TU Clausthal

Smarte digitale Layoutplanung – Neue virtuelle und mobile Ansätze für Umplanungen

Dissertation
zur Erlangung eines Doktors der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Patrick Brosch

eingereicht bei der Fakultät für
Mathematik/Informatik und Maschinenbau
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung
04.Februar 2014

Vorsitzender der Prüfungskommission:

Prof. Dr.-Ing. Norbert Müller

Hauptberichterstatter:

Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

Berichterstatter:

Prof. Dr.-Ing. Volker Wesling

Innovationen der Fabrikplanung und -organisation

Band 32

Patrick Brosch

Smarte digitale Layoutplanung

Neue virtuelle und mobile Ansätze für Umplanungen

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag
Aachen 2014

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., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2627-6
ISSN 1615-5211

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: 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.

Clausthal, im Februar 2014 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der Technischen Universität Clausthal. An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mich bei der Erstellung der wissenschaftlichen Arbeit unterstützt haben.

Für die Möglichkeit der Promotion und die Betreuung meiner Dissertation gilt mein Dank Herrn Professor Uwe Bracht. In seinem Institut fand ich die Voraussetzungen, die ich für die erfolgreiche Umsetzung des Promotionsvorhabens benötigte. Herrn Professor Volker Wesling vom Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren danke für seine Bereitschaft zur Übernahme des Koreferats und die anregenden Gespräche, ebenso wie Herrn Professor Norbert Müller vom Institut für Maschinenwesen für den Prüfungsvorsitz.

Meinen (ehemaligen) Kollegen Frau Anna-Charlotte Fleischmann, Frau Dr. Andrea Spillner, Herrn Dr. Dennis Arnhold, Herrn Wilko Hinrichs-Stark, Herrn Dr. Johannes Reichert sowie Herrn Til Sontag danke ich für die vertrauensvolle Zusammenarbeit in zahlreichen Industrieprojekten sowie für ihre Bereitschaft zu weiterführenden Diskussionen. Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Christian Krage, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Stellvertretend möchte ich mich auch bei Christine Hanses, Lisa-Maria Mahlau sowie David Kopatsch bedanken, deren Engagement als Hiwis, Bachelor- und Masterarbeiter mir wichtige Anregungen zu meinen Vorarbeiten geliefert haben.

Meinen Projektpartnern aus Industrie und Forschung gilt vor allem für die vertrauensvolle Zusammenarbeit mein Dank, ebenso den Mitgliedern des VDA-Arbeitskreises „Digitale Fabrik“ für zahlreiche anregende Diskussionen.

Abschließend möchte ich mich herzlich bei meinen Eltern und meiner Oma Lotti bedanken. Vor allem gilt aber meiner langjährigen Freundin Anja ein Dank für das entgegengebrachte Verständnis und die Unterstützung während der letzten Jahre.

Wolfsburg, im Februar 2014 Patrick Brosch

Kurzfassung

Sinkende Entwicklungszeiten und Kostenreduzierung sowie steigende Qualitätsanforderungen zwingen Unternehmen dazu, auf moderne und flexible Produktionseinrichtungen zu setzen, um dem Wettbewerb standhalten zu können. Zusätzlich beeinflusst das globale und zunehmend turbulente Umfeld die Produktion.

Um darüber hinaus auch aktuelle Randbedingungen, wie z. B. Programm- oder Produktänderungen, einbeziehen zu können ist es auch während der laufenden Produktion erforderlich, Veränderungen am Layout von Produktionseinrichtungen vorzunehmen. Treiber dieser Anpassungen sind zumeist Maßnahmen, die aus kontinuierlichen Prozessverbesserungen oder Produktänderungen entstehen.

Durchgeführt werden derartige serienbegleitende Umplanungen heute meist von produktionsnahen Bereichen, nicht selten ohne Unterstützung von Planungsabteilungen. In Folge dessen werden Änderungen am realen Layout nicht im digitalen Planungsmodell erfasst. Das ruft wiederum eine Differenz zwischen realer und digitaler Welt hervor.

Vorgehen, die speziell auf Umplanungen ausgerichtet sind, existieren bislang noch so gut wie gar nicht. Die in der Literatur bekannten Planungsabläufe beziehen sich zumeist auf die Fälle Neu- und Restrukturierungsplanung.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Planungsablauf – die „smarte digitale Layoutplanung“ – vorgestellt, der erstmals insbesondere auf Um- bzw. Anpassungsplanungen ausgerichtet ist. Der Ablauf berücksichtigt dabei neue, virtuelle und mobile Ansätze, Methoden und Werkzeuge.

Nach der Darstellung der wissenschaftlich/theoretischen Grundlagen und aktuellen Entwicklungen, speziell in den Bereichen virtuelle Techniken sowie moderne mobile Endgeräte und Applikationen, werden zunächst Randbedingungen und Anforderungen an ein neues Vorgehen aufgestellt. Auf dieser Basis wird der Planungsablauf konzipiert sowie Teilaspekte, wie z. B. die Mitarbeiterpartizipation oder die Integration von Änderungen in die reale Produktion, näher betrachtet. Im Anschluss findet eine Validierung des Ablaufs hinsichtlich der Praxistauglichkeit mit Hilfe ausgewählter realitätsnaher Anwendungsszenarien statt. Abschließend wird die Funktionsfähigkeit des Ablaufs anhand zweier ausgewählter Praxisbeispiele nachgewiesen.

Die vorliegende Arbeit leistet einen wesentlichen Beitrag zum Einsatz innovativer virtueller und mobiler Methoden und Werkzeuge für den bisher häufig vernachlässigten Fall der Umplanung. Der entstandene Ablauf vereint dabei digitale und smarte Ansätze, die sich durch ein intelligentes Zusammenspiel und eine einfache Anwendung auszeichnen.

Abstract

Due to decreasing development cycles, costs reduction and higher quality requirements, companies are forced to implement modern and flexible production facilities. These also assist withstanding global competition and pressure caused by globalization.

To cover adaptions in circumstances, like program or product changes, it is necessary, to alter facility layouts during the ongoing production. These adjustments are driven by measures which evolved from continuous process improvements and product modifications.

Today, this series accompanying replanning is mostly performed by production-related divisions, often without the support of planning departments. Subsequently, changes, performed on the real layout cannot be reconverted to the digital planning model. Furthermore, deviations between the digital and real world are being evoked.

Approaches that are specifically focused on replanning are currently nonexistent. The planning processes known from literature most commonly refer to development and restructuring planning.

The present work provides a planning process – the “smart layout planning” – which, for the first time particularly concentrates on replanning. This procedure thereby takes new, virtual and mobile applications, methods and tools into consideration.

Having outlined the scientific, theoretical foundations and current developments, especially in the fields of virtual techniques as well as modern mobile devices and applications, further circumstances and requirements on a new approach are established. Based on this, the planning process is being designed, as well as aspects are considered in more detail, like employee participation and the integration of changes in real production. Afterwards the procedure is validated on its practicality by means of selected scenarios of real application. Finally, the functionality of the sequence is demonstrated, by using two selected practical examples.

The present work makes a substantial contribution to the demand for using innovative virtual and mobile tools and methods for the previously often neglected replanning. The resulting process combines digital and smart approaches, which are characterized by an intelligent interaction and a simple application.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung 1
   1.1. Motivation und Festlegung der Ziele 5
   1.2. Aufbau der Arbeit 7
2. Grundlagen zur Planung von Produktionsanlagen 9
   2.1. Der Ansatz Digitale Fabrik 16
   2.2. Stand der Digitalen Fabrik 19
   2.3. Weiterentwicklungen der Digitalen Fabrik 25
      2.3.1. Mobile Endgeräte 31
      2.3.2. Cloud Computing 38
      2.3.3. Virtuelle Techniken in der Digitalen Fabrik 44
      2.3.4. Mobile Augmented Reality 58
3. Neuer Ansatz – Smarte digitale Layoutplanung 65
   3.1. Analyse der klassischen Vorgehensweisen zur Layoutplanung 65
   3.2. SOLL-Merkmale der smarten digitalen Layoutplanung 69
      3.2.1. Randbedingungen und Anforderungen 69
      3.2.2. Angestrebte Eigenschaften und Planungsgrundsätze 72
   3.3. Die smarte digitale Layoutplanung 79
      3.3.1. Anordnungsoptimierung und Materialflussbewertung 84
      3.3.2. Weitere Aspekte zur Bewertung von Layoutvarianten 86
      3.3.3. Integration von dynamischen Randbedingungen bei Brownfield-Planungen 87
      3.3.4. Mitarbeiterpartizipation 94
      3.3.5. Visualisierung im Rahmen der Layoutplanung 96
   3.4. Konzipiertes Einsatzfeld der smarten digitalen Layoutplanung 97
      3.4.1. Szenario 1: Umplanung in der PKW Montage 104
      3.4.2. Szenario 2: Umplanung an einer Aggregatelinie 105
4. Ausgewählte Beispiele zur Umsetzung der smarten digitalen Layoutplanung 107
   4.1. Kollaboration im Rahmen der smarten digitalen Layoutplanung 107
   4.2. Mobile Augmented Reality zur Integration virtueller Szenarien in reale Umgebungen 110
      4.2.1. Auswahl und Anpassung geeigneter Methoden und Werkzeuge 113
      4.2.2. Entwicklung AR.Drone Applikation 119
      4.2.3. Praxiseinsatz 121

5. Bewertung und Ergebnisse der Arbeit 125
5.1. Smarte digitale Layoutplanung 125
5.2. Praxiseinsatz AR.Drone Applikation 127
6. Zusammenfassung und Ausblick 129
6.1. Ausblick 131
Abbildungsverzeichnis 133
Tabellenverzeichnis 137
Abkürzungsverzeichnis 138
Literaturverzeichnis 139
Webverzeichnis 146