



**Institut für  
Maschinelle Anlagentechnik  
und Betriebsfestigkeit**

**Innovationen der  
Fabrikplanung und -organisation**  
Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

Band 41

**Simon F. Schäfer**

**Intuitive digitale  
Fabriklayoutplanung**

Entwicklung eines Werkzeugs zur  
Unterstützung der Fabrikstrukturplanung  
in der Automobilindustrie



**SHAKER  
VERLAG**

# Intuitive digitale Fabriklayoutplanung

Entwicklung eines Werkzeugs zur Unterstützung der Fabrikstrukturplanung in der  
Automobilindustrie

## Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

Simon F. Schäfer, M.Sc.

aus Münster (Westf.)

genehmigt von der

Fakultät für Mathematik/Informatik und Maschinenbau

Technische Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung: 28. August 2019

Vorsitzender der Prüfungskommission:

Prof. Dr.-Ing. Hubert Schwarze

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Volker Wesling

Innovationen der Fabrikplanung und -organisation

Band 41

**Simon F. Schäfer**

## **Intuitive digitale Fabriklayoutplanung**

Entwicklung eines Werkzeugs zur Unterstützung der Fabrikstrukturplanung in der Automobilindustrie

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag  
Düren 2019

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2019

Copyright Shaker Verlag 2019

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7027-9

ISSN 1615-5211

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Vorwort des Herausgebers**

Nur die erfolgreiche Gestaltung und Weiterentwicklung industrieller Wertschöpfung kann auf Dauer unseren Lebensstandard und die Errungenschaften der sozialen Marktwirtschaft absichern. Die Produktion bildet nach wie vor das Rückgrat einer modernen, im globalen Wettbewerb stehenden Industrie-, Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft. Umfassendes Wissen und stetig neue Erkenntnisse auf den Gebieten der Fabrikplanung und Produktionsorganisation sind existentiell notwendig.

Die unternehmerische Bedeutung der Produktionsplanung ist im gleichen Maße gestiegen, wie sich die Innovationszyklen von Produkten, Fertigungs- und Logistiksystemen sowie der Arbeitsorganisation verkürzt haben. Um die vorhandene Marktposition zu festigen oder um Wettbewerbsvorteile zu erlangen, muss jede Unternehmensleitung neben dem Produkt und der Technologie auch die Produktionsstrukturen ständig analysieren, sie rechtzeitig an die zu erwartenden Marktentwicklungen anpassen und gegebenenfalls erneuern.

Die erhöhten Ansprüche an die Gestaltung und Wandlungsfähigkeit von Produktionsstrukturen im turbulenten Umfeld erfordern ein effizientes Projektmanagement und eine durchgehende rechnergestützte Planungsunterstützung. In der vorliegenden Reihe – Innovationen der Fabrikplanung und -organisation – sollen neue Methoden und Instrumente zur Planung und Optimierung von Produktionssystemen und -abläufen einer breiten Leserschaft in verständlicher Form vorgestellt werden. Es sind Forschungsergebnisse die häufig in enger Zusammenarbeit mit der Industrie am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der Technischen Universität Clausthal im Bereich Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik entstanden sind.

Ein gemeinsamer systemtechnischer Ansatz kennzeichnet die Fachgebiete Anlagenplanung und Logistik, deren technische, informationstechnische, organisatorische und wirtschaftliche Fragestellungen ganzheitlich und zukunftsweisend zu beantworten sind. Die angestrebten Lösungsstrategien sind im

Rahmen des gesamten Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses zu sehen und beinhalten sowohl eine theoretische, planerische und simulierende Seite als auch die konkrete Ausgestaltung von Prozessketten, Organisationsformen und Abläufen.

In der Vergangenheit wurden Produktionsstrategien, Programme und Teilebedarfe nicht selten aufgrund persönlicher Einschätzung und Erfahrung festgelegt. Heute sind mit Hilfe mathematischer, wissensbasierter Modelle hinreichende Prognosen und Szenarien zu entwickeln und das Komplexitätsmanagement muss bereits bei der Entwicklung variantenreicher Serienprodukte einsetzen. So können z.B. Agentensysteme schon vorausschauend bei der Analyse von Verbindungen möglicher Module helfen.

Früher wurden die darauf aufbauenden Produktionsstrukturen in der Regel nur statisch geplant und für dynamische Betrachtungen allenfalls Mittelwerte herangezogen. Um in Zukunft falsche oder überhöhte Investitionen und unnötige Folgekosten zu vermeiden, sind bestehende und zu planende Anlagen umfassend dynamisch zu analysieren und optimieren. Mit dem inzwischen zur Realität gewordenen ganzheitlichen Ansatz der Digitalen Fabrik kann jetzt – auf Basis eines umfassenden integrierten Datenmanagements durch rechnergestützte Einzelmethoden bis hin zur Virtuellen Realität – der Planungsprozess entscheidend beschleunigt und verbessert sowie die Planungsqualität und -sicherheit erheblich erhöht werden.

Nicht zuletzt gilt es, die in den Produktions- und Logistiksystemen arbeitenden Menschen wieder stärker in den Mittelpunkt zu stellen, ihre Bedürfnisse zu respektieren und ihnen genügend Raum für Engagement und Verantwortung mit effizienten Formen der Arbeitsorganisation zu geben, die Verschwendung vermeiden und eine stetige Steigerung des Produktionsflusses ermöglichen.

## **Vorwort des Verfassers**

Die Fabrikplanung im heutigen Umfeld muss hochkomplexe Themen in kürzester Zeit bearbeiten und gleichzeitig transparent, übersichtlich und vor allem digital sein. Der Schlüssel dazu liegt meiner Meinung nach in intuitiven Methoden und Werkzeugen, welche gleichzeitig den hohen Ansprüchen großer, digitaler Systemwelten genügen. Mit der Zusammenführung dieser beiden Anforderungen beschäftigt sich die vorliegende Dissertationsschrift.

Die Idee zu dem Thema lieferten meine eigenen Erfahrungen in der Automobilindustrie, welche ich zum Abschluss meines Studiums sammeln konnte. In der Folge entstand diese Arbeit während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB) der Technischen Universität Clausthal.

Für die Möglichkeit zur Promotion und für die Betreuung beim Verfassen dieser Dissertationsschrift möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht vom IMAB sehr herzlich danken. Mein Dank gilt darüber hinaus Herrn Prof. Dr.-Ing. Volker Wesling vom Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren für die Übernahme des Zweitgutachtens sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Hubert Schwarze vom Institut für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen für die Leitung der Prüfungskommission.

Auf Seiten der Universität bin ich weiterhin meinen Kollegen zu großem Dank verpflichtet. Insbesondere möchte ich hier meinen guten Freund Herrn Dr.-Ing. Thomas Krüger hervorheben, mit welchem ich das Glück hatte zeitgleich die jeweiligen Dissertationen zu verfassen und sogar am selben Tag geprüft wurde. Sicherlich hat das die Sache für uns beide angenehmer gemacht und ich werde die kurzweiligen Tage im Rahmen gemeinsamer Forschungsvorhaben mit ihm vermissen. Außerdem danke ich Herrn Dipl.-WirtschaftsIng. Marco Seewaldt für die kritische Durchsicht und die fachlichen Diskussionen.

Aus den Reihen der Studenten bin ich allen Teilnehmern der praktischen Versuche sehr dankbar, welche sich außerhalb ihrer Lehrveranstaltungen die Zeit genommen haben an den Untersuchungen mitzuwirken. Weiterhin danke ich allen

studentischen Hilfskräften des Instituts die mich unterstützt haben. Stellvertretend seien hier die Herren Barnabas Picker, M.Sc., Niels Baldauf, M.Sc. und Christian D. Heinrich, M.Sc. genannt.

Bei der Volkswagen AG gilt mein Dank für die gute Zusammenarbeit, die wertvollen Hinweise und die Möglichkeit zur praktischen Anwendung meines Prototyps den Herren Dr.-Ing. Alexander König und Dipl.-Wirtschaftsing. Nils Gorke sowie Herrn Dipl.-Ing. Dirk Bohnemeyer.

Wesentlich zu meinem persönlichen Werdegang und zu meinem Verständnis der akademischen Freiheit hat das Corps Borussia Clausthal beigetragen. Das Corps und seine Mitglieder haben mich zu meinem Promotionsvorhaben inspiriert wofür ich sehr dankbar bin. Tiefe und feste Freundschaften sind während meiner Studienzeit entstanden, die mich immer begleiten werden.

Der größte Dank gilt meinen Eltern. Sie haben mich stets gefördert und tragen den wesentlichen Verdienst an dieser Arbeit.

Clausthal, im September 2019

Simon F. Schäfer

---

## **Kurzfassung**

Die Automobilindustrie ist derzeit geprägt von disruptiven Umbrüchen in allen Unternehmensbereichen. Neue Antriebstechnologien sowie neue Fabrik- und Logistikkonzepte verändern die Rahmenbedingungen der Automobilproduktion entscheidend. Da sich ihre Nutzung über mehrere Jahrzehnte erstreckt, muss die Fabrikstruktur eines Produktionsstandortes schon heute so geplant werden, dass sie auch zukünftige und noch nicht absehbare Technologien und Produktionskonzepte bestmöglich unterstützen wird. Als Teilbereich der Fabrikstrukturplanung legt die Fabriklayoutplanung dabei die räumliche Anordnung der Strukturelemente fest. Aufgrund der neuen Herausforderungen ist neben dem Zusammenwirken verschiedener Fachbereiche vor allem die aktive Integration von Entscheidungsträgern mit entsprechenden Kompetenzen in den unmittelbaren Planungsprozess notwendig, um die anstehenden Grundsatzentscheidungen treffen zu können.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese Integration zu ermöglichen, die direkte Kommunikation der Planungsbeteiligten zu verbessern und somit die Entwicklung komplexer und kreativer neuer Lösungen zu fördern. Durch die unmittelbare Abstimmung können Layoutvarianten zudem schneller und qualitativ hochwertiger abgesichert werden. Im Zuge dieser Absicherung gilt es im Hinblick auf die ungewissen zukünftigen Entwicklungen, möglichst viele Layoutvarianten zu planen, auszuwerten und zu vergleichen. Dies ist nur durch Einsatz digitaler Planungswerkzeuge zu realisieren, da die Dokumentation und das Datenmanagement bei der Vielzahl der benötigten Layoutvarianten sowie dem Umfang und der Komplexität der Planung ansonsten nicht durchführbar wären. Aktuell werden in der Automobilindustrie zur Entwicklung von Fabriklayouts Werkzeuge und Methoden eingesetzt, die zwar intuitiv bedienbar sind, jedoch die hohen Ansprüche an die digitale Durchgängigkeit nicht erfüllen oder es kommen komplexe digitale Fabrikplanungssysteme zur Anwendung, welche zur Nutzung umfangreiche Softwarekenntnisse voraussetzen. Dies führt durch die notwendige Übertragung oder Konvertierung und durch anschließende Abstimmungsschleifen zu Zeit- und Informationsverlusten bzw. verhindert die Einbindung entsprechender Kompetenzträger.

---

In dieser Arbeit soll das Problem der Diskrepanz zwischen der digitalen Durchgängigkeit und der Intuitivität durch die „intuitive digitale Fabriklayoutplanung“ behoben werden. Fokus dieser Methode ist die kreative Planung und die Entfaltung der Fachkompetenz der Entscheidungsträger und Planer. Ihr Ziel ist es, hierarchisch und fachlich unterschiedlichste Akteure in den direkten Planungsvorgang einzubeziehen. Wesentliche Merkmale sind dabei der Abbau von Komplexitätshürden und die Intensivierung der Abstimmung in der frühen Phase der Fabrikplanung. Realisiert wird dies durch eine intuitive Bedienung und eine gemeinsame Datenbasis mit der Systemumwelt.

Auf Grundlage der Eigenschaften der „intuitiven digitalen Fabriklayoutplanung“ wurde durch den Autor der Prototyp eines Layoutplanungswerkzeugs mit Touch Bedienung entwickelt und in das Fabrikplanungssystem eines deutschen OEM integriert. Neben zahlreichen Anwendertests am IMAB der TU Clausthal wurde der Prototyp auch durch eine Pilotanwendung in der Industrie umfangreichen Analysen unterzogen. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen in die Verbesserung des Prototyps ein und bildeten so die Grundlage für die Pilotierung, bei welcher das Layoutwerkzeug in operativen Planungsprojekten eines OEM zum Einsatz kam. Hierbei wurde die Integration von Entscheidungsträgern in den unmittelbaren Planungsvorgang angestrebt und anhand von mehreren Kriterien der Einfluss auf die Entwicklung von Layouts bewertet. Der industrielle Einsatz wurde durch eine formative Evaluation begleitet, welche die kontinuierliche Weiterentwicklung des Prototyps ermöglichte. Durch die Optimierung konnte der Prototyp in mehreren Projekten an verschiedenen Standorten des OEM bei Layoutworkshops mit Entscheidungsträgern (z.T. mit direkter Vorstandseteiligung) erfolgreich eingesetzt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die „intuitive digitale Fabriklayoutplanung“ Entscheidungsträger besser als zuvor unmittelbar in den Planungsprozess einbezogen werden können. Gleichzeitig kann die benötigte Planungs- und Abstimmungszeit reduziert sowie die Datenqualität gesteigert werden. Die vorliegende Arbeit stellt damit eine wichtige Grundlage zur Entwicklung von zukunftsfähigen Automobilstandorten von morgen dar.

---

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Herausgebers.....	iii
Vorwort des Verfassers .....	v
Kurzfassung .....	vii
Inhaltsverzeichnis.....	ix
Abkürzungsverzeichnis.....	xii
1 Einleitung .....	1
1.1 Disruptive Umbrüche in der Automobilindustrie.....	1
1.2 Problemstellung.....	5
1.3 Zielsetzung.....	6
1.4 Aufbau der Arbeit .....	8
2 Grundlagen und Stand der Technik der Fabriklayoutplanung .....	11
2.1 Begriffsdefinitionen .....	11
2.2 Fabriklayoutplanung .....	17
2.2.1 Ziele der Fabriklayoutplanung.....	17
2.2.2 Layoutplanung im Fabrikplanungsprozess .....	22
2.2.3 Ablauf der Layoutplanung.....	27
2.2.3.1 Strukturplanung .....	28
2.2.3.2 Dimensionierung.....	30
2.2.3.3 Groblayoutplanung .....	31
2.2.4 Layoutplanung in der frühen Phase .....	33
2.3 Digitale Fabrik.....	34
2.3.1 Definition .....	35
2.3.2 Datenmanagement .....	37
2.3.3 Digitale Layoutplanung .....	39
2.4 Intuitive Planung.....	42
2.4.1 Intuition, Intuitivität und intuitive Benutzbarkeit .....	43
2.4.2 Definition intuitive Planung.....	45
2.4.3 Partizipative Planung.....	46
2.5 Analyse der Methoden und Werkzeuge der Layoutplanung .....	49
2.5.1 Stand der Technik .....	50
2.5.1.1 Analoge Methoden und Werkzeuge .....	50

---

2.5.1.2	Digitale Methoden und Werkzeuge .....	51
2.5.1.3	Hybride Methoden und Werkzeuge .....	54
2.5.2	Vor- und Nachteile bisheriger Systeme .....	56
2.6	Zusammenfassung des Untersuchungsbedarfs.....	59
3	Konzeptentwicklung eines intuitiven digitalen Planungswerkzeugs.....	63
3.1	Intuitive digitale Fabriklayoutplanung .....	63
3.1.1	Einfachheit der Bedienung .....	64
3.1.2	Schnelligkeit der Planung .....	65
3.1.3	Ganzheitliche Daten- und Planungsumgebung.....	67
3.1.4	Definition.....	68
3.2	Beschreibung des Anwendungsbereichs.....	72
3.2.1	Zielfelder der Planung .....	72
3.2.1.1	Materialfluss und Logistik .....	72
3.2.1.2	Wandlungsfähigkeit .....	77
3.2.1.3	Wirtschaftlichkeit .....	84
3.2.2	Auswahl einer Layoutalternative.....	86
3.3	Ableitung von Anforderungen an das neu zu entwickelnde Layoutwerkzeug .....	89
3.3.1	Generelle Anforderungen der Layoutplanung.....	89
3.3.2	Spezifische Anforderungen der frühen Fabriklayoutplanung .....	90
3.3.3	Digitale Durchgängigkeit .....	90
3.3.4	Intuitivität.....	92
4	Prototypische Realisierung des Layoutwerkzeugs PTLAYOUT .....	95
4.1	Umsetzungskatalog.....	95
4.1.1	Layoutmanipulation .....	95
4.1.2	Objektbibliothek.....	96
4.1.3	Kollisionsprüfung.....	97
4.1.4	Flächenauswertung .....	98
4.1.5	Datenmanagement .....	100
4.1.6	Dokumentation .....	102
4.1.7	Benutzeroberfläche.....	103
4.2	Programmierung.....	104

---

4.2.1	Umsetzung der aufgenommenen Anforderungen .....	105
4.2.2	Integration in das Systemumfeld eines Automobilherstellers .....	112
5	Praktische Anwendungen und Bewertung .....	117
5.1	Anwendertests .....	119
5.1.1	Beschreibung Anwendungsbeispiel und Aufgabenstellung.....	119
5.1.2	Gruppentest .....	125
5.1.3	Vergleich mit anderen Methoden und Werkzeugen .....	128
5.1.4	Beispielhafte Planungsergebnisse .....	131
5.2	Pilotanwendung in der Industrie .....	133
5.2.1	Technische und funktionelle Überprüfung.....	135
5.2.2	Auswertung der Evaluation .....	137
6	Ergebnisse, kritische Reflexion und Ausblick.....	143
6.1	Ergebnisse .....	143
6.2	Kritische Reflexion .....	145
6.3	Ausblick .....	148
7	Zusammenfassung .....	151
	Abbildungsverzeichnis.....	I
	Tabellenverzeichnis.....	V
	Literaturverzeichnis.....	VII
	Anhang .....	XXVII
	Lebenslauf.....	XXXVII