

Effizienter und effektiver Fabriken planen durch die Reduktion individueller Planungsleistungen

Plattformen für die Fabrikplanung

J. Dackweiler, P. Burggräf, T. Adlon, M. Dannapfel

Kundenorientierung und Individualität sind die Praxis in Fabrikplanungsprojekten. Die Verfehlung von Kosten- und Zeitzielen sind eine resultierende Konsequenz aufgrund des prototypischen Projektcharakters. Durch eine Studie am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) wurde die Individualität von Fabriken in Deutschland anhand ausgewählter Fabrikmerkmale untersucht. Der Beitrag präsentiert die Ergebnisse und skizziert einen Ansatz zur Verwendung standardisierter Planungsergebnisse in der Fabrikplanung anhand von typenspezifischen Plattformen.

STICHWÖRTER

Fabrikplanung, Standardisierung, Plattform

1 Einleitung

Die Fabrikplanung besitzt aufgrund ihrer Auswirkungen auf wirtschaftliche, soziale und gesellschaftliche Aspekte langfristig eine hohe strategische Relevanz für die Zukunft produzierender Unternehmen [1]. Die Praxis zeigt, dass Fabrikplanungsprojekte Kosten- und Zeitziele verfehlen [2]. Die Projektdurchführung startet mit einem Kundenauftrag und erfolgt unter enger Einbindung des Kunden [3]. Fabrikplanungsprojekte besitzen Einmaligkeitscharakter [4]. Besonders bei kleinen und mittleren Unternehmen mangelt es aufgrund der seltenen Durchführung an Wissen bezüglich Best-Practices und etablierten Lösungen oder Methoden [5]. Es erfolgt eine umfangreiche Anforderungsaufnahme und Lösungserarbeitung mit hohen Zeit- und Kostenaufwendungen [3].

Die Übersetzung von Anforderungen in individuelle Lösungen erfordert eine hohe Anzahl an Planungsbeteiligten, was zu hohen Koordinationsaufwänden und vielen Schnittstellen mit einhergehenden Schnittstellenverlusten führt [4, 6, 7]. Die Erarbeitung individueller Ergebnisse kann als Ursache für die Zielverfehlung verstanden werden. Um die Notwendigkeit der Individualität von Fabriken zu untersuchen, wurde am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen University eine quantitative empirische Studie durchgeführt. Die Ergebnisse werden in diesem Beitrag vorgestellt, interpretiert und abschließend ein Ansatz zur Reduktion der individuellen Planungsleistungen in der Fabrikplanung vorgestellt.

Platforms as a new approach for factory planning

Customer orientation and individuality in factory planning projects are the practice nowadays. Missing cost and time targets are a resulting consequence. The WZL has conducted a study to investigate the individuality of factories in Germany by looking at selected factory characteristics. The paper presents these results and outlines an approach for the use of standardized planning results in factory planning based on type-specific platforms.

2 Factory Survey Germany – Untersuchung von Planungsergebnissen realisierter Fabriken

Das Studiendesign verfolgte das Ziel, Fabrikplanungsprojekte in Bezug auf das in die Realität umgesetzte Planungsergebnis zu untersuchen, um Ähnlichkeiten sowie Unterschiede in der Ausgestaltung der physischen Objekte zu identifizieren. Hierzu wurden deutschlandweit realisierte Fabrikobjekte anhand ausgewählter Merkmale empirisch untersucht. Nachfolgend sind der Studienaufbau, die Studienergebnisse sowie eine Interpretation der Ergebnisse dargestellt.

2.1 Factory Survey Germany – Studienaufbau

Die Studie besitzt einen quantitativen Charakter und wurde in zwei inhaltliche Bereiche unterteilt. Der erste Themenbereich befasst sich anhand von 10 Fragestellungen mit der Unternehmenscharakteristik der Teilnehmenden und deren Anforderungen an die Fabrik. Die Teilnehmenden wurden zu Angaben bezüglich der Unternehmensbranche, Anzahl an Mitarbeitenden, prozentuale Funktionsflächenaufteilung, Produktkategorie (zum Beispiel Stückgut, Schüttgut), Produktionsstufen (zum Beispiel Einzelteil, Baugruppen, Systeme), Produktionsmengen, Produktstandardisierungsgrad, Produktgewicht, Produktgröße und Produktkosten befragt, um das vorliegende Produkt- und Prozessspektrum zu erfassen. Der zweite Bereich dient der Datenerhebung durch Abfrage von Merkmalsausprägungen für bestimmte Fabrikmerkmale. Die Fabrikmerkmale beschreiben beispielsweise Logistik-

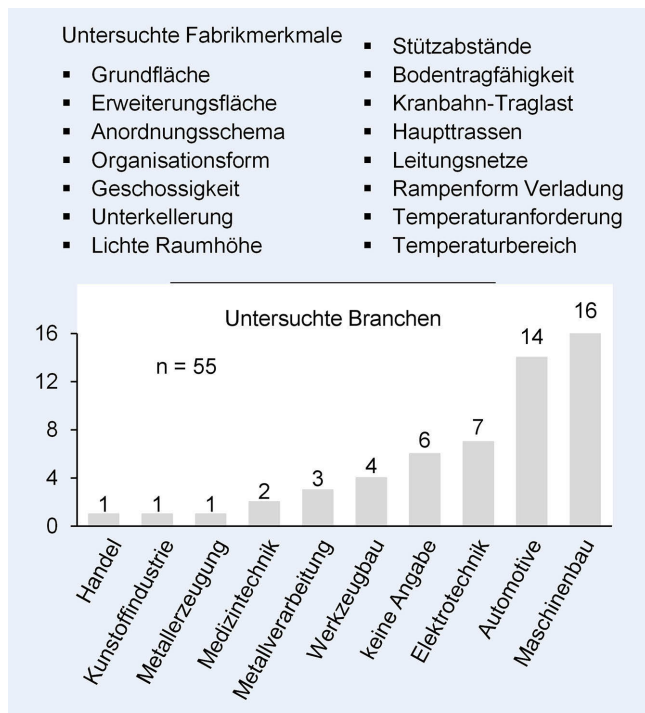


Bild 1. Übersicht untersuchter Fabrikmerkmale und Branchen. Grafik: WZL

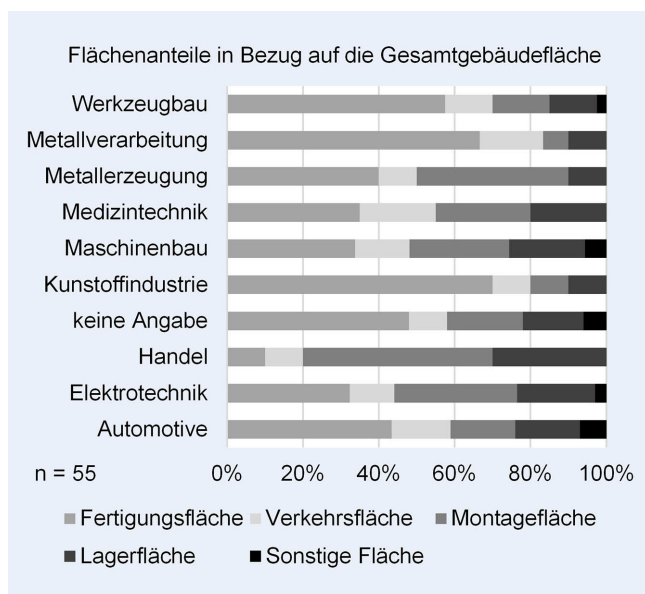


Bild 2. Übersicht vorliegender Verteilung der Flächennutzung. Grafik: WZL

systeme, Produktionsanordnungen, Raumanforderungen, Immissionen und Emissionen, Raumstrukturen, verwendete Technologien, die technische Gebäudeausstattung oder die Auslegung von Verkehrswegen. Die abzufragenden Fabrikmerkmale entstammen einer systematischen Literaturrecherche fabrikplanerischer Standardwerke [3, 8–15]. Bei der Recherche wurde eine theoretische Sättigung erreicht, so dass die Einbeziehung weiterer Quellen keine weiteren, neuen Erkenntnisse erzeugte. In Summe wurden 81 relevante Fabrikmerkmale identifiziert, welche sich vorwiegend der Gebäude- und Bereichsstrukturebene zuordnen lassen. Aufgrund der hohen Anzahl recherchierter Fabrikmerkmale erfolgte eine expertenbasierte Priorisierung zur Eingrenzung des

Betrachtungsbereichs innerhalb der Studie. Die Theorie sieht ein Potenzial zur Reduktion individueller Planungsleistungen besonders bei Elementen, die in frühen Phasen von Planungsprojekten von Relevanz sind, weshalb diese priorisiert wurden [16]. Nach der Eingrenzung verblieben 15 Fabrikmerkmale (Bild 1) auf deren Basis 25 Fragestellungen erarbeitet wurden. Als Antwortmöglichkeiten diente die Auswahl von Merkmalsausprägungen oder die Eingabe von Datenwerten. Bei ausgewählten Fragestellungen erfolgte zudem eine Zufriedenheitseinschätzung der vorliegenden Ausprägung im Vergleich zu den Alternativausprägungen.

Die Datenerhebung wurde im Herbst 2021 über einen Zeitraum von sechs Wochen durchgeführt. Auf Basis einer umfangreichen Kontaktdatenbank wurden circa 4000 Planer*innen und Führungskräfte aus dem produzierenden Umfeld kontaktiert. Der Gesamtrücklauf umfasste 55 vollständig beantwortete Fragebögen. Die Rückläufer stammen aus den Branchen Maschinenbau (16/55), Automotive (14/55) und Elektronik (7/55). Die verbleibenden Rückläufer teilen sich auf die Bereiche Werkzeugbau, Metallverarbeitung, Medizintechnik, Kunststoffindustrie, Metallherzeugung und Handel auf. Bei sechs Teilnehmenden erfolgte keine Angabe zur Branchenzugehörigkeit.

2.2 Factory Survey Germany – Studienergebnisse

Die Daten der Studienergebnisse wurden durch die Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimal- und Maximalwerten sowie die Ermittlung von Anteilen von Teilmengen an der Gesamtmenge ausgewertet. Es erfolgten visuelle Auswertungen durch Diagramme, welche in diesem Beitrag auszugsweise abgebildet werden. In diesem Beitrag werden einzelne Aussagen in Relation zur Branchenzugehörigkeit dargestellt. Dies ermöglicht es Ähnlichkeiten und Unterschiede der Planungsergebnisse in Abhängigkeit der Anforderungen respektive Unternehmenscharakteristik zu betrachten. Der Bereich Maschinenbau wird aufgrund der Stichprobengröße bei den Auswertungen bevorzugt im Detail betrachtet. Zunächst werden die Ergebnisse des ersten Themenbereichs (Anforderungen/Unternehmenscharakteristik) dargestellt und anschließend des zweiten Themenbereichs (Fabrikmerkmale).

Die Ergebnisse im ersten Themenbereich der Studie zeigen, dass der von den Befragten beschriebene Gebäudekomplex meist zwischen 21–100 Mitarbeitende aufweist (42 %). In selteneren Fällen liegt der Wert zwischen 1 bis 20 (11 %), 101 bis 250 (16 %), 251–500 (16 %) oder über 500 Mitarbeitenden (18 %). Bei dem verbleibenden Rest liegen keine Angaben vor. Die Auswertung der Flächennutzung über alle Branchen hinweg belegt eine über 50 %ige Verwendung der Gebäudegrundflächen für Fertigungszwecke. Die verbleibenden Flächen verteilen sich im Durchschnitt zu circa 25 % auf Montageflächen, 20 % auf Lagerflächen und 13 % auf Verkehrsflächen (Bild 2). Etwa ein Viertel der befragten Unternehmen produzieren Fließgut, circa 70 % Stückgut und der verbleibende Rest Schüttgut. Der Maschinenbau ist vorwiegend im Bereich Stückgut zu verorten.

Bezogen auf die Jahresproduktionsmenge produzieren knapp ein Drittel der Befragten mehr als 100 000 Stück pro Jahr. Lediglich 10 % der Befragten produzieren in einer Kleinserienproduktion weniger als 100 Stück pro Jahr. Der Maschinenbau ist in allen Stückzahlbereichen vertreten. Die Produktkosten belaufen sich vorwiegend im Bereich zwischen 10 bis 1000 Euro (20 %) sowie 1000 bis 100 000 Euro (20 %). Nur wenige Produkte

befinden sich unterhalb von 10 Euro (7 %) oder über 500 000 Euro (5 %). Der Maschinenbau belegt mit mehr als der Hälfte der Befragten die Preisspanne zwischen 1000 bis 100 000 Euro. Die Produkte aller Befragten sind überwiegend eher standardisierte Produkte (32 %), eher kundenindividuelle Produkte (21 %), kundenindividuelle Produkte (25 %) oder standardisierte Produkte (16%). Im Maschinenbau liegen vorwiegend eher standardisierte oder kundenindividuelle Produkte vor.

Die Ergebnisse im zweiten Themenbereich der Studie zeigen, dass die Befragten eine durchschnittliche Gebäudegrundfläche von 12 500 m² aufweisen. Die Maschinenbaubranche liegt mit einer durchschnittlichen Grundfläche von 6800 m² unter dem Gesamtschnitt bei einer Standardabweichung von 3000 m². Etwa zwei Drittel der Befragten verfügen nach eigenen Angaben über ausreichend Erweiterungsfläche. Bei knapp einem Viertel der Befragten besteht aufgrund nachbarschaftlicher Restriktionen keine Möglichkeit des weiteren Wachstums und 15 % der Befragten planen kein weiteres Wachstum am Standort. Bezüglich des Anordnungsschemas der Gebäude geben die meisten Befragten ein U-förmiges Schema (38 %) an, gefolgt von einem geradlinigen Schema (31 %). Weniger vertreten sind das T-förmige und L-förmige Schema (12 % und 4 %) sowie sonstige Schemata (15 %). 80 % der Befragten zeigten sich zufrieden mit dem vorliegenden Schema, während der Rest Verbesserungspotenzial identifiziert. Der Maschinenbau weist vorwiegend zu gleichen Anteilen ein U- oder geradliniges Schema auf (Bild 3). Im Hinblick auf die Organisationsform ist unter den Befragten eine Präferenz zur Fließfertigung und Werkstattfertigung zu identifizieren (36 % und 28 %). Die Reihenfertigung ist bei 15 % sowie die Punkt- und Gruppenfertigung bei 11 % der Befragten vorzufinden. Im Maschinenbau liegt vorwiegend die Werkstattfertigung vor (Bild 4). Die Befragung zeigt, dass mehr als drei Viertel der Teilnehmenden ebenerdige Produktionsgebäude ohne Unterkellerung besitzen. Im Falle einer Unterkellerung liegt vorwiegend die Teilunterkellerung vor. Die lichte Raumhöhe (bis Deckenunterkante) bei allen befragten Unternehmen beträgt im Durchschnitt circa 10 Meter mit einer Standardabweichung von circa 3 Metern (Bild 5). Der Maschinenbau weist eine durchschnittliche lichte Höhe von 8,5 Metern bei einer Standardabweichung von 2 Metern auf. Drei Viertel der Befragten sind mit der angegebenen Hallenhöhe zufrieden, während der Rest eine höhere Hallenhöhe bevorzugen würde. Die Untersuchungen in Bezug auf die Stützabstände zeigen, dass über 90 % der Befragten mit dem vorhandenen Stützraster in ihren Produktionsstätten zufrieden sind. Während eine Verkleinerung nicht in Betracht gezogen wird, ist die Vergrößerung des Stützrasters als denkbare Option angegeben. Im Maschinenbau variieren die Rasterweiten in Hauptstützrichtung zwischen 5,5 und 15 Metern sowie in der Querstützrichtung zwischen 5,5 und 35 Metern (Bild 6). Die durchschnittliche Stützrasterweite über alle Branchen hinweg beträgt circa 10 x 17 Metern. Die Bodentragfähigkeiten der Produktionsgebäude weisen im Durchschnitt einen Wert von 3600 Kilogramm pro Quadratmeter bei einer Standardabweichung von 2200 Kilogramm pro Quadratmeter auf. Während für drei Viertel der Befragten die vorhandenen Bodentragfähigkeiten ausreichen, wünscht sich der Rest höhere Werte. Im Durchschnitt verfügen die Gebäudekomplexe über alle Branchen hinweg über drei Kranbahnen und in Summe fünf Kranbrücken. Der Maschinenbau weist einen etwas niedrigeren Durchschnitt mit zwei Kranbahnen und vier Kranbrücken auf. Die Haupttrassen- und Leitungsver-

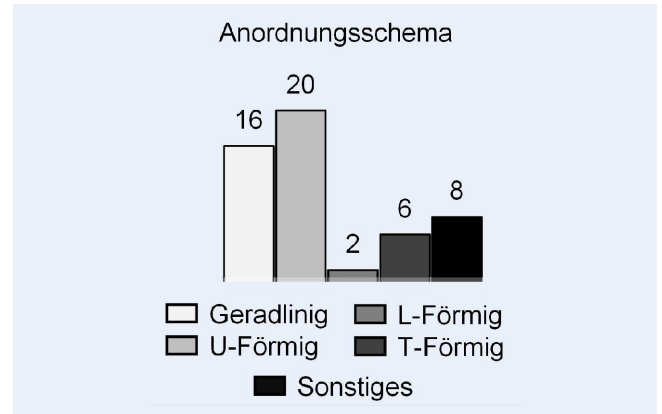


Bild 3. Übersicht vorliegender Anordnungsschema. Grafik: WZL

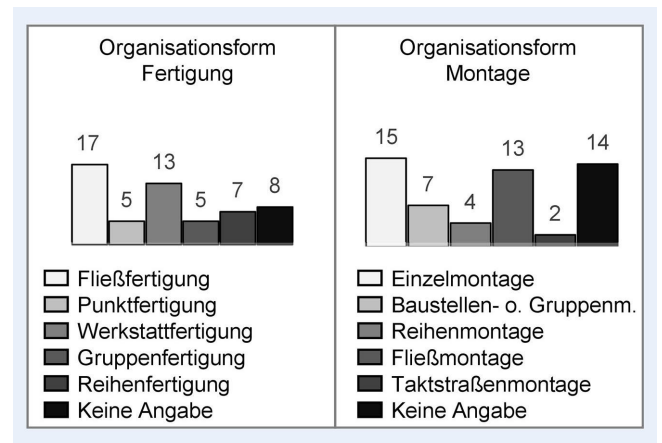


Bild 4. Übersicht vorliegender Organisationsformen. Grafik: WZL

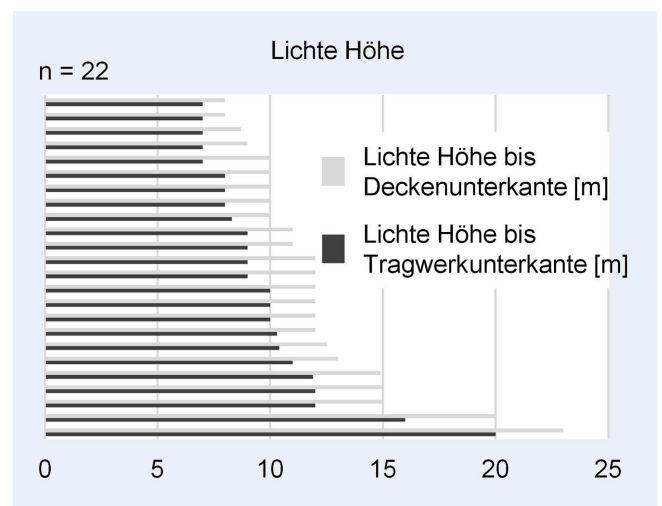


Bild 5. Übersicht vorliegender Raumhöhen. Grafik: WZL

sorgung erfolgt vorwiegend unterhalb der Tragstruktur (65 %), innerhalb der Tragstruktur (35 %) und in wenigen Fällen (5 %) in Unterflurkanälen. Bezogen auf den Verladebereich ist die am häufigsten vertretene Gestaltungsform die Kopframpe (61 %). Am seltensten vorzufinden ist die Sägezahnrampe. Im Maschinenbau werden die Materialien hauptsächlich innerhalb des Produktionsgebäudes verladen, eine Nutzung von Verladerampen findet eher selten statt. Die Solltemperatur in den Produktions-

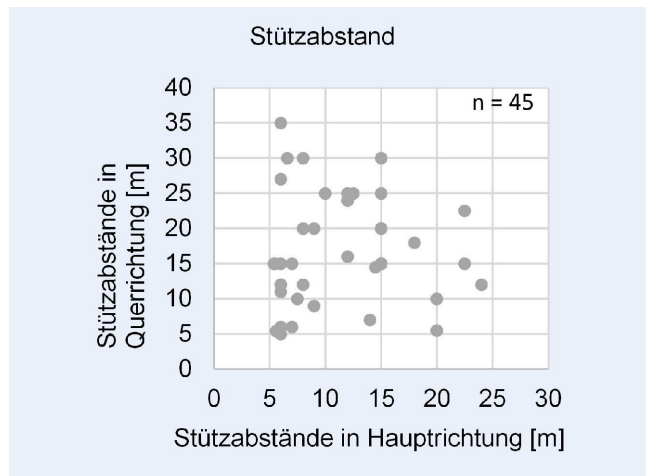


Bild 6. Übersicht vorliegender Stützabstände. Grafik: WZL

gebäuden beträgt mit der Ausnahme von sechs Ausreißern stets 20 bis 22 °C. Die Mindesttemperatur weist im Mittel einen Wert von 18 °C bei einer Standardabweichung von 2 °C auf. Die erlaubte Maximaltemperatur beträgt 27 °C bei einer Standardabweichung von 4 °C. Die Maschinenbaubranche befindet sich nach Angaben der Befragten genau im Durchschnitt.

2.3 Factory Survey Germany – Interpretation

Die vorliegenden Ergebnisse erzeugen eine Transparenz über in der Planung erzeugter sowie in die Realität umgesetzter Planungsergebnisse und ermöglichen die Aussagen über die Ähnlichkeit und Verschiedenheit dieser. Die erhaltenen Daten weisen eine unterschiedlich starke Streuung auf. Die Beobachtungen erlauben jedoch den Schluss, dass bei Betrachtung ähnlicher Planungsfälle eine Verwendung standardisierter Planungsergebnisse zur Umsetzung in die Realität möglich erscheint. Fabrikmerkmale mit geringerer Streuung weisen gegenüber Fabrikmerkmalen mit einer höheren Streuung einen besseren Eignungsgrad für den Einsatz standardisierter Planungsergebnisse auf. Betrachtet man die Studienergebnisse über alle Branchen hinweg, so ist eine deutlich höhere Standardabweichung festzustellen. Fokussiert man die Betrachtungen auf eine Branche, verringert sich die Standardabweichung bei gewissen Fabrikmerkmalen. Hieraus resultiert die Hypothese, dass bei einem ähnlichen Anforderungsprofil an Planungsprojekte eine höhere Annahme an standardisierten Planungsergebnissen hinsichtlich der Fabrikmerkmale erfolgen kann. Um dieses Potential auszuschöpfen, soll im nachfolgenden ein Ansatz zur Erschließung dieser Potenziale in der Fabrikplanung skizziert werden.

3 Konzept eines plattformbasierten Fabrikplanungsvorgehens

Die Studie zeigt, dass aufgrund der identifizierten Unterschiede die Entwicklung vollstandardisierter Fabriken in der Praxis nicht sinnvoll erscheint. Es ist ein Ansatz erforderlich, der standardisierte Planungsergebnisse als Basis nutzt und gleichzeitig Individualisierung zulässt. Die klassische Produktentwicklung verfolgt diesen Ansatz bereits durch Produktplattformen [17]. Theoretische Untersuchungen erlauben das Verständnis einer Fabrik als Produkt und der Fabrikplanung als Produktentstehungs-

prozess [18]. Die Herausforderung bei der Übertragung des Plattform-Ansatzes in die Fabrikplanung besteht darin, das Dilemma zwischen idealem Standardisierungs- und Individualisierungsgrad aufzulösen. Eine Plattform mit vielen standardisierten Planungsergebnissen und wenig Individualisierungsleistung wird eine geringe Anwendbarkeit in einer breiten Masse an Planungsfällen aufweisen. Eine Plattform mit wenig standardisierten Planungsergebnissen und hohem Individualisierungsanteil erzeugt einen geringen Mehrwert zum gegenwärtigen Zustand. Die Typisierung von Planungsfällen anhand charakteristischer Anforderungsmerkmale ist daher ein notwendiges Werkzeug, um typenspezifische Plattformen mit einem idealen Grad an standardisierten Planungsergebnissen für den Anwendungsfall bereitzustellen. Hierbei sind beispielhaft die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Fabrik, Produktionssteuerung, Layout, Logistik, Arbeitsplatzgestaltung, Infrastruktur, Prozessketten oder Geschäftsmodelle zu nennen. Die Grundlage zu betrachtender Anforderungen bilden insbesondere die zu produzierenden Erzeugnisse und zugehörigen Prozessketten in der Produktion. Der zugrundeliegende Gedanke beruht auf der Hypothese, dass „das Produkt, welches vom Kunden verlangt wird, den Prozess und der Prozess die Fabrik bestimmt“ [19].

Klassische Produktplattformen vereinheitlichen Elemente, die kein Bestandteil der nach außen wahrnehmbaren Produktoberfläche sind [20]. Bei der Zusammensetzung von Plattformen für die Fabrikplanung sind daher Planungsergebnisse sinnvoll, die in realisierter Form keinen direkten Zusammenhang zur Kundenwahrnehmung oder der Wertschöpfung aufweisen. Durch die Integration standardisierter Planungsergebnisse in Plattformen werden notwendige Entscheidungen im Planungsprozess reduziert respektive obsolet, was die Zeit- und Kostenziele beeinflusst. Der Einsatz in der Praxis etablierter Lösungen in Form von standardisierten Planungsergebnissen stellt zudem die Ergebnisqualität sicher und kann diese darüber hinaus steigern.

In Plattformen sind Planungsergebnisse abzubilden, die in frühen Phasen von Planungsprojekten erforderlich werden (siehe Kapitel 2.1) und somit Entscheidungen von hoher Dringlichkeit aufweisen. Zudem sind Entscheidungen mit einem hohen wirtschaftlichen Einfluss und langfristigen Auswirkungen von Relevanz. Hierdurch werden Kommunikationsprozesse zur Entscheidungsfindung sowie Schnittstellen mit einhergehenden Schnittstellenverlusten zwischen den Planenden untereinander und Entscheidern reduziert. Die benötigten Zeitaufwände reduzieren sich und die zeitliche Planbarkeit der Projekte wird gesteigert. Die Fokussierung auf Entscheidungen, die bei Realisierung hohe Investitionskosten erzeugen und dadurch einen hohen wirtschaftlichen Einfluss aufweisen, fördert die Kostenkontrolle und -planung. Die Betrachtung von Entscheidungen mit einem langfristigen Zeithorizont erlauben die gezieltere Beeinflussung entstehender Randbedingungen bei Realisierung der Planungsergebnisse zur Vermeidung von Folgekosten.

Für einen plattformbasierten Fabrikplanungsansatz ist folglich eine Fokussierung auf Planungsergebnisse der Industriebauplanung als sinnvoll zu erachten. Die Planungsergebnisse sind aufgrund der Notwendigkeit zur Einreichung eines Bauantrags von hoher Dringlichkeit. Die Umsetzung weist bedingt durch die hohen Investitionskosten einen hohen wirtschaftlichen Einfluss auf. Die getroffenen Entscheidungen und resultierenden Umsetzungen in Form von Industriegebäuden in der Realität besitzen einen sehr langen Zeithorizont und bieten nur geringe Möglich-

keiten zur nachträglichen Anpassung ohne die Entstehung hoher Folgekosten.

Für die Erschließung der typenspezifischen Plattformen ist ein strukturiertes Anforderungs- und Lösungsraummanagement erforderlich, um den Zusammenhang zwischen den Elementen zu erklären. Die Analyse erfolgt dabei in zwei Schritten. Der erste Schritt sieht die Identifikation der Existenz eines Zusammenhangs vor. In einem zweiten Schritt wird durch eine Sensitivitätsanalyse ermittelt, inwiefern unterschiedliche Ausprägungen der Anforderungen die Lösungsauswahl beeinflussen. Mit diesen Erkenntnissen lassen sich für die Anforderungen die Grenzen zur Differenzierung der Anforderungsausprägungen präzisieren. Die gewonnene Transparenz erlaubt das Ableiten von Aussagen bezüglich der Standardisierungseignung der Fabrikmerkmale in Abhängigkeit der vorliegenden Anforderungsausprägung im spezifischen Planungsfall. Für den spezifischen Planungsfall kann abschließend die Plattform mit standardisierungsgeeigneten Planungsergebnissen zusammengestellt werden.

4 Zusammenfassung und Fazit

Der Beitrag versteht die Individualität bei der Planung von Fabriken als Treiber der Komplexität, Zeit- und Kostenverfehlung. Anhand einer durchgeführten Studie wurde die Hypothese gestützt, dass bei der Betrachtung ähnlicher Planungsfälle eine Verwendung standardisierter Planungslösungen denkbar ist. Im Verständnis der Fabrik als Produkt und der Fabrikplanung als Produktentstehungsprozess wurde der Plattformgedanke in die Fabrikplanung übertragen. Mit dem skizzierten Planungsansatz soll primär die Standardisierung des Industriebaus von Fabriken erhöht werden. Die quantitativen Studienergebnisse erhalten die Hypothese einer nicht zwingend notwendigen Individualplanung von Fabriken aufrecht. Die Umsetzbarkeit des vorgestellten Ansatzes eines plattformbasierten Fabrikplanungsvorgehens ist in weiteren Untersuchungen zu detaillieren und in der Praxis zu validieren.

Literatur

- [1] Voet, H.: Entwicklung von Baukastensystemen für die Fabrikplanung in kleinen und mittleren Unternehmen. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2018
- [2] Reinema, C.; Pompe, A.; Nyhuis, P.: Agiles Projektmanagement. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 108 (2013) 3, S. 113–117
- [3] Burggräf, P.; Schuh, G. (Hrsg.): Fabrikplanung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2021
- [4] Dannapfel, H. M.: Ein systemisches Management-Modell für die Fabrikplanung. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- [5] Burggräf, P.; Dannapfel, M.; Schneidermann, D. et al.: Network-based factory planning for small and medium-sized enterprises. Production Planning & Control 33 (2022) 12, S. 1173–1181
- [6] Meckelnborg, A.: Integrative Fabrikplanung durch effiziente Koordinationsmodelle. Aachen: Apprimus Verlag 2015
- [7] Kampker, A.; Burggräf, P.; Krunke, M. et al.: Das Aachener Fabrikplanungsvorgehen. wt Werkstatttechnik online 104 (2014) 4, S. 192–196
- [8] Aggteleky, B.: Fabrikplanung. Grundlagen – Zielplanung – Vorarbeiten. Unternehmerische und systemtechnische Aspekte. München: Hanser 1981
- [9] Felix, H.: Unternehmens- und Fabrikplanung. Planungsprozesse, Leistungen und Beziehungen. München: Carl Hanser Verlag 1998
- [10] Grundig, C.-G.: Fabrikplanung. Planungssystematik, Methoden, Anwendungen. München: Hanser 2014
- [11] Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München: Hanser 1984
- [12] Pawellek, G.: Ganzheitliche Fabrikplanung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2014
- [13] Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2014
- [14] Verein Deutscher Ingenieure e.V.: Fabrikplanung – Planungsvorgehen Blatt 1. Februar 2011
- [15] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München, Wien: Hanser 2014
- [16] Haug, A.; Ladeby, K.; Edwards, K.: From engineer-to-order to mass customization. Management Research News 32 (2009) 7, S. 633–644
- [17] Lindemann, U.: Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser 2016
- [18] Hilchner, R.: Typenorientiertes Lösungsraum-Management in der Fabrikplanung. Aachen: Apprimus-Verl. 2012
- [19] Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: Factory Planning Manual. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2010
- [20] Stang, S.; Hesse, L.; Warnecke, G.: Plattformkonzepte. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 3, S. 110–115



Jonas Dackweiler, M. Sc. RWTH 
Foto: WZL

Prof. Dr.-Ing. **Peter Burggräf** 

Tobias Adlon, M. Sc. RWTH 

Dr.-Ing. **Matthias Dannapfel**

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen
Tel. +49 241 / 80-20413
j.dackweiler@wzl.rwth-aachen.de
www.wzl.rwth-aachen.de

LIZENZ



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