

*Integrationsaspekte der Simulation:  
Technik, Organisation und Personal*  
Gert Zülch & Patricia Stock (Hrsg.)  
Karlsruhe, KIT Scientific Publishing 2010

# **Digitaler Fabrikbetrieb**

## ***Virtual Manufacturing***

Olaf Sauer, Miriam Schleipen  
Fraunhofer IOSB, Karlsruhe (Germany)  
olaf.sauer@iosb.fraunhofer.de, miriam.schleipen@iosb.fraunhofer.de

Christoph Ammermann  
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW),  
Leibniz Universität Hannover, Hannover (Germany)  
ammermann@ifw.uni-hannover.de

**Abstract:** Digital Factory Operation extends existing methods of the Digital Factory. This goes from the assistance of planning activities to the usage during plant operation. Methods and tools of the Digital Factory Operation and their efficient usage are explained. The contribution gives an overview of the contents of the VDI guideline 4499 – Part 2 and puts the results of the cooperation between research and industry up for discussion.

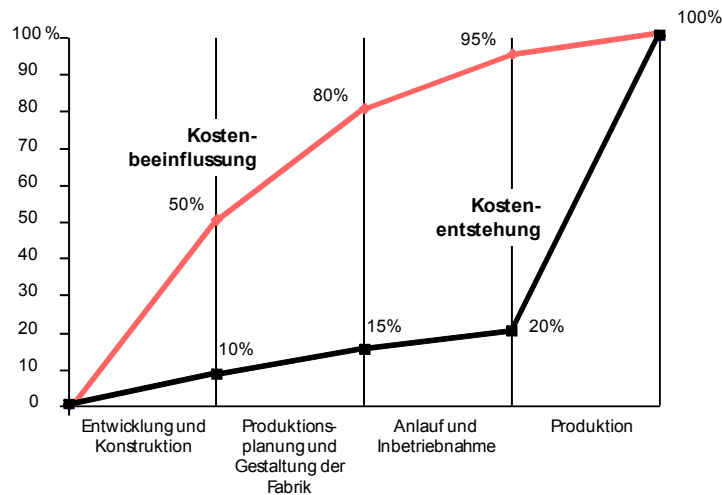
## **1 Ausgangssituation und Motivation**

Nach der VDI-Richtlinie 4499 ist die Digitale Fabrik ein "Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und 3D-Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt" (VDI 4499, Blatt 1, S. 3). Diese Definition verdeutlicht, dass die Digitale Fabrik bis in den realen Betrieb einer Fabrik hineinreicht; allerdings ist in Blatt 1 hauptsächlich beschrieben, wie sie Aufgaben der Fabrikplanung unterstützt. Darum hat eine weitere Arbeitsgruppe des VDI sich die Aufgabe gestellt, die Lebensphasen des Fabrikbetriebs, die zugehörigen Methoden und Werkzeuge sowie den Nutzen ihrer Anwendung zu beschreiben. Ergebnis ist das Blatt 2 der Richtlinie 4499 mit dem Titel "Digitaler Fabrikbetrieb". Der Digitale Fabrikbetrieb deckt damit einen Teilumfang der Digitalen Fabrik ab.

In der betrieblichen Praxis wird der durchgängigen methodischen Unterstützung von Fabrikplanung und anschließender Inbetriebnahme, Anlauf und auch laufendem Betrieb von Produktionsanlagen besondere Aufmerksamkeit geschenkt, da in diesen

Phasen noch Verbesserungspotentiale ausgeschöpft werden können, z.B. durch eine durchgängige Engineering-Kette ohne manuelle Datenübertragungen. Dieser durchgängige Engineering-Prozess von der Fabrikplanung bis in den realen Betrieb ist das erste Hauptziel des Digitalen Fabrikbetriebs.

Das zweite Hauptziel liegt darin, das aus der Entwicklung von Produkten bekannte Dilemma zwischen Kostenfestlegung und Kostenbeeinflussung (Abb. 1) anzugehen, indem in den frühen Phasen, in denen die Herstellkosten des Produkts und laufenden Kosten der Produktion beeinflusst und festgelegt werden, die Sicherheit erhöht wird, dass Planungsergebnisse der späteren Realität möglichst nahe kommen.



**Abbildung 1:** Kostenfestlegung vs. Kostenentstehung (in Anlehnung an EHRENSPIEL u.a. 2005, S. 11)

Die Autoren stellen im Folgenden einige methodische Ansätze und die im Unternehmen für deren effiziente Nutzung zu schaffenden Voraussetzungen vor.

## 2 Definition

Grundsätzlich muss ein Fabrikbetrieb, der im Rechner abgebildet, verifiziert und verbessert wird, die Anforderung erfüllen, den realen Betrieb einer Fabrik so realistisch wie möglich abzubilden, vor allem bezüglich seines Zeitverhaltens. Damit werden beispielsweise an den Digitalen Fabrikbetrieb Echtzeitanforderungen gestellt, wie sie im realen Betrieb auftreten. Daran scheitern heute noch viele Werkzeuge, vor allem dann, wenn mehr als eine einzelne Anlage oder Zelle betrieben werden soll. Die Arbeitsgruppe hat darum die folgende Definition für digitalen Fabrikbetrieb gewählt, deren Umsetzung in die Praxis vermutlich schrittweise, z.B. aufgrund leistungsfähigerer Hardware, erfolgen wird:

"Der Digitale Fabrikbetrieb bezeichnet die Nutzung und das Zusammenwirken von Methoden, Modellen und Werkzeugen der Digitalen Fabrik, die bei der Inbetriebnahme einzelner Anlagen, dem Anlauf mehrerer Anlagen und der Durchführung

realer Produktionsprozesse eingesetzt werden. Ziele sind die Absicherung und Verkürzung des Anlaufs sowie die betriebsbegleitende und kontinuierliche Verbesserung der Serienproduktion.

Dazu wird das dynamische Verhalten einzelner Produktionsanlagen und komplexer Produktionssysteme und -prozesse einschließlich der Informations- und Steuerungstechnik realitätsnah abgebildet. Virtuelle und reale Komponenten können dabei miteinander gekoppelt sein.

Auf Basis eines durchgängigen Datenmanagements nutzt der Digitale Fabrikbetrieb die Ergebnisse der Produktionsplanung in der Digitalen Fabrik und stellt seinerseits Daten für operative IT-Systeme bereit. Bei der Nutzung in der Serienproduktion werden die Modelle laufend der Realität angepasst" (VDI 4499, Blatt 2, S. 2).

Das in der Definition als gegeben angenommene durchgängige Datenmanagement ist in der Praxis bisher nur in Ansätzen anzutreffen, da die ‚Welten‘ der Planung und des operativen Betriebs und damit auch die sie unterstützenden IT-Systeme nur langsam zusammenwachsen. Darum arbeiten weitere Arbeitsgruppen des VDI daran, dieses durchgängige Datenmanagement zu beschreiben bzw. konkrete Inhalte der zwischen den 'Welten' auszutauschenden Daten zu definieren (VDI 4499, Blatt 3 sowie VDI 5600, Blatt 2).

### **3 Situation in der produzierenden Industrie**

Seit einigen Jahren fordern die globalen Märkte vieler Branchen neue und zunehmend individualisierte Produkte. Um die immer komplexer werdenden Produkt- und Produktionsentstehungsprozesse wirtschaftlich beherrschen zu können, greifen Unternehmen verstärkt auf Instrumente der Digitalen Fabrik zurück. Zur Fabrikplanung allein sind diese Instrumente jedoch nicht mehr ausreichend – die im Planungsprozess entstandenen Informationen müssen für den Anlauf und die Absicherung des laufenden Betriebs genutzt werden bis dahin, dass Änderungen im Betrieb der Produktionsanlagen direkt in Fabrikplanungswerkzeuge zurückgeführt und dort validiert werden (Abb. 2), z.B. Materialflusssimulatoren. Der Richtlinie liegt damit die Sichtweise zugrunde, dass die Digitale Fabrik die in Abbildung 2 unterlegten Funktionen und Systeme umfasst, einschließlich des hier beispielhaft aufgeführten Produktionsdatenarchivs. Erst damit entsteht die vielfach geforderte permanente Planungsbereitschaft.

### **4 Komponenten des Digitalen Fabrikbetriebs**

In dem neuen Blatt 2 der VDI-Richtlinie 4499 haben Experten aus Industrie, Dienstleistung, Softwarehäusern und Instituten die Komponenten des digitalen Fabrikbetriebs und deren Anwendung auf zwei wesentlichen Anwendungsfeldern beschrieben: Digitaler Betrieb von Einzelmaschinen (Werkzeugmaschinen) und digitaler Betrieb automatisierter Produktionsanlagen. Wichtige Komponenten des Digitalen Fabrikbetriebs sind beispielsweise die virtuelle Inbetriebnahme oder die betriebsbegleitende (Realzeit-)Simulation. Am Übergang aus der Planung in die Inbetriebnahme und die Serienproduktion wirken virtuelle und/oder reale Maschinen und deren dynamisches Verhalten mit virtuellen und/oder realen Anlagensteuerun-

gen als Abbild der Logik der Anlagen zusammen. Mit der Verbindung zu überlagerten Fertigungsmanagementsystemen erlaubt der Digitale Fabrikbetrieb Aussagen über das Gesamtverhalten von Maschinen und Anlagen vor deren realem Anlauf.

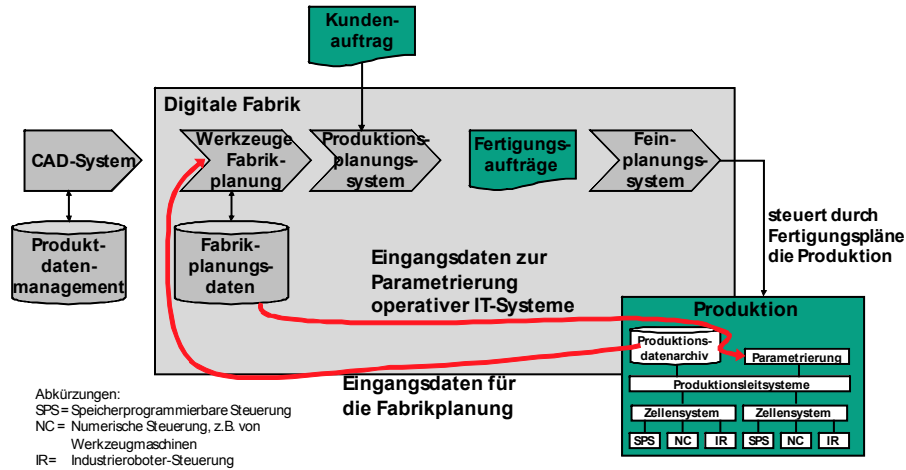


Abbildung 2: Die Digitale Fabrik als Datendrehscheibe bei Änderungen in der Produktion

In der Richtlinie werden Zeit-, Qualitäts- und Kostenziele genannt, die mit Hilfe des Digitalen Fabrikbetriebs erreicht werden können (siehe Abb. 3). Beispielsweise kann durch eine Vorverlagerung der Inbetriebnahme in die virtuelle Welt Zeit eingespart werden. Gleichzeitig können durch frühzeitige Tests und Optimierungen Aufwände reduziert werden, da früher eine höhere Qualität erreicht wird.

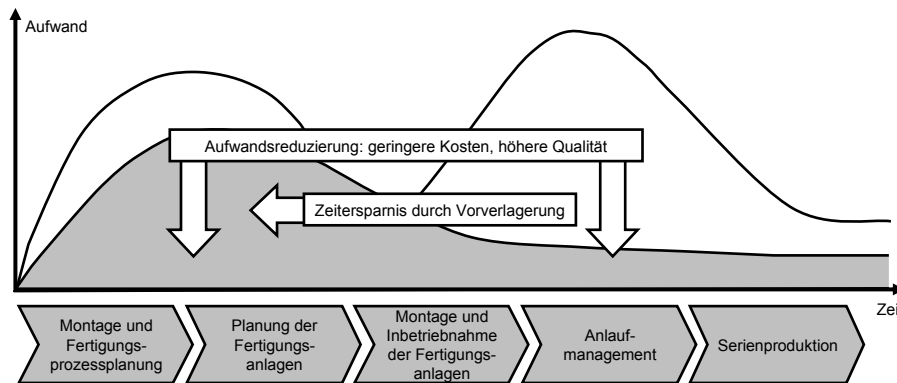


Abbildung 3: Aufwandsreduzierung und -vorverlagerung durch den Einsatz des Digitalen Fabrikbetriebs (VDI 4499, Blatt 2, S. 5)

Neben der Definition wesentlicher Gesichtspunkte, die für den Digitalen Fabrikbetrieb von Bedeutung sind, werden mögliche Anwendungsgebiete in den verschiedenen Lebenszyklusphasen eines Produktionssystems aufgezeigt. Exemplarisch für

die Hauptanwendungsgebiete werden die Inbetriebnahme komplexer Fertigungssysteme sowie Erzeugung von NC-Bearbeitungs- und Messprogrammen zum Betrieb von NC-Werkzeugmaschinen als Teil der Fertigungssysteme erläutert (DENKENA 2009a). Besonderes Augenmerk wird auf die verwendeten Informations- und Planungssysteme gelegt.

Weiterhin ergeben sich aus dem Einsatz dieser Systeme als Teil des Digitalen Fabrikbetriebs neue Möglichkeiten für ein durchgängiges Datenmanagement (DENKENA 2009b). Dieses stellt die Basis bereit, auf welcher der Digitale Fabrikbetrieb die Ergebnisse aus Planungsphasen der Digitalen Fabrik nutzt und um Daten für operative IT-Systeme ergänzt (SCHLEIPEN, SCHICK, SAUER 2008). Somit werden die Modelle der Digitalen Fabrik mit Informationen aus der realen Produktion gekoppelt und können während der Serienproduktion weiterverwendet und aktualisiert werden.

## **5 Digitaler Fabrikbetrieb in den Lebenszyklusphasen der Fabrik**

Wie für jedes Produkt so existiert auch für die Fabrik ein Lebenszyklus (SAUER 2004). In der Richtlinie wird bezogen auf die einzelnen Lebenszyklusphasen beschrieben, wie diese durch den Digitalen Fabrikbetrieb verändert und verbessert werden.

Bei der virtuellen Inbetriebnahme von Produktionsanlagen werden wesentliche Teile der Anlage virtuell evaluiert, und zwar konkret das Zusammenwirken aus mechanischem Anlagendesign mit der Kinematik der Anlage und der Logik des Steuerungsprogramms. Dadurch verringert sich der Test- und Anpassungsaufwand während der realen Inbetriebnahme deutlich, da bereits entsprechende Tests während der virtuellen Inbetriebnahme durchgeführt und aufgedeckte Fehler korrigiert wurden.

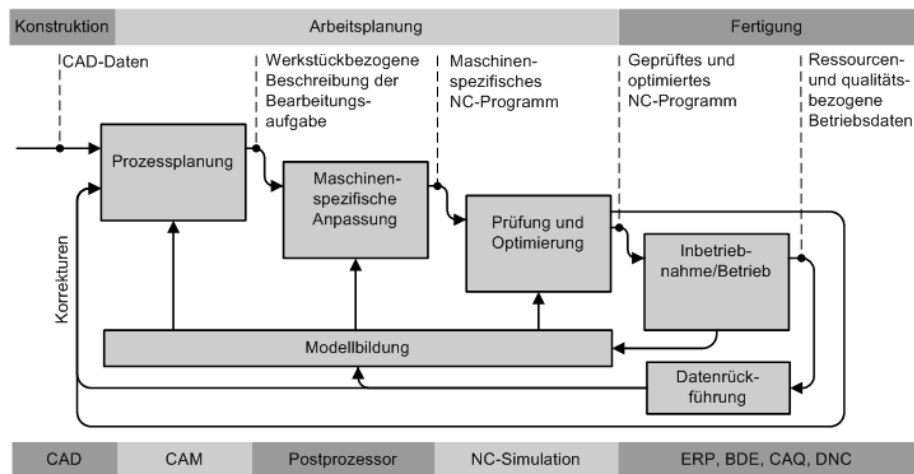
Erstmals beschreibt eine Richtlinie außerdem den wichtigen Punkt der Nutzung von Informationen aus dem Digitalen Fabrikbetrieb für Fertigungsmanagementsysteme, die in der VDI-Richtlinie 5600 Blatt 1 detailliert beschrieben sind. Daten, die zur Projektierung operativer IT-Systeme, z.B. zur Anlagenüberwachung, erforderlich sind, können in einem neutralen Austauschformat aus verschiedenen Planungs- und Entwicklungssystemen ausgelesen und der Projektierung der überlagerten Systeme weitestgehend systemunabhängig zur Verfügung gestellt werden (siehe Abb. 2).

Die überlagerte Informationstechnik kann zur Evaluierung und Verbesserung der Modelle einzelner und verketteter Anlagen schon während der virtuellen Inbetriebnahme von Anlagen genutzt werden. Aktuell wird dabei darauf abgezielt, die überlagerte Informationstechnik mit Modellen in Betrieb zu nehmen, ebenso ist es dann aber möglich, die Modelle mit den Informationen aus der überlagerten Informationstechnik anzureichern und zu verbessern.

## 6 Einsatz des Digitalen Fabrikbetriebes in Anwendungsgebieten der Fertigung

Um den Einsatz sowie die Herausforderungen und Voraussetzungen des Digitalen Fabrikbetriebs in konkreten Anwendungsgebieten deutlich zu machen, wurde zwischen den Anwendungsgebieten Einzelmaschinen und verketteten Produktionsanlagen unterschieden. Einzelmaschinen, z.B. NC-Werkzeugmaschinen, fokussieren dabei auf die zu fertigenden Teile, während bei automatisierten Fertigungsanlagen die Ressourcen der Anlage selbst im Mittelpunkt der Planung stehen.

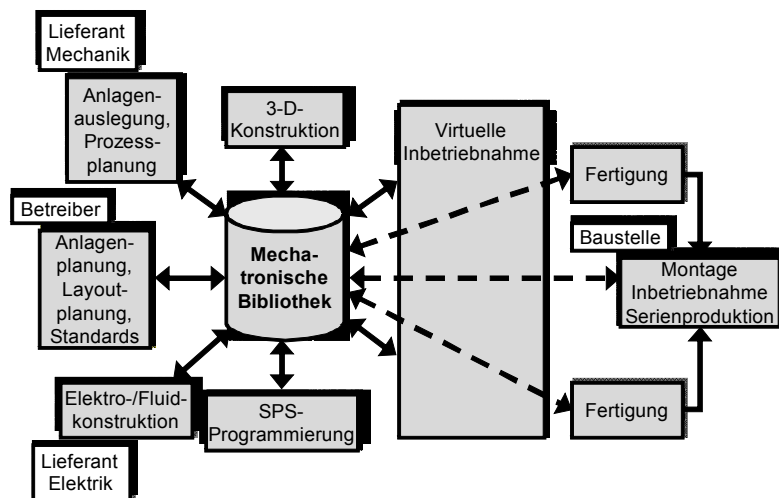
Die rechnergestützte Fertigungs- und Prozessplanung umfasst innerhalb des Digitalen Fabrikbetriebs alle rechnerunterstützten Tätigkeiten, die erforderlich sind, um für ein Bauteil, Bearbeitungs- und Messprogramme zur Steuerung einer NC-Werkzeugmaschine zu erstellen und in Betrieb zu nehmen. Die Bauteile durchlaufen dabei die Funktionsbereiche Konstruktion, Arbeitsplanung und Fertigung (Abb. 4).



**Abbildung 4:** Ablauf, Funktionsbereiche und Software der Teilefertigung (VDI 4499, Blatt 2, S. 11)

Zunächst wird die Werkstückgestalt im CAD festgelegt und die zur Bearbeitung notwendigen Werkzeugwege und technologischen Prozessparameter werden im CAM-System (Computer Aided Manufacturing) definiert. Nach Anpassung dieser Bearbeitungsbeschreibung an die jeweilige Maschine durch den Postprozessor, erfolgt die Prüfung und Optimierung des entstandenen NC-Programms mithilfe der NC-Simulation. Schließlich wird das NC-Programm auf die reale Maschine übertragen und in Betrieb genommen (DENKENA 2009a, S. 303). In der Richtlinie werden als wesentliche Funktionen des Digitalen Fabrikbetriebs das Zusammenspiel der unterschiedlichen Softwaresysteme, deren Rückgriff auf eine durchgängige Datenbasis zur Modellbildung, z.B. von NC-Steuerung, Werkzeugmaschine, Werkstücken und Werkzeugen, die Rückführung von Realdaten aus der Fertigung sowie die darauf basierende Aktualisierung der Modelle betrachtet.

NC-Werkzeugmaschinen können Teil einer automatisierten Produktionsanlage sein, z.B. wenn mehrere Werkzeugmaschinen durch ein automatisiertes Materialflusssystem verkettet sind. Bei automatisierten Produktionsanlagen spielen das Datenmanagement und die Modellierung der einzelnen Anlagenkomponenten eine zentrale Rolle. Im Sinne eines Digitalen Fabrikbetriebs ist es erforderlich, dass disziplinübergreifend gearbeitet und modelliert wird. Komponenten werden daher in mechatronischen Objekten als Teil einer umfassenden mechatronischen Bibliothek (siehe Abb. 5) beschrieben, die alle relevanten Teilaspekte umfasst. Diese mechatronische Bibliothek ist das Herzstück des Digitalen Fabrikbetriebs, da hier alle relevanten Daten für den späteren Betrieb zusammengeführt und in Beziehung zueinander gesetzt werden.



**Abbildung 5:** Gemeinsame Arbeitsweise auf Basis eines gemeinsamen Planungs- und Entwicklungsmodells (VDI 4499, Blatt 2, S. 19).

In der Richtlinie werden Planungsaufgaben geeignete Werkzeuge des Digitalen Fabrikbetriebs zugeordnet und deren spezifischen Anforderungen an das durchgängige Datenmanagement benannt. Hierbei wird auch die Notwendigkeit entsprechender Formate und Schnittstellen betont. Gleichzeitig werden auch daraus resultierende Probleme und Aufgaben wie beispielsweise ein adäquates Änderungsmanagement angesprochen.

## 7 Ausblick

Um Änderungen an Produktionsanlagen mitlaufend zum Betrieb zu erkennen und damit zu gewährleisten, dass die Digitale Fabrik mit der realen Fabrik abgeglichen wird, sind Softwarekomponenten eines Änderungsmanagements erforderlich. Aufgaben dieser Änderungsmanager sind, die Änderungen an einer Anlage zu detektieren und sie mit den Beteiligten eines Produktionssystems zu koordinieren. Steuerungs-Software-Manager übertragen Änderungen an die Steuerungskomponenten, überwachen die Steuerungskomponenten und melden Änderungen an den

Änderungsmanager, der wiederum ein übergeordnete Leitsystem triggert. Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts "ProduFlexil" (SCHLEIPEN u.a. 2008) wurde bereits ein modulares Informationsmodell entwickelt, dem ein Mechanismus zu Grunde liegt, der es ermöglicht, die Daten aus einem Anlagensimulationstool in OWL (Web Ontology Language) zu repräsentieren und jederzeit über das standardisierte Austauschformat CAEX an ein Leitsystem zu übermitteln.

Ohne eine parallel zu den aktuellen Entwicklungsarbeiten laufende Standardisierung wird das Ziel einer permanenten Planungsbereitschaft in der Fabrik nicht zu erreichen sein. Darum arbeiten Mitarbeiter des Fraunhofer IOSB in diversen Standardisierungsgremien, z.B. im VDI-Fachausschuss "MES-Maschinenschnittstellen (VDI 5600, Blatt 2)" und wirken im Gremium "Durchgängiges Engineering von Leitsystemen (VDI-GMA FA 6.12)" mit. Mit AutomationML™ arbeitet ein industriegetriebenes Konsortium daran, für das Engineering von Produktionsanlagen einen Standard der Standards zu entwickeln, mit dem der oben geforderte durchgängige Datenaustausch unabhängig von Softwarewerkzeugen möglich ist (DRATH 2010).

## Literatur

- DENKENA, B.; AMMERMANN, C.: CA-Technologien in der Fertigungs- und Prozessplanung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), München, 104(2009)4, S. 300-305. (=2009a)
- DENKENA, B.; AMMERMANN, C.; CHARLIN, F.: Analyse und Optimierung des Datenmanagements in variantenreicher Werkstattfertigung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), München, 104(2009)9, S. 787-790. (=2009b)
- DRATH, R. (Hrsg.): Datenaustausch in der Anlagenplanung mit AutomationML. Berlin: Springer Verlag, 2010.
- EHLENSPIEL, K.; LINDEMANN, U.; KIEWERT, A.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- SAUER, Olaf: Einfluss der Digitalen Fabrik auf die Fabrikplanung. wt Werkstattstechnik online, Berlin, 94(2004)1-2, S. 31-34.
- SCHLEIPEN, Miriam; SCHICK, Klaus; SAUER, Olaf: Layoutmanager für automatisch erstellte Prozessführungsbilder mit Hilfe von Daten aus der Digitalen Fabrik. In: Advances in simulation for production and logistics applications. Hrsg.: RABE; Markus. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 397-406.
- SCHLEIPEN, Miriam, u.a.: Veränderungen im Konzeptions- und Konstruktionsprozess durch modular aufgebaute Anlagen mittels Ambient Intelligence-Technologien. In: Tagungsband zum Stuttgarter Softwaretechnik Forum (Science meets business). Stuttgart, 2008, S. 57-67.
- VDI Richtlinie 4499: Digitale Fabrik.  
Blatt 1: Grundlagen und Planung. Februar 2008.  
Blatt 2: Digitaler Fabrikbetrieb (Gründruck). Dezember 2009.