Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436-4980-2025-11-12-78
Datum der Einreichung: 15.09.2025
Datum der Annahme: 03.10.2025
Datum der Veröffentlichung: 17.12.2025

Ergebnisse einer Studie

Zukunft der Produktionsplanung

Jan Joppien, Martin Perau, Tom Artelt, Tobias Schröer, Katharina Berwing, Kirsten Hoffmann, Lukas Herfort, Matthias Pfeiffer

ZUSAMMENFASSUNG Produktionsplanung ermöglicht die Sicherstellung einer wettbewerbsfähigen Produktion und ist zeitgleich dem technologischen und umweltbezogenen Wandel ausgesetzt. Daher wurden basierend auf einer Studie zentrale Anforderungen und Treiber der Produktionsplanung der Zukunft identifiziert. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Zukunft der Produktionsplanung durch eine integrierte IT-Systemlandschaft, einen Wandel der Rolle der Planenden von operativen Tätigkeiten zu strategisch Optimierenden sowie die stärkere Berücksichtigung ökologischer Zielgrößen gekennzeichnet ist.

STICHWÖRTER
Produktionsplanung/ -steuerung, Künstliche Intelligenz, Nachhaltigkeit

The Future of Production Planning – Results of a Study

ABSTRACT Production planning ensures competitive production and is simultaneously subject to technological and environmental change. Therefore, based on a study, key requirements and drivers for future production planning were identified. To summarise, the future of production planning will be characterised by an integrated IT system landscape, a shift in the role of planners from operational work towards strategic optimization, and a greater consideration of environmental targets.

1 Einleitung

Die Produktionsplanung steht vor tiefgreifenden Veränderungen. Technologische und gesellschaftliche Entwicklungen, wie volatile Lieferketten oder der Fachkräftemangel, stellen produzierende Unternehmen vor neue Herausforderungen. Zugleich wird die Produktionsplanung zunehmend komplexer, da steigende Produktvariantenvielfalt und wachsende kundenindividuelle Anforderungen die Gestaltung und Steuerung von Produktionsprozessen erschweren [1]. Daher ist eine effiziente, flexible und nachhaltige Planung ein zentraler Erfolgsfaktor für die Wettbewerbsfähigkeit. [2]

In der Praxis werden unterschiedliche Konzepte zur Integration von Planungsfunktionen diskutiert. Systeme wie Enterprise Resource Planning (ERP), Manufacturing Execution Systems (MES) oder Advanced Planning and Scheduling (APS) bieten vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten. Unklar bleibt jedoch, inwieweit sie die Anforderungen der Unternehmen erfüllen oder die Produktionsplanung künftig systematisch unterstützen können. Neue Technologien wie Künstliche Intelligenz, einsetzbar von der Entscheidungsunterstützung bis zur automatischen Optimierung, sowie Bereitstellungsformen wie Software as a Service eröffnen zusätzliche Optionen. Trotz dieser Entwicklungen fehlt bislang eine ganzheitliche Betrachtung der Produktionsplanung im Zusammenspiel von Technologie und Organisation.

Parallel dazu gewinnen Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft an Bedeutung. Politisch getriebene Strategien, gesellschaftlicher Druck und ökologische Anforderungen verdeutlichen die Notwendigkeit, diese Aspekte stärker in Planungsprozesse einzubeziehen [3]. Für Unternehmen stellt sich die Frage, wie die Produktionsplanung durch diese Entwicklungen beeinflusst wird und welche Herausforderungen entstehen.

Folglich ist Ziel der Untersuchung, aktuelle Herausforderungen und künftige Entwicklungen der Produktionsplanung zu identifizieren. Damit wird ein Beitrag zur Schließung bestehender Forschungslücken geleistet und zugleich Orientierung für Unternehmen und Softwareanbieter geschaffen. Im Vordergrund stehen strategische Fragestellungen und Entwicklungstendenzen.

Die Studie orientiert sich an der zentralen Forschungsfrage: Wie ist die Produktionsplanung der Zukunft ausgestaltet?

Zur Beantwortung werden vier Teilfragen abgeleitet:

1. Welche Anforderungen ergeben sich für die zukünftige Gestaltung der IT-Systemlandschaft im Kontext der Produktionsplanung?
2. Wie verändert sich die Rolle des oder der Planenden?
3. Welchen Einfluss hat die Nachhaltigkeitswende auf die Produktionsplanung?
4. Wie wird die Produktionsplanung durch die Kreislaufwirtschaft beeinflusst?

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Kapitel 2 beschreibt das wissenschaftliche Vorgehen und die relevanten Grundlagen der Studie. Kapitel 3 enthält die Ergebnisse zu den Themen *Teilnehmende*, *IT-Systemlandschaft*, *Zukünftige Technologien* sowie *Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft*. Kapitel 4 enthält die Diskussion

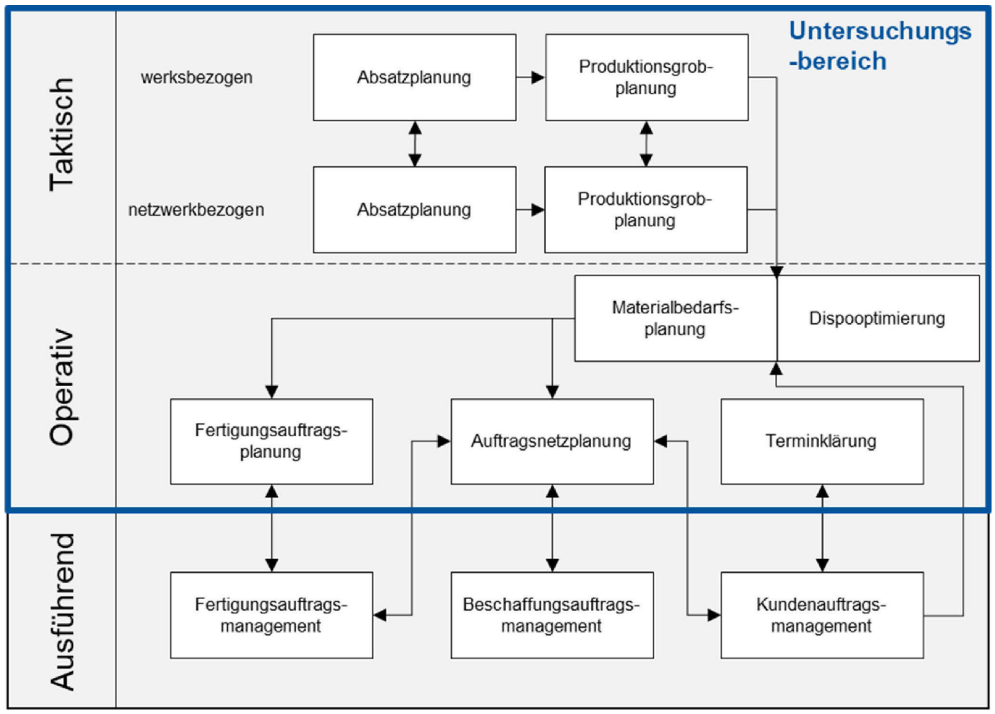

Bild 1 Planungsschaubild
Grafik: eigene Darstellung, basierend auf [4]

der Ergebnisse und beantwortet die Forschungsfragen. In Kapitel 5 werden die Limitationen der Studie kritisch reflektiert. Kapitel 6 bündelt die wichtigsten Erkenntnisse und bietet einen Ausblick.

2 Wissenschaftliches Vorgehen und theoretische Grundlagen der Studie

In diesem Kapitel werden das wissenschaftliche Vorgehen und die theoretischen Grundlagen der Studie dargestellt. Abschnitt 2.1 beschreibt das wissenschaftliche Vorgehen der Untersuchung, einschließlich Studiendesign, Datenerhebung und Aufbau des Fragebogens. In Abschnitt 2.2 werden die theoretischen Grundlagen erläutert, die für das Verständnis der Produktionsplanung und die Ableitung der Anforderungen an IT-Systemlandschaften erforderlich sind.

2.1 Wissenschaftliches Vorgehen

Ziel der Untersuchung ist es, Erkenntnisse zur zukünftigen Ausgestaltung der Produktionsplanung zu gewinnen sowie aktuelle Herausforderungen und künftige Entwicklungen in diesem Bereich zu erfassen.

Die Studie wird als Forschungsprojekt des Center Integrated Business Applications (CIBA) in Kooperation mit dem FIR e. V. an der RWTH Aachen durchgeführt. Beteiligt waren zudem die CIBA-Mitglieder und Projektpartner Asprova GmbH, Dualis GmbH IT Solution, Xeptum Consulting AG sowie die Wegener International GmbH. Zur Datenerhebung wurde eine Online-Umfrage entwickelt, die sich an produktionsnahe Mitarbeitende in Unternehmen unterschiedlicher Größen und Branchen richtet. Der Erhebungszeitraum lag zwischen Februar und Juni 2025. Die Teilnehmenden wurden überwiegend über die Netzwerke der Partner akquiriert.

Der zugrunde liegende Fragenkatalog wurde in enger Abstimmung mit dem Projektteam und Expertinnen und Experten entwickelt. Die Validierung erfolgte durch drei Beraterinnen und Beratern für IT-Systeme (APS/SCM), den technischen Leiter eines produzierenden Unternehmens (Wegener International GmbH), wissenschaftlichen Mitarbeitern des FIR sowie der Xeptum Consulting AG. Der Fragebogen bestand ausschließlich aus geschlossenen Fragen und gliederte sich in vier Themenblöcke: Teilnehmende der Studie, IT-Systemlandschaft für die Produktionsplanung, zukünftige Technologien sowie Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft. Für die Mehrheit der Fragen wurde eine fünfstufige Likert-Skala verwendet, die von 1 („sehr gering“) bis 5 („sehr stark“) reicht und eine differenzierte Einschätzung der Teilnehmenden ermöglicht. Ergänzend kamen bei einzelnen Fragen vordefinierte Antwortoptionen zum Einsatz.

2.2 Theoretische Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die wissenschaftlichen Grundlagen vermittelt, die für das Verständnis der Studie erforderlich sind. Die Darstellung erfolgt gegliedert entlang der Teilforschungsfragen.

Um die Anforderungen für die zukünftige Gestaltung der IT-Systemlandschaft zu untersuchen, ist zunächst ein Grundverständnis der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) notwendig. Die PPS bildet die zentrale Komponente eines Produktionssystems und umfasst die Planung, Steuerung und Überwachung von Fertigungsprozessen. Während die Produktionsplanung die Vorbereitung und Organisation der Produktionsprozesse beschreibt, ist die Produktionssteuerung für deren Umsetzung verantwortlich. [4] Für die detaillierte Untersuchung der Anforderungen an die IT-Systemlandschaft wurden Planungsbereiche definiert, die auf der Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells basieren und in **Bild 1** dargestellt sind.

Die Planungsbereiche sind den drei Ebenen *taktisch*, *operativ* und *ausführend* zugeordnet. Es ist zu erwähnen, dass die ausführende Planungsebene nicht im Betrachtungsrahmen der Studie

liegt. Auf der taktischen Ebene erfolgt die mittel- bis langfristige Planung. Sie umfasst die werks- und netzwerkbezogene Absatzplanung sowie die darauf aufbauende werks- und netzwerkbezogene Produktionsgrobplanung. Unter *werksbezogen* wird dabei die Planung innerhalb eines einzelnen Standortes verstanden, während *netzwerkbezogen* eine standortübergreifende, das gesamte Produktionsnetzwerk berücksichtigende Planung bezeichnet. Diese Planungsbereiche leiten sich aus den Kernaufgaben der Produktionsprogrammplanung sowie den Netzwerkaufgaben der Netzwerkabsatz- und -bedarfsplanung aus dem Aachener PPS-Modell ab. Die operative Planungsebene dient der mittel- bis kurzfristigen Planung. Hierzu zählen die Materialbedarfsplanung, die Dispooptimierung, die Fertigungsauftragsplanung, die Auftragsnetzplanung sowie die Terminklärung. Diese Bereiche sind aus den Kernaufgaben Produktionsbedarfsplanung, Eigenfertigungsplanung und -steuerung sowie Fremdbezugsplanung und -steuerung sowie den Querschnittsaufgaben Auftrags- und Bestandsmanagement des Aachener PPS-Modells abgeleitet. Die ausführende Ebene ist auf die Umsetzung der Planung ausgerichtet und schließt das Fertigungsauftragsmanagement, das Beschaffungsauftragsmanagement sowie das Kundenauftragsmanagement ein. Sie geht zurück auf die Querschnittsaufgaben Auftrags- und Bestandsmanagement. Der Fokus der Studie liegt auf der Produktionsplanung, weshalb die taktische und operative Ebene im Mittelpunkt stehen.

Im unternehmerischen Kontext wird die Produktionsplanung durch IT-Systeme unterstützt. Im Folgenden werden die typischen Systemarten definiert:

- **ERP-Systeme** dienen der integrierten Planung und Steuerung sämtlicher betriebswirtschaftlicher Prozesse eines Unternehmens [5].
- **SCM-Systeme** unterstützen die unternehmensübergreifende Planung, Koordination und Optimierung von Lieferketten [6].
- **APS-Systeme** ermöglichen die detaillierte, Algorithmen gestützte Planung und Optimierung komplexer Produktions- und Logistikprozesse [6].
- **ME-Systeme** verbinden die betriebswirtschaftliche Planungsebene mit der Fertigungsebene und steuern, überwachen sowie dokumentieren Produktionsprozesse in Echtzeit [5].
- **BI-Systeme** unterstützen durch die Sammlung, Aufbereitung und Analyse von Daten die Entscheidungsfindung im Unternehmen [5].

Die IT-Systemlandschaft von Unternehmen besteht aus mehreren Systemen und erfordert eine systematische Planung. Unternehmen können dabei unterschiedliche Prinzipien bei der Auswahl von IT-Lösungen verfolgen. In der Studie werden zwei Prinzipien mit verschiedenen Ansätzen unterschieden. Das erste Prinzip betrifft die Anzahl eingesetzter IT-Systeme und differenziert zwischen folgenden Ansätzen:

- **Best-of-Breed-Ansatz**: Für jedes Anwendungsfeld wird die jeweils beste Lösung ausgewählt. Die verschiedenen Systeme müssen anschließend zu einem Gesamtsystem integriert werden [7].
- **One-Fits-All-Ansatz**: Die IT-Landschaft wird durch eine umfassende Lösung konsolidiert, die die Kernfunktionen eines Anwendungsfelds hinreichend abdeckt [7].
- Das zweite Prinzip bezieht sich auf den Umgang mit Anpassungen von IT-Systemen und unterscheidet drei Ansätze:
  - **Nutzung von Standardfunktionalitäten** einer Planungssoftware und Anpassung der Unternehmensprozesse an diesen Standard,
  - **unternehmensspezifische Anpassung** der Software auf Basis eigener Prozesse,
  - oder die vollständige **Eigenentwicklung** von Planungssoftware. [7]

Die Rolle des Planenden wird anhand typischer Planungstätigkeiten im Zusammenspiel mit zukünftig einsetzbaren Technologien untersucht. Ausgangspunkt bilden die folgenden neun Aufgaben von Informationssystemen: Informationszielbestimmung, -identifikation, -akquisition, -verarbeitung, -speicherung, -verbesserung, -bewertung, -nutzung und -übermittlung [8]. Für die Produktionsplanung wurden daraus spezifische Tätigkeiten abgeleitet:

- Festlegung der Zielgrößen oder Strategien nach der die Produktionsplanung optimiert beziehungsweise durchgeführt wird (Informationszielbestimmung),
- Festlegung der notwendigen Informationen, die für die Ableitung einer Entscheidung im Bereich der Produktionsplanung (zum Beispiel eine Umplanung) notwendig ist (Informationsidentifikation),
- Sammlung und Konsolidierung von notwendigen Informationen für die Aufgaben der Produktionsplanung (Informationsakquisition),
- Speicherung zusätzlicher relevanter Daten, wie zum Beispiel Angabe der Gründe für eine Umplanung eines Auftrags (Informationsspeicherung),
- Übertragung von relevanten Informationen wie zum Beispiel drohende Verspätungen eines Auftrags an relevante Personen (Informationsübermittlung),
- Umplanungen von Produktionsplänen sowie Freigabe dieser zur Optimierung mehrerer Planungskriterien (Informationsnutzung),
- Analyse der Qualität beziehungsweise Güte der Produktionsplanung (Informationsbewertung),
- Ableitung von notwendigen Veränderungen oder Maßnahmen zur langfristigen Verbesserung der Durchführung der Produktionsplanung mithilfe des eingesetzten Tools (Informationsverbesserung).

Auf dieser Grundlage kann der Einfluss neuer Technologien detailliert untersucht werden. In der Studie werden Automatisierung, Machine Learning und Large Language Models berücksichtigt. Diese sind nachfolgend definiert:

- **Automatisierung** beschreibt die technische Umsetzung von Prozessen, bei denen Aufgaben mit minimalem menschlichem Eingriff durchgeführt werden [9].
- **Machine Learning** ermöglicht es, auf Basis von Daten Muster zu erkennen und Entscheidungen zu treffen, wobei sich die Modelle durch Erfahrung verbessern [10].
- **Large Language Models** verarbeiten und generieren natürliche Sprache und können vielfältig zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden [11].

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem Einfluss der Nachhaltigkeitswende auf die Produktionsplanung. Nachhaltigkeit beschreibt ein Entwicklungskonzept, das ökologische, ökonomische und soziale Ziele miteinander verbindet und gegenwärtige Bedürfnisse erfüllt, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden. Nach GRI lassen sich sechs ökologische Dimensionen unterscheiden: Materialien, Energie, Wasser und Abwasser, Biodiversi-

tät, Emissionen sowie Abfall. [12] Anhand dieser Dimensionen lassen sich Nachhaltigkeitsziele ableiten.

Eng damit verbunden ist die Kreislaufwirtschaft, deren Einfluss auf die Produktionsplanung ebenfalls betrachtet wird. Sie stellt ein Wirtschaftsmodell dar, das den Wert von Produkten, Materialien und Ressourcen möglichst lange erhält und den Einsatz neuer Rohstoffe minimiert. Die Umsetzung erfolgt in unterschiedlicher Intensität durch die sogenannten R-Strategien, zum Beispiel Refurbish und Remanufacture. [13]

3 Kernergebnisse der Studie

In diesem Kapitel werden die Kernergebnisse der durchgeführten Studie vorgestellt. Zunächst werden in Abschnitt 3.1 die teilnehmenden Personen und Unternehmen beschrieben. Anschließend folgen in Abschnitt 3.2 die Ergebnisse zu IT-Systemlandschaften für die Produktionsplanung. Abschnitt 3.3 behandelt die zukünftigen Technologien mit einem besonderen Fokus auf Automatisierung, Machine Learning und Large Language Models. Abschließend werden in Abschnitt 3.4 die Ergebnisse zu Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft dargestellt.

3.1 Teilnehmende der Studie

Im Folgenden werden die Teilnehmenden der Studie sowie die von ihnen vertretenen Unternehmen charakterisiert, um das zugrunde liegende Untersuchungsfeld einzuordnen. Insgesamt haben 77 Personen an der Studie zur Zukunft der Produktionsplanung teilgenommen. Da nicht alle Befragten sämtliche Fragen beantwortet haben, variiert die Anzahl der ausgewerteten Antworten je nach Fragestellung.

Bild 2 zeigt eine Übersicht zu den teilnehmenden Personen und Unternehmen der Studie. Dargestellt sind die Auftragsabwicklungsart, die Branchenzugehörigkeit, die Unternehmensgröße, die Zahl der Produktionsstandorte sowie die Positionen der Befragten. Die Auftragsabwicklungsart ist stark durch Auftragsfertiger geprägt, die mit 50 % den größten Anteil ausmachen. Variantenfertiger stellen 26 %, Lagerfertiger 18 % und Rahmenauftragsfertiger 6 % der befragten Unternehmen. Auch bei den Branchen zeigt sich eine klare Dominanz des Maschinenbaus und der Metallerzeugung und -bearbeitung, die jeweils 22 % der Unternehmen repräsentieren. Ergänzend sind Unternehmen aus der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln mit 8 %, der Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen mit 8 % sowie die Herstellung von Druckerzeugnissen mit 3 % vertreten, während weitere 37 % in sonstige Branchen einzuordnen sind.

Die Unternehmensgrößen sind gleichmäßig verteilt. Besonders stark vertreten sind Unternehmen mit 101 bis 499 Beschäftigten mit 35 % sowie Großunternehmen mit mehr als 1 000 Mitarbeitenden mit 27 %. Kleinere Unternehmen mit bis zu 100 Beschäftigten stellen etwa ein Viertel der Teilnehmenden. Hinsichtlich der Produktionsstandorte verfügen 43 % der Unternehmen über einen Standort und 35 % über zwei bis fünf Standorte. Insgesamt betreiben somit fast drei Viertel der Unternehmen weniger als fünf Produktionsstandorte.

Die Positionen der Teilnehmenden im Unternehmen sind breit gestreut. Mit 38 % stellt die Managementebene den größten Anteil, gefolgt von 30 % auf der Spezialisten- und Fachkräfteebene sowie 22 % aus der Teamleitendenebene. Zudem sind 10 % der Befragten der Geschäftsführung zuzuordnen.

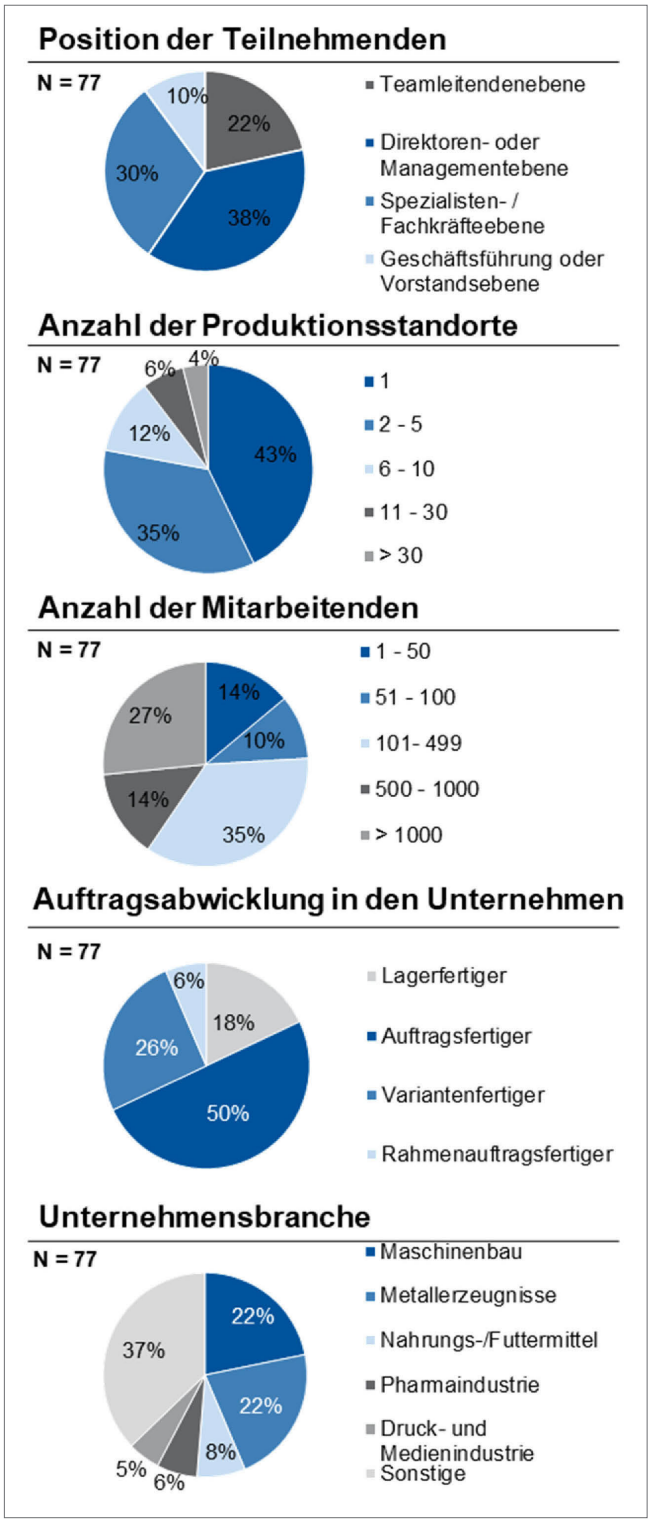

Bild 2 Teilnehmende der Studie. *Grafik: eigene Darstellung*

Insgesamt verdeutlicht die Zusammensetzung des Teilnehmerfeldes eine breite Streuung nach Auftragsabwicklungsart, Branchen, Unternehmensgrößen, Produktionsstrukturen und Hierarchieebenen. Damit bietet die Studie eine hinreichend vielfältige Basis, um valide Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Produktionsplanung abzuleiten.

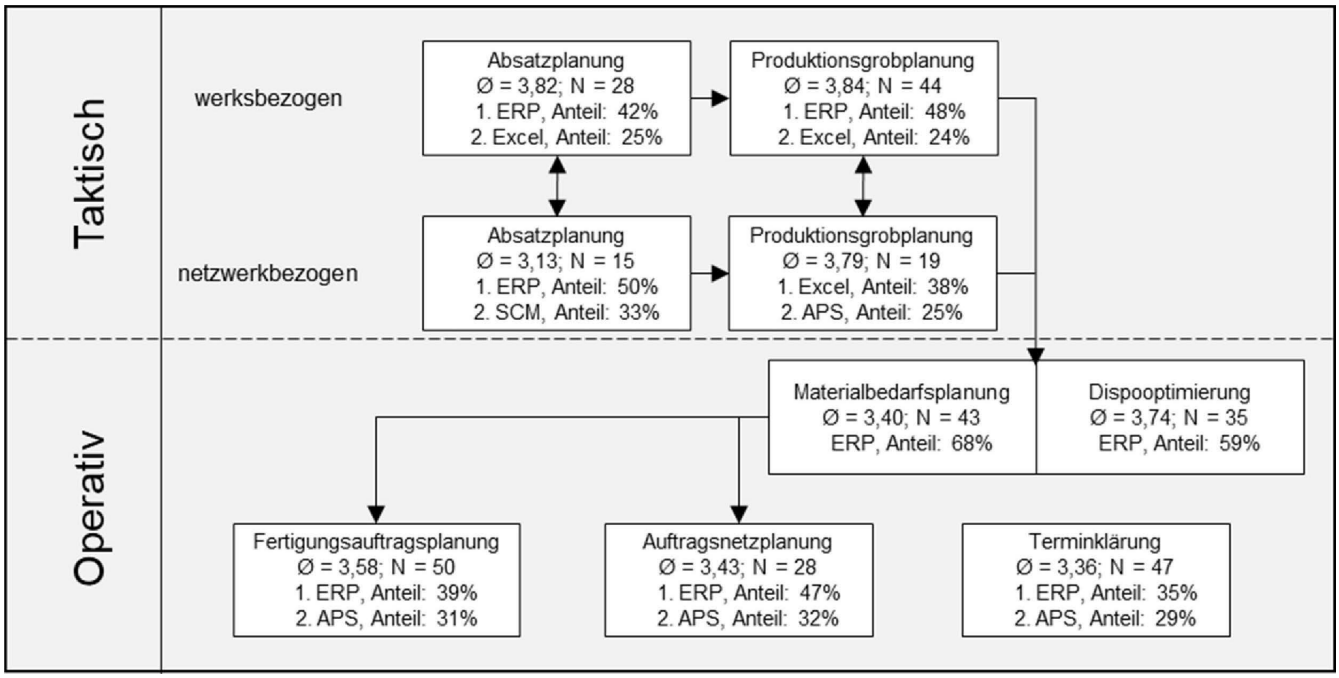

Bild 3 Verbesserungspotenzial und eingesetzte IT-Systeme. *Grafik: eigene Darstellung*

3.2 IT-Systemlandschaft für die Produktionsplanung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Studie zum Bereich IT-Systemlandschaft für die Produktionsplanung vorgestellt. Dabei wird einerseits das Verbesserungspotenzial der einzelnen Planungsaufgaben betrachtet und andererseits die eingesetzten IT-Systeme sowie die bevorzugten Ansätze für die Gestaltung der IT-Landschaft aufgezeigt.

Für die Untersuchung wurde die PPS in verschiedene Planungsbereiche unterteilt. Diese Bereiche sind in die taktische und operative Ebene gegliedert (vgl. Kapitel 2.2). Da die Teilnehmenden jeweils nur zu den Planungsbereichen befragt wurden, die sie in ihrem Unternehmen durchführen, unterscheidet sich die Zahl der Antworten zwischen den einzelnen Bereichen teils deutlich.

In **Bild 3** sind die Einschätzungen der Befragten zum Verbesserungspotenzial der einzelnen Planungsbereichen sowie die am häufigsten eingesetzten IT-Systeme dargestellt. Das Verbesserungspotenzial wurde durch eine Likert-Skala von 1 („sehr gering“) bis 5 („sehr stark“) eingeschätzt (vgl. Kapitel 2.1).

Allen Planungsbereichen wird mindestens ein mittleres Verbesserungspotenzial zugewiesen. Besonders hoch wird es bei der werksbezogenen Absatzplanung sowie bei der Produktionsgrobplanung auf Werks- und Netzwerkebene eingeschätzt. Auf operativer Ebene wird insbesondere der Dispooptimierung das größte Verbesserungspotenzial zugesprochen. Das geringste Potenzial wird von dem Teilnehmenden bei der netzwerkbezogenen Absatzplanung gesehen.

Bei den eingesetzten IT-Systemen nimmt das ERP-System in fast allen Planungsbereichen den höchsten Stellenwert ein. Eine Ausnahme bildet die netzwerkbezogene Produktionsgrobplanung, die am häufigsten mit Excel unterstützt wird. An zweiter Stelle stehen insgesamt die APS-Systeme, die vor allem in operativen Planungsaufgaben nahezu gleichauf mit den ERP-Systemen eingesetzt werden. Darüber hinaus kommt Excel insbesondere in operativen Bereichen häufig zum Einsatz.

Neben den eingesetzten IT-Systemen wurden die Teilnehmenden auch zu den bevorzugten Ansätzen für die Gestaltung der IT-Systemlandschaft befragt. Dabei standen zwei Fragen im Mittelpunkt: zum einen die Wahl zwischen Best-of-Breed und One-Fits-All, zum anderen die Entscheidung zwischen dem Einsatz von Standardfunktionalitäten, unternehmensspezifischen Anpassungen oder Eigenentwicklungen. In **Bild 4** sind die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße dargestellt.

Größere Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitenden präferieren den Best-of-Breed-Ansatz und setzen stärker auf Standardfunktionalitäten der IT-Systeme. Kleine und mittlere Unternehmen bewerten hingegen die unternehmensspezifische Anpassung der eingesetzten Systeme als besonders vielversprechend, während sich in der Wahl zwischen Best-of-Breed und One-fits-All keine klare Tendenz erkennen lässt. Eigenentwicklungen gelten insgesamt als wenig erfolgversprechend, lediglich kleinere Unternehmen bewerten diese in einem geringen Anteil als vielversprechend.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle betrachteten Planungsaufgaben von den Befragten als verbesserungsbedürftig eingestuft werden, wobei die taktischen Aufgaben ein besonders hohes Optimierungspotenzial aufweisen. Die Produktionsplanung wird überwiegend durch ERP-Systeme unterstützt, während APS-Systeme und Excel insbesondere im operativen Bereich ergänzend zum Einsatz kommen. Hinsichtlich der IT-Systemlandschaft präferieren rund die Hälfte der Unternehmen einen Best-of-Breed-Ansatz, wobei dieser insbesondere bei großen Unternehmen dominiert.

3.3 Zukünftige Technologien

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Studie vorgestellt, die sich mit den zukünftigen Technologien befassen. Es wurden die typischen Aufgaben eines oder einer Produktionsplanenden (vgl. Kapitel 2.2) hinsichtlich des Automatisierungspotenzials sowie der möglichen Beeinflussung durch Machine

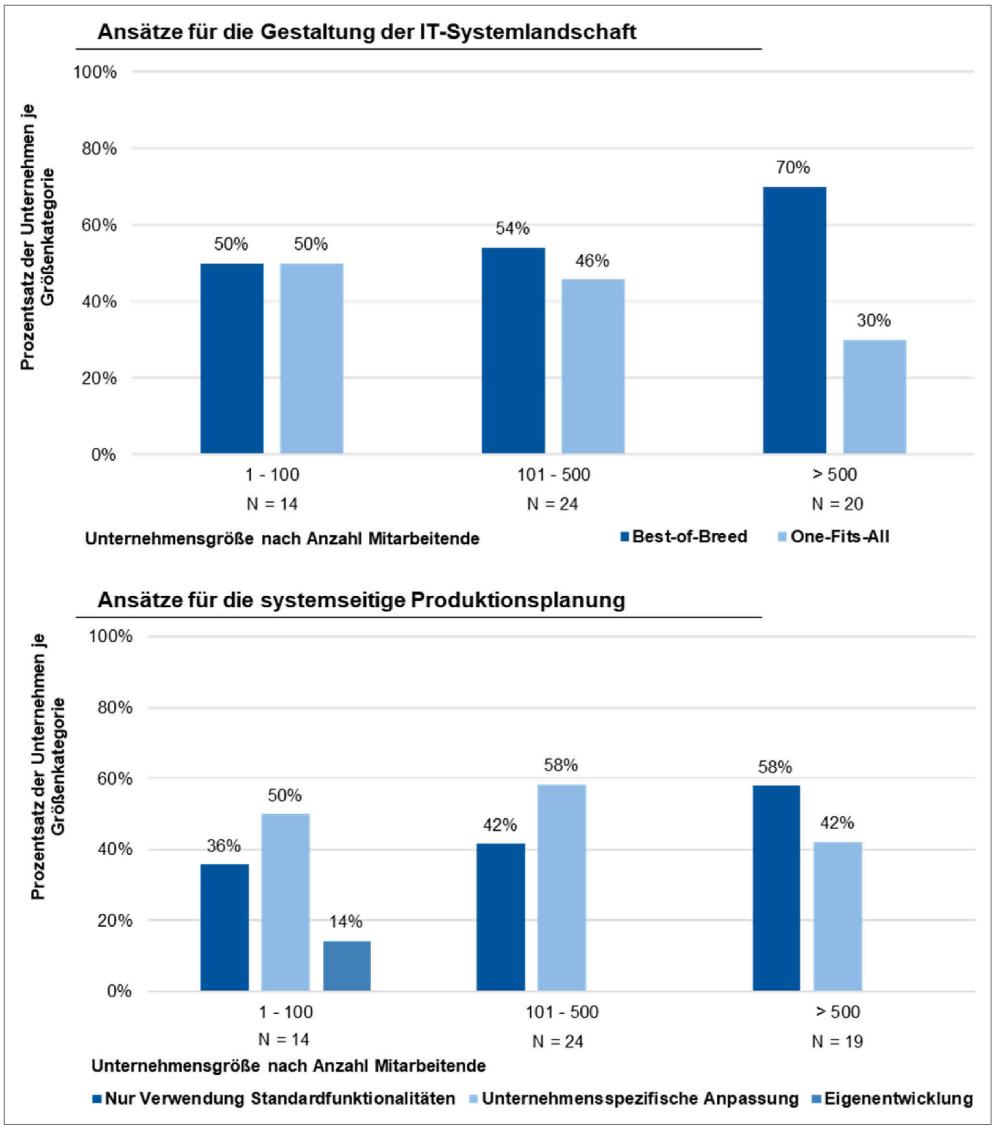

Bild 4 Ansätze der IT-Systemlandschaft. *Grafik: Grafik: eigene Darstellung*

Learning und Large Language Models eingeschätzt. Die Befragung wurde jeweils für den heutigen Zeitpunkt und mit Blick auf die nächsten fünf Jahre durchgeführt. Darüber hinaus wurden relevante Hindernisse für die Automatisierung und den Einsatz dieser Technologien ermittelt.

Zunächst ist die Bewertung des Automatisierungspotenzials der einzelnen Aufgaben in **Bild 5** dargestellt.

Die Teilnehmenden erwarten im Durchschnitt, dass das Automatisierungspotenzial in den kommenden fünf Jahren um 38 Prozentpunkte ansteigen wird. Dieser Anstieg wird als relativ gleichmäßig verteilt eingeschätzt, lediglich die Aufgabe der Ableitung von Maßnahmen zur langfristigen Verbesserung sticht mit einem Zuwachs von 47 Prozentpunkten hervor. Am höchsten werden künftig das Sammeln, Speichern und Versenden von planungsrelevanten Informationen bewertet, während die Festlegung von Zielgrößen und Strategien auch in fünf Jahren das geringste Automatisierungspotenzial aufweist. Die relativen Positionen der Aufgaben bleiben damit im Zeitverlauf stabil.

Die Bewertung des Einflusses von Machine Learning auf die Aufgaben der Produktionsplanung ist in **Bild 6** abgebildet.

Heute wird der Einfluss insgesamt als gering eingeschätzt, in den kommenden fünf Jahren jedoch um durchschnittlich 53 Prozentpunkte höher bewertet. Am stärksten betroffen ist die Analyse der Planungsqualität, während die Festlegung von Zielgrößen und Strategien sowohl heute als auch in Zukunft die geringste Beeinflussung durch Machine Learning zugesprochen wird. Den größten relativen Zuwachs verzeichnet die Umplanung von Produktionsplänen, die in fünf Jahren auf ein vergleichbares Niveau mit der Sammlung von Informationen und der Ableitung von Maßnahmen zur langfristigen Verbesserung ansteigt. Damit gewinnt Machine Learning insbesondere für komplexe operative Aufgaben an Bedeutung.

In **Bild** 7 ist die Bewertung der Beeinflussung durch Large Language Models dargestellt.

Der heutige Einfluss wird insgesamt noch als sehr gering beurteilt, soll jedoch in den kommenden fünf Jahren im Durchschnitt um 70 Prozentpunkte steigen. Besonders stark betroffen erscheinen die Aufgaben *Sammlung und Versenden von Informationen* sowie die *Ableitung von Maßnahmen zur langfristigen Verbesserung*. Letztere weist mit 81 Prozentpunkten den höchsten Anstieg aller Aufgaben auf. Trotz des derzeit niedrigen Ausgangsniveaus zeigen die Ergebnisse, dass Large Language Models vor allem bei informationsbasierten Tätigkeiten ein großes Potenzial entfalten können.

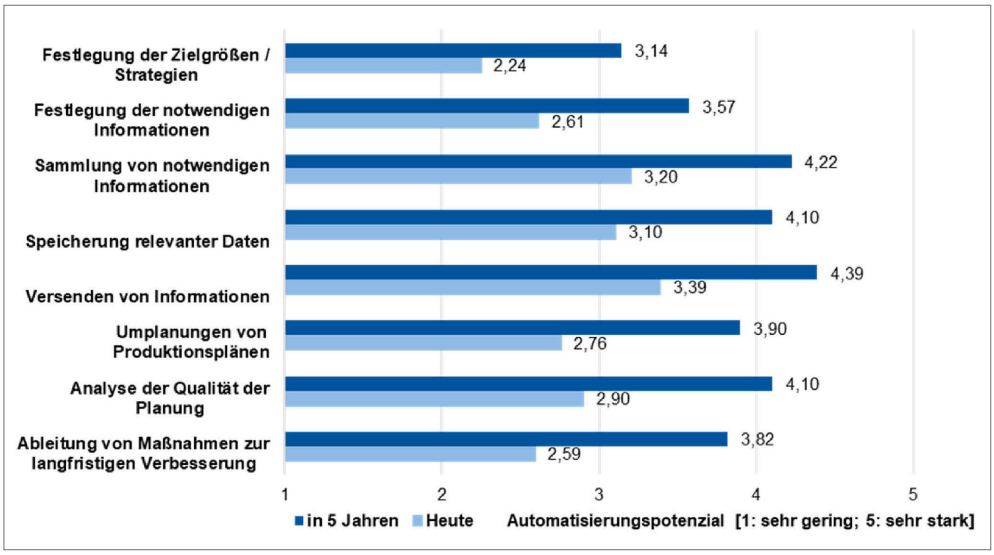

Bild 5 Automatisierungspotenzial
Grafik: eigene Darstellung

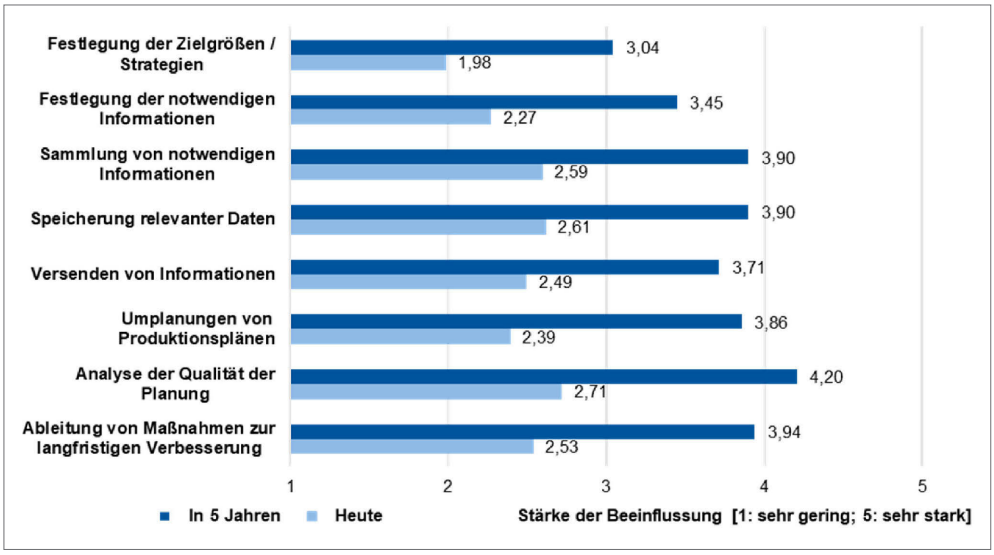

Bild 6 Potenzial Machine Learning
Grafik: eigene Darstellung

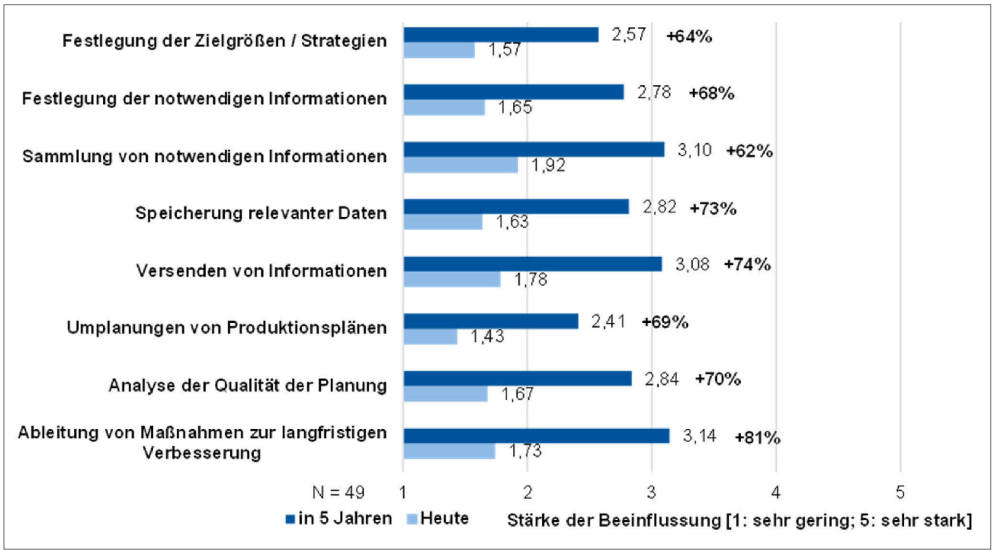

Bild 7 Potenzial Large Language Models
Grafik: eigene Darstellung

Die Einschätzung der Hindernisse für die Einführung und Nutzung von Automatisierung, Machine Learning und Large Language Models sind in **Bild 8** dargestellt.

Die durchschnittlichen Einschätzungen der Hindernisse liegen in allen drei Bereichen auf einem ähnlichen Niveau, wobei die Spannweite zwischen den Faktoren gering ist. Als bedeutendstes

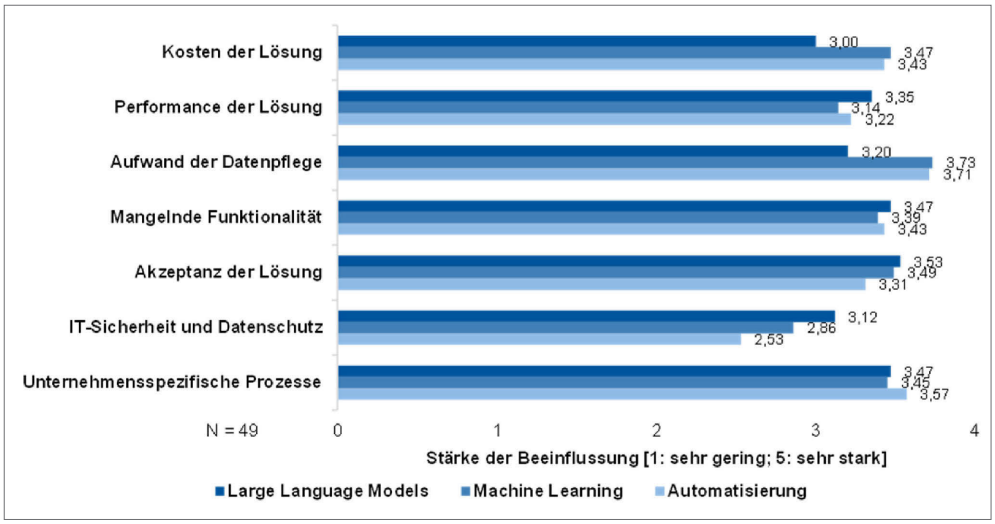

Bild 8 Hindernisse für die Einführung von Large Language Models, Machine Learning und Automatisierungen.
Grafik: eigene Darstellung

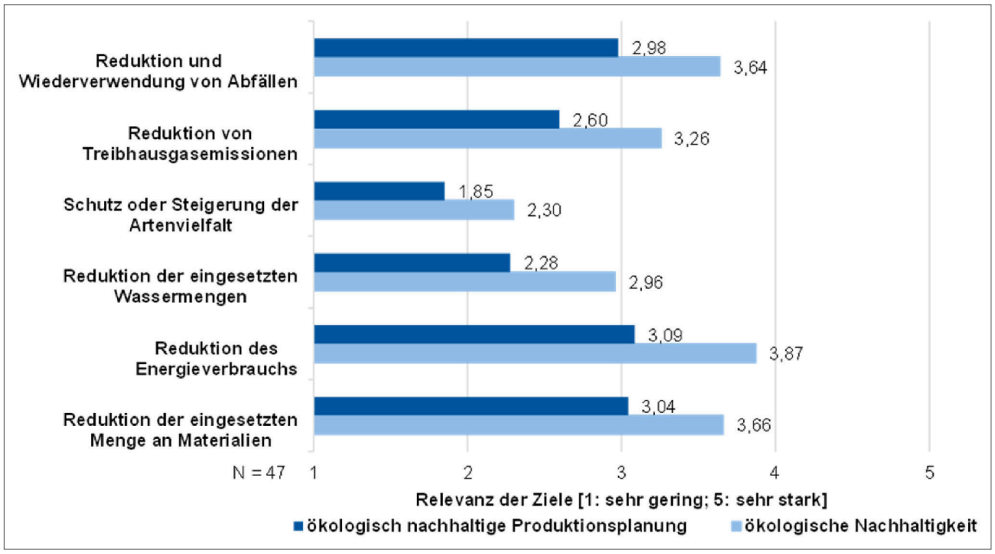

Bild 9 Ziele ökologischer Nachhaltigkeit.
Grafik: eigene Darstellung

Hindernis wird der Aufwand der Datenpflege angesehen, insbesondere für Automatisierung und Machine Learning. Beim Einsatz von Large Language Models folgt dicht dahinter die Akzeptanz der Lösung. IT-Sicherheit und Datenschutz werden dagegen als vergleichsweise weniger relevant bewertet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle betrachteten Aufgaben der Produktionsplanung ein deutlich steigendes Automatisierungspotenzial aufweisen. Machine Learning wird in den kommenden fünf Jahren insbesondere operative Aufgaben wie die Umplanung von Produktionsplänen stärker beeinflussen, während Large Language Models vor allem bei informationsbasierten Tätigkeiten wie Sammlung und Versenden von Daten sowie bei der Ableitung von Maßnahmen hohe Relevanz entfalten können. Die größten Herausforderungen für die Einführung dieser Technologien liegen weniger in der Akzeptanz oder im Datenschutz, sondern in erster Linie im hohen Aufwand der Datenpflege.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Teilnehmenden ein deutlich steigendes Automatisierungspotenzial für alle betrachteten Aufgaben der Produktionsplanung erwarten. Machine Learning wird in den kommenden fünf Jahren insbesondere operative Aufgaben wie die Umplanung von Produktionsplänen stärker beeinflussen, während Large Language Models vor allem bei informationsbasierten Tätigkeiten wie der Sammlung und dem Versenden von Daten sowie bei der Ableitung von Maßnahmen hohe Relevanz entfalten könnten. Die größten Herausforderungen für die Einführung dieser Technologien werden nicht in der Akzeptanz oder im Datenschutz gesehen, sondern vor allem im hohen Aufwand der Datenpflege.

3.4 Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Studie in den Bereichen Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft beschrieben. Zunächst wird die Bewertung der Ziele der ökologischen Nachhaltigkeit, im Kontext des gesamten Unternehmens wie auch im Kontext der Produktionsplanung betrachtet, vorgestellt. Nachfolgend wird die Einschätzung der Ziele im Kontext der Produktionsplanung für in 5 Jahren präsentiert. Anschließend werden die Ergebnisse zu den Herausforderungen der zirkulären Produktionsplanung vorgestellt.

In **Bild 9** ist die eingeschätzte Bedeutung der Ziele der ökologischen Nachhaltigkeit im unternehmensweiten Kontext und im spezifischen Bereich der Produktionsplanung dargestellt.

Auf Unternehmensebene wird die insgesamt wahrgenommene Relevanz der Ziele als höher eingeschätzt als im Bereich der Produktionsplanung, wobei die Rangfolge der Ziele unverändert

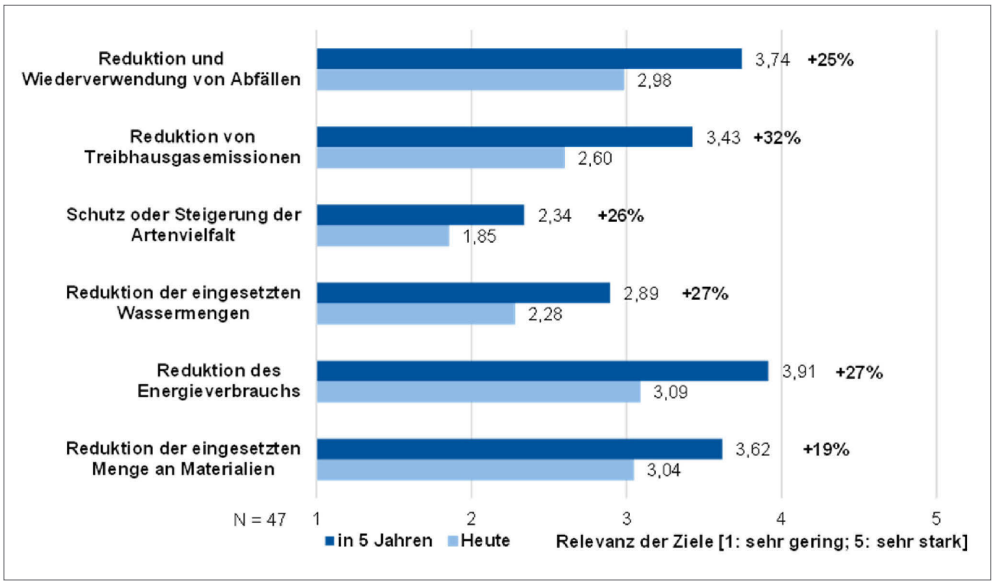

Bild 10 Entwicklung der Zielbewertung ökologisch nachhaltiger Produktionsplanung.
Grafik: eigene Darstellung

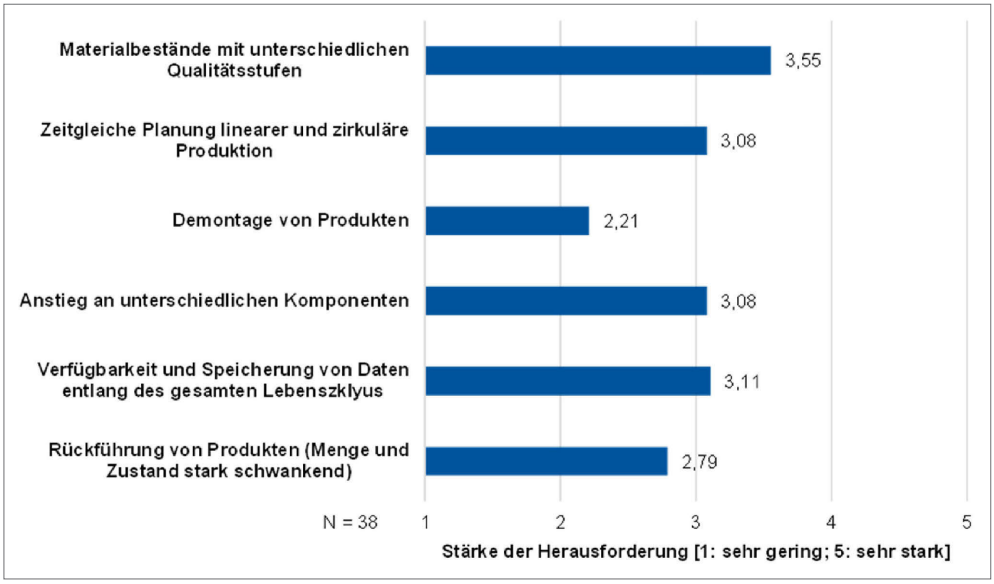

Bild 11 Herausforderungen der zirkulären Produktionsplanung über den gesamten Lebenszyklus sowie die Rückführung von Produkten werden als mittlere Herausforderungen mit ähnlicher Gewichtung bewertet.
Grafik: eigene Darstellung

bleibt. Am wichtigsten werden die Ziele *Reduktion des Energieverbrauchs*, *Reduktion des Materialeinsatzes* und Reduktion von Abfällen bewertet. Als im mittleren Maße relevant gelten die Reduktion von Treibhausgasemissionen sowie der Einsatz von Wasser, während dem Schutz oder der Steigerung der Artenvielfalt sehr geringe Bedeutung beigemessen wird.

In **Bild 10** sind die Ziele der ökologisch nachhaltigen Produktionsplanung zusätzlich im zeitlichen Verlauf dargestellt, indem die Einschätzungen für heute und für die kommenden fünf Jahre gegenübergestellt werden.

Alle Ziele werden von den Teilnehmenden als zunehmend relevant eingeschätzt. Den größten Anstieg sehen sie bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen, die um 32 Prozentpunkte zunimmt. Die geringste Zunahme wird beim Ziel der Reduktion des Materialeinsatzes vermerkt, dessen Wert um 19 Prozentpunkte steigt. Trotz dieses insgesamt positiven Trends wird erwartet, dass Artenvielfalt und Wassereinsatz auch zukünftig eine vergleichsweise geringe Bedeutung behalten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse im Bereich der Kreislaufwirtschaft dargestellt, wobei die Einschätzungen der Befragten zu den zentralen Herausforderungen einer zirkulären Produktionsplanung aufgezeigt werden. Die Einschätzungen sind in **Bild 11** dargestellt.

Die Teilnehmenden betrachten den Umgang mit Materialbeständen unterschiedlicher Qualitätsstufen als die größte Herausforderung einer zirkulären Produktionsplanung. Als geringste Herausforderung wird die Demontage von Produkten eingeschätzt. Die zeitgleiche Planung linearer und zirkulärer Produktionsprozesse, der Anstieg von Komponenten, die Verfügbarkeit und Speicherung von Daten

Zusammenfassend wird deutlich, dass ökologische Nachhaltigkeit auf Unternehmensebene von den Teilnehmenden als wichtiger eingeschätzt wird als in der Produktionsplanung, während die Rangfolge der Ziele übereinstimmt. Im zeitlichen Vergleich wird insbesondere die Reduktion von Treibhausgasemissionen als zunehmend relevant bewertet. Für die zirkuläre Produktionsplanung werden vor allem die heterogenen Materialbestände als große Herausforderung gesehen, während andere Aspekte als mittlere bis geringe Relevanz eingeschätzt werden.

4 Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse entlang der vier Teilforschungsfragen diskutiert. Ziel ist es, die Erkenntnisse einzuordnen und ihre Bedeutung für die zukünftige Produktionsplanung herauszustellen.

1. *Teilforschungsfrage*: *Welche Anforderungen ergeben sich für die zukünftige Gestaltung der IT-Systemlandschaft im Kontext der Produktionsplanung?*

Die erste Teilforschungsfrage befasst sich mit den Anforderungen an die zukünftige IT-Systemlandschaft im Kontext der Produktionsplanung. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass gegenwärtig in vielen Unternehmen nach wie vor eine monolithische Ausprägung dominiert, die stark durch das ERP-System geprägt ist. Gleichzeitig wird deutlich, dass erhebliche Optimierungspotenziale bestehen, die durch ergänzende oder alternative Systeme ausgeschöpft werden können. Besonders APS-Systeme haben bereits an Bedeutung gewonnen, etwa im Bereich der Fertigungsauftragsplanung. Große Unternehmen verfolgen zunehmend einen Best-of-Breed-Ansatz, um durch spezialisierte Systeme eine höhere Funktionalität zu erreichen, während grundlegende Standardfunktionalitäten weiterhin genutzt werden. Eine zentrale Voraussetzung hierfür ist die vereinfachte Integration der Systeme, um Einstiegshürden für Unternehmen zu reduzieren und somit das Zielbild einer modularen IT-Systemlandschaft nach dem Best-of-Breed-Ansatz zu realisieren. So kann die Materialdisposition weiterhin im ERP-System erfolgen, während die Auftragsoptimierung durch APS und die taktische Planung durch SCM-Systeme unterstützt wird. Für die Zukunft deutet sich damit eine mehrteilige und integrierte IT-Systemlandschaft an, in der unterschiedliche Systeme gezielt bestimmte Aufgaben übernehmen.

2. *Teilforschungsfrage*: *Wie verändert sich die Rolle des oder der Planenden?*

Die zweite Teilforschungsfrage untersucht die Veränderung der Rolle der Produktionsplanenden durch den stärkeren Einfluss von Technologie. Die Ergebnisse zeigen, dass sich diese Rolle grundlegend wandeln wird. Routinetätigkeiten wie das Speichern oder Versenden von Informationen werden zunehmend automatisiert. Es wird erwartet, dass Umplanungen künftig in stärkerem Maße durch KI-Systeme unterstützt oder vollständig übernommen werden. Die Ergebnisse legen zudem nahe, dass strategische Aufgaben, wie etwa die Festlegung von Zielen oder die Definition relevanter Planungsinformationen, auch in Zukunft nicht vollständig automatisiert werden können und daher ihre Bedeutung behalten. Produktionsplanung entwickelt sich dabei zu einem selbstständig agierenden, vernetzten und echtzeitfähigen System, das auf Basis von KI nicht nur Produktionsdaten analysiert, sondern auch Prognosen zu Ressourcen, Durchlaufzeiten und Prozessen erstellt und aus menschlichen Entscheidungen lernt. In diesem Sinne ist Produktionsplanung zunehmend als adaptives System zu verstehen, das sich dynamisch an neue Bedingungen anpasst. Zukünftig werden Planende daher weniger im System arbeiten, sondern vielmehr am System, indem sie dieses kontinuierlich überwachen, anpassen und verbessern. Der klassische tägliche Planungslauf sowie operative Kommunikationsaufgaben verlieren dadurch an Relevanz. Die Rolle wandelt sich vom operativen Planenden hin zum strategischen Optimierenden der Planungssysteme.

3. *Teilforschungsfrage*: *Welchen Einfluss hat die Nachhaltigkeitswende auf die Produktionsplanung?*

Die dritte Teilforschungsfrage befasst sich mit dem Einfluss der Nachhaltigkeitswende. Hier zeigt sich, dass die Produktionsplanung bislang nur eine nachgelagerte Rolle bei der Erreichung der unternehmerischen Nachhaltigkeitsziele spielt. Nachhaltigkeit wird zwar insgesamt eine hohe Bedeutung zugewiesen, jedoch wird diese in der Planung derzeit nachrangig eingeschätzt. Ein potenzieller Grund hierfür liegt darin, dass andere Maßnahmen, etwa in der Beschaffung oder im Energiemanagement, schneller und unkomplizierter umgesetzt werden können. Für die Zukunft erwarten die Unternehmen jedoch, dass Nachhaltigkeitsgrößen wie Energieverbrauch, Materialeinsatz, Abfallaufkommen und Emissionen stärker berücksichtigt werden müssen. Damit wird Nachhaltigkeit in der Produktionsplanung künftig an Bedeutung gewinnen, insbesondere durch das parallele Abbilden der Planungsergebnisse auf ökonomische und ökologische Zielgrößen.

4. *Teilforschungsfrage*: *Wie wird die Produktionsplanung durch die Kreislaufwirtschaft beeinflusst?*

Die vierte Teilforschungsfrage betrachtet den Einfluss der Kreislaufwirtschaft. Erste Herausforderungen werden von den Unternehmen bereits als relevant erkannt, im Besonderen die Berücksichtigung von Materialbeständen in unterschiedlichen Qualitätsstufen sowie die Verfügbarkeit und Speicherung von Daten über den gesamten Lebenszyklus. Um diese Aspekte sinnvoll in die Planung einzubeziehen, müssten beispielsweise Qualitätsmatrizen integriert werden. Gleichzeitig zeigt sich jedoch, dass viele Unternehmen bislang nicht aktiv mit höherwertigen R-Strategien wie Remanufacturing oder Refurbishment arbeiten. Sie sind daher noch nicht in vollem Umfang mit den spezifischen Herausforderungen der zirkulären Produktionsplanung konfrontiert. Vor diesem Hintergrund lassen sich aktuell noch keine eindeutigen Aussagen über die Rolle der Kreislaufwirtschaft in der Produktionsplanung ableiten. Vielmehr besteht weiterer Forschungsbedarf, insbesondere durch die Untersuchung von Unternehmen, die bereits aktiv zirkuläre Strategien umsetzen.

Abschließend wird die zentrale Forschungsfrage der Studie beantwortet: Wie ist die Produktionsplanung der Zukunft ausgestaltet?

Die Produktionsplanung der Zukunft wird durch intensivere technologische Unterstützung, integrierte IT-Systeme und eine veränderte Rolle der Planenden geprägt sein. Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft sind bisher von geringer Bedeutung, ihre Relevanz wird jedoch zunehmen. Damit ergibt sich für die übergeordnete Forschungsfrage das Bild einer Produktionsplanung, die in Zukunft durch eine integrierte IT-Systemlandschaft, durch Planende als Gestalterinnen und Gestalter der Planungsumgebung und durch die stärkere Berücksichtigung ökologischer Zielgrößen gekennzeichnet ist, zugleich besteht insbesondere im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft weiterer Forschungsbedarf.

5 Limitationen

Im Folgenden werden die Limitationen der Studie kritisch reflektiert mit dem Ziel, einen transparenten Diskurs in der Forschung zu ermöglichen. Zunächst ist die Gesamtzahl der Teilnehmenden begrenzt, was die Aussagekraft und Allgemeingültigkeit der Resultate einschränkt. Für einige spezifische Planungsaufgaben lagen zudem nur sehr wenige Antworten vor, da aus-

schließlich Personen berücksichtigt wurden, die diese Aufgaben tatsächlich durchführen.

Darüber hinaus ist eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse durch die Zusammensetzung der Stichprobe nicht auszuschließen. Bestimmte Branchen, namentlich der Maschinenbau und die Metallerzeugung und -bearbeitung, waren stärker vertreten als andere. Hinzu kommt, dass überwiegend Planende aus der Produktionsplanung befragt wurden, wohingegen IT-Verantwortliche und deren Perspektive auf Systemintegration und technische Umsetzung nicht einbezogen wurden. Aufgrund der beschränkten Stichprobengröße war es zudem nicht möglich, aussagekräftige Branchenvergleiche durchzuführen.

Die Umfrage wurde im Vorfeld getestet, allerdings nicht von vollkommen neutralen Personen. Dies birgt die Gefahr, dass einzelne Fragen missverständlich formuliert oder unterschiedlich interpretiert worden sein könnten. Zudem beruhen die Ergebnisse überwiegend auf subjektiven Einschätzungen der Befragten und nicht auf objektiv messbaren Kennzahlen. Dabei ist auch ein Antwort-Bias denkbar, da Unternehmen dazu neigen könnten, Themen wie Nachhaltigkeit oder Kreislaufwirtschaft positiver darzustellen, als sie in der Realität umgesetzt werden. Schließlich ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine Momentaufnahme handelt. Angesichts der dynamischen technologischen Entwicklungen sowie regulatorischen Veränderungen kann die Relevanz einzelner Ergebnisse in absehbarer Zeit an Aktualität verlieren.

Trotz dieser Einschränkungen mindern die genannten Limitationen nicht den Wert der Untersuchung. Vielmehr verdeutlichen sie die Grenzen der Aussagekraft und unterstreichen die Notwendigkeit, zukünftige Studien mit einer breiteren Datenbasis und weiter differenzierten Fragestellungen durchzuführen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Untersuchung zielt darauf ab, zentrale Erkenntnisse zur zukünftigen Ausgestaltung der Produktionsplanung zu gewinnen. Im Fokus stehen die Analyse der Bereiche IT-Systemlandschaft, zukünftiger Technologien sowie Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft.

Die Ergebnisse zeigen ein deutliches Verbesserungspotenzial in allen Bereichen der Planung, wobei insbesondere die taktische Ebene optimierungsbedürftig ist. Die heutige Planung erfolgt überwiegend im ERP-System, während ein Teil der Unternehmen für operative Aufgaben bereits auf spezialisierte APS-Lösungen zurückgreift. Gerade große Unternehmen verfolgen dabei verstärkt einen Best-of-Breed-Ansatz. Mit Blick auf zukünftige Technologien wird die Automatisierbarkeit der Produktionsplanung hoch eingeschätzt. Besonders Machine Learning gilt als einflussreich, etwa bei der Analyse der Planungsqualität, während Large Language Models aktuell eine untergeordnete Rolle spielen. Nachhaltigkeit rückt zunehmend in den Vordergrund, wobei die Reduktion von Energie- und Materialeinsatz sowie die Verringerung von Abfallmengen die zentralen Schwerpunkte bilden. Perspektivisch wird auch die Senkung von Treibhausgasemissionen stärker in die Planung integriert. Als eine besondere Herausforderung in der Kreislaufwirtschaft erweist sich die Berücksichtigung unterschiedlicher Qualitätszustände von Materialien.

Die Untersuchung verdeutlicht damit, dass die Produktionsplanung zukünftig auf mehrere Systeme verteilt sein wird und nicht mehr ausschließlich im ERP-System stattfindet. Sie entwickelt sich zu einem automatisierten Prozess, bei dem Machine Learning und perspektivisch auch Large Language Models eine tragende Rolle übernehmen. Gleichzeitig trägt sie zu einer nachhaltigen Wertschöpfung bei, indem Energie- und Materialeinsatz optimiert und Abfälle sowie Emissionen reduziert werden. Insgesamt liefern die Studienergebnisse eine Orientierung für die Weiterentwicklung der Produktionsplanung und eröffnen Unternehmen konkrete Ansatzpunkte für zukünftige Verbesserungen.

Auf Basis dieser Ergebnisse lassen sich verschiedene Ansatzpunkte für weiterführende Untersuchungen ableiten: Besonders das identifizierte Verbesserungspotenzial in den Planungsbereichen verdeutlicht, dass grundlegende Herausforderungen der Produktionsplanung genauer untersucht werden sollten, um vorhandene Effizienzreserven systematisch zu erschließen. Ebenso erscheint eine Wiederholung der Studie sinnvoll, um technologische Erwartungen mit den tatsächlichen Entwicklungen abzugleichen. Darüber hinaus bietet ein vertiefender Fokus auf Unternehmen, die Kreislaufwirtschaft bereits im industriellen Maßstab umsetzen, die Möglichkeit, deren spezifische Anforderungen an die Planung gezielt zu erfassen. Die Studie identifiziert somit weiteren Forschungsbedarf, der künftig systematisch adressiert werden muss, um die Produktionsplanung zielgerichtet weiterzuentwickeln und ihre Rolle als Schlüsselfaktor für eine effiziente, technologische und nachhaltige Wertschöpfung zu stärken.

LITERATUR

[1] Falck, A.-C.; Örtengren, R.; Rosenqvist, M. et al.: Criteria for Assessment of Basic Manual Assembly Complexity. Procedia CIRP 44 (2016), S. 424–428. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.152

[2] Schuh, G.; Dölle, C.: Sustainable Innovation. Nachhaltig Werte schaffen. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 2021

[3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hrsg.): Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie. Stand: September 2024. Internet: https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/nationale_kreislaufwirtschaftsstrategie_bf.pdf. Zugriff am: 08.09.2025

[4] Schuh, G.; Brandenburg, U.; Cuber, S.: Aufgaben. In: Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung; Bd 1: Grundlagen der PPS. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 2012, S. 29–81

[5] Schmidt, C.; Meier, C.; Kompa, S.: Informationssysteme für das Produktionsmanagement. In: Schuh, G.; Schmidt, C. (Hrsg.): Produktionsmanagement. Reihe Handbuch Produktion und Management; Bd. 5. Berlin: Springer Vieweg 2014, S. 281–378

[6] Kurbel, K.: ERP und SCM. Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management in der Industrie. 9., überarb. u. erw. Auflage. Berlin [u. a.]: De Gruyter Verlag 2021

[7] Hanschke, I.: Strategisches Management der IT-Landschaft. Ein praktischer Leitfaden für das Enterprise Architecture Management. 4., aktualis. u. erw. Auflage. München: Hanser 2023

[8] Schönsleben, P.: Integrales Informationsmanagement. Informationssysteme für Geschäftsprozesse – Management, Modellierung, Lebenszyklus und Technologie. 2., vollst. überarb. u. erw. Auflage. Berlin [u. a.]: Springer Verlag 2001

[9] Frohm, J.; Lindström, V.; Stahre, J. et al.: Levels of Automation in Manufacturing. Ergonomia – International Journal of Ergonomics and Human Factors 30(2008)3, pp. 1–28

[10] Horvitz, E.; Mulligan, D.: Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science (New York, N.Y.) 349(2015)6245, pp. 253–255

[11] Vaswani, A.; Shazeer, N.; Parmar, N. et al.: Attention is All you Need. In: NIPS'17: Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, Long Beach (CA)/USA, 2017, pp. 6000–6010

[12] GRI (Hrsg.): Global Sustainability Standards Board: Konsolidierte GRI-Standards. Stand: 2021. Internet: https://www.triple-innova.de/fileadmin/user_upload/GRI-Standards_Konsolidierte-Fassung_2021_231018.pdf&ved=2ahUKEwizkMDJpdOPAxUwSfEDHZK4GZEQFnoECB0QAQ&usg=AOvVaw2nyUs4FCsK-EsRFmwFALP. Zugriff am: 08.09.2025.

[13] Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E. et al.: Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. Policy Report. Stand: Januar 2017.

Internet: https://www.pbl.nl/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544pdf&ved=2ahUKEwi1n7_HptOPAxXDRfEDHbsZJ6kQFnoECBkQAQ&usg=AOv-Vaw1z-VcYxkzpjekysibpikHo. Zugriff am: 08.09.2025

Jan Joppien, M.Sc.
jan.joppien@fir.rwth-aachen.de

Martin Perau, M.Sc., M.Sc.

Tom Artelt, B.Sc.

Tobias Schröer, M.Sc.
FIR e. V. an der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen
www.fir.rwth-aachen.de

Katharina Berwing, M.Sc.
FIR Aachen GmbH
Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen

Dr. Kirsten Hoffmann
DUALIS GmbH IT Solution
Breitscheidstraße 36, 01237 Dresden
www.dualis-it.de

Lukas Herfort, B.Sc.
Asprova GmbH
Charlotte-Bamberg-Str. 4, 35578 Wetzlar
www.asprova.eu

Matthias Pfeiffer, B.Eng.
Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Str. 30, 52249 Eschweiler
www.wegenerwelding.de

LIZENZ

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