aus der Einsatzzeit zu verfügbarer Zeit. Die verfügbare Zeit ist die Nettoarbeitszeit, welche im Beispiel ca. 435 Minuten dauert. Daraus ergibt sich für den Vollzeitspringer eine Auslastung von ca. 7 %. In Formel (15) sind die drei Fallunterscheidungen in Abhängigkeit der Springerauslastung aufgeführt. Im Beispiel wird aufgrund einer Auslastung von 7 % Fall 3 (Auslastung $\leq 30\%$) näher betrachtet. Dieses Szenario besagt, dass es kostengünstiger ist, wenn die Kapazität sinnvoll auf bereits vorhandene Ressourcen verteilt werden kann. Die bisher identifizierten Mitarbeiter können keine weiteren Einsätze übernehmen. Allerdings hat eine Detailanalyse der Kapazitätsauslastung von Mitarbeitern in der Vormontage ergeben, dass diese aufgrund der Entkoppelung mit Pufferstrecken freie Kapazitäten haben, aufgrund der fehlenden Qualifikation jedoch nicht vom Simulationsmodell ausgewählt wurden. Bei den zu verteilenden Einsätzen handelt es sich um Unterstützungsszenarien ausschließlich in Zone 1. Somit müsste ein Werker in der Vormontage nur für Zone 1 qualifiziert sein. Grundvoraussetzung ist, dass dieser eine freie Kapazität für 30 Minuten hat. Da ein Unterstützungsszenario wie im Beispiel durch variantenbezogene Zeitschwankungen hervorgerufen wird und das Produktionsprogramm bekannt ist, sind die Einsatzzeitpunkte prognostizierbar. Der Vollzeitspringer muss in den Takten 5, 11, 14 und 21 Einsätze übernehmen. Bei einer Analyse der Verfügbarkeiten von Werkern aus der Vormontage ist aufgefallen, dass Werker W6 die Qualifikation für Einsätze in Zone zwar besitzt, jedoch aufgrund der geringen Pufferstrecke seinen Arbeitsplatz nicht verlassen kann. Wohingegen Werker W11 aufgrund der Entkoppelung verfügbar wäre, allerdings fehlen ihm die Qualifikationen für Zone 1. Aufgrund seiner kontinuierlichen Verfügbarkeit und der längeren Taktabstände zwischen den Einsätzen kann davon ausgegangen werden, dass die

Pufferstrecken nie leerlaufen und somit kein zeitlicher Engpass entsteht. Trotzdem wurde eine erneute Simulation durchgeführt, in der die Qualifikationsmatrix von Werker W4 angepasst wurde. Das Ergebnis zeigt, dass Werker W11 sogar weitere Einsätze übernehmen könnte, sodass die externen Springer noch stärker entlastet würden. Allerdings konnte die Analyse im Rahmen der vorliegenden Untersuchung an dieser Stelle nicht weitergeführt werden. Die Einsparung des Vollzeitspringers ist für das Anwendungsbeispiel ausreichend. Die kosteneffiziente Springerpoolkonfiguration ist in Abbildung 63 abgebildet.

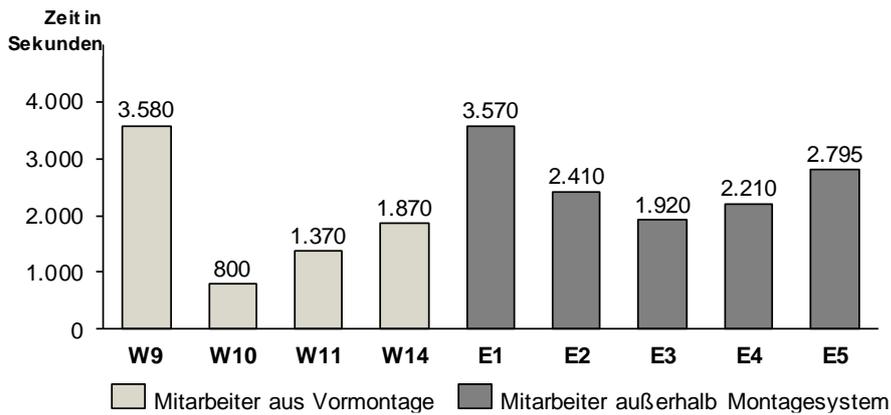


Abbildung 63: Kosteneffiziente Springerpoolkonfiguration

8.4 Zusammenfassende Aufwand-Nutzen-Bewertung

Da die Modelle mit systemischer Unterstützung arbeiten, entsteht für den Anwender ein Aufwand beim Aufbau der Systemstruktur. Bei komplexen Systemen mit vielen Stationen und Arbeitsbereichen ist der Aufwand höher, aber auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein Springer benötigt wird. Des Weiteren spielt hinsichtlich des Aufwands die Häufigkeit der Anwendung eine Rolle. Sind die Eingangsgrößen für Springerbedarfe relativ konstant, so muss die Bedarfsermittlung nicht kontinuierlich durchgeführt und eine neue Konfiguration des Springerpools gebildet werden. Relevante Eingangsgrößen sind in diesem Fall die Schwankungen des Produktionsprogramms oder aber auch die Heterogenität der Qualifikationsprofile. Besitzen Mitarbeiter eines Montagebereichs dieselben Qualifikationen, so reduziert sich der Aufwand hinsichtlich Modellierung und Simulationsdurchläufe. Zusammenfassend lassen sich folgende Aufwandstreiber festhalten:

- Komplexität des betrachteten Montagesystems (Anzahl der Stationen, Anzahl der Arbeitsplätze, Größe der Vormontagen usw.),

- Intensität der Schwankung im Produktionsprogramm bzw. in der Bedarfsplanung,
- Heterogenität des Qualifikationsgrads der Belegschaft.

Bezieht man die Aufwandstreiber auf das Anwendungsbeispiel, so erkennt man, dass sich die Voraussetzungen beim Anwender positiv auf den Aufwand auswirken. Die Anzahl an Stationen und Mitarbeitern ist überschaubar und aufgrund der relativ konstanten Eingangsparameter müssen die Simulationsläufe nicht kontinuierlich wiederholt bzw. angepasst werden.

Der Nutzen wird quantitativ über die Anzahl der benötigten Mitarbeiter sowie die Kennzahl der Produktivität bewertet, welche sich aus dem Quotienten aus der Ausbringungsmenge (n) zu Schichtdauer (t) berechnen (EVERSHEIM 1989, S. 34). Betrachtet man das geplante Soll-Produktionsprogramm aus sechs Typ-3-Getrieben, zehn Typ-5-Getrieben und sechs Typ-6-Getrieben, so war es zuvor nicht möglich, diese innerhalb einer Schicht zu montieren. Es waren immer wieder Sonderschichten notwendig, um den Kundenbedarf zu decken. Herkömmlicherweise wurde bisher eine Ausbringungsmenge von einem Typ-3-Getriebe, sechs Typ-5-Getrieben und zwei Typ-6-Getrieben umgesetzt. Durch die Anwendung der Methode konnte das Soll-Produktionsprogramm und somit auch eine Produktivitätssteigerung um 144 Prozent erzielt werden (siehe Abbildung 64). Ohne den letzten Methodenschritt hätte der Anwender drei zusätzliche Arbeitskräfte als Vollzeitspringer einsetzen müssen. Durch die Analyse der unternehmensinternen, vorhandenen Ressourcen konnten Mitarbeiter mit passenden Qualifikationen sowie Entwicklungspotenzialen identifiziert werden. Somit ist der Einsatz von Vollzeitspringern obsolet. Aufgrund der Priorisierung bei der Bedarfsdeckung fällt der Schulungsaufwand für Werker W11 relativ gering aus und kann somit kurzfristig umgesetzt werden.

Neben dem quantitativen Nutzen aus der Anwendung der Methode bieten die einzelnen Modelle dem Anwender ebenfalls einen qualitativen Mehrwert. Mithilfe der Anforderungsprofile wird ein einheitlicher Standard zur Erfassung von Qualifikationen festgelegt. Das Simulationsmodell selbst kann zur Validierung einer anderen Zusammensetzung des Produktionsprogramms oder von neuen Produktvarianten herangezogen werden, wodurch die Produktionsplanung flexibler und schneller arbeiten kann.

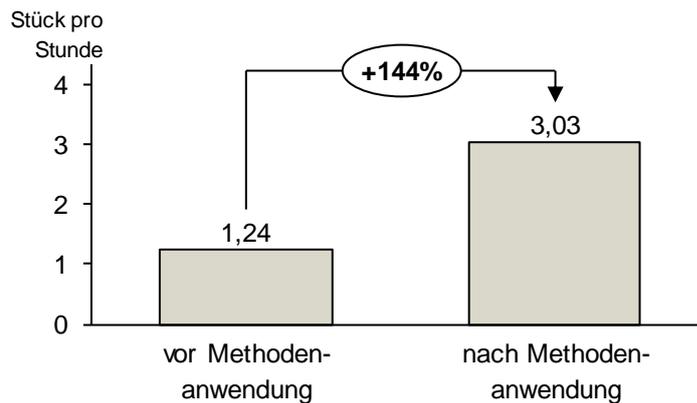


Abbildung 64: Produktivitätssteigerung durch Methodenanwendung

8.5 Evaluation der Methode sowie darin enthaltener Modelle

Die in Abschnitt 4.1 definierten Anforderungen lassen sich nach allgemeinen und inhaltlichen Anforderungen unterscheiden. Als allgemeine Anforderungen gelten die Anwendbarkeit, die Übertragbarkeit, die Transparenz, die Skalierbarkeit, der geringe Ressourceneinsatz sowie die kurzfristige Ergebnisgenerierung. Nachfolgend ist die Bewertung der Methode je Kriterium erläutert.

Anwendbarkeit

Die Methode ist in fünf Schritte unterteilt, die methodisch sinnvoll aufeinander aufbauen. Dadurch wird der Anwender schrittweise zum Ziel geführt und benötigt keine Vorkenntnisse. Grundlagen sind erläutert und benötigte Daten zum Aufbau der einzelnen Modelle sind zu Beginn eines jeden Kapitels genannt, so dass der Anwender diese mit Anleitung im eigenen Unternehmen erheben und aufbereiten kann. Die beschriebenen Modelle sind generisch beschrieben und nicht auf ein IT-Tool fixiert, wodurch der Anwender je nach vorhandener Infrastruktur eigene Systeme zur Umsetzung auswählen kann.

Übertragbarkeit

Unter Übertragbarkeit ist die Anpassbarkeit auf verschiedene Rahmenbedingungen zu verstehen, d. h. die Methode sollte für diverse Montagesysteme gelten. In Abschnitt 4.2 sind Betrachtungsrahmen mit möglichen Variationen sowie Restriktionen beschrieben. Die Restriktionen zeigen, dass es sich immer um ein Montagesystem mit Taktbindung und Einzelstückfluss handeln muss, wie es z. B. bei Endmontagelinien der Fall ist. Solch ein Montagesystem entspricht den Ansätzen aus dem Lean Management und lässt sich in zahlreichen Produktionsunternehmen

finden. Insbesondere in Hochlohnländern wie Deutschland lässt sich der Trend erkennen, dass Fertigungsschritte und Vormontagen in kostengünstigere Produktionsstandorte ausgelagert und Endmontagetätigkeiten mit hoher Wertschöpfung und Know-How in den Ländern selbst gehalten werden. Der Automatisierungsgrad, Branche und Produkt stellen keine Einschränkung für die Methodenanwendung dar, wodurch von einem breiten Anwendungsfeld ausgegangen werden kann. Betrachtet man die Modelle I bis III separat, so lässt sich erkennen, dass insbesondere Modell I keine Einschränkung auf Übertragbarkeit aufweist, da jegliche Mitarbeiter mit Hilfe der Anforderungsprofile eingestuft werden können. Modell II ist dagegen von den bereits genannten Einschränkungen betroffen. Da an dieser Stelle das vorliegende Produktionssystem sowie die Bedarfsidentifikationslogik modelliert werden und diese nur unter den genannten Rahmenbedingungen eingesetzt werden können. Modell III ist von den genannten Restriktionen nicht betroffen, aber von den Ergebnissen aus Modell II abhängig. Da eine alleinige Anwendung von Modell nicht zielführend ist, ist die Übertragbarkeit auch in diesem Fall nur eingeschränkt möglich (siehe Restriktionen).

Transparenz

Diese Anforderung ist durch eine transparente Darstellung der einzelnen Schritte gekennzeichnet. Im Rahmen der Arbeit wurde jeder Methodenschritt detailliert und voneinander getrennt beschrieben (siehe Kapitel 4 bis 7), um ein umfassendes Verständnis sicherzustellen. Für jedes Modell sind notwendige Eingangsdaten explizit genannt sowie Modellierungsvorschriften erläutert. Zudem wurde darauf geachtet, dass Zusammenhänge zwischen Schritten und Modellen ebenfalls explizit erläutert werden. Dazu wurde in Abschnitt 8.3 die Anwendung der Methode mit zugehörigen Modellen allgemeingültig erläutert und Schritt für Schritt an Hand des Praxisbeispiels veranschaulicht.

Skalierbarkeit

Skalierbarkeit hängt mit der Anforderungsart Übertragbarkeit zusammen. Übertragbarkeit gibt vor, auf welche Unternehmen bzw. Produktionssysteme die Methode grundsätzlich angewendet werden kann. Skalierbarkeit beschreibt dagegen, die Anwendbarkeit der Methode bei zeitlichen, räumlichen und strukturellen Veränderungen innerhalb des betrachteten Produktionssystems. Ist die Methode skalierbar, so lässt sich diese ohne Einschränkung auf Veränderungen adaptieren. Damit dies möglich ist, müssen Berechnungs- sowie Modellierungsvorschriften vari-

abel und unternehmensspezifisch formuliert sein. Bei der Entwicklung der vorliegenden Methode wurde die Anforderungsart Skalierbarkeit von Beginn an berücksichtigt. Zu den variierbaren Gestaltungsparametern zählen die Anordnung der Produktiveinheiten, die Höhe des Automatisierungsgrads, die Anzahl an Mitarbeitern je Arbeitsbereich sowie die Menge an darstellbaren Produktvarianten (siehe Abschnitt 4.2). Zudem können Taktzeit und Zykluszeit individuell verändert werden. Diese Parameter zählen zu den wesentlichen zeitlichen, räumlichen und strukturellen Veränderungen, die z. B. im Rahmen der Einführung neuer Produkte sowie Prozessveränderungen auftreten können. Damit die Methode skalierbar ist, müssen die dazugehörigen Modelle skalierbar gestaltet sein. Modelle I und III sind von der Organisationsstruktur und darin enthaltenen Mitarbeitern abhängig. Da Anforderungsprofile und Verfügbarkeiten für beliebig viele Mitarbeiter mit unterschiedlichen Qualifikationen erstellt werden können, erfüllen diese beiden Modelle die Anforderungsart Skalierbarkeit vollumfänglich. Bei Modell II gilt, dass solange die Restriktionen aus Abschnitt 4.1.1 erfüllt sind, die zuvor genannten Gestaltungsparameter beliebig variiert werden können, wodurch Skalierbarkeit gewährleistet ist.

Kurzfristige Ergebniserzeugung

Die Methode kommt einerseits für langfristige Planungszwecke zum Einsatz und andererseits kann sie aber auch zur kurzfristigen Planung auf Tagesbasis verwendet werden. Damit letzteres möglich ist, müssen Ergebnisse innerhalb kurzer Zeiträume generiert werden. Somit stellt die kurzfristige Ergebniserzeugung eine wichtige Anforderung dar. Diese wurde im Rahmen der Entwicklung sowohl in der Methode selbst als auch in den Modellen berücksichtigt. Die Methode enthält vier zentrale Schritte, die lediglich für eine Erstinbetriebnahme durchlaufen werden müssen. Im Betrieb muss der Anwender nur noch Eingangsparameter für die jeweiligen Modelle anpassen, um neue berechnete Auslastungsszenarien zu erhalten. Bei der Gestaltung des Simulationsmodells (Modell II) sowie der Heuristik (Modell III) wurde explizit auf eine schnelle Ergebniserzeugung geachtet. Priorisierungsregeln erlauben beispielsweise eine kürzere Rechenzeit und durch die lokale Suche wird ein lokales Optimum zeitnah ermittelt.

Neben den allgemeinen Anforderungen wurden in Abschnitt 4.1.2 inhaltliche Anforderungen diskutiert. Diese wurden im Rahmen der Modellentwicklung explizit berücksichtigt und erläutert, weshalb an dieser Stelle auf eine explizite Evaluation verzichtet wird.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Da der Wettbewerbsdruck für Unternehmen immer stärker zunimmt und die Befriedigung eines immer individuelleren Kundenwunschs in den zentralen Fokus rückt, müssen Unternehmen Maßnahmen ergreifen, die trotz einer höheren Prozesskomplexität zu einer kosteneffizienten Herstellung ihrer Produkte führen. Ein häufig zu beobachtendes Resultat sind Schwankungen in der Bearbeitungszeit, die eine einheitliche Taktung der Montagelinie erschweren. Eine Möglichkeit zur Nivellierung von Taktzeitschwankungen stellt der Einsatz von Springern dar (siehe Kapitel 2). In der Vergangenheit hat sich dieses Mittel jedoch als sehr kostenintensiv herausgestellt, wodurch der Bedarf einer kosteneffizienten Bildung eines Springerpools entstanden ist. Dieses Ziel wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit verfolgt und erreicht.

Im Bereich der Springereinsatzplanung existieren bereits sowohl leistungsabstimmungsorientierte als auch personalplanungsorientierte Ansätze, welche hinsichtlich der Zielsetzung und Beantwortung der Forschungsfragen analysiert wurden (siehe Kapitel 3). Keine der existierenden Ansätze hat sich mit der hier aufgestellten Hypothese befasst, dass durch eine Qualifikationsdifferenzierung beim Springereinsatz verstärkt Springer als interne Ressourcen eingesetzt werden können, um somit eine Kostenreduktion zu erreichen. Die vorliegende Untersuchung konnte den Handlungsbedarf und somit auch die Berechtigung der These bestätigen.

Zur Zielerreichung wurde eine Methode entwickelt, die mithilfe von vier Schritten dem Anwender eine Anleitung zur Konfiguration eines kosteneffizienten Springerpools bietet. Die Methode baut auf drei Modellen auf, welche speziell zur Beantwortung von drei Forschungsfragen erarbeitet wurden (siehe Abschnitt 1.2). Mit dem Anforderungsanalysemodell können Springeraufgaben beschrieben und mit Anforderungen hinterlegt werden (siehe Kapitel 5). Das Bedarfsidentifikationsmodell erlaubt ein systematisches Vorgehen zur Identifikation von Springerbedarfen, basierend auf den Springeranforderungsprofilen aus Modell I (siehe Kapitel 6). Im Rahmen des Konfigurationsmodells wurde ein dreistufiges Vorgehen entwickelt, welches die Konfiguration eines kosteneffizienten Springerpools unterstützt (siehe Kapitel 7). Die Validierung und die Evaluation der Methode zeigen,

dass die zuvor gestellte Zielsetzung durch die Methodenanwendung erreicht werden kann. Ferner wurden sowohl allgemeine als auch inhaltliche Anforderungen an die Methode sowie an die Modelle erfüllt (siehe Kapitel 8).

9.2 Ausblick

Das Ergebnis der Untersuchung unterstützt bei der Zusammensetzung eines Springerpools und somit auch bei der Personalbedarfsplanung. Der Anwender erhält Informationen über den notwendigen Qualifikationsgrad sein Mitarbeiter, die Häufigkeit von Springereinsätzen sowie die Anzahl an zusätzlich benötigtem Personal (externe Springer). Präventive Einsätze können bereits im Vorhinein geplant und den Mitarbeitern in Form ihrer Einsatzplanung mitgeteilt werden. Zur Umsetzung der reaktiven Einsätze bedarf es jedoch einer echtzeitfähigen Steuerungsmöglichkeit welche die Kommunikation zwischen Mitarbeitern im Bedarfsfall ermöglicht. Bei der Kommunikation spielt insbesondere Schnelligkeit eine wichtige Rolle, denn nur so können lange Wartezeiten vermieden und eine Produktivitätssteigerung vollumfassend sichergestellt werden. Diese Steuerungslogik muss Echtzeitdaten verarbeiten können, um präventive Einsätze rechtzeitig zu erkennen und Maßnahmen für Ad-hoc-Bedarfe zu realisieren. Im Rahmen des Forschungsvorhabens Smart Interfaces mit der Bayerischen Forschungstiftung wurden erste Möglichkeiten entwickelt, Springerrufe mit Hilfe von Smart Devices bedarfsgerecht zu steuern. Hier konnte jedoch beobachtet werden, dass nach aktuellem Stand die digitale Infrastruktur (z. B. flächendeckendes WLAN in der Produktion) der Industrieunternehmen noch nicht ausreichend stabil ist. Nach aktueller Entwicklung im Rahmen von Digitalisierungsprojekten kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich dies in naher Zukunft deutlich verbessern wird und benötigte IT-Standards in jedem Unternehmen vorzufinden sind. Des Weiteren müssen sichere Lösungen im Rahmen des Datenschutzes für Mitarbeiter erarbeitet werden. Die Erstellung des Simulationsmodells (siehe Modell II) erfolgt im Rahmen der Arbeit manuell. Durch stetige Weiterentwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 wird sich die Datenbasis in Unternehmen verbessern, wodurch Möglichkeiten zur automatisierten Modellerstellung an Bedeutung gewinnen. Hierzu existieren bereits Ansätze, die im Rahmen weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen konkretisiert und auf den Anwendungsfall angepasst werden könnten.

10 Literaturverzeichnis

ADAM 1998

Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler 1998. ISBN: 9783409179386.

ALTEMEIER 2009

Altemeier, S.: Kostenoptimale Kapazitätsabstimmung in einer getakteten Variantenfließlinie unter expliziter Berücksichtigung des Unterstützungseinsatzes und unterschiedlicher Planungszeiträume. Zugl.: Univ., Diss. 2009. Paderborn.

ALTEMEIER ET AL. 2010

Altemeier, S.; Helmdach, M.; Koberstein, A.; Dangelmaier, W.: Reconfiguration of assembly lines under the influence of high product variety in the automotive industry - a decision support system. International Journal of Production Research 48 (2010) 21, S. 6235-6256.

ARNOLD & FURMANS 2009

Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. 6., erweiterte Aufl. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009. ISBN: 9783642014055.

BAETHGE 1974

Baethge, M.: Produktion und Qualifikation. Eine Vorstudie zur Untersuchung von Planungsprozessen im System der beruflichen Bildung. 3. Aufl. Aufl Georg-August-Universität Göttingen. Hannover: Schroedel 1974. ISBN: 978-3507918238.

BANDOW & HOLZMÜLLER 2010

Bandow, G.; Holzmüller, H. (Hrsg.): "Das ist gar kein Modell!". Wiesbaden: Gabler 2010. ISBN: 978-3-8349-1842-0.

BANGSOW 2011

Bangsow, S.: Praxishandbuch Plant Simulation und SimTalk. Anwendung und Programmierung in über 150 Beispiel-Modellen. München: Hanser Verlag 2011. ISBN: 978-3-446-42782-2.

BEHRENBECK 1994

Behrenbeck, K. R.: DV-Einsatz in der Instandhaltung. Erfolgsfaktoren und betriebswirtschaftliche Gesamtkonzeption. Wiesbaden: Gabler 1994. ISBN: 9783663084310.

BERTSCHE & LECHNER 2004

Bertsche, B.; Lechner, G.: Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau. Ermittlung von Bauteil- und Systemzuverlässigkeiten. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2004. ISBN: 9783540208716.

BLESSING & CHAKRABARTI 2009

Blessing, L.; Chakrabarti, A.: DRM, a Design Research Methodology. London: Springer 2009. ISBN: 9781848825871.

BOCK 2000

Bock, S.: Modelle und verteilte Algorithmen zur Planung getakteter Fließlinien. Ansätze zur Unterstützung eines effizienten Mass Customization. Wiesbaden: Gabler 1999. ISBN: 3824472279.

BOER 2009

Boer, H. (Hrsg.): Research in Continuous Innovation. 2009.

BOKRANZ & KASTEN 2003

Bokranz, R.; Kasten, L.: Organisations-Management in Dienstleistung und Verwaltung. Gestaltungsfelder, Instrumente und Konzepte. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2003. ISBN: 9783409414562.

BOLAT 1994

Bolat, A.: Sequencing Jobs on an automotive assembly line. (Hrsg.): International Journal of Production Research 1994, S. 1219-1236.

BOLAT 1997

Bolat, A.: Stochastic procedures for scheduling minimum job sets on mixed model assembly lines. (Hrsg.): Journal of Operations Research Society 1997, S. 490-501.

BORMANN 1978

Bormann, D.: Störungen von Fertigungsprozessen und die Abwehr von Störungen bei Ausfällen von Arbeitskräften durch Vorhaltung von Reservepersonal. Krefeld: Marchal und Matzenbacher Verlag. ISBN: 9783883580043

BOYSEN 2005

Boysen, N.: Variantenfließfertigung (Zugl. Univ., Diss., 2005). Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 2005. ISBN: 3835000586.

BRANDES 2013

Brandes, H.: Flexibilität und Qualifikation. Heidelberg: Steinkopff 2013. ISBN: 9783642484391.

BRENNER & MATYAS 2019

Brenner, J.; Matyas, K.: Shopfloor Management und seine digitale Transformation. Die besten Werkzeuge in 45 Beispielen. München: Hanser 2019. ISBN: 9783446460065.

BUCK & WITZGALL 2012

Buck, H.; Witzgall, E.: Mitarbeiterqualifizierung in der Montage. In: Lotter, B. et al. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer 2012, S. 397-417. ISBN: 9783642290619.

BULLINGER 1995

Bullinger, H.-J.: Arbeitsgestaltung. Personalorientierte Gestaltung marktgerechter Arbeitssysteme. Stuttgart: Teubner 1995. ISBN: 9783519063698.

BULLINGER & LUNG 1994

Bullinger, H.-J.; Lung, M.: Planung der Materialbereitstellung in der Montage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 1994. ISBN: 9783663110477.

BULLINGER ET AL. 1993

Bullinger, H.-J.; Rieth, D.; Euler, H. P.: Planung entkoppelter Montagesysteme. Puffer in der Montage. 1. Aufl. Stuttgart: B.G. Teubner Verlag 1993. ISBN: 3-519-06365-4.

BULLINGER & AMMER 1986

Bullinger, H.-J.; Ammer, D.: Systematische Montageplanung. München: Hanser 1986. ISBN: 9783446146068.

BURKARD & DERIGS 1980

Burkard, R. E.; Derigs, U.: Assignment and Matching Problems: Solution Methods with FORTRAN-Programs. Berlin, Heidelberg: Springer 1980. ISBN: 9783642515767.

CARPANETO ET AL. 1988

Carpaneto, G.; Martello, S.; Toth, P.: Algorithms and codes for the assignment problem. *Annals of Operations Research* 13, S. 193-223.

DECKER 2006

Decker, K.: Bestimmung des erforderlichen technischen Durchsatzes von Materialflusssystemen mittels diskreter Simulation. Dissertation Technische Universität Wien. Wien (2006).

DECKER 1993

Decker, M.: Variantenfließfertigung. Heidelberg: Physica-Verlag HD 1993. ISBN: 3790806889. (Schriften zur quantitativen Betriebswirtschaftslehre 7).

DERIGS 1988

Derigs, U.: Programming in Networks and Graphs. On the Combinatorial Background and Near-Equivalence of Network Flow and Matching Algorithms. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg 1988. ISBN: 9783642517136.

DESTATIS 2018

Destatis: Produzierendes Gewerbe - Kostenstruktur der Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Fachserie 4 Aufl. 2018.

DEUSE & BUSCH 2012

Deuse, J.; Busch, F.: Zeitwirtschaft in der Montage. In: Lotter, B. et al. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer 2012, S. 79-108. ISBN: 9783642290619.

DOMSCHKE 2007

Domschke, W.: Logistik: Transport. Grundlagen, lineare Transport- und Umladeprobleme. München: Oldenbourg Verlag. ISBN: 9783486843521.

DOMSCHKE ET AL. 2015

Domschke, W.; Drexl, A.; Klein, R.; Scholl, A.: Einführung in Operations Research. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2015. ISBN: 978-3-662-48215-5.

DOMSCHKE ET AL. 1997

Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S.: Produktionsplanung. Ablauforganisatorische Aspekte. 2. Aufl. Berlin: Springer 1997. ISBN: 9783540635604.

DÖRMER & GÜNTHER 2013

Dörmer, J.; Günther, H.-O.: Produktionsprogrammplanung bei variantenreicher Fließproduktion. Untersucht am Beispiel der Automobilendmontage (Zugl.: Univ., Diss., 2012). Wiesbaden: Springer 2013. ISBN: 9783658020927.

DUDENREDAKTION 2020A

Dudenredaktion: "Konfiguration". <<https://www.duden.de/node/81801/revision/81837>> - 17.03.2020.

DUDENREDAKTION 2020B

Dudenredaktion: "Pool". <<https://www.duden.de/node/113290/revision/113326>> - 17.03.2020.

EDLER ET AL. 2015

Edler, F.; Soden, M.; Hankammer, R.: Fehlerbaumanalyse in Theorie und Praxis. Grundlagen und Anwendung der Methode. Berlin, Heidelberg: Springer 2015. ISBN: 9783662481660.

ELEY 2012

Eley, M.: Simulation in der Logistik. Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges "Plant Simulation". Berlin, Heidelberg: Springer 2012. ISBN: 978-3-642-27372-8.

EVERSHEIM 1989

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik Band 4. Fertigung und Montage. 2 Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 1989. ISBN: 9783642648007.

EVERSHEIM & SCHUH 1999

Eversheim, Walter; Schuh, Günther: Produktion und Management 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 1999. ISBN: 9783540654537.

EYER & BÖDDECKER 2006

Eyer, E.; Böddecker, W.: ERA erfolgreich einführen. Düsseldorf: Symposion 2006. ISBN: 9783936608793.

FELBECKER 1980

Felbecker, O.: Ein Beitrag zur Reihenfolgeplanung bei Mehrprodukt-Linienfertigung Dissertation Universität Aachen. Aachen 1980.

FELDMANN ET AL. 2004

Feldmann, K.; Slama, S.; Gergs, H.-J.; Wirth, U.: Montage strategisch ausrichten - Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen. Berlin, Heidelberg: Springer 2004. ISBN: 9783642187421.

FRIEDERICH 1998

Friederich, D.: Simulation in der Fertigungssteuerung. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 1998. ISBN: 9783663089476.

GALILÄER 2008

Galiläer, L.: Qualifikationstrends. Erkennen, Aufbereiten, Transferieren. 1. Aufl. Bielefeld: Bertelsmann W. Verlag 2008. ISBN: 9783763934560.

GAMBER ET AL. 2013

Gamber, T.; Leupold, M.; Zülch, G.: Leistungsabstimmung von Montagesystemen auf Basis von Personaleinsatzgraphen. In: Dangelmaier, W. et al. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2013. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Inst. Univ. Paderborn 2013, S. 315-324. ISBN: 9783942647359.

GANS 2008

Gans, J. E.: Neu- und Anpassungsplanung der Struktur von getakteten Fließproduktionssystemen für variantenreiche Serienprodukte in der Montage (Zugl.: Univ., Diss.; 2008) Paderborn: 2008.

GÖRKE 1978

Görke, M.: Rechnerunterstütztes Verfahren zur Leistungsabstimmung von Mehrmodell-Montagesystemen (Zugl.: Univ., Diss., 1978). Stuttgart: 1978.

GROßE-HEITMEYER & WIENDAHL 2004

Große-Heitmeyer, V.; Wiendahl, H.-P.: Einführung - Aktuelle Trends in der Produktion. In: Wiendahl, H.-P. et al. (Hrsg.): Variantenbeherrschung in der Montage. Berlin, Heidelberg: Springer 2004, S. 3-17. ISBN: 9783642189470.

HALUBEK 2012

Halubek, P.: Simulationsbasierte Planungsunterstützung für Variantenfließfertigungen (Zugl.: Univ., Diss., 2012). Essen: Vulkan-Verl. 2012. ISBN: 9783802783166.

HEIKE ET AL. 2001

Heike, G.; Ramulu, M.; Sorenson, E.; Shanahan, P.; Moinzadeh, K.: Mixed model assembly alternatives for low-volume manufacturing. *International Journal of Production Economics* 72 (2001), S. 103-120.

HENLICH ET AL. 2011

Henlich, R.; Weigert, G.; Klemmt, A.: Modellierung und Optimierung von Montageprozessen. In: März, L. et al. (Hrsg.): *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2011, S. 78-92. ISBN: 9783642145353.

HERRMANN 2013

Herrmann, K.: *Technologische und organisatorische Systembewertung und -gestaltung spanender Fertigungslinien nach den Prinzipien der schlanken Produktion*; (Zugl.: Univ., Diss., 2013). Paderborn: 2013.

HEßELER ET AL. 2004

Heßeler, A.; Hood, C.; Missling, C.; Stücka, R.; Versteegen, G.: *Anforderungsmanagement. Formale Prozesse, Praxiserfahrungen, Einführungsstrategien und Toolauswahl*. Berlin, Heidelberg: Springer 2004. ISBN: 9783642189753.

HOLTBRÜGGE 2015

Holtbrügge, D.: *Personalmanagement*. 6. Auflage Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2015. ISBN: 9783662481103.

HOMPEL ET AL. 2011

Hompel, M.; Sadowsky, V.; Beck, M.: *Kommissionierung: Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2011. ISBN: 9783540299400.

ISHIKAWA 1987

Ishikawa, K.: *What is total quality control? The Japanese way*. 6. Aufl. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall 1987. ISBN: 9780139524332.

JARR 1978

Jarr, K.: *Stochastische Personalplanungen. Ansätze zur Planung des betrieblichen Reservepersonals*. Wiesbaden: Gabler Verlag 1978. ISBN: 9783409384216.

KECKL 2017

Keckl, S.: Gestaltung einer Endmontage in der variantenreichen Serienfertigung am Beispiel der Automobilproduktion. Aachen: Shaker Verlag 2017. ISBN: 9783844055450.

KERN & SCHUMANN 1970

Kern; Schumann: Wirtschaftliche und soziale Aspekte des technischen Wandels in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsprojekt des Rationalisierungs-Kuratoriums der Deutschen Wirtschaft (RKW) e.V. 3. unveränd. Aufl. Aufl Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft. Frankfurt am Main: Europ. Verl.-Anst 1970. ISBN: 9783434002215.

KESTLER 2002

Kestler, F.: Einführung in die Didaktik des Geographieunterrichts. Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt 2002. ISBN: 9783781512467.

KÖHRMANN 2000

Köhrmann, C.: Modellbasierte Verfügbarkeitsanalyse automatischer Montagelinien (Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2000). Düsseldorf: VDI-Verl. 2000. ISBN: 3-18-353802-4.

KÖSTER 1998

Köster, O.: Strategische Disposition: Konzept zur Bewältigung des Spannungsfeldes Kundennähe, Komplexität und Effizienz im Leistungserstellungsprozess. (Zugl.: St. gallen, Univ., Diss., 1998). Universität Sankt Gallen: Rosch-Buch 1998.

KOTANI ET AL. 2004

Kotani, S.; Ito, T.; Ohno, K.: Sequencing problem for a mixed-model assembly line in the Toyota production system. International Journal of Production Research 42 (2004) 23, S. 4955-4974.

KRATZSCH 2000

Kratzsch, S.: Prozess- und Arbeitsorganisation in Fließmontagesystemen (Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2000). Essen: Vulkan-Verl. 2000. ISBN: 9783802786549.

KREBS 2012

Krebs, P.: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten. München: Herbert Utz Verlag 2012. ISBN: 978-3-8316-4156-7. (

KUPSCH & MARR 1991

Kupsch, P.; Marr, R.: Personalwirtschaft. In: Edmund, H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre. Wiesbaden: Gabler Verlag 1991, S. 729-896. ISBN: 978-3-322-87161-9.

LAW 2015

Law, A. M.: Simulation modeling and analysis. Fifth edition Aufl. New York, NY: McGraw-Hill Education 2015. ISBN: 9780073401324.

LIKER & MEIER 2008

Liker, J. K.; Meier, D.: Der Toyota Weg. Praxisbuch für jedes Unternehmen. 2., unveränd. Aufl. München: FinanzBuch Verl. 2008. ISBN: 9783898792585.

LINDEMANN 2007

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. [New York]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007. ISBN: 9783540374510.

LINDNER-LOHMANN ET AL. 2008

Lindner-Lohmann, D.; Lohmann, F.; Schirmer, U.: Personalmanagement. Heidelberg: Physica-Verlag Heidelberg 2008. ISBN: 9783790820140.

LOCHMANN 1999

Lochmann, M.: Operative Planung und Steuerung von Mehrprodukt-Fließlinien. Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag 1999. ISBN: 3824469022.

LOTTER & WIENDAHL 2012

Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer 2012. ISBN: 9783642290619.

MAGENHEIMER 2014

Magenheimer, K.: Lean Management in indirekten Unternehmensbereichen: Modellierung, Analyse und Bewertung von Verschwendung (Zugl.: München, Univ., Diss., 2014); Technische Universität München 2014.

MAIER ET AL. 2014

Maier, T.; Zika, G.; Wolter, M. I.; Kalinowski, M.; Helmrich, R.: BIBB REPORT 23/14 - Engpässe im mittleren Qualifikationsbereich trotz erhöhter Zuwanderung.

MÄRZ ET AL. 2012A

März, L.; Mayrhofer, W.; Sihm, W.: Beyond human tetris: simulation-based optimization of personnel assignment planning in sequenced commercial vehicle assembly. In: Hu, S. J. (Hrsg.): Technologies and Systems for Assembly Quality, Productivity and Customization 2012, S. 175-178. ISBN: 978-0-615-64022-8.

MÄRZ ET AL. 2012B

März, L.; Pröpster, M.; Röser, S.: Simulationsgestützte Bewertung getakteter Linien. wt Werkstatttechnik online 102 (2012) 3, S. 145-151.

MÄRZ ET AL. 2011

März, L.; Krug, W.; Rose, O. & Weigert, G. (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. ISBN: 9783642145353.

MAYRHOFER ET AL. 2013

Mayrhofer, W.; März, L.; Sihm, W.: Simulation-based optimization of personnel assignment planning in sequenced commercial vehicle assembly. CIRP Annals - Manufacturing Technology 2013.

MEDO 2010

Medo, M.: Kontinuierliche Planung der Fließfertigung von Varianten (Zugl.: Univ., Diss., 2010)

MEINS 1989

Meins, W.: Handbuch Fertigungs- und Betriebstechnik. Wiesbaden: Vieweg u. Teubner Verlag 1989. ISBN: 9783322849106.

MICKLER ET AL. 1976

Mickler, O.; Dittrich, E.; Neumann, U.: Technik, Arbeitsorganisation und Arbeit. Eine empirische Untersuchung in der automatisierten Produktion. Frankfurt: Aspekte 1976. ISBN: 9783921096567.

MILBERG & REINHART 1999

Milberg, J.; Reinhart, G.: Produktionssystemplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Produktion und Management 3. Berlin, Heidelberg: Springer 1999. ISBN: 9783540654537.

MITSUMORI & TAKADA 1972

Mitsumori, S.; Takada, K.: Optimum schedule control of conveyor line in mixed production systems. (Hrsg.): Electrical Engineering. Japan 1972.

MODEREGGER 1996

Moderegger, H. A.: Personalentlohnung und monetäres Anreizsystem. Wiesbaden, s.l.: Gabler Verlag 1996. ISBN: 9783409922647.

MOLLEMEIER 1997

Mollemeier, A.: Integrierte Steuerung getakteter Variantenfließlinien. Gabler Edition Wissenschaft Aufl. Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag 1997. ISBN: 3824465140.

MÜLLER 2002

Müller, R.: Planung hybrider Montagesysteme auf Basis mehrschichtiger Vorranggraphen (Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2002). Aachen: Shaker 2002. ISBN: 3832203796.

OCHS 1989

Ochs, M.: Entwurf eines Programmsystems zur wissensbasierten Planung und Konfiguration; Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik 1989.

ŌNO 2009

Ōno, T.: Das Toyota-Produktionssystem. Frankfurt, M., New York, NY: Campus-Verl. 2009. ISBN: 9783593388366.

PAGE 1993

Page, B.: Diskrete Simulation. Eine Einführung mit Modula-2. Berlin: Springer 1993. ISBN: 978-3-540-54421-0.

PILLER 2001

Piller, F. T.: Mass Customization. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. 2. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 2001. ISBN: 9783322923370.

PRENTING & BATTAGLIN 1964

Prenting, T. O.; Battaglin, R. M.: The precedence diagram: A tool for analysis in assembly line balancing. *Journal of Industrial Engineering* 15 (1964) 4, S. 208-213.

PRÖPSTER 2015

Pröpster, M.: Methodik zur kurzfristigen Austaktung variantenreicher Montagelinien am Beispiel der Nutzfahrzeugindustrie (Zugl.: München, Univ., Diss., 2015); Technische Universität München 2015.

REFA 1978

REFA: Methodenlehre der Planung und Steuerung. 3. Aufl., 21. - 37. Tsd Aufl
Verband für Arbeitsstudien - REFA. München: Hanser 1978. ISBN:
3446126457.

REFA 1985

REFA: Methodenlehre der Planung und Steuerung. München: Hanser 1985.

REFA 1990

REFA: Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme., München: Hanser 1990. ISBN: 3446159673.

REFA 1991

REFA: Planung und Steuerung. München: Hanser 1991. ISBN: 3-446-16351-4.
(Methodenlehre der Betriebsorganisation).

REFA 1997

REFA: Datenermittlung, München: Hanser 1997. ISBN: 3446190597.

SARKER & PAN 2001

Sarker, B.; Pan, H.: Designing a mixed-model, open-station assembly line using mixed-integer programming. (Hrsg.): *Journal of the Operations Research Society* 2001, S. 545-558.

SCHETTGEN 1996

Schettgen, P.: Arbeit Leistung Lohn; Oldenbrugg 1996. ISBN: 9783110510829.

SCHNAUBER 1979

Schnauber, H.: Arbeitswissenschaft. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 1979.
ISBN: 9783322853875.

SCHNEEWEIß & SÖHNER 1991

Schneeweiß, C.; Söhner, V.: Kapazitätsplanung bei moderner Fließfertigung. Heidelberg: Physica-Verlag HD 1991. ISBN: 9783662121368.

SCHOLL 1999

Scholl, A.: Balancing and sequencing of assembly lines. 2nd rev. ed., 2nd ed. Aufl. Heidelberg, New York: Physica-Verlag 1999. ISBN: 9783790811803.

SCHRÖDER 2010

Schröder, W.: Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement. Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung (Zugl.: Leoben, Montanuniv., Diss., 2009). 1. Aufl. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden 2010. ISBN: 9783834920386.

SCHUH 2014

Schuh, G.: Produktkomplexität managen. Strategien ; Methoden ; Tools. 1. Aufl. Aufl. s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag 2014. ISBN: 9783446443549.

SHADISH ET AL. 2002

Shadish, W. R.; Cook, T. D.; Campbell, D. T.: Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference. Belmont, Calif.: Wadsworth Cengage Learning 2002. ISBN: 9780395615560.

SIEDENTOPF 2002

Siedentopf, J.: Job-Shop-Scheduling. Planung durch probabilistische lokale Suchverfahren. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 2002. ISBN: 9783322814173.

VDI-RICHTLINIE 4010

Planung eines zuverlässigen Datensystems, Berlin 1997

VDI-RICHTLINIE 3633A

Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Berlin 2014.

VDI-RICHTLINIE 3633B

VDI-Richtlinien zur Modellbildung und Simulation, Berlin 1996

VDI-RICHTLINIE 3649

Anwendung der Verfügbarkeitsrechnung für Förder- und Lagersysteme, Berlin 1992

SPUR & STÖFERLE 1986

Spur, G.; Stöferle, T.: Fügen, Handhaben und Montieren. München: Hanser 1986. ISBN: 9783446125360.

STATISTA 2019

Statista: Altersstruktur der Beschäftigten in der Metall- und Elektroindustrie in Deutschland in den Jahren 2000, 2007 und 2018. <<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/163154/umfrage/altersstruktur-in-der-metall--und-elektro-industrie-seit-1998>> - 01.05.2020.

STEBBINS 2001

Stebbins, R. A.: Exploratory research in the social sciences. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publ 2001. ISBN: 0761923993.

STERINGER ET AL. 1999

Steringer, R.; Schleicher, M.; Hingerl, K.: Sequence Evaluation and Personell Planning with HoME. In: IEEE (Hrsg.): International Symposium on Assembly and Task Planning. Piscataway: I E E E Jan. 1999, S. 454-458. ISBN: 0780357043.

STOCK 2013

Stock, T.: Ein Verfahren zur Personalplanung und -steuerung und Restrukturierung der Aufbauorganisation für eine bedarfsorientierte und wandlungsfähige Produktion. Stuttgart: Fraunhofer-Verl. 2013. ISBN: 978-3-8396-0532-5.

SYSKA 2006

Syska, A.: Produktionsmanagement. 1. Aufl. Aufl. s.l.: Gabler Verlag 2006. ISBN: 9783834990914.

TAKEDA 2004

Takeda, H.: LCIA - Low Cost Intelligent Automation. Produktivitätsvorteile durch Einfachautomatisierung. 1. Aufl. München: mi-Wirtschaftsbuch 2004. ISBN: 9783864160875.

THOMPOPOULOS 1967

Thompopoulos, N. T.: Line balancing - Sequencing for mixed-model assembly. (Hrsg.): Management Science 1967, S. B59-B75.

TRACHT & FUNKE 2011

Tracht, K.; Funke, L.: Auftragsorientierte Schichtplanung in der Montage. *wt Werkstatttechnik online* 101 (2011) 9, S. 591-594.

TSAI 1995

Tsai, L.-H.: Mixed-model sequencing to minimize utility work and the risk of conveyor stoppage. (Hrsg.): *Management Science* 1995.

VÖLKER ET AL. 2010

Völker, M.; Junker, F.; Schmidt, T.; Schneider, H.: Organisation der Montage variantenreicher Maschinen und Anlagen. *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftliche Fabrikbetriebe* 105 (2010) 1-2, S. 84-90.

WALDMANN & HELM 2016

Waldmann, K.-H.; Helm, W. E.: *Simulation stochastischer Systeme. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Berlin: Gabler 2016. ISBN: 9783662497586.

WARNECKE 1995

Warnecke, H.-J.: *Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb. Technik, Organisation, Betriebswirtschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer 1995. ISBN: 978-3-642-79964-8.

WEIß 2000

Weiß, C.: *Methodengestützte Planung und Analyse von Endmontagelinien in der Automobilindustrie* (Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2000); Universität Karlsruhe 2000.

WESTER & KILBRIDGE 1964

Wester, L.; Kilbridge, M.: The assembly line model-mix sequencing problem. (Hrsg.): *Proceedings of the third international conference on Operations Research*. Oslo 1964, S. 247-260.

WEYAND 2010

Weyand, L.: *Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie* (Zugl.: Saarbrücken, Univ., Diss., 2010). Saarbrücken: LKF 2010. ISBN: 9783930429752.

WICKEL-KIRSCH 2008

Wickel-Kirsch, S.: Personalwirtschaft. Grundlagen der personalarbeit in unternehmen. [Place of publication not identified]: Gabler 2008. ISBN: 978-3-8349-0500-0.

WIENDAHL 2008

Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. Mit 2 Tabellen. 6., aktualisierte Aufl. Aufl. München: Hanser 2008. ISBN: 978-3-446-41279-8.

WIENDAHL ET AL. 2004

Wiendahl, Hans-Peter; Gerst, Detlef; Keunecke, Lars (Hrsg.): Variantenbeherrschung in der Montage. Berlin, Heidelberg: Springer 2004. ISBN: 9783642189470.

WIESBECK 2014

Wiesbeck, M.: Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung. (Zugl.: München, Univ., Diss., 2014); Technische Universität München 2014.

WILHELM 1979

Wilhelm, B.: Beitrag zur optimalen Steuerung von Montagelinien mit Modell-Mix in der Automobilindustrie (Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1979); Universität Braunschweig 1979.

WILLNECKER 2001

Willnecker, U.: Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen (Zugl.: München, Techn, Univ., Diss., 2001). München: Utz 2001. ISBN: 3896758918.

WITTE ET AL. 1994

Witte, T.; Claus, T.; Helling, K.: Simulation von Produktionssystemen mit SLAM. Eine praxisorientierte Einführung. Amsterdam: Addison-Wesley 1994. ISBN: 9783893196395.

WITZGALL 2009

Witzgall, E.: Kompetenzmanagement in der industriellen Produktion. Das Tool "CM Pro Work". 1. Aufl. Aufl. Renningen: expert Verl. 2009. ISBN: 9783816928867.

ZÄPFEL 2000

Zäpfel, G.: Taktisches Produktions-Management. 2., unwesentlich veränd. Aufl. Aufl. München: Oldenbourg 2000. ISBN: 9783486254648.

ZIEGLER 1990

Ziegler, H.: Produktionssteuerung bei Mehrproduktfließlinien (Habilitationsschrift) Universität Paderborn 1990.

ZIMMERMANN 2005

Zimmermann, H.-J.: Operations Research. Methoden und Modelle. Für Wirtschaftsingenieure, Betriebswirte, Informatiker. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2005. ISBN: 9783322939067.

ZOLLONDZ 2006

Zollondz, H.-D.: Grundlagen Qualitätsmanagement: Oldenbourg Wissenschaftsverlag 2006. ISBN: 3486579649.

11 Anhang

Im Nachfolgenden Kapitel sind zum einen betreute Studienarbeiten, die im Rahmen des Forschungsvorhabens entstanden sind gelistet. Zum anderen sind die Templates zur mit relevanten Eingangsgrößen des Anwendungsbeispiels sowie weitere Ergebnisse dokumentiert.

11.1 Betreute Studienarbeiten

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) in den Jahren 2016 bis 2018 unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die folgenden studentischen Arbeiten. In diesen Arbeiten wurden Inhalte zu Themen wie Springeranforderungsprofile, qualifikationsbasierte Simulation von Springereinsätzen sowie deren kosteneffiziente Deckung erarbeitet. Die gemeinsam erarbeiteten Ergebnisse sind teilweise in das vorliegende Dokument mit eingeflossen. Der Autor dankt allen Studierenden sehr herzlich für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit.

- | | |
|----------------|--|
| Milde, J. | Analyse und Bewertung bestehender Methoden zur Reduzierung von Taktzeitüberschreitungen in der Fließmontage, Bachelor's Thesis, Technische Universität München, 2016 |
| Mindt, I. | Vorgehensweise zur Integration eines kompetenzbasierten Springereinsatzes in der Montage, Master's Thesis, Technische Universität München, 2016 |
| Schnaubelt, M. | Methode zur qualifikationsbasierten Springerzuweisung, Semesterarbeit, Technische Universität München, 2018 |
| Steinert, J. | Simulationsbasierte Springerbedarfsplanung in der variantenreichen Montage; Master's Thesis, Technische Universität München, 2017 |
| Viegner, F. | Bewertung von kompetenzbasierenden Personaleinsatzmethoden, Semesterarbeit, Technische Universität München, 2017 |

11.2 Grundlagen – Ergänzungen

11.2.1 Verfügbarkeit von Montagesystemen

Als Kenngröße zur Quantifizierung ungeplanter Maschinenausfälle (Störungen) wird die sog. *Anlagenverfügbarkeit* verwendet, diese ist von der Häufigkeit auftretender Ausfälle sowie deren Länge abhängig (BEHRENBECK 1994, S. 31; SCHRÖDER 2010, S. 42). Die Häufigkeit wird durch die Ausfallrate (λ) ausgedrückt und die Störungslänge durch die Reparaturrate (μ). Damit lässt sich der in Formel (16) dargestellte mathematische Zusammenhang für die Verfügbarkeit $V(t)$ beschreiben. Die Variable γ steht für die Verfügbarkeit zum Zeitpunkt $t = 0$. Weitere Herleitungen liefern DECKER (2006, S. 14–18) sowie ARNOLD UND FRUMANS (2009, S. 303 f.).

$$V(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \left(\gamma - \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) \times e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (16)$$

Diese Verfügbarkeitsfunktion beruht auf folgenden Annahmen (ARNOLD & FRUMANS 2009, S. 303):

- Zu jedem Zeitpunkt befindet sich das System genau in einem der beiden Zustände (entweder funktionsfähig oder ausgefallen).
- Die Ausfallrate (λ) sowie Reparaturrate (μ) sind beide konstante Größen.
- Frühere Zustände haben den aktuellen Zustand beeinflusst und haben auf den künftigen Zufallsprozess keinen Einfluss mehr.

Wird von einem eingeschwungenen Zustand ausgegangen, d. h. $V(t \rightarrow \infty)$, so kann die Verfügbarkeit ohne Berücksichtigung der Anfangsbedingung γ wie folgt ausgedrückt werden:

$$V(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (17)$$

Im Rahmen der Verfügbarkeitsrechnungen können die Ausfallrate (λ) und Reparaturrate (μ) durch die Terme MTBF (Mean Time Between Failures) und MTTR (Mean Time To Repair) ausgedrückt werden. MTBF gibt die durchschnittliche störungsfreie Einsatzzeit an und entspricht dem Kehrwert der Ausfallrate ($MTBF = 1/\lambda$). MTTR steht für die durchschnittliche Ausfalldauer und kann somit mit $1/\mu$ gleichgesetzt werden (ARNOLD & FURMANN 2009, S. 303; DECKER 2006, S. 16). Setzt man diese Variablen in Formel (16) ein, ergibt sich folgende Beziehung:

$$V(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \quad (18)$$

11.2.2 Modellierung von Flussdiagrammen

Die Grundstruktur eines Flussdiagramms besteht aus drei wesentlichen Elementen (siehe Abbildung 65).



Abbildung 65: Grundstrukturelemente eines Flussdiagramms

Die Elemente *Input* und *Output* stellen die Eingangs- sowie Ausgangsgrößen der Operationen dar. Das Element *Process* beschreibt die Verarbeitung von Eingangsgrößen. Diese kann nach den folgenden drei Ablaufstrukturen erfolgen: sequenziert, selektiv, iterativ.

Sequenziert bedeutet, dass auftretende Ereignisse nacheinander abgearbeitet werden. Bei einer *selektiven* Verarbeitung sind Abfragen eingebaut, die entweder mit Ja oder Nein (bedingte bzw. alternative Auswahl) oder fallspezifisch beantwortet werden können (auch bekannt als sog. *if-Abfrage*). Ein *iterativer* Prozess wird durch wiederholtes Durchlaufen einer Operation charakterisiert (auch bekannt als sog. *while-Schleife*). Die Abbruchkriterien solcher Schleifen unterscheiden sich nach abweisenden, nicht abweisenden und eindeutigen Schleifen. Abweisende Schleifen werden solange durchlaufen, bis das Ereignis nicht mehr den Bedingungen entspricht, nicht abweisende Schleifen werden solange wiederholt, bis das Abbruchkriterium erfüllt ist, und eindeutige Schleifen beinhalten ein definiertes Abbruchkriterium zum Verlassen der Schleife. In Abbildung 66 sind die unterschiedlichen Ablaufstrukturen zusammengefasst.

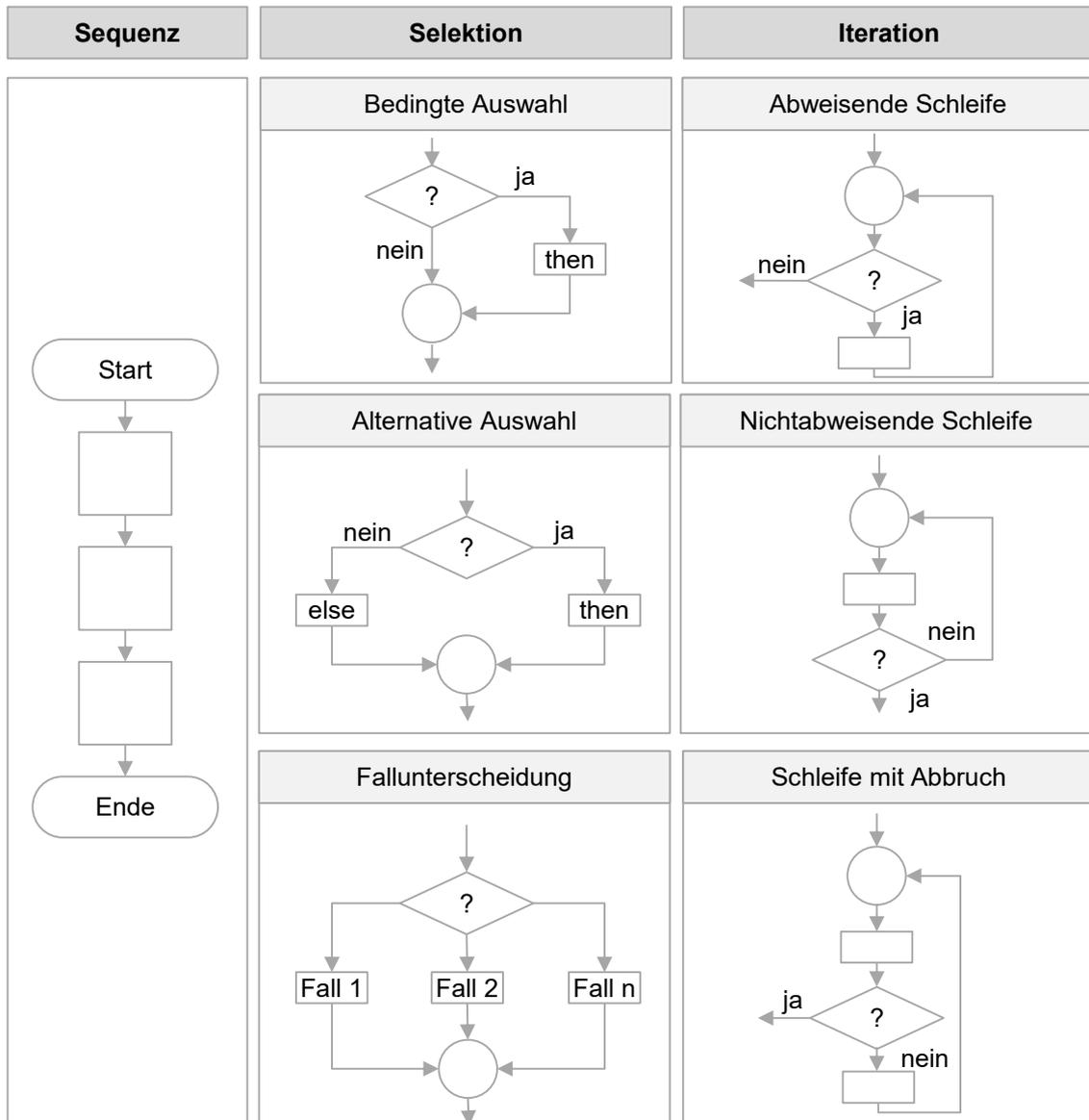


Abbildung 66: Ablaufstrukturen

Zur Visualisierung eines Programmablaufs mithilfe eines Flussdiagramms existieren standardisierte Symbole für Strukturelemente (siehe DIN 6601). Eine Zusammenstellung der am häufigsten auftretenden Elemente ist in Abbildung 67 zu finden.

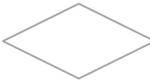
Symbol	Bezeichnung	Erläuterung
	Eingabe, Ausgabe	Darstellung von Ein- oder Ausgaben welche von Extern erfolgen.
	Prozess	Darstellung von allgemeinen Operationen.
	Unterprogramm	Darstellung eines eigenständigen Programmteils.
	Verzweigung	Darstellung von Verzweigungen im Programmablauf.
	Grenzstelle	Darstellung von Anfang, Ende oder Zwischenhalts.
	Übergangsstelle	Darstellung des Übergangs als Verbindungselement.

Abbildung 67: Relevante Symbole zur Erstellung eines Flussdiagramms

11.3 Anforderungsprofile für Springer

Anforderungsarten	Ausprägung der Anforderungsarten für Ersatzspringer 
Fachliche Qualifikation	<ul style="list-style-type: none"> Ein Ersatzspringer muss die Kenntnissen, Fähig- und Fertigkeiten besitzen, die im Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstation hinterlegt sind. Der Ausprägungsgrad der Qualifikationen muss sich mit den Anforderungen aus dem stations bezogenen Anforderungsprofil decken.
Berufserfahrung	<ul style="list-style-type: none"> Ein Ersatzspringer muss mindestens soviel Berufserfahrung besitzen, wie das Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstation vorgibt. Die Erfahrung muss dazu ausreichen, dass er die geforderte Qualität und Quantität (Soll-Zeitvorgaben) am jeweiligen Arbeitsplatz ohne Unterstützung erreicht.
Fach- & Spezialkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> Für die Springertätigkeit sind keine Fach- & Spezialkenntnisse notwendig. Es müssen die Fach- & Spezialkenntnisse vorhanden sein, die im Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstationen enthalten sind.
Denken	<ul style="list-style-type: none"> Ein Ersatzspringer muss ausreichend Denkvermögen besitzen, welches ihm ermöglicht ohne Testlauf und Einarbeitungszeit die Tätigkeiten an den jeweiligen Arbeitsstationen gemäß der Anforderungen auszuführen.
Handlungsspielraum/ Verantwortung	<ul style="list-style-type: none"> Der Arbeits einsatz erfolgt nach Anweis ung, d. h. der Ersatzspringer muss sich nichts elbständig seine Einsätze suchen. Die Arbeitsdurchführung erfolgt nach den Vorgaben der jeweiligen Arbeits plätze, der Ersatzspringer muss sich an dies e halten.
Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> Der Ersatzspringer muss ausreichend Kommunikationsbereitschaft und -fähigkeit besitzen, um sich bei Kollegen am Arbeitsplatz und an den benachbarten Arbeits plätzen über mögliche Änderungen gegenüber dem bekannten Soll-Ablauf zu informieren.
Mitarbeiterführung	<ul style="list-style-type: none"> Ein Ersatzspringer muss keine Mitarbeiterführung übernehmen.

Abbildung 68: Anforderungsprofil – Ersatzspringer

11.3 Anforderungsprofile für Springer

Anforderungsarten	Ausprägung der Anforderungsarten für Kapazitätsspringer 
Fachliche Qualifikation	<ul style="list-style-type: none"> Ein Kapazitätsspringer muss die Kenntnisse, Fähig- und Fertigkeiten besitzen, die zur Ausführung der als Springertätigkeiten ausgewiesenen Tätigkeiten benötigt werden. Diese sind dem Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstation zu entnehmen. Der Ausprägungsgrad der Qualifikationen muss sich mit den Anforderungen aus dem stationsbezogenen Anforderungsprofil decken. Dies gilt nur für die Qualifikationen, welche für die Springertätigkeiten benötigt werden.
Berufserfahrung	<ul style="list-style-type: none"> Ein Kapazitätsspringer kann weniger Berufserfahrung besitzen, wie das Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstation vorgibt. Die Erfahrung muss dazu ausreichen, dass er die geforderte Quantität (Soll-Zeitvorgaben) am jeweiligen Arbeitsplatz ohne Unterstützung erreicht.
Fach- & Spezialkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> Für die Springertätigkeit sind keine Fach- & Spezialkenntnisse notwendig. Es müssen die Fach- & Spezialkenntnisse vorhanden sein, die im Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstationen enthalten sind.
Denken	<ul style="list-style-type: none"> Ein Kapazitätsspringer muss ausreichend Denkvermögen besitzen, welches ihm ermöglicht ohne Testlauf und Einarbeitungszeit die Tätigkeiten an den jeweiligen Arbeitsstationen gemäß der Anforderungen auszuführen.
Handlungsspielraum/ Verantwortung	<ul style="list-style-type: none"> Der Arbeitseinsatz erfolgt nach Anweisung, d. h. der Kapazitätsspringer muss sich nicht selbständig seine Einsätze suchen. Die Tätigkeiten, die ein Ersatzspringer übernimmt, sind ebenfalls vorgegeben. Die Arbeitsdurchführung erfolgt nach den Vorgaben der jeweiligen Arbeitsplätze, der Kapazitätsspringer muss sich an diese halten.
Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> Der Kapazitätsspringer muss ausreichend Kommunikationsbereitschaft und -fähigkeit besitzen, um sich bei Kollegen am Arbeitsplatz und an den benachbarten Arbeitsplätzen über mögliche Änderungen gegenüber dem bekannten Soll-Ablauf zu informieren.
Mitarbeiterführung	<ul style="list-style-type: none"> Ein Kapazitätsspringer muss keine Mitarbeiterführung übernehmen.

Abbildung 69: Anforderungsprofil – Kapazitätsspringer

Anforderungsarten	Ausprägung der Anforderungsarten für Wissensspringer 
Fachliche Qualifikation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein Wissensspringer muss die Kenntnissen, Fähig- und Fertigkeiten besitzen, die im Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstation hinterlegt sind. ▪ Der Ausprägungsgrad der Qualifikationen muss sich mit den Anforderungen aus dem stationsbezogenen Anforderungsprofil decken.
Berufserfahrung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein Wissensspringer muss mehr Berufserfahrung besitzen, wie das Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstation vorgibt. ▪ Die Erfahrung muss dazu ausreichen, dass er die geforderte Qualität und Quantität am jeweiligen Arbeitsplatz ohne Unterstützung erreicht. ▪ Zudem muss er Erfahrung in der Weitergabe von Wissen und Erfahrung besitzen.
Fach- & Spezialkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für die Springertätigkeit sind keine Fach- & Spezialkenntnisse notwendig. ▪ Es müssen die Fach- & Spezialkenntnisse vorhanden sein, die im Anforderungsprofil der jeweiligen Arbeitsstationen enthalten sind.
Denken	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein Wissensspringer muss ausreichend Denkvermögen besitzen, welches ihm ermöglicht ohne Testlauf und Einarbeitungszeit die Tätigkeiten an den jeweiligen Arbeitsstationen gemäß der Anforderungen auszuführen. ▪ Ein Wissensspringer muss den kritischen Tätigkeitsübernahmezeitpunkt identifizieren können. Dazu muss er relevante Einflussgrößen erkennen und diese selbstständig kombinieren. Der kritische Zeitpunkt ist dann erreicht, wenn die Anweisungen des Wissensspringers nicht ausreichen, dass der Mentee die Qualität und Quantität erreicht.
Handlungsspielraum/ Verantwortung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Arbeitseinsatz erfolgt nach Anweisung, d. h. der Wissensspringer muss sich nicht selbstständig seine Einsätze suchen. ▪ Die Tätigkeiten, die ein Wissensspringer übernimmt, sind nicht vorgegeben. Der Wissensspringer muss selbstständig entscheiden, ob er mit Wissen unterstützt oder selbst die Tätigkeiten durchführt. Diese Entscheidung ist vom kritischen Zeitpunkt abhängig. ▪ Die Arbeitsdurchführung erfolgt nach den Vorgaben der jeweiligen Arbeitsplätze, der Wissensspringer muss sich an diese halten.
Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Wissensspringer muss eine hohe Kommunikationsbereitschaft und -fähigkeit besitzen, damit er seinen Mentee mit Wissen und Erfahrung unterstützen kann. Dies ist nur möglich, wenn der Wissensspringer regelmäßig und in direktem Bezug zur Arbeitsaufgabe mit dem Mentee kommuniziert. ▪ Darüber hinaus muss sich der Wissensspringer bei den Kollegen am Arbeitsplatz und an den benachbarten Arbeitsplätzen über mögliche Änderungen gegenüber dem bekannten Soll-Ablauf informieren.
Mitarbeiterführung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein Wissensspringer muss Anweisungen im Sinne des Anlernens unter direktem Bezug zur Arbeitsaufgabe an der Station erteilen.

Abbildung 70: Anforderungsprofil – Wissensspringer

11.3 Anforderungsprofile für Springer

Springeranforderungsprofile					Qualifikationsmatrix (mitarbeiterbezogen)		
Anforderungsarten	Ersatz (SOLL)	Kapazität (SOLL)	Wissen (SOLL)	Qualifikations- grade (IST)	Qualifikationsgrade (IST)		
	Station 1	Station 2	Station n				
stations- bezogen	Arbeitsplatz- beherrschung	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4			
stationsübergreifend	Denken						
	Handlungsspielraum/ Verantwortung						
	Kommunikation						
	Mitarbeiterführung						

Legende:

Stufe 2 = Führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität aus

Stufe 3 = Führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität und Quantität aus

Stufe 4 = Beherrscht alle erforderlichen Qualifikationen des Arbeitsplatzes und gibt sein Wissen an die übrigen Teammitglieder weiter

Kein = kein Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart ist notwendig

Gering = ein geringer Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart muss vorliegen

Mittel = ein mittlerer Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart muss vorliegen

Hoch = ein hoher Qualifikationsgrad bezogen auf die Anforderungsart muss vorliegen

Abbildung 71: Gesamt-Springeranforderungsprofil

11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik

11.4.1 Auswahllogik

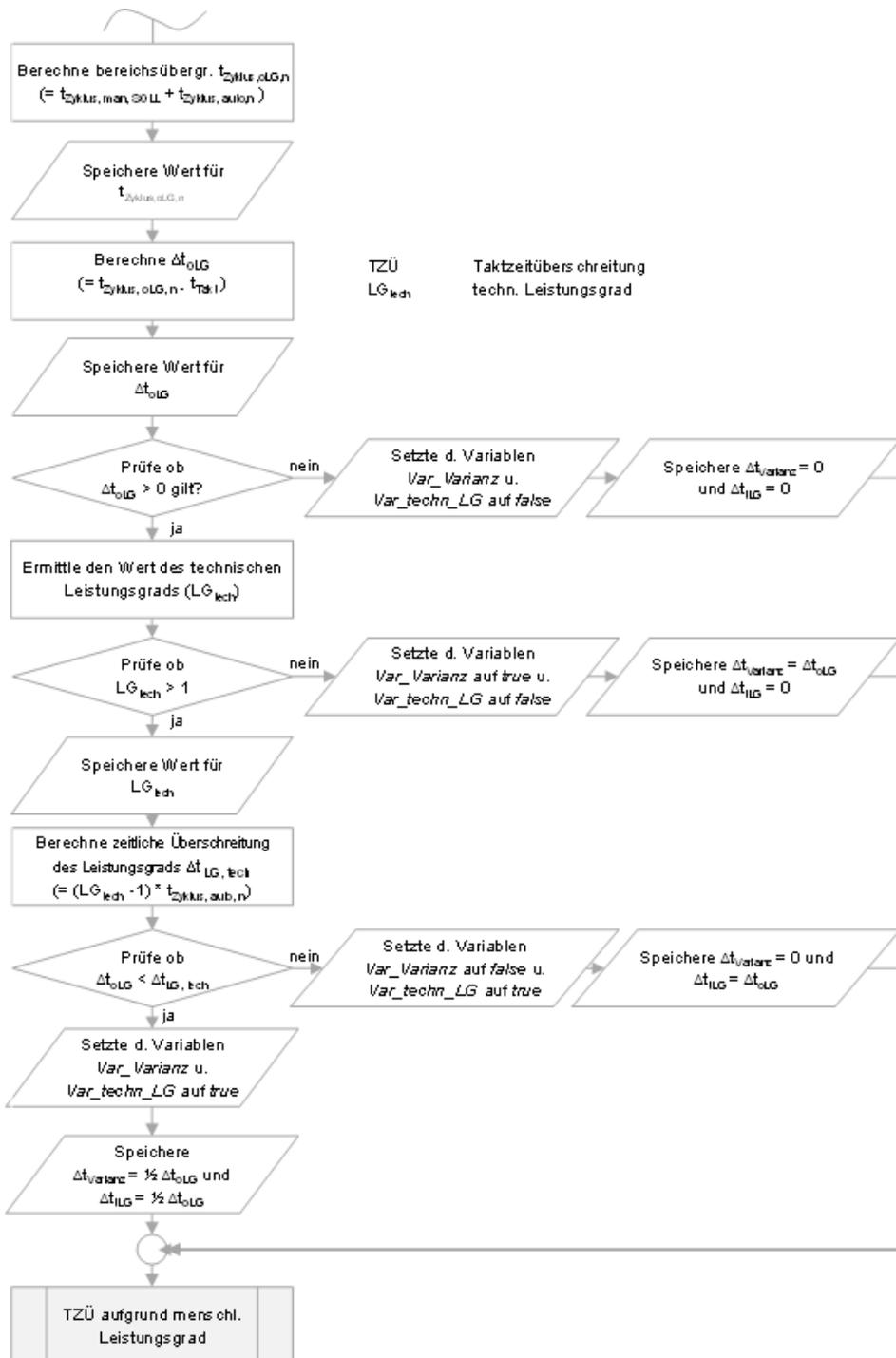


Abbildung 72: Ablaufdiagramm - TZÜ-Varianz und technischer Leistungsgrad

11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik

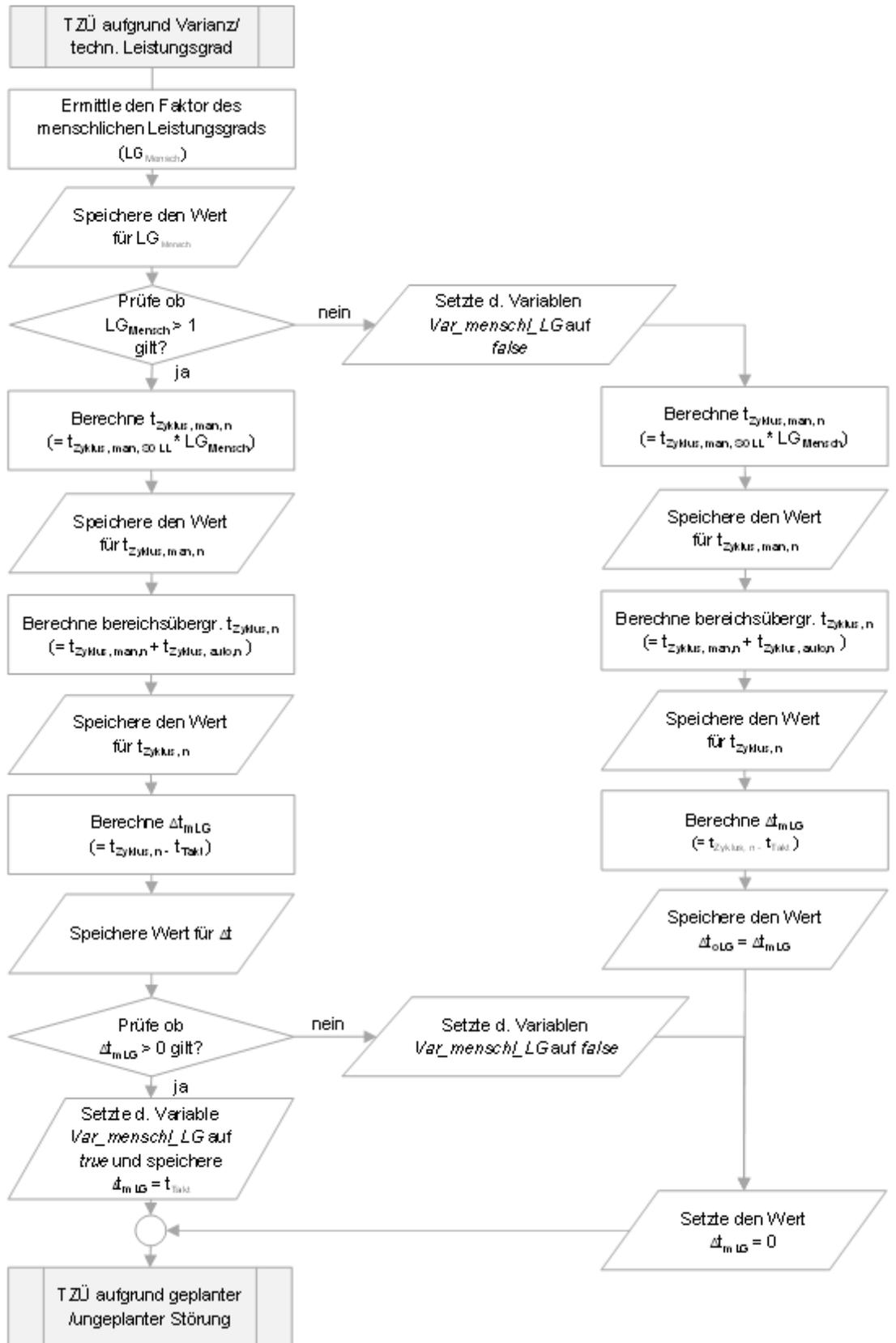


Abbildung 73: Ablaufdiagramm - TZÜ menschlicher Leistungsgrad

11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik

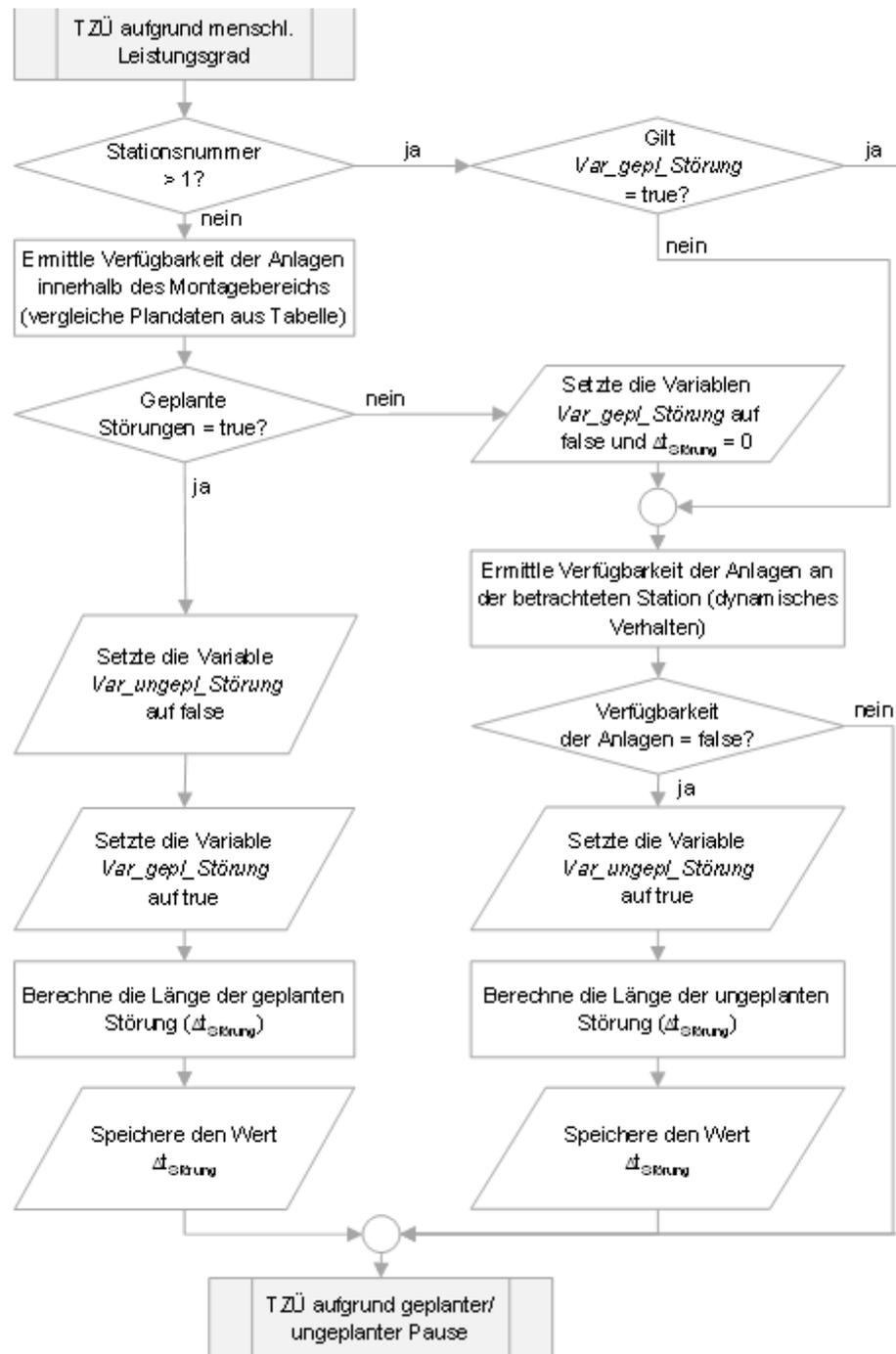


Abbildung 74: Ablaufdiagramm - TZÜ geplante/ ungeplante Störung

11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik

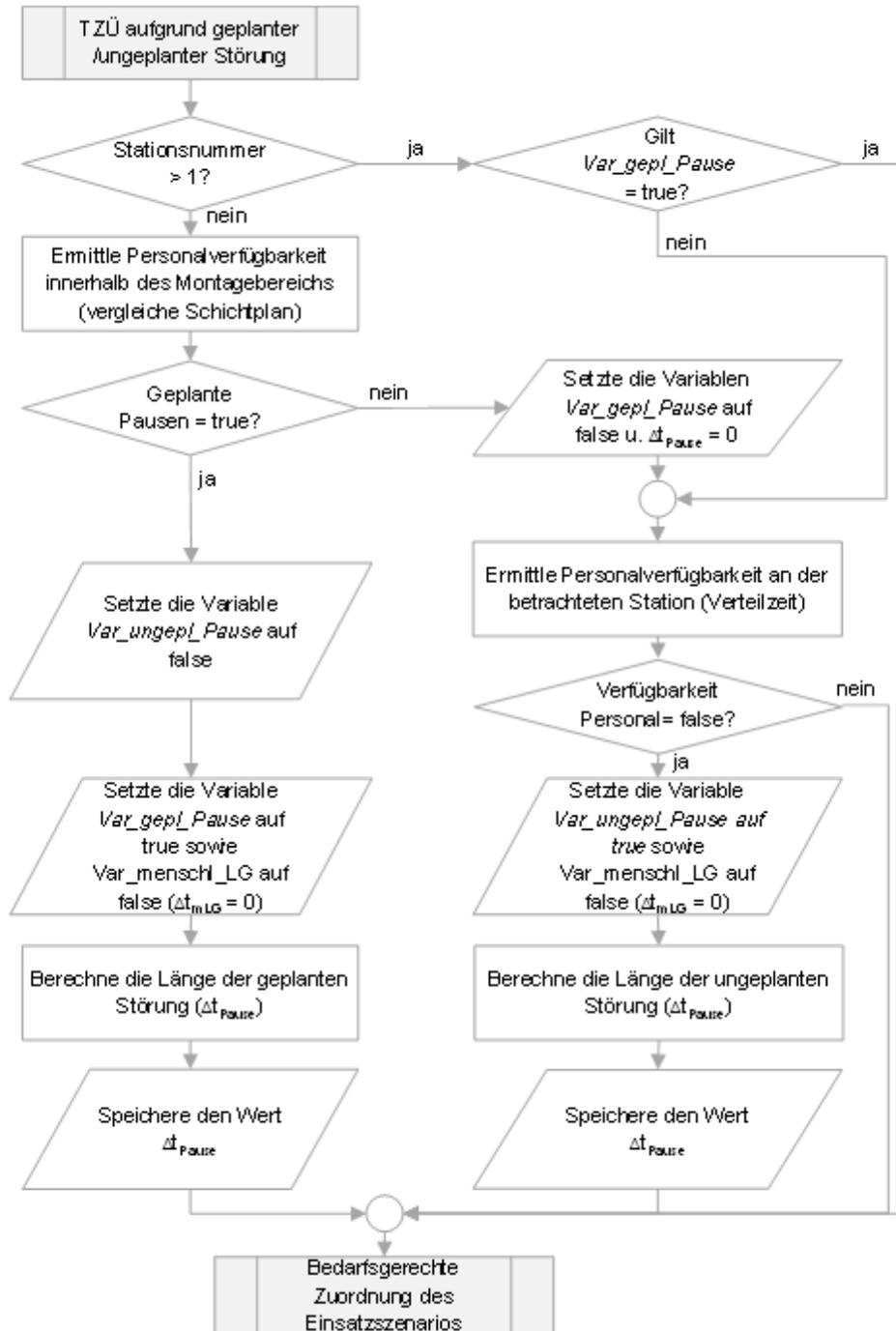


Abbildung 75: Ablaufdiagramm - TZÜ geplante/ungeplante Pause

11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik

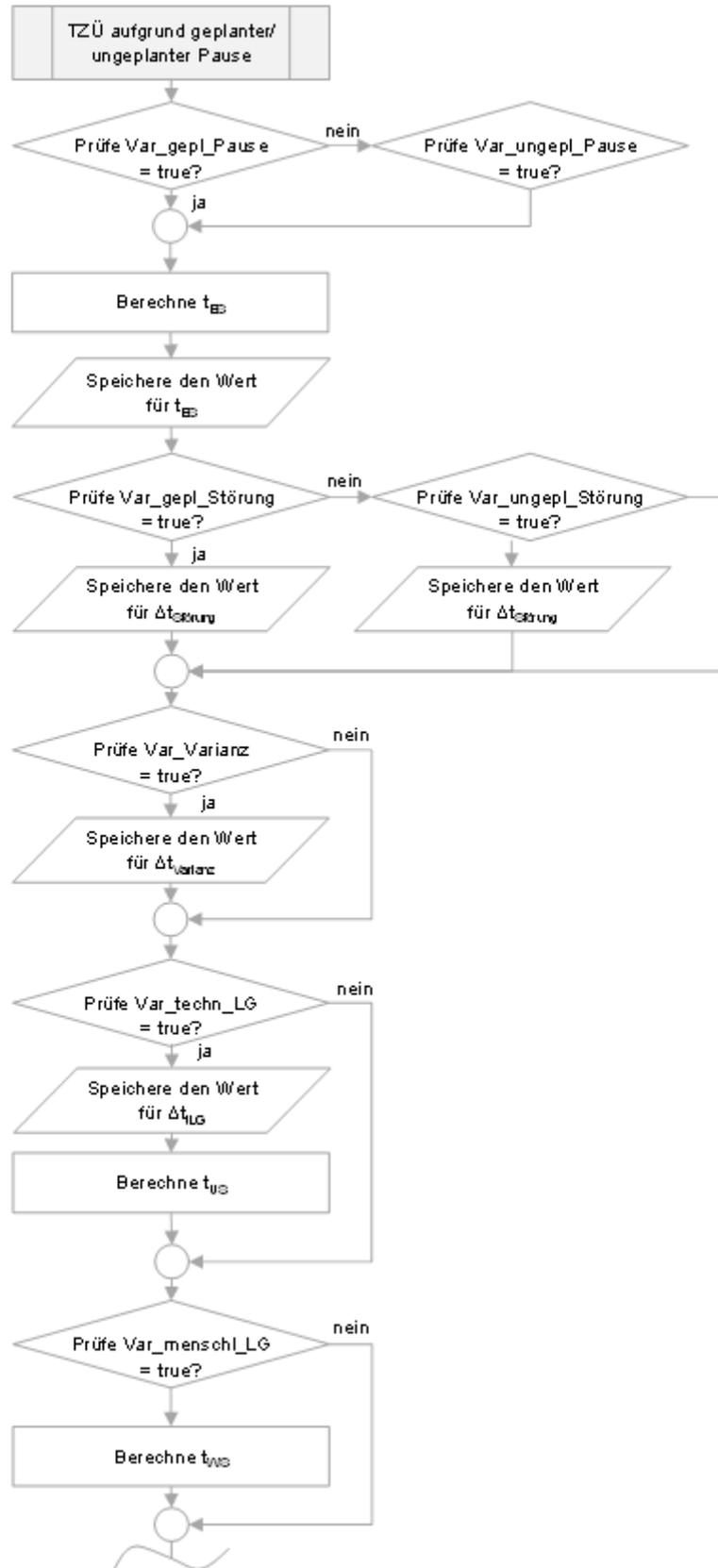
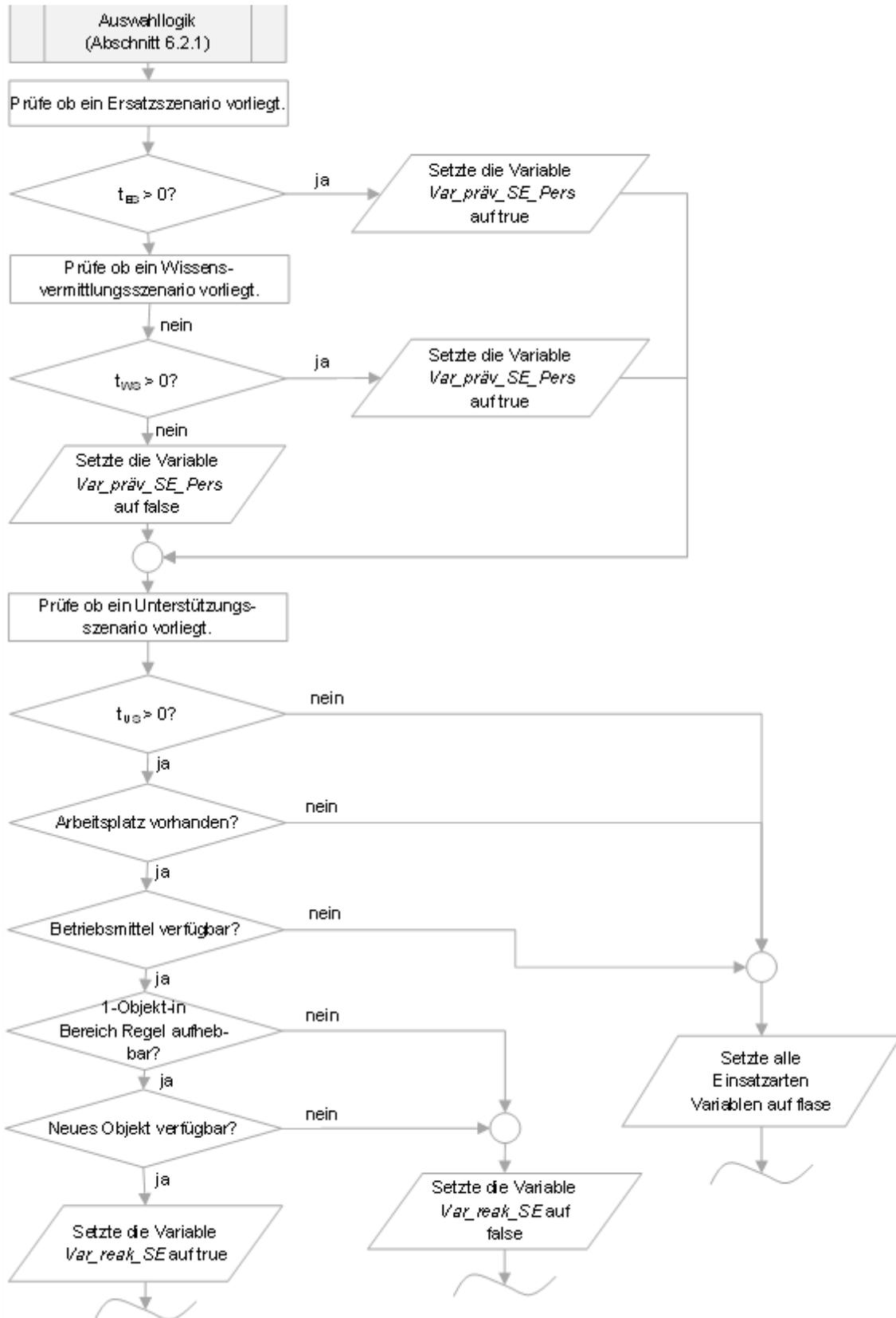


Abbildung 76: Teil 2 - Auswahllogik

11.4.2 Einsatzlogik



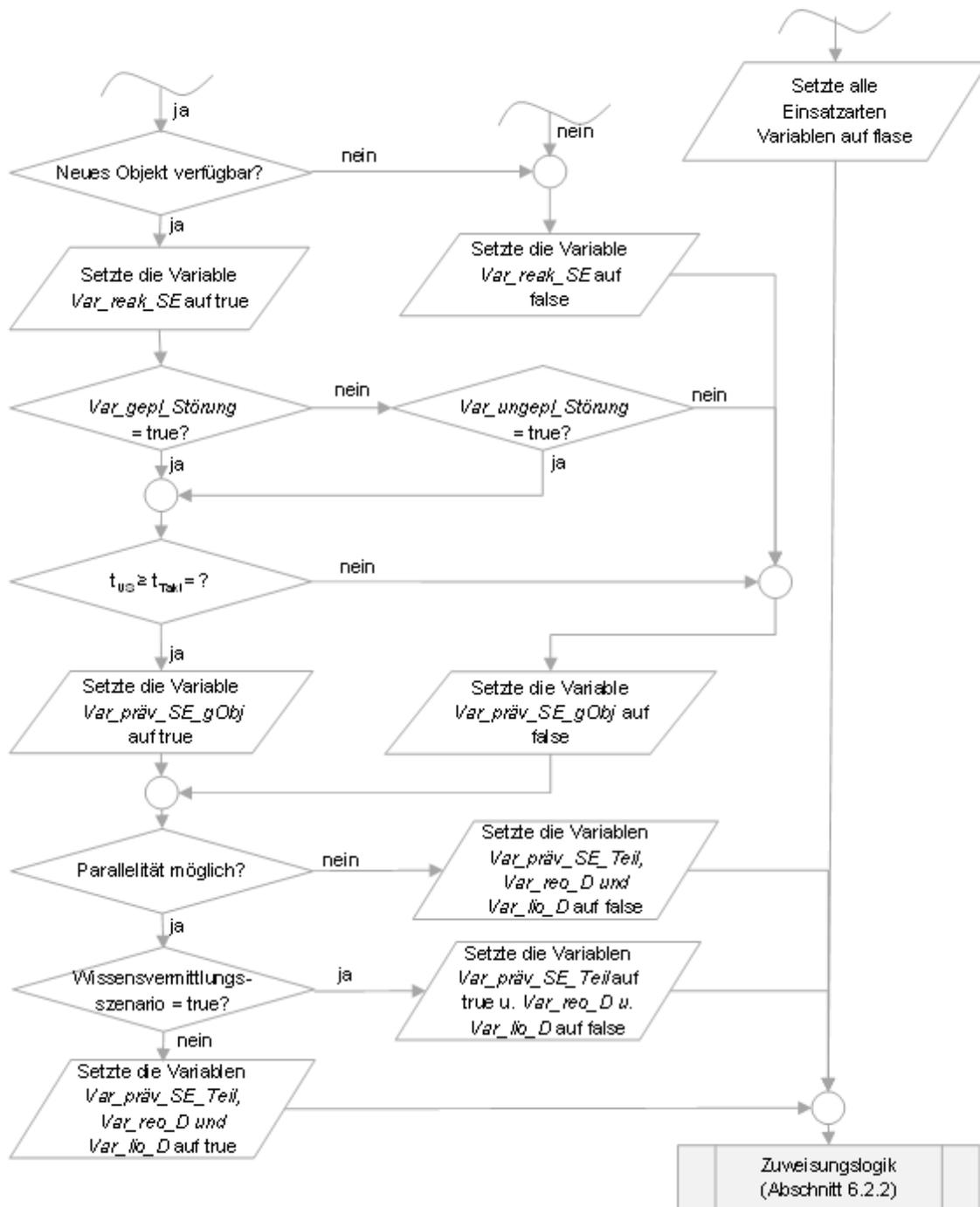


Abbildung 77: Ablaufdiagramm - Einsatzlogik gesamt

11.4.3 Zuweisungslogik

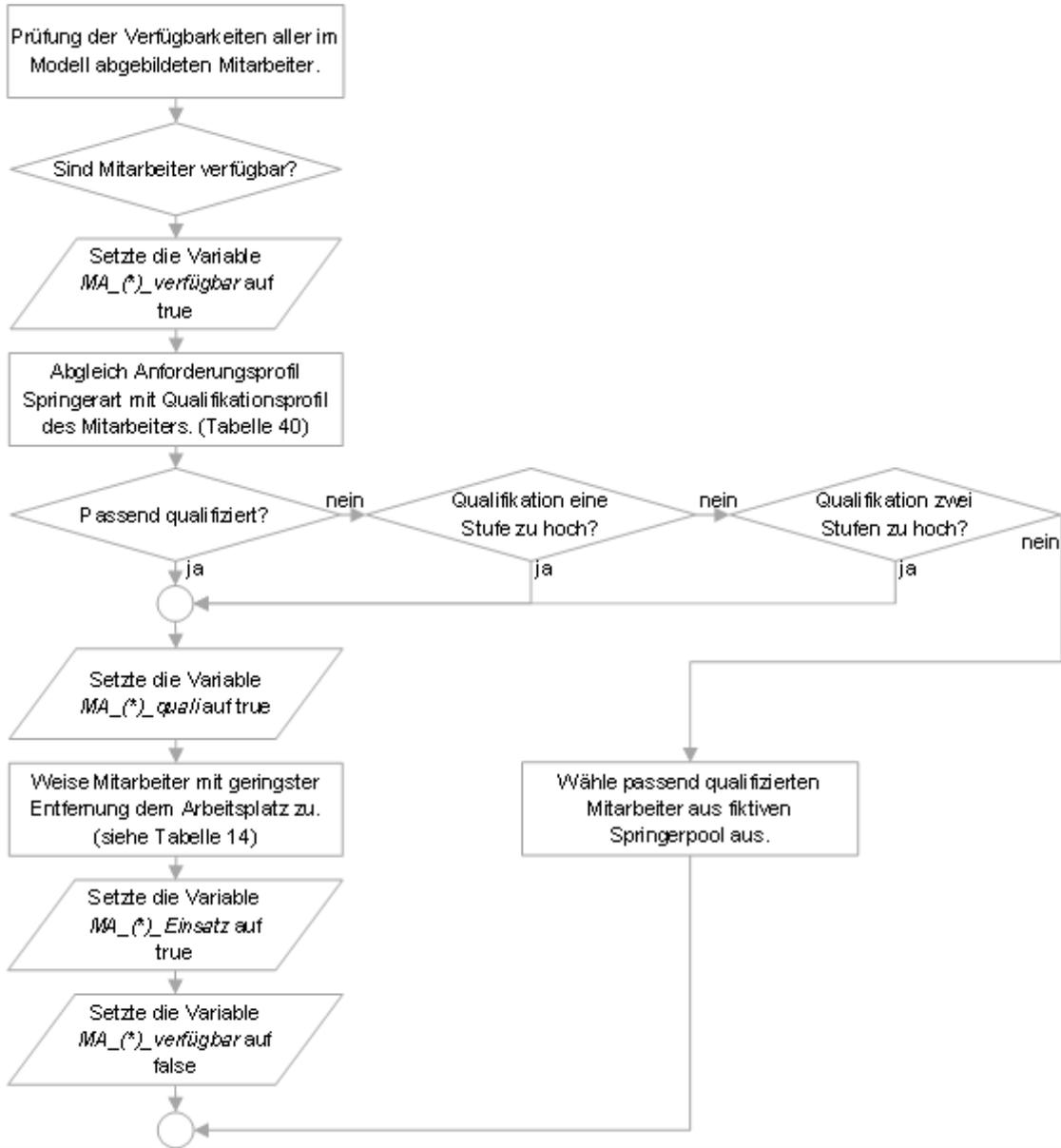


Abbildung 78: Prüflogik der Verfügbarkeits- sowie Qualifikationsprüfung

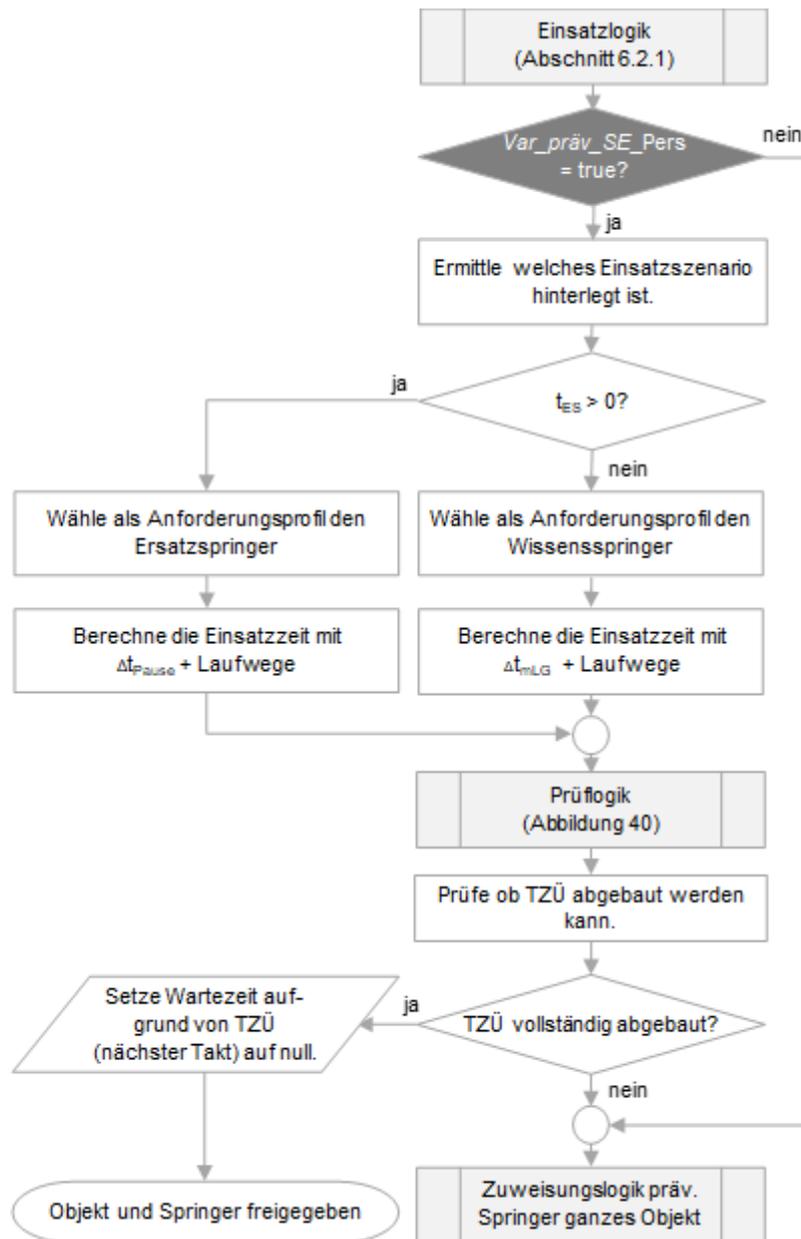


Abbildung 79: Zuweisungslogik – präventiver Springereinsatz Personalersatz

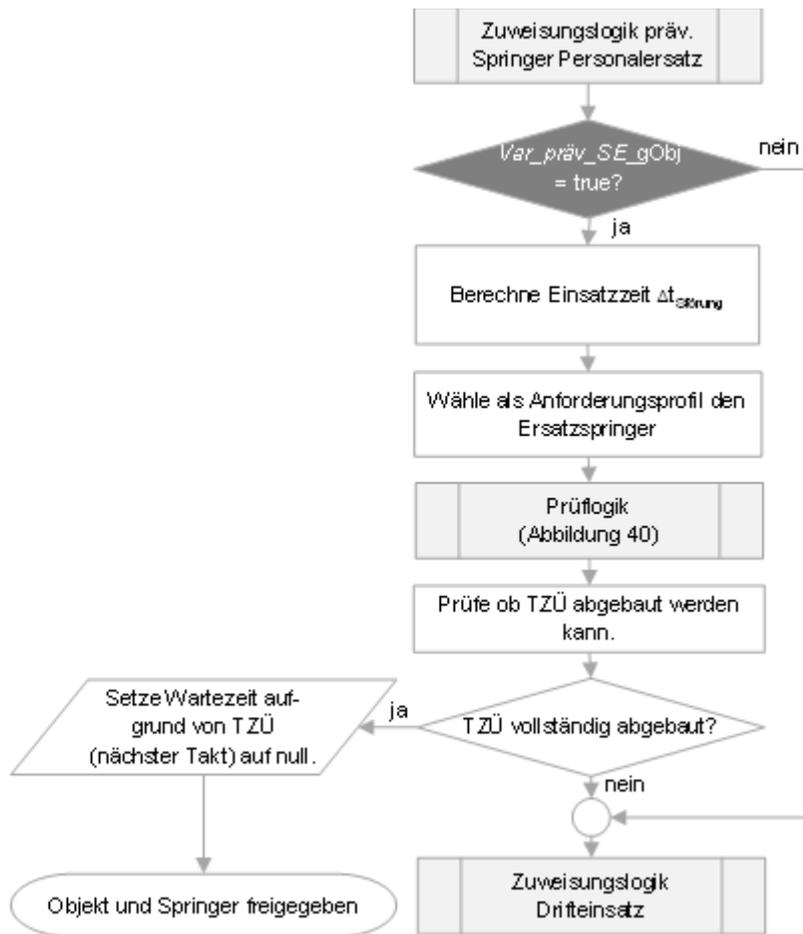
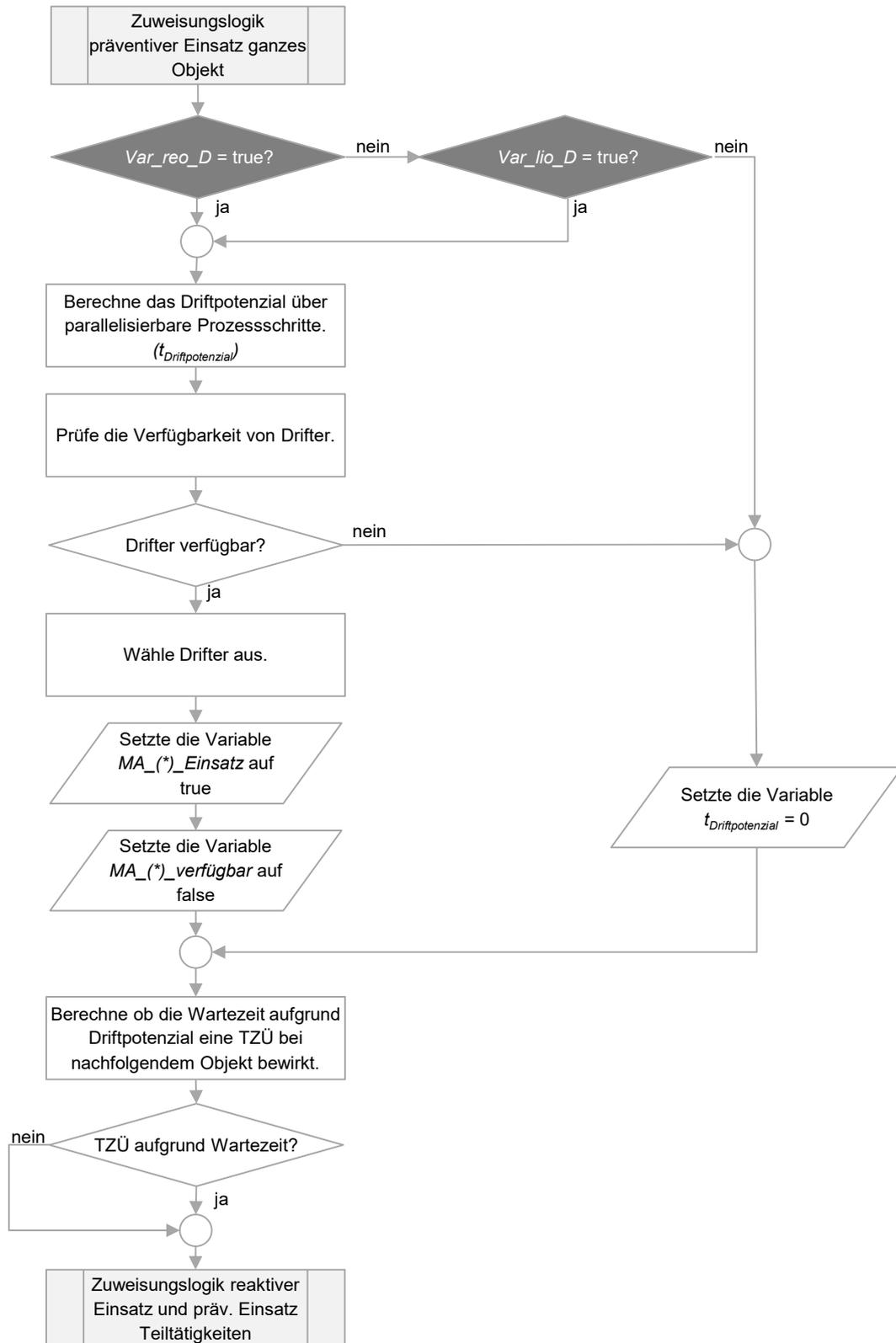


Abbildung 80: Zuweisungslogik - präventiver Springereinsatz ganzes Objekt

11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik



11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik

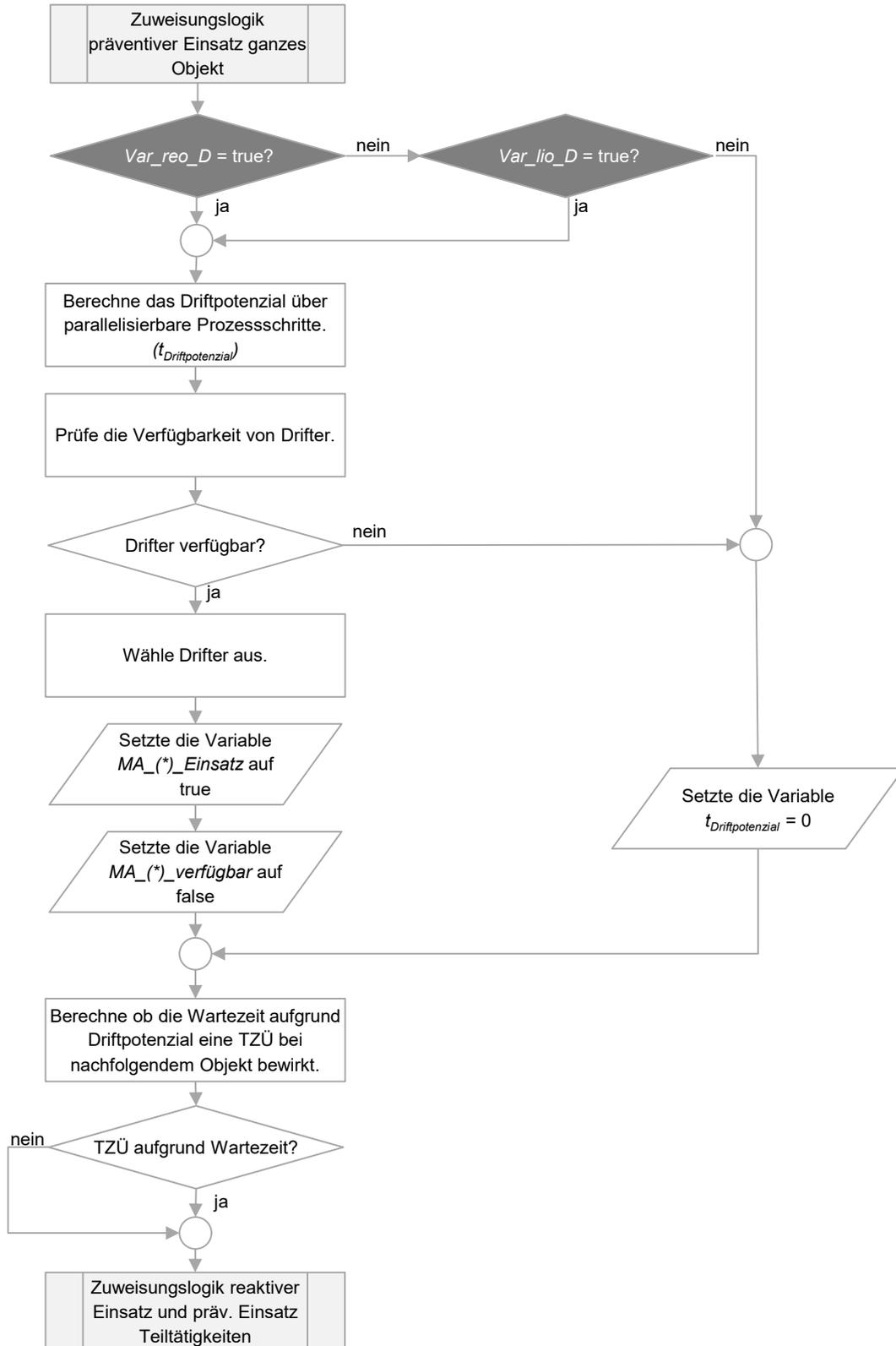


Abbildung 81: Zuweisungslogik – Drifteinsatz

11.4 Ablaufdiagramme zur Darstellung der Bedarfsidentifikationslogik

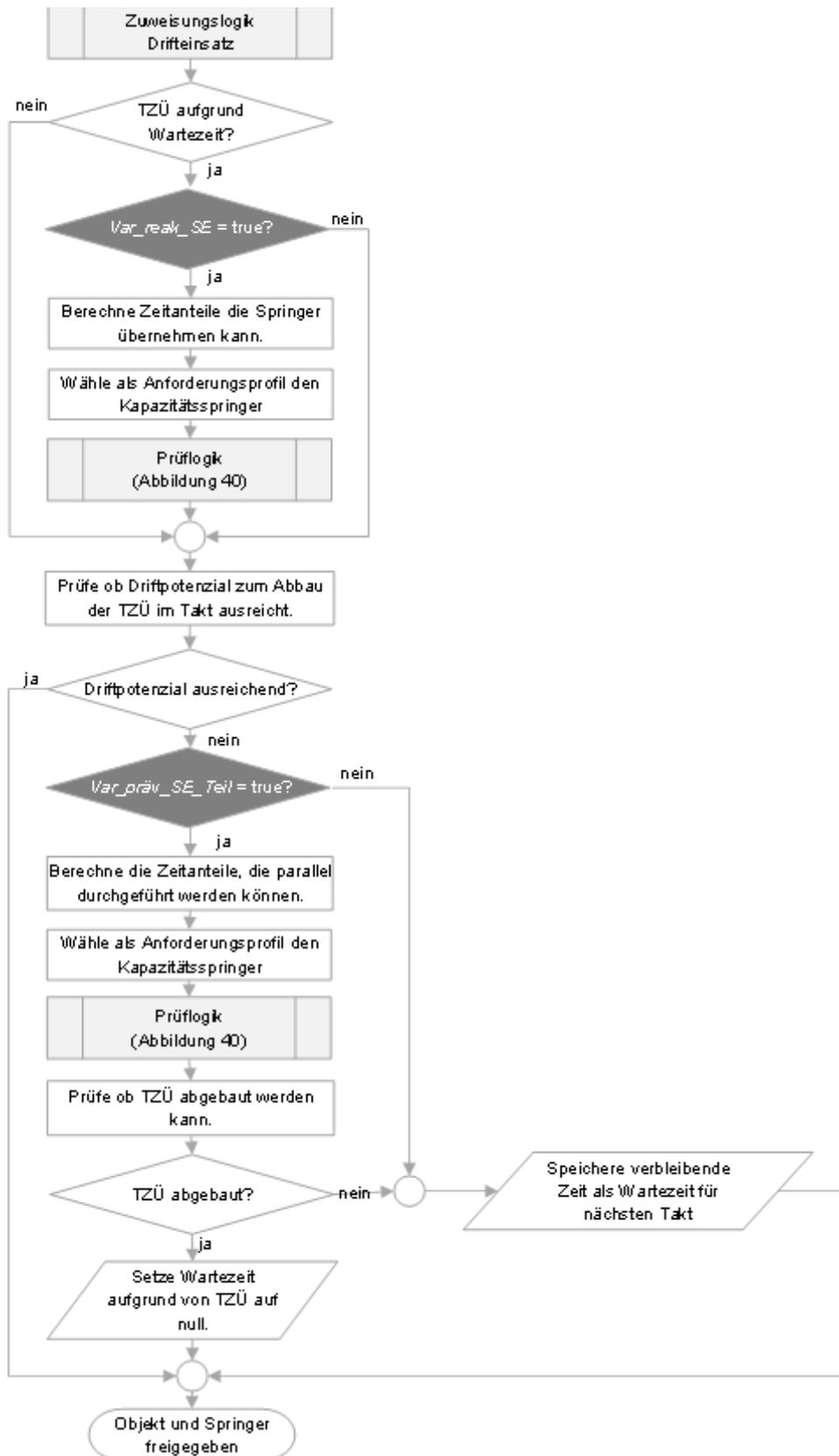


Abbildung 82: Zuweisungslogik - reaktiver und präventiver Einsatz - Teiltätigkeit

11.5 Modell III - Vorgehen zur Prüfung der Kosten einer Umverteilung

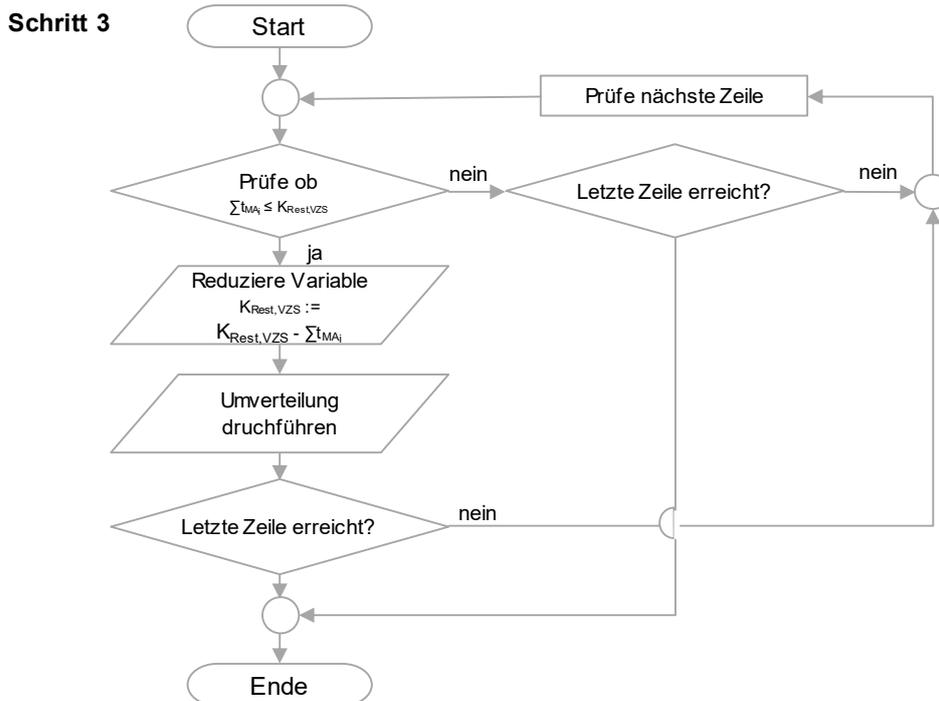
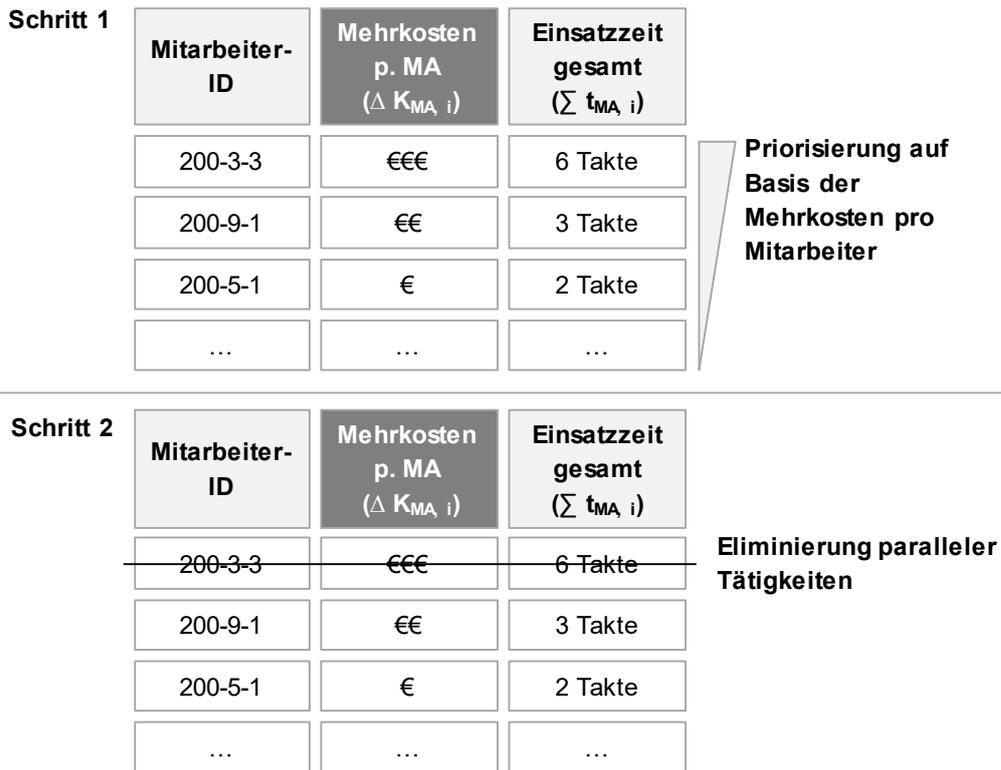


Abbildung 83: Fall 2 – Vorgehen zur Prüfung der Kosten für eine Umverteilung

11.6 Datenerhebung für Anwendungsbeispiel

	Bezeichnung	Datentyp	Wert
Produktmodell	Produkt	String	
	Montagevorrangmatrix	Matrix (nxn)	
	Arbeitsplan	Table (nx6)	
Organisation und Struktur des Montagesystems	Bezeichnung Montagesystem	String	
	Anzahl Bereiche	Integer	
	Taktzeit	Time	
	Verkettung Bereiche	Graph	
Organisation und Struktur des Bereichs	Name des Bereichs	String	
	Nummer des Bereichs	Integer	
	Anzahl der Stationen	Integer	
	Größe Puffer	Integer	
Organisation und Struktur der Station	Name der Station	String	
	Nummer der Station	Integer	
	Anzahl Arbeitsplätze	Integer	
	Verfügbarkeit	Percent	
	MTTR	Time [mm:ss]	
Organisation und Struktur der Werker	Mitarbeiter-ID	Integer	
	Leistungsgrad	Float	
	Schicht	String	
	Verteilzeit	Percent	
	Qualifikation	Integer	
Montageplanungsmodell	Produktionsprogramm	Table	
	Schichtplan	Table	
	Werkerzuordnung	Table	

Abbildung 84: Templates des Produkt- und Montagesystemmodells

Die Produktmodelle der Getriebevarianten wurden aufgrund des hohen Umfangs nicht explizit abgebildet. Im Folgenden ist die Darstellung für Vormontagebereiche gewählt.

Tätigkeit/ Bauteilkomponente	Vormontagebereich	Stations_ID	Bearbeitungszeit [hh:mm:ss]
Pumpenbremse	6	13	17:00
Wanderauslassventil	6	14	03:36
Arbeitsdruckventil	6	14	07:55
Zahnradpumpe	6	14	04:23
Antriebsdeckel	7	15	16:27
DK_Lammelenträger	7	16	08:36
SK_Planenträger	7	16	05:37
EK_Presse	8	17	17:00
Leitrad	8	18	17:00
TG_Planenträger	8	19	17:00
Winkel	9	20	03:00:00
Magnetventil	9	21	17:00

Abbildung 85: Arbeitsplan Vormontage

	Bezeichnung	Datentyp	Wert
Organisation und Struktur des Montagesystems	Bezeichnung Montagesystem	String	Getriebemontage
	Anzahl Bereiche	Integer	9
	Taktzeit	Time [mm:ss]	17:00
	Verkettung Zonen	Graph	siehe Verkettung des Montagesystems

Abbildung 86: Organisation und Struktur des Montagesystems

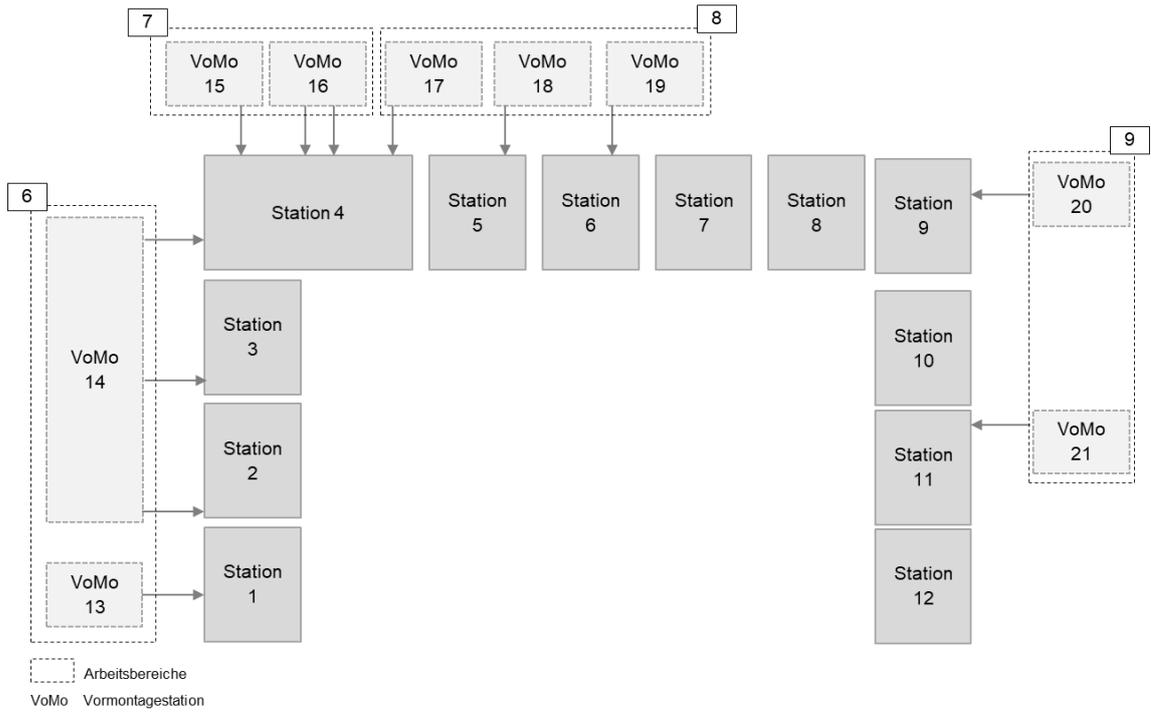


Abbildung 87: Verkettung des Montagesystems

Name des Bereichs	Nummer des Bereichs	Anzahl der Stationen	Größe des Puffers
Bereich 1	1	2	0
Bereich 2	2	2	0
Bereich 3	3	4	0
Bereich 4	4	2	0
Bereich 5	5	2	0
Bereich 6	6	2	6/7/8/8
Bereich 7	7	2	1/8/8
Bereich 8	8	3	6/7/8
Bereich 9	9	2	6/8

Abbildung 88: Organisation und Struktur der Bereiche

Name der Station	Nummer des Bereichs	Nummer der Station	Anzahl Arbeitsplätze	Verfügbarkeit	MTRR
Station 1	1	1	1	100%	00:00
Station 2	1	2	1	100%	01:00
Station 3	2	3	1	100%	02:00
Station 4	2	4	1	100%	03:00
Station 5	3	5	1	100%	04:00
Station 6	3	6	1	100%	05:00
Station 7	3	7	1	100%	06:00
Station 8	3	8	1	100%	07:00
Station 9	4	9	1	100%	08:00
Station 10	4	10	1	100%	09:00
Station 11	5	11	1	100%	10:00
Station 12	5	12	1	100%	11:00
VoMo_13	6	13	1	100%	12:00
VoMo_14	6	14	1	100%	13:00
VoMo_15	7	15	1	100%	14:00
VoMo_16	7	16	1	100%	15:00
VoMo_17	8	17	1	100%	16:00
VoMo_18	8	18	1	100%	17:00
VoMo_19	8	19	1	100%	18:00
VoMo_20	9	20	1	100%	19:00
VoMo_21	9	21	1	100%	20:00

Abbildung 89: Organisation und Struktur der Stationen

11.6 Datenerhebung für Anwendungsbeispiel

Mitarbeiter Name	Mitarbeiter -ID	Schicht	Verteilzeit	Qualifikation	Stationen											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W1	1	Früh	10%	2												
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
W2	2	Früh	10%	2												
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
W3	3	Früh	10%	2												
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
W4	4	Früh	10%	2												
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
W5	5	Früh	10%	2												
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
W6	6	Früh	10%	2	x	x										
				3												
W7	7	Früh	10%	2												
				3												
W8	8	Früh	10%	2					x	x	x	x				
				3												
W9	9	Früh	10%	2												
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
W10	10	Früh	10%	2												
				3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
W11	11	Früh	10%	2			x	x								
				3												
W12	12	Früh	10%	2									x	x	x	
				3												
W13	13	Früh	10%	2									x	x	x	
				3												
W14	14	Früh	10%	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
				3												

Abbildung 90: Organisation und Struktur der Werker

Schicht	Mo	Di	Mi	Fr	Sa	So	Schichtzeit	Pause I	Pause II	Pause III
Früh	x	x	x	x			06:00 - 14:00	08:15 - 08:30	08:30 - 08:45	11:30 - 12:00
Spät	x	x	x	x			14:30 - 23:00	17:00 - 17:15	17:15 - 17:30	19:30 - 20:00

Abbildung 91: Schichtplan – Montageplanungsmodell

Name der Station	Nummer des Bereichs	Mitarbeiter Name
Station 1	1	W1
Station 2	1	W2
Station 3	2	W3
Station 4	2	W4
Station 5	3	W5
Station 6	3	W6
Station 7	3	W7
Station 8	3	W8
Station 9	4	W9
Station 10	4	W10
Station 11	5	W11
Station 12	5	W12
VoMo_13	6	W13
VoMo_14	6	W14
VoMo_15	7	W15
VoMo_16	7	W16
VoMo_17	8	W17
VoMo_18	8	W18
VoMo_19	8	W19
VoMo_20	9	W20
VoMo_21	9	W21

Abbildung 92: Werkerzuordnung

11.7 Weitere Ergebnisdarstellung des Anwendungsbeispiels

Takt	Zone	Zeit in Sekunden	Szenario	E2	E3	E4	E5
13	4	600	Ersatz	1	1	0	0
5	5	300	Ersatz	1	1	0	0
9	4	300	Ersatz	1	1	0	0
21	1	300	Ersatz	1	1	0	0
1	1	920	Unter	1	1	1	0
22	1	810	Unter	1	1	1	0
22	5	780	Unter	1	1	0	1
14	1	620	Unter	1	1	1	0
10	2	440	Unter	1	1	0	0
20	5	410	Unter	1	1	0	1
14	5	395	Unter	1	1	0	1
11	1	390	Unter	1	1	1	0
9	2	360	Unter	1	1	0	0
13	2	350	Unter	1	1	0	0
23	1	350	Unter	1	1	1	0
19	2	300	Unter	1	1	0	0
24	5	250	Unter	1	1	0	1
23	2	230	Unter	1	1	0	0
3	1	220	Unter	1	1	1	0
17	3	200	Unter	1	1	0	0
17	5	200	Unter	1	1	0	1
19	1	200	Unter	1	1	1	0
21	1	200	Unter	1	1	1	0
24	1	200	Unter	1	1	1	0
7	2	180	Unter	1	1	0	0
8	1	180	Unter	1	1	1	0
10	4	180	Unter	1	1	0	0
5	1	160	Unter	1	1	1	0
18	2	150	Unter	1	1	0	0
19	5	150	Unter	1	1	0	1
20	1	150	Unter	1	1	1	0
20	3	150	Unter	1	1	0	0
25	5	150	Unter	1	1	0	1
21	5	120	Unter	1	1	0	1
4	2	100	Unter	1	1	0	0
9	5	100	Unter	1	1	0	1
23	5	60	Unter	1	1	0	1

Abbildung 93: Priorisierung der Bedarfe inklusive Qualifikation

11.7 Weitere Ergebnisdarstellung des Anwendungsbeispiels

Takt	Zone	Zeit in Sekunden	Szenario	E1	E2	E3	E4	E5
13	4	600	Ersatz	0	1	0	0	0
5	5	300	Ersatz	0	1	0	0	0
9	4	300	Ersatz	0	0	1	0	0
21	1	300	Ersatz	1	0	0	0	0
1	1	920	Unter	0	0	0	1	0
22	1	810	Unter	0	0	0	1	0
22	5	780	Unter	0	0	0	0	1
14	1	620	Unter	0	0	0	0	0
10	2	440	Unter	0	0	0	0	0
20	5	410	Unter	0	0	0	0	1
14	5	395	Unter	0	0	0	0	1
11	1	390	Unter	0	0	0	0	0
9	2	360	Unter	0	0	0	0	0
13	2	350	Unter	0	0	0	0	0
23	1	350	Unter	1	0	0	0	0
19	2	300	Unter	0	0	0	0	0
24	5	250	Unter	0	0	0	0	1
23	2	230	Unter	0	0	0	0	0
3	1	220	Unter	0	0	1	0	0
17	3	200	Unter	0	0	0	0	0
17	5	200	Unter	1	0	0	0	0
19	1	200	Unter	0	0	1	0	0
21	1	200	Unter	0	0	0	0	0
24	1	200	Unter	1	0	0	0	0
7	2	180	Unter	0	0	0	0	0
8	1	180	Unter	1	0	0	0	0
10	4	180	Unter	0	0	0	0	0
5	1	160	Unter	0	0	0	0	0
18	2	150	Unter	0	0	0	0	0
19	5	150	Unter	0	1	0	0	0
20	1	150	Unter	1	0	0	0	0
20	3	150	Unter	0	0	0	0	0
25	5	150	Unter	1	0	0	0	0
21	5	120	Unter	1	0	0	0	0
4	2	100	Unter	0	0	0	0	0
9	5	100	Unter	0	1	0	0	0
23	5	60	Unter	0	1	0	0	0

Abbildung 94: Verteilung der unternehmensinternen Ressourcen auf Bedarfe