

Digitale Produkt- und Mitarbeiterakte für wirtschaftliches Personalangebot und flexiblen Personaleinsatz

Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken

G. Schuh, E. Schukat, R. Koc, L. Fehse

ZUSAMMENFASSUNG Re-Assembly-Fabriken sind Befähiger der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft. Neue Funktionen werden nach dessen End-of-Use in Produkte integriert, um neue vollständige Nutzungszyklen zu ermöglichen. Allerdings birgt die Re-Assembly inhärente Unsicherheiten, die die Personalplanung in Fabriken grundlegend verändern. Dieser Beitrag skizziert ein Konzept zur Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken, das Abweichungen reduziert und gleichzeitig die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit erhöht.

STICHWÖRTER

Fabrikplanung, Personalplanung, Nachhaltigkeit

Workforce Planning for Re-Assembly Factories

ABSTRACT A core element of the upgrade circular economy is the re-assembly, which focuses on integrating new functionalities into the product after the user cycle, allowing it to enter a new lifecycle. However, re-assembly entails inherent uncertainties that fundamentally change the planning paradigm of workforce planning in factories. This paper outlines a concept on workforce planning for re-assembly factories that reduces deviations while increasing flexibility and responsiveness.

1 Einleitung und Motivation

Produzierende Unternehmen sind mit zunehmend komplexen Herausforderungen konfrontiert. Insbesondere der Klimawandel, der maßgeblich durch den steigenden Ressourcenverbrauch vorangetrieben wird, stellt ein gesamtwirtschaftliches Risiko dar. [1, 2] Zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Folgen wurden zum Beispiel im Rahmen des Pariser Klimaabkommens bereits verbindliche Vorgaben festgelegt [3]. Diese Vorgaben spiegeln sich auch in den regulatorischen Rahmenbedingungen der Europäischen Union wider und erhöhen die Anforderungen an die produzierende Industrie [4]. Infolgedessen sind produzierende Unternehmen gefordert, ihre Strategien langfristig innovativ und nachhaltig zu gestalten. Ziel ist es, die etablierte Form der Linearwirtschaft durch eine wertsteigernde Kreislaufwirtschaft abzulösen. [1]

„Re-Assembly-Fabriken“ als Fabriken der Zukunft sind eine Antwort auf die Ressourcenknappheit und die Herausforderungen des Klimawandels. Sie sind zentrale Befähiger für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft und gehen über die bestehenden Strategien der klassischen Kreislaufwirtschaft hinaus. Die klassische Kreislaufwirtschaft verfolgt das Prinzip, Ressourcen und Produkte so lange wie möglich wiederzuverwenden und geschlossene Material- und Energiekreisläufe zu schaffen. [1, 5, 6]

Im Fokus der „Re-Assembly“ hingegen steht der industrielle Werterhalt auf Produktebene, um zusätzliche vollständige Nutzungszyklen zu ermöglichen. Dies wird durch die Integration von Produkt-Upgrades erreicht, die den Produkten einen Neuprodukt-Charakter verleihen und ihren Wert signifikant steigern.

Die Re-Assembly adressiert somit nicht nur die Ressourcenknappheit und die Herausforderungen des Klimawandels, sondern bietet produzierenden Unternehmen zugleich die Möglichkeit, regulatorische Anforderungen wirtschaftlich zu erfüllen. [7]

Im Gegensatz zu linearwirtschaftlichen Strategien ist die Re-Assembly jedoch durch „inhärente Unsicherheiten“ der sogenannten Cores geprägt [8]. Cores, auch als Altprodukte bezeichnet, bilden die Basis für die Produktion in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft und werden nach ihrer Nutzung in die Fabrik zurückgeführt [9, 10]. Guide identifiziert drei wesentliche Unsicherheiten: die Menge der rücklaufenden Cores, die Qualität der rücklaufenden Cores und der Zeitpunkt, an dem die rücklaufenden Cores bereit für das Re-Assembly sind [11]. Durch die schwankenden Stückzahlen sowie Zustände der Cores ergeben sich volatile Aufbereitungs- und Kapazitätsbedarfe innerhalb der Re-Assembly-Fabriken. [10, 11, 12] Infolgedessen stehen produzierende Unternehmen vor einer Vielzahl unsicherheitsinduzierter Dynamiken, die zusätzlich zu etablierten Volatilitätsszenarien auf dem Markt, erhöhte Anforderungen an die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit in der Produktion stellen. In solchen dynamischen Umfeldern sind produzierende Unternehmen daher darauf angewiesen, ihre Reaktionsfähigkeit aus der Flexibilität ihres Personaleinsatzes heraus sicherzustellen.

Obwohl der Bedarf an „flexiblem Personaleinsatz“ in produzierenden Unternehmen eindeutig ist, haben viele Unternehmen Schwierigkeiten diese Flexibilität zu ermöglichen. Bereits heute erschweren die hohen Schwankungen an benötigten Personalbedarf den flexiblen Personaleinsatz erheblich. Hinzu kommt, dass der Planungsaufwand zunehmend komplexer und kurzfristi-

ger wird, wodurch eine verlässliche Planung nahezu unmöglich wird. [14, 15]. Dies führt dazu, dass ein flexibler Personaleinsatz nicht gewährleistet werden kann. Insbesondere in Re-Assembly-Fabriken führt die reaktive Planung zu erheblichen Schwankungen in den Arbeitszeiten der Mitarbeiter. Diese lassen sich jedoch kaum mit traditionellen Arbeitszeitmodellen vereinbaren. Zudem zeigen die Mitarbeiter nur eine begrenzte Flexibilitätseinsparung, kurzfristig auf solche Schwankungen zu reagieren. Infolgedessen wird die ohnehin anspruchsvolle Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken durch re-assembly-spezifische Herausforderungen noch deutlich komplexer. Die Folge sind erhebliche Diskrepanzen zwischen dem Personalbedarf und -angebot sowie eine eingeschränkte Reaktionsfähigkeit im Personaleinsatz. Dies resultiert in wirtschaftlichen Verlusten wie Umsatzeinbußen oder erhöhten Personalkosten. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein Konzept zur Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken vorgestellt, das Abweichungen zwischen Personalbedarf und -angebot reduziert und gleichzeitig die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit in der Produktion erhöht.

2 Stand der Technik

Die „Personalplanung“ ist ein zentraler Bestandteil der Fabrikplanung [16]. Ihr Ziel besteht darin, sicherzustellen, dass kurz-, mittel- und langfristig die im Unternehmen benötigten Produktionsmitarbeiter in der erforderlichen Qualität und Quantität zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort verfügbar sind. Dabei sind die unternehmenspolitischen Ziele zu berücksichtigen. [17, 18] Mit der Personalplanung werden geringe Personalkosten, eine hohe Produktqualität, eine effektive Nutzung der Personalressourcen sowie ein hohes Maß an Flexibilität und Reaktionsfähigkeit in der Produktion angestrebt. [16] Die Personalplanung im Kontext der Fabrikplanung gliedert sich in ihrer Ablaufstruktur in drei Teilschritte [19]: Die Informationssuche, die Personalbedarfsplanung und die Personaleinsatzplanung.

Die „Informationssuche“ enthält die systematische Erhebung interner und externer Einflussgrößen und bildet die Grundlage für die Personalbedarfs- und die Personaleinsatzplanung. Externe Einflussfaktoren umfassen zum Beispiel gesamtwirtschaftliche demographische, rechtliche sowie tarifliche Entwicklungen. Interne Einflussfaktoren sind beispielsweise die geplante Absatzmenge oder Arbeitsproduktivität. [16, 19] In Re-Assembly-Fabriken spielen jedoch auch Unsicherheiten des Re-Assembly eine entscheidende Rolle. Diese spezifischen Einflüsse werden weder durch die externen noch internen Einflussfaktoren berücksichtigt. Vorhandene Daten aus dem Produktlebenszyklus werden somit nicht in die Personalplanung integriert. Eine verlässliche Grundlage für die Personalplanung ist daher nicht gegeben.

Die Personalbedarfsplanung erfolgt sowohl auf quantitativer als auch qualitativer Ebene. Die „quantitative Personalbedarfsplanung“ findet in drei Schritten statt. Zunächst wird der Bruttopersonalbedarf ermittelt und anschließend wird der zukünftige Personalbestand bestimmt. Zuletzt wird der Bruttopersonalbedarf mit dem Personalbestand abgeglichen. Dieser ergibt den Nettopersonalbedarf. Bei der qualitativen Personalbedarfsplanung wird eine Stellenbeschreibung ausgearbeitet, die eine detaillierte Tätigkeitsbeschreibung umfasst. Des Weiteren findet eine organisatorische Einordnung der Stelle statt. Ergänzend dazu beinhaltet die Stellenbeschreibung eine Zielbeschreibung und spezifische Leistungsanforderungen. Da eine Stellenbeschreibung keine Informa-

tionen bezüglich der erforderlichen Qualifikationen bereitstellt, wird anschließend ein Anforderungsprofil erstellt, in dem Qualifikationsmerkmale festgehalten werden. Sie bilden die Grundlage zur Erfüllung der gestellten Aufgaben und zur Erbringung der geforderten Leistung. Abschließend erfolgt der Vergleich des Anforderungsprofils mit den Qualifikationsprofilen des Personals. [16, 19] Dieses etablierte Vorgehen in der Personalbedarfsplanung ist für Re-Assembly-Fabriken jedoch nicht geeignet. Die quantitative Personalbedarfsplanung basiert auf statischen Personalbedarfen, während im Re-Assembly-Kontext dynamische Personalbedarfe vorherrschen. Dies ergibt sich aus den inhärenten Unsicherheiten sowie stark schwankenden Stückzahlen und variierenden Zuständen der Cores sowie volatilen Aufbereitungsbedarfen. Auch die „qualitative Personalbedarfsplanung“, die auf statischen Anforderungsprofilen aufbaut, wird den Anforderungen der Re-Assembly nicht gerecht. In Re-Assembly-Fabriken führen volatile und vielfältige Aufbereitungsbedarfe zu einem ständig wechselnden Aufgabenspektrum und variierenden Anforderungsprofilen. Zudem können die benötigten Anforderungsprofile für einen Re-Assembly-Auftrag erst nach Inspektion festgestellt werden, wodurch die erforderlichen Qualifikationsmerkmale im Voraus nicht definiert werden können. Die Anwendung statischer Verfahren in der Personalbedarfsplanung für Re-Assembly-Fabriken resultiert daher entweder in Mehrkosten oder in Umsatz- und Produktivitätseinbußen.

Die „Personaleinsatzplanung“ zielt darauf ab, das verfügbare Personal optimal in den Wertschöpfungsprozess zu integrieren. Langfristig liegt der Fokus auf der qualitativen Anpassung von Mitarbeiterfähigkeiten und Arbeitsanforderungen, während kurzfristig die quantitative und zeitliche Zuordnung von Personal und Stellen im Mittelpunkt steht. Dabei wird eine hohe Übereinstimmung zwischen den Anforderungsprofilen der Stellen und den Qualifikationsprofilen des Personals angestrebt. [16, 19] In Re-Assembly-Fabriken führt die Vernachlässigung dynamischer Personalbedarfe jedoch dazu, dass das Personal nicht effizient in den Wertschöpfungsprozess integriert werden kann. Das etablierte Vorgehen zur Personaleinsatzplanung ist zudem nicht in der Lage, eine kurzfristige und flexible Zuordnung von Personal bei dynamischen und kurzfristigen Flexibilitätbedarfen sicherzustellen. Es berücksichtigt weder die Dynamik des Re-Assembly noch die begrenzte kurzfristige Einsatzbereitschaft des Personals. Auch notwendige Vorlaufzeiten, um das Personal über dynamische und kurzfristig auftretende Bedarfe zu informieren, bleiben unberücksichtigt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das klassische Vorgehen zur Personalplanung auf statischen Verfahren basiert, während Re-Assembly-Fabriken die Berücksichtigung dynamischer Personal- und Flexibilitätbedarfe erfordern. Das etablierte Vorgehen zur Personalplanung führt somit zu unwirtschaftlichen Personalbedarfen und -einsätzen. Dieser Beitrag stellt daher einen Ansatz zur Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken vor.

3 Ansätze zur Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken

Basierend auf der vorherigen Problembeschreibung in Abschnitt 2 braucht es Ansätze, die dieses Problem lösen. Dazu resultieren aus den inhärenten Unsicherheiten unsicherheitsindu-

zierte Anforderungen (AF), aus denen sechs Anforderungen an eine mögliche Lösung definiert wurden:

- AF1. Berücksichtigung von dynamischen quantitativen und qualitativen Personalbedarfen
- AF2. Monitoring der Weiterqualifizierung des Personals
- AF3. Effizientes und anpassungsfähiges Personalangebot
- AF4. Integration von zumutbaren Flexibilitätsanforderungen & Flexibilitätsbereitschaftsdaten in die Planung
- AF5. Flexibler Personaleinsatz zur Kompensation kurzfristiger und dynamischer Flexibilitätsbedarfe
- AF6. Integration der Produktlebenszyklusdaten in die Personalplanung

Zur Untersuchung von Ansätzen anhand dieser Anforderungen ist eine systematische Literaturrecherche (SLR) in Anlehnung an vom Brocke *et al.* [20] durchgeführt worden. Zur Charakterisierung der SLR fand die STARLITE-Mnemonik nach Booth [21] Anwendung.

Die nachfolgend beschriebenen Ansätze bilden einen Auszug aus der Fachliteratur. Sie sind den vier Schwerpunkten Personalbedarfsplanung, Personaleinsatzplanung, Re-Assembly-Prozess und Produktlebenszyklusdaten zugeordnet. Diese vier Schwerpunkte zielen auf die Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken ab, die in diesem Beitrag behandelt wird.

Personalbedarfsplanung

Stock [22] adressiert den Bedarf an flexiblen und anpassungsfähigen Produktionssystemen. Er fokussiert dabei die Planung eines flexiblen Personalbedarfs, welcher durch schwankende Nachfragen und volatile Marktbedingungen erforderlich wird. In diesem Kontext entwickelt Stock zwei zentrale Planungsverfahren zur bedarfsorientierten Personalplanung und -steuerung in der variantenreichen Serienproduktion: die situative und bedarfsorientierte Personalplanung und -steuerung sowie die strukturelle Anpassung von Aufbauorganisationen. Der Schwerpunkt liegt auf dem ersteren Verfahren. Dieses zielt darauf ab, den Personaleinsatz in der Produktion bedarfsorientiert und situativ zu planen und steuern. Hierfür werden zeitliche und kapazitive Veränderungen des Personalbedarfs über einen definierten Planungshorizont hinweg berücksichtigt. Mithilfe einer holistischen Methodik wird auch der Personalbestand erfasst. Durch eine dynamische Kapazitätsanpassung werden mögliche Über- oder Unterkapazitäten an Personal frühzeitig identifiziert und ausgeglichen.

Personaleinsatzplanung

Hämmerle [23] entwickelt eine Methode zur strategischen Dimensionierung der Personalflexibilität in der Produktion. Ziel ist der effiziente Personaleinsatz durch die strategische Anwendung von Personalflexibilisierungsinstrumenten (PFI). Somit sollen produzierende Unternehmen befähigt werden, ihre Personaleinsatzplanung präzise auf Marktschwankungen abzustimmen, um Personalbedarfe wirtschaftlich und flexibel abzudecken. Die Grundlage bildet ein mathematisches Modell, das PFI quantifiziert und ihre Auswirkungen auf Kosten, Lieferfähigkeit und Personaleinsatz analysiert. Zunächst werden Marktszenarien erstellt, um erwartete Schwankungen in der Nachfrage und die damit verbundenen Kapazitätsanforderungen abzubilden. Diese bilden die Basis für die Prognose zukünftiger Personalbedarfe und ihrer Schwankungen. Zur Deckung dieser Personalbedarfe erfolgt eine Auswahl an PFI. Sie werden hinsichtlich ihrer Kosten, Nutzungsdauer und Effektivität bewertet. Ein Kapazitätsabgleich

prüft, ob die verfügbaren PFI den Personalbedarf über die geplanten Zeiträume hinweg decken können. Im Fokus der Methode steht dabei die systematische Auswahl der optimalen PFI. Hierfür werden die Auswirkungen ihres Einsatzes hinsichtlich betrieblicher Zielgrößen wie Kosten, Produktivität und Lieferfähigkeit bewertet. Die Priorisierung der PFI stellt sicher, dass strategische und wirtschaftliche Ziele des Unternehmens erfüllt werden.

Re-Assembly-Prozess

Kamper *et al.* [24] legen das Potenzial des Remanufacturings von batterieelektrischen Fahrzeugen dar. Hierfür stellen sie einen generischen Remanufacturing-Prozess sowie dazugehörige Szenarien vor. Die Bewertung und der Vergleich der Szenarien findet mit der Methode Total Cost of Ownership statt. Bei der Kostenbewertung werden die Anschaffungskosten des Fahrzeuges, Betriebskosten während der Nutzung, die Remanufacturingkosten, die Verkaufs- und Rückkaufkosten sowie der Restwert des Fahrzeuges berücksichtigt. Die Remanufacturingkosten werden von Kamper *et al.* in direkte, indirekte, fixe und variable Kosten unterteilt. Zudem werden sie Kategorien wie Personal, Material und Betriebsmittel zugeordnet. Außerdem bewerten die Autoren Fahrzeugkomponenten hinsichtlich ihrer Eignung für das Remanufacturing. Die Bewertung erfolgt dabei in drei Stufen: hohe Eignung, begrenzte Eignung, keine Eignung.

Produktlebenszyklusdaten

Kerin *et al.* [25] stellen eine Forschungsagenda für die Anwendung von Industrie 4.0-Technologien zur Befähigung der Kreislaufwirtschaft vor. Eine systematische Literaturrecherche und -analyse bildet hierfür die Basis. Das Ergebnis ist ein Framework für Industrie 4.0-Technologien und Entwicklungspfade in der Kreislaufwirtschaft. Dieses Framework wird von 33 Forschungshypothesen begleitet und teilt sich in zwei Hauptbereiche auf: den Produktlebenszyklus und die Remanufacturing-Fabrik. Während des Produktlebenszyklus werden produkt-, prozess-, logistik- und geschäftsbezogene Daten zentral gespeichert und zugänglich gemacht. In der Remanufacturing-Fabrik werden Daten entlang des Remanufacturing-Prozesses erfasst. Die aufgezeichneten Daten finden in der Produktionsplanung und -ausführung Anwendung.

Die vorgestellten Ansätze stellen wertvolle Beiträge zur Lösung des Problems dar. Bisherige Ansätze zur Personalplanung berücksichtigen zwar statische Personalbedarfe sowie Strategien zur langfristigen Flexibilisierung des Personaleinsatzes, erweisen sich jedoch als unzureichend, um kurzfristige und dynamische Personal- und Flexibilitätsbedarfe zu decken. Zudem bleiben Produktlebenszyklusdaten und Mitarbeiteranforderungen unberücksichtigt. Keiner der vorgestellten Ansätze erfüllt alle Anforderungen. Ein ganzheitlicher Ansatz zur Personalplanung für Re-Assembly Fabriken ist erforderlich.

4 Konzept zur Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken

4.1 Kernidee des Konzepts

Das Konzept besitzt fünf Lösungsschritte: (1.) Datenbereitstellung und -verarbeitung, (2.) Informationssuche, (3.) Personalbedarfsplanung, (4.) Personaleinsatzplanung und (5.) Ausführung Re-Assembly-Auftrag. Der Fokus des Konzepts liegt dabei auf dem Personalplanungsprozess. Der erste (1.) und letzte

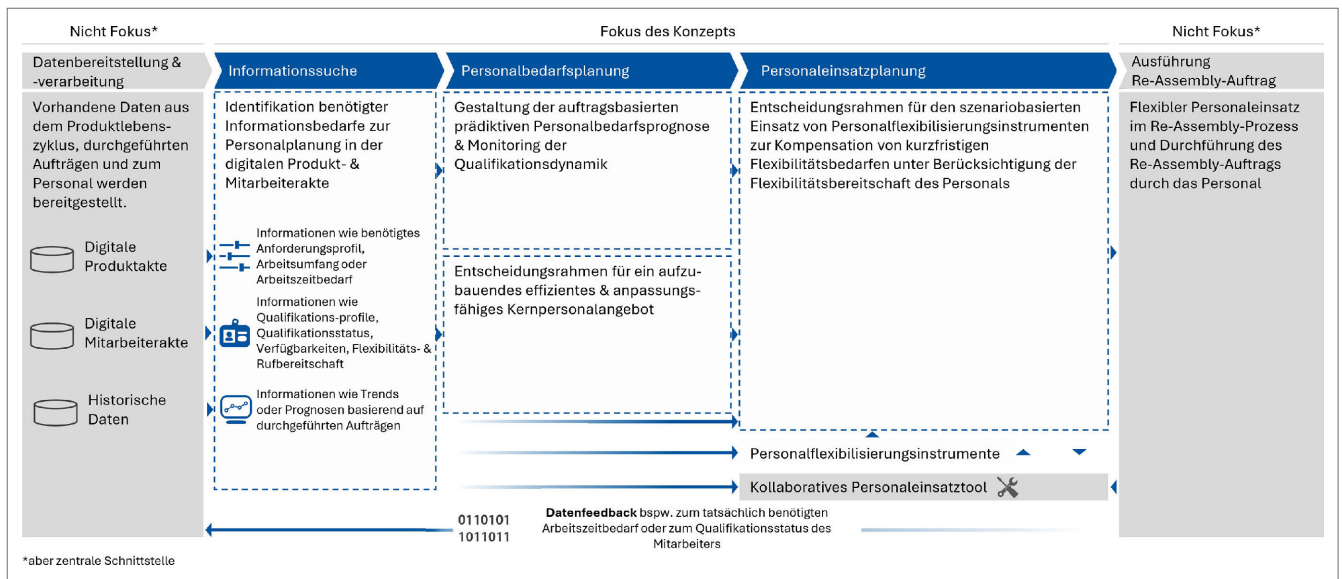


Bild Konzept zur Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken.

Schritt (5.) stehen nicht im Fokus, sind aber zentrale Schnittstellen. Das Zielbild des Konzepts zur Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken ist im **Bild** dargestellt. Es baut auf der in der Fachliteratur etablierten Struktur der Personalplanung auf.

Ein zentraler Bestandteil des Zielbilds ist die systematische Ermittlung der für die Personalplanung benötigten Informationen. Dazu sollen neben den digitalen Produkt- und Mitarbeiterakten auch historische Daten als primäre Daten- und Informationsquellen genutzt werden. Somit werden sowohl sämtliche Unsicherheiten des Re-Assembly als auch unternehmensexterne und -interne Einflussfaktoren für die Personalplanung berücksichtigt. Diese Grundlage ermöglicht eine zuverlässige Personalplanung [16, 19]. Sie schafft die Basis für ein wirtschaftliches und bedarfsgerechtes Personalangebot sowie einen flexiblen und kurzfristigen Personaleinsatz. Dabei soll die digitale Produktakte Informationen wie das benötigte Anforderungsprofil oder den benötigten Arbeitszeitbedarf liefern, während die digitale Mitarbeiterakte Informationen zu den Mitarbeitern bereitstellt. Ergänzend sollen historische Daten, die auf durchgeführten Re-Assembly-Aufträgen basieren, Prognosen für zukünftige Aufträge und deren Personalbedarf ermöglichen. (AF6) Darüber hinaus soll die Komplexität in der qualitativen Personalbedarfsplanung durch eine auftragsbasierte prädiktive Bestimmung der benötigten Qualifikationsprofile reduziert werden. Dadurch sollen qualitative Über- und Unterdeckungen im Personalangebot vermieden werden. Zudem soll die qualitative Personalbedarfsplanung durch das kontinuierliche Monitoring der Qualifikationsdynamik des Personals fortlaufend optimiert werden und gleichzeitig sollen Entwicklungsanreize für das Personal geschaffen werden. Ermöglicht soll dies durch eine Rückkopplung zwischen dem ausgeführten Re-Assembly-Auftrag und der digitalen Mitarbeiterakte. Bereits kleinste Qualifikationsfortschritte sollen in der digitalen Mitarbeiterakte festgehalten und somit in die Planung integriert werden. Auf diese Weise sollen ein bedarfsgerechtes Personalangebot und eine effiziente Ressourcennutzung sichergestellt werden. (AF1&2) Um die komplexe Bedarfsplanung ganzheitlich zu optimieren, soll im Rahmen der quantitativen Personalbedarfsplanung zudem ein Entscheidungsrahmen entwickelt werden, der die Bestimmung des aufzubauenden effizienten und anpassungsfähigen Kernpersonalange-

bots in Re-Assembly-Fabriken ermöglicht. Das Personalangebot soll in der Lage sein, sich über alle Schwankungsszenarien hinweg effizient und schnell an das dynamische Umfeld anzupassen. Dabei soll insbesondere die Aufstellung des szenarienübergreifenden Kernpersonalangebots berücksichtigt werden. (AF1&3) Der Personalplanungsprozess im Forschungsvorhaben schließt mit der Planung des Personaleinsatzes ab. Zur Kompensation von kurzfristigen und dynamischen Flexibilitätsbedarfen soll ein Entscheidungsrahmen für den szenariobasierten Einsatz von PFI entwickelt werden. Zum einen soll dieser Rahmen die begrenzte Flexibilitätsbereitschaft des Personals in die Personaleinsatzplanung integrieren. Zum anderen soll sie die erforderliche Vorlaufzeit zur Kennnissetzung des Personals berücksichtigen. Produzierende Unternehmen sollen dadurch befähigt werden, einen flexiblen und kurzfristigen Personaleinsatz in der Produktion sicherzustellen. (AF4&5) Ein kollaboratives Personaleinsatztool soll dabei die Schnittstelle zwischen der Planung und dem Betrieb bilden. Der Entscheidungsrahmen soll im Tool hinterlegt und das Tool mit Informationen aus den primären Daten- und Informationsquellen gespeist werden. Zusammenfassend kann das Ziel dieses Konzepts folgendermaßen beschrieben werden:

Ziel ist die Reduzierung von Abweichungen zwischen Personalbedarf und -angebot sowie der eingeschränkten Flexibilität und Reaktionsfähigkeit in der Produktion von Re-Assembly-Fabriken.

4.2 Strukturierung des Konzepts

Zur Umsetzung des Konzepts sind geeignete methodische Ansätze erforderlich. Diese sind im Folgenden in vier Vorgehensschritte unterteilt. Nachfolgend wird das Vorgehen innerhalb der einzelnen Schritte grob beschrieben.

4.2.1 Datenbedarfe zur Personalplanung in Re-Assembly-Fabriken

Die detaillierte Beschreibung der Vision ist der erste Schritt in der systematischen Anforderungsanalyse nach Balzert. [26]

Darauffolgend sind die Ziele der zu entwickelnden Methodik aus der Vision abzuleiten und zu formulieren. Zusätzlich werden im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche bestehende Ansätze zur Personalplanung aus der Fachliteratur untersucht und auf relevante Anforderungen analysiert. Anschließend sollen zur Identifikation und Strukturierung der Vielzahl an unterschiedlichen Informationen zur Personalplanung zunächst die konstituierenden Merkmale durch strukturierte Experteninterviews identifiziert werden. Die Strukturierung der Informationsbedarfe erfolgt dabei nach Produkt-, Prozess- sowie Betriebsmittelinformationen. Diese Strukturierung wird aufgegriffen und um die Merkmale des idealtypischen Re-Assembly-Prozesses nach Schuh *et al.* [7] erweitert. Die identifizierten Planungsinformationen werden anhand der konstituierenden Merkmale charakterisiert. Basierend auf den identifizierten konstituierenden Merkmalen sollen die Informationsbedarfe für den Personalplanungsprozess, die durch eine digitale Produkt- und Mitarbeiterakte sowie eine Datenbank mit historischen Daten bereitgestellt werden sollen, ermittelt. Ausgangspunkt dafür ist das Aachener Fabrikplanungsvorgehen, zuletzt veröffentlicht durch Fölling, welches sich durch eine informatorische-planungsprojektspezifische Vernetzung auszeichnet [27]. Die erforderlichen Planungsinformationen und -aufgaben für die Personalplanung werden identifiziert und mithilfe von EXPRESS-G konfiguriert, um die re-assembly-spezifischen Informationsbedarfe und -vernetzungen zu ergänzen. Aus den identifizierten Informationsbedarfen werden dann mit Hilfe der Wissenspyramide nach Bodendorf [28] die notwendigen Datenbedarfe abgeleitet. Die Daten- und Informationsbeziehungen werden im Kontext des Personalplanungsprozesses für Re-Assembly-Fabriken durch IDEF0 modelliert und vernetzt. Anschließend werden die Datenbedarfe identifiziert und strukturiert. Hierbei werden die Zusammenhänge und Wechselwirkungen der Daten mittels Causal-Loop-Diagrammen modelliert [29]. Abschließend werden die identifizierten Datenbedarfe und Zusammenhänge in ein semantisches Daten- und Informationsmodell überführt. Dazu wird das Modell mithilfe der Unified Modeling Language (UML) modelliert [30].

4.2.2 Prädiktive Bestimmung von Qualifikationsprofilen und Monitoring der Qualifikationsdynamik des Personals in Re-Assembly-Fabriken

Zur Klassifizierung der in Re-Assembly-Fabriken erforderlichen schwankenden Anforderungsprofile und ihrer Qualifikationsmerkmale wird ein ontologiebasierter Kompetenzrahmen entwickelt. Anschließend wird auf Basis des Kompetenzrahmens und der identifizierten Informations- und Datenbedarfe aus der digitalen Produktakte ein Informationsmodell entwickelt. Dieses ermöglicht das prädiktive Ableiten der für jeden Auftrag erforderlichen Anforderungsmatrix. Anschließend wird der regelbasierte Datenabgleich der Anforderungsmatrizen mit den Qualifikationsmatrizen des Personals gestaltet. Es wird der regelbasierte Datenabgleich von der digitalen Produktakte mit den digitalen Mitarbeiterakten gestaltet. Mithilfe des regelbasierten Datenabgleichs wird eine automatisierte Entscheidungsfindung ermöglicht, bei dem die qualitativ passendsten Mitarbeiter zur Durchführung des vorliegenden Re-Assembly-Auftrags identifiziert werden. Zuletzt wird ein Konzept entwickelt, das die auftragsbasierte prädiktive Bestimmung von Qualifikationsprofilen sowie das Monitoring der Qualifikationsdynamik für Re-Assembly-Fabriken umfasst. Ergän-

zend zur prädiktiven Ableitung der Anforderungsmatrix werden eine Zeitreihenanalyse sowie statistische Modellierung von historischen Daten herangezogen, um die für einen Auftrag benötigten Qualifikationsprofile des Personals vorherzusagen. Diese Vorhersagen fließen in einen iterativen Lernprozess ein, der durch eine kontinuierliche Datenrückkopplung aus dem ausgeführten Re-Assembly-Auftrag in die digitale Produktakte und die historische Datenbank befähigt wird. Dadurch wird eine fortlaufende Selbstoptimierung der qualitativen Personalbedarfsprognose erreicht. Für das Monitoring der Qualifikationsdynamik des Personals wird eine Rückkopplung an die digitale Mitarbeiterakte integriert.

4.2.3 Entscheidungsmodell zur Bestimmung eines aufzubauenden effizienten und anpassungsfähigen Kernpersonalangebots in Re-Assembly-Fabriken

In diesem Schritt werden zunächst Schwankungsszenarien im Arbeitsvolumen spezifiziert. Hierfür werden Szenarien in der Produktionsmenge und durchschnittlichen Bearbeitungszeit für einen Arbeitsauftrag definiert. Hierzu wird die Szenarioanalyse verwendet und eine Szenario Matrix aufgestellt. Zudem werden die Schwankungen in der Produktivität eines Produktionsmitarbeiters untersucht. Diese werden mit Hilfe der Szenariotechnik kategorisiert und ein Unsicherheitsfaktor für die Personalproduktivität wird abgeleitet. Unter Berücksichtigung des Unsicherheitsfaktors wird durch das Aufstellen mathematischer Gleichungen die Bestimmung des quantitativen Personalbedarfs je Schwankungsszenario ermöglicht. Es wird eine Methodik zur Bestimmung des szenarienübergreifenden Kernpersonalangebots entwickelt. Zur Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der identifizierten Szenarien wird eine Monte-Carlo-Simulation als Wahrscheinlichkeitstheoretische Anwendung herangezogen. Unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeiten und des pro Szenario benötigten Personalbedarfs wird mit einer Mittelwertberechnung die Bestimmung eines aufzubauenden szenarienübergreifenden Kernpersonalangebots für Re-Assembly-Fabriken ermöglicht. Zuletzt wird ein Rahmen zur Bestimmung der Aufstellung des szenarienübergreifenden Kernpersonalangebots erarbeitet. Hierzu werden die in Re-Assembly-Fabriken einzusetzenden qualitativen Personalbedarfe mithilfe einer Nutzwertanalyse bewertet. Auf Basis der Nutzwertanalyse wird eine qualitative Aufstellung des szenarienübergreifenden Kernpersonalangebots empfohlen. Zur Anpassung der Anzahl der identifizierten szenarienübergreifenden Kernpersonalangebots wird ein Produktivitätsverhältnis zwischen den Qualifikationsprofilen ermittelt. Auf Basis dessen wird eine quantitative und qualitative Empfehlung zur Aufstellung des szenarienübergreifenden Kernpersonalangebots ermöglicht.

4.2.4 Entscheidungsmodell zur szenariobasierten Einsatzempfehlung von PFI unter Berücksichtigung der Flexibilitätseinstellung des Personals

Das Entscheidungsmodell für Re-Assembly-Fabriken fokussiert sich auf Flexibilitätseinstellungen im Personalbedarf, die sowohl von Tag zu Tag als auch innerhalb eines Tages auftreten können. Für diese Planungsmodulgrößen werden durch eine Szenarioanalyse Schwankungsszenarien im Flexibilitätseinstellung definiert. Durch empirisch-induktive Analysen, basierend auf semistrukturierten Interviews und Workshops mit Experten, werden diesen Szenarien

rien Umfänge an zusätzlicher beziehungsweise reduzierter Arbeitszeit pro Mitarbeiter zugeordnet. Außerdem werden die Zumutbarkeit dieser Arbeitszeiten sowie die erforderliche Vorlaufzeit zur Kenntnissetzung ermittelt. Es wird ein morphologischer Kasten für den szenariobasierten Einsatz von PFI entwickelt. [31] Als Merkmale einschließlich ihrer Ausprägungen werden neben den identifizierten Planungsmodulgrößen, Schwankungsszenarien im Flexibilitätsbedarf oder Vorlaufzeiten noch PFI aufgenommen. Hierfür werden im Vorfeld die für einen kurzfristigen Flexibilitätsbedarf einsetzbaren numerischen und zeitlichen PFI aus der Fachliteratur identifiziert. Nachdem eine Entscheidungsmatrix für den szenariobasierten Einsatz von PFI entwickelt wurde, wird ein Rahmen zur qualitativen Bewertung der identifizierten und einsetzbaren Instrumente erarbeitet. Es wird eine Nutzwertanalyse angewendet, bei der Kriterien wie die Dauer der Vorlaufzeit und die Zumutbarkeit berücksichtigt werden. Ziel ist eine Empfehlung für den szenariobasierten Einsatz der PFI zu geben. Zur Auswahl der besten Entscheidung aus einer Vielzahl möglicher PFI-Kombinationen wird zudem eine kombinatorische Optimierungsmethode eingesetzt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag skizziert ein Konzept zur Personalplanung für Re-Assembly-Fabriken unter Nutzung digitaler Produkt- und Mitarbeiterakten. Digitale Akten sowie historische Daten sollen als primäre Informationsquellen dienen, um Unsicherheiten und Einflussfaktoren in der Personalplanung zu beherrschen. Durch eine prädiktive Bestimmung qualitativer und quantitativer Personalbedarfe wird eine höhere Anpassungsfähigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit erreicht. Damit sollen Personalressourcen so geplant werden, dass ein wirtschaftliches, bedarfsgerechtes und flexibles Personalangebot bereitgestellt wird. Eine kontinuierliche Rückkopplung zwischen ausgeführten Aufträgen und der digitalen Mitarbeiterakte ermöglicht zudem die Erfassung von Qualifikationsfortschritten und die fortlaufende Optimierung der Personalplanung. Ergänzend definiert ein Entscheidungsrahmen das aufzubauende Kernpersonalangebot und befähigt Re-Assembly-Fabriken, flexibel auf dynamische Umfeldbedingungen zu reagieren.

LITERATUR

- [1] Ellen MacArthur Foundation: Towards the circular economy (2013)
- [2] He, R.; Le Luo; Shamsuddin, A. et al.: Corporate carbon accounting: a literature review of carbon accounting research from the Kyoto Protocol to the Paris Agreement. *Accounting & Finance* 62 (2022) 1, S. 261–298
- [3] Hsiang, S.; Kopp, R.; Jina, A. et al.: Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science* (New York, N.Y.) 356 (2017) 6345, pp. 1362–1369
- [4] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: Gebäude und Verkehr beim Klimaschutz stärker in der Pflicht. Stand: 31.12.2024. Internet: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/eu-emissionshandel-1684508>. Zugriff am 31.12.2024
- [5] Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E. et al.: Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain, 2017
- [6] DIN SPEC 91472: Remanufacturing (Reman) – Qualitätsklassifizierung für zirkuläre Prozesse
- [7] Schuh, G.; Mauß, W.; Potente, T. et al.: Green Re-Assembly Upgrade Factory, 2023
- [8] Morgan, S. D.; Gagnon, R. J.: A systematic literature review of remanufacturing scheduling. *International Journal of Production Research* 51 (2013) 16, S. 4853–4879
- [9] Clottey, T.: Planning and Control for Core Acquisitions from Third Parties in Remanufacturing Supply Chains. 2010
- [10] Hollah, A.: Planung und Steuerung des Remanufacturing in der Elektromobilproduktion. Dissertation, Apprimus Verlag; RWTH Aachen
- [11] Guide, V. R.: Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. *Journal of Operations Management* 18 (2000) 4, S. 467–483
- [12] Kurilova-Palisaitiene, J.; Sundin, E.; Poksinska, B.: Remanufacturing challenges and possible lean improvements. *Journal of Cleaner Production* 172 (2018), S. 3225–3236
- [13] Bochmann, L. S.: Entwicklung und Bewertung eines flexiblen und dezentral gesteuerten Fertigungssystems für variantenreiche Produkte, ETH Zurich, 2018
- [14] Spath, D. (Hrsg.): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Studie. Stuttgart: Fraunhofer-Verl. 2013
- [15] McKinsey and Company: HR-Monitor, 2024
- [16] Burggräf, P.; Schuh, G.: Fabrikplanung. Berlin: Springer 2021
- [17] Gabler Wirtschaftslexikon: Personalplanung. Internet: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/personalplanung-43721/versions-267047>. Zugriff am 01.01.2025
- [18] Drumm, H. J.: Personalwirtschaft. Berlin: Springer 2008
- [19] Oechsler, W. A.; Paul, C.: Personal und Arbeit. Einführung in das Personalmanagement. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg 2024
- [20] vom Brocke, J.; Simons, A.; Niehaves, B. et al.: Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process. *ECIS 2009 Proceedings* (2009).
- [21] Booth, A.: „Brimful of Starlite”: toward standards for reporting literature searches. *Journal of the Medical Library Association: JMLA* 94 (2006), Nr. 4, 421-9, e205.
- [22] Stock, T.: Ein Verfahren zur Personalplanung und -steuerung und Restrukturierung der Aufbauorganisation für eine bedarfsorientierte und wandlungsfähige Produktion. Stuttgart: Fraunhofer-Verl. 2013
- [23] Hämmerle, M.: Methode zur strategischen Dimensionierung der Personalflexibilität in der Produktion. Dissertation
- [24] Kampker, A.; Hollah, A.; Trieb, J. et al.: Remanufacturing of electric vehicles: Evaluation of economic potential. 2019 IEEE 10th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT), Cape Town, South Africa, 2019, S. 122–127
- [25] Kerin, M.; Pham, D. T.: Smart remanufacturing: a review and research framework. *Journal of Manufacturing Technology Management* 31 (2020) 6, S. 1205–1235
- [26] Balzert, H.: Lehrbuch der Softwaretechnik: Basiskonzepte und Requirements Engineering. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2009
- [27] Fölling, C.: Komplexitätsbeherrschung durch hybride Montageplanung. Dissertation, Apprimus Verlag
- [28] Bodendorf, F.: Daten- und Wissensmanagement. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2006
- [29] Barbrook-Johnson, P.; Penn, A. S.: Systems Mapping. Cham: Springer International Publishing 2022
- [30] Rumpe, B.: Agile Modellierung mit UML. Berlin: Springer 2012
- [31] REFA AG: Morphologischer Kasten. Internet: <https://refa.de/service/refa-lexikon/morphologischer-kasten>. Zugriff am 01.01.2025

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.
Ing. Günther Schuh

Dr.-Ing. Esben Schukat

Rana Koc, M.Sc. RWTH
r.koc@wzl.rwth-aachen.de

Werkzeugmaschinenlabor WZL
der RWTH Aachen University
Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen
www.wzl.rwth-aachen.de

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)