

# Navigator System for Virtual Manufacturing Process

## Navigator-System zum virtuellen Fertigungsprozess

Dr.-Ing. Hashem Badra\*, Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova†

\*Institute for Information Management in Engineering, Karlsruhe Institute of Technology  
Karlsruhe, Germany, [hashem.badra@kit.edu](mailto:hashem.badra@kit.edu)

†Institute for Information Management in Engineering, Karlsruhe Institute of Technology  
Karlsruhe, Germany, [Jivka.ovcharova@kit.edu](mailto:Jivka.ovcharova@kit.edu)

**Abstract** — Due to the constantly growing complexity of products and their manufacturing processes, product manufacturing processes should be effectively controlled and managed. In this article, a navigator system is presented and briefly described in which the virtual manufacturing processes are effectively and thoughtfully controlled and managed. It is also referred to as a system network in which systems or software are integrated that make a major contribution to the execution of the virtual manufacturing processes of a product.

**Zusammenfassung** — Aufgrund der permanent wachsenden Komplexität der Produkte und deren Fertigungsprozesse sollten die Produktherstellungsprozesse effektiv gesteuert und gemanagt werden. In dem Beitrag wird ein Navigator-System dargestellt und kurz beschrieben, in dem die virtuellen Fertigungsprozesse effektiv, durchdacht gesteuert und gemanagt werden. Es wird auch als System-Verbund, in dem Systeme oder auch Software integriert werden, bezeichnet. Diese Systeme leisten einen großen Beitrag zur Ausführung der virtuellen Fertigungsprozesse eines Produkts.

### I. EINFÜHRUNG

Die aktuellen Anforderungen des Marktes, wie Varianten, Flexibilität, kurzer Produktlebenszyklus usw. stellen die produzierenden Unternehmen ständig vor neuen und wachsenden Herausforderungen, damit sie sich weiter erfolgreich behaupten und um wettbewerbsfähig bleiben zu können. Dies kann durch eine wissenschaftliche und praxisnahe sowie durchdachte Fabrik-/ Fertigungsplanung entstehen. Die Steuerung und Regelung der Fertigungsprozesse leisten in diesem Fall einen bedeutenden Beitrag. In diesem Artikel wird eine Methodik zur Steuerung und Regelung der virtuellen Fertigungsprozesse mittels eines sog. Navigator-Systems dargestellt, das im Rahmen der Fabrikplanung verwendet werden kann.

### II. MOTIVATION

Die jetzigen und zukünftigen mechatronischen Produkte beruhen vielfach auf dem Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik, die durch komplexe Bauteile und Funktionalitäten gekennzeichnet sind und die von immer komplexer werdenden Produktentstehungs- und Produktionsprozessen begleitet werden [1]. Die Herstellung solcher Produkte ist mit den klassischen Vorgehensweisen wirtschaftlich nicht beherrschbar. Für die Planung und die Entstehung solcher Produkte werden zunehmend neue Technologien bspw. der Ansatz der digitalen Fabrik mit deren Werkzeugen eingesetzt. Somit ist die Digitale Fabrik auch als Muster des Virtuellen Engineerings zu betrachten [6], [7].

### III. PROBLEMSTELLUNG

Der virtuelle Fertigungsprozess eines Produkts, der mittels mehrerer und unterschiedlicher Tools von verschiedenen Softwareherstellern ausgeführt werden können, kann in das Konzept „digitale Fabrik“ eingebettet bzw. integriert werden. Die meisten existierenden Tools bzw. Werkzeuge für die Fabrik-/Fertigungssimulation wurden als Einzellösungen (sog. Insellösungen) entwickelt und sind in der Praxis im Einsatz. Diese Einzellösungen sind für bestimmte Einzelaufgaben bspw. die Montagesimulation (vgl. Abb. 1) geeignet [3].

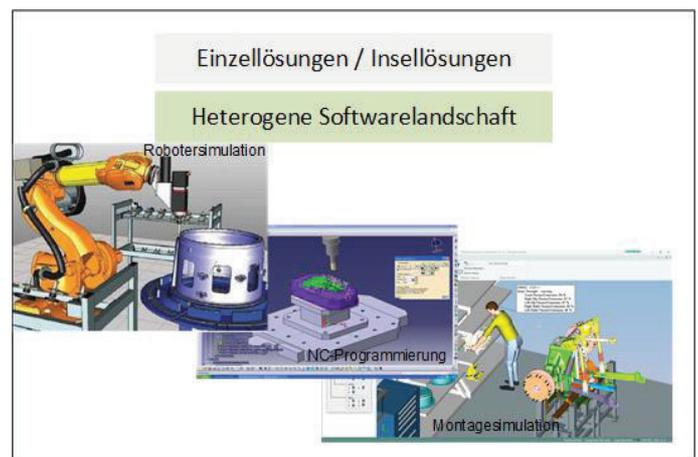


Abb. 1. Einzellösungen/Insellösungen zur virtuellen Fertigung

Beim Einsatz der Insellösungen für die virtuellen Fertigungsprozesse entstehen mehrere Probleme, z. B. ungünstiger Datenaustausch, häufiges Fehlerauftreten etc. Hieraus resultiert, dass Produkte zu späteren Zeitpunkten auf

dem Markt eingeführt werden. Somit verfügen die heutigen Lösungen für CAD und digitale Fabrikplanung über ungenügende Durchgängigkeit [9]. Dies hat zur Folge, dass die Konkurrenzfähigkeit leidet. Daher entsteht der Bedarf nach Verbesserungen einerseits zum Datenaustausch und andererseits zum Navigieren unter den eingesetzten Tools unterschiedlicher Herkunft, um die Steuerung und Regelung in dem virtuellen Fertigungsprozess zu verbessern bzw. zu optimieren.

#### IV. ZIELSETZUNG

Als Lösungsansatz der dargestellten Problematik bietet sich ein Tool-Verbund (auch Navigator-System genannt) basierend auf einer graphischen Modellierungsmethode an, in dem die Durchführung der virtuellen Fertigungsprozesse (Teilefertigung, Montage und Endkontrolle) und Modellierung der Produkte sowie Produktionslinien stattfindet.

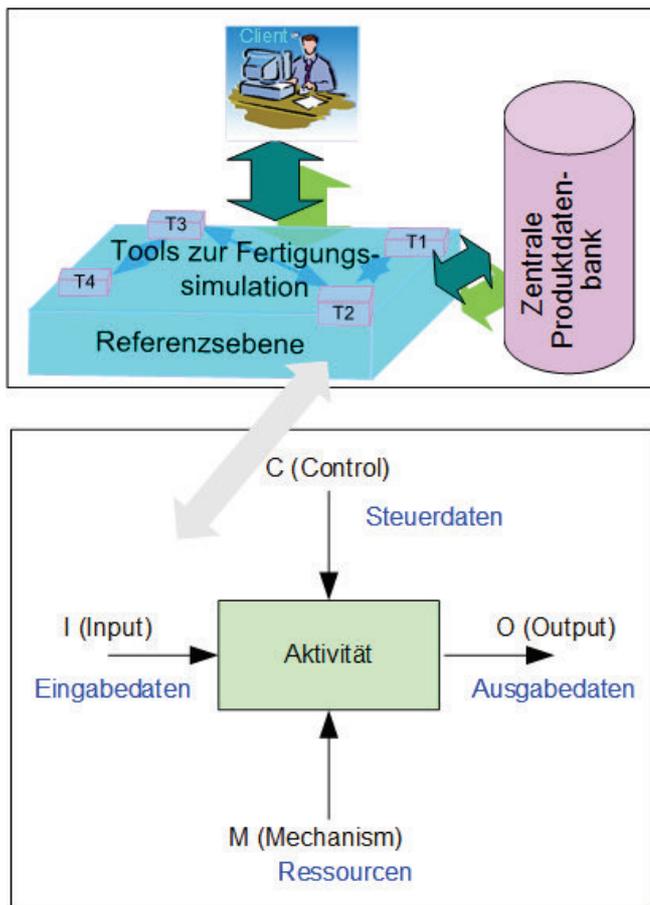


Abb. 2. Ansatz zum Toolverbund/ Navigator-System basierend auf der SADT-Methode

#### V. METHODEN ZUR MODELLIERUNG

Da die Fertigungssysteme eigentlich als Subsystemen der Fabrik zu betrachten sind, wird ihre Planung im Rahmen der Fabrikplanung durchgeführt. Für solche Planung existieren diverse Methoden, die aufgrund der Planungsdauer und –häufigkeit den heutigen Anforderungen nicht entsprechen. Deshalb ist eine Rechnerunterstützung im gesamten Planungsprozess erforderlich, um eine möglichst schnelle Umsetzung der Kundenwünsche und Produktideen zu erzielen und konkurrenzfähig bleiben zu können.

Hierfür werden Methoden zur Prozessmodellierung eingesetzt, die z. B. Fertigungssysteme realitätsnah beschrieben und darstellen können. Graphikbasierte Methoden sind zur Modellierung

von Prozessen wie „Produkt fertigen“ und „Produkt montieren“ sehr gut geeignet. Mit der Prozessmodellierung können mehrere Ziele erreicht werden, u. a. die Vermeidung von Prozessschleifen, Medienbrüchen und die Bestimmung von Abhängigkeiten der Prozesse untereinander [2]. Ein Vergleich mehrerer grafikbasierten Methoden, die zur Anwendung für die Modellierung von virtuellen Fertigungsprozessen in Frage kommen, weist darauf hin, dass die SADT-Methode „Structured Analysis and Design Technique“ aus mehreren Gründen u. a. der Übersichtlichkeit, Rückführung, Navigation und Verfeinerung bis zu einem definierten Detaillierungsgrad geeignet ist [4].

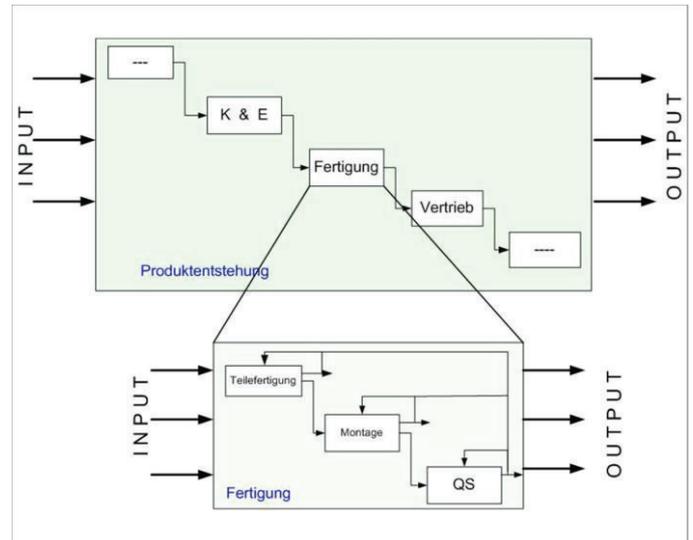


Abb. 3. SADT-Diagramm - virtuelle Fertigung

#### VI. SADT-METHODE UND VIRTUELLER FERTIGUNGSPROZESS

Abb. 3 zeigt die Prozesskette „virtuelle Fertigung/ virtuelle Produktentstehung“ in einem SADT-Diagramm. Hierbei sind alle Hauptbereiche bzw. Teilprozesse Teilefertigung, Montage und Endkontrolle/ Prüfung vorhanden, die sequentiell, parallel oder auch zeitlich überlappend anzuordnen sind [4]. Für die virtuelle Fertigung sind die Daten aus der Konstruktion und Entwicklung als INPUT zu betrachten, die innerhalb des virtuellen Fertigungsprozesses mittels bestimmten Tools verarbeitet und als OUTPUT ausgegeben werden. Weitere Konkretisierung bzw. Detaillierungen der virtuellen Fertigung lassen sich in Abb. 4 darstellen. Dabei lässt sich erkennen, dass innerhalb der Aktivitäten z.B. virtuelle Teilefertigung die Eingabedaten von den Ressourcen (Software, Methoden, Personal) verarbeitet und in Ausgabedaten ausgegeben werden.

3D-Konstruktionen und technische Zeichnungen sind als Eingangsdaten und auch als Basis für die virtuelle Fertigung zu bezeichnen, die für die virtuelle Teilefertigung der Einzelteile von den Ressourcen verarbeitet werden. In dem Teilprozess virtuelle Montage werden die schon virtuell gefertigten Einzelteile montiert. Dies erfolgt entweder manuell mittels eines Menschmodells oder automatisch mittels Roboter-Modells. Eine hybride virtuelle Montage kann auch mittels bestimmter Software verwendet werden.

Als Ergebnis der virtuellen Montage sind digital montierte Produkte oder auch Baugruppen zu betrachten, welche in dem letzten Schritt der virtuellen Fertigung auf ihre Funktionsfähigkeit virtuell geprüft werden.

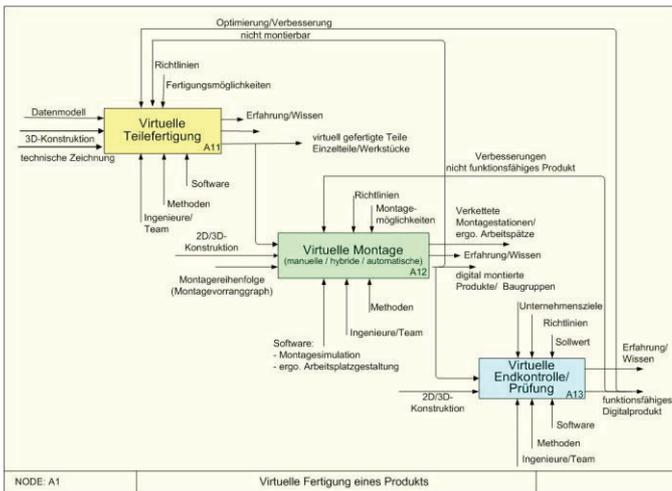


Abb. 4. Detaillierung der virtuellen Fertigung basierend auf die SADT-Methode

### VII. METHODIK DER STEUERUNG UND DER NAVIGATION

Für die Steuerung und die Navigation der virtuellen Fertigungsteilprozesse sowie die durchgängig kontinuierliche Verarbeitung der innerhalb des Prozesses „virtuelle Fertigung“ generierten Daten und Dateien ist ein Leitsystem bzw. ein Navigator-System (NS) erforderlich. Dieses System soll eine gemeinsame Infrastruktur mit einer grafischen Benutzeroberfläche besitzen. Beim Entwurf des NS sind einige Anforderungen u.a. die Navigation unter den einzelnen Tools ohne Medienbruch zu beachten [4]. Innerhalb des NS sind die virtuellen Fertigungsprozesse nach der SADT-Methode verbunden. Diese Prozesse können sequenziell, parallel, zeitversetzt oder auch bei Möglichkeit gleichzeitig mittels externer Anwendungen ausgeführt werden.

### VIII. AUFBAU DES NAVIGATOR-SYSTEMS

Abb. 5 vermittelt einen groben Überblick über den Datenfluss des Navigator-Systems (NS) und dessen Bestandteile. Es besteht aus einer gemeinsamen und graphischen Benutzeroberfläche (BO), einem Prozessmanagement-System (PMS) sowie einer zentralen Produktdatenbank (ZPDB).

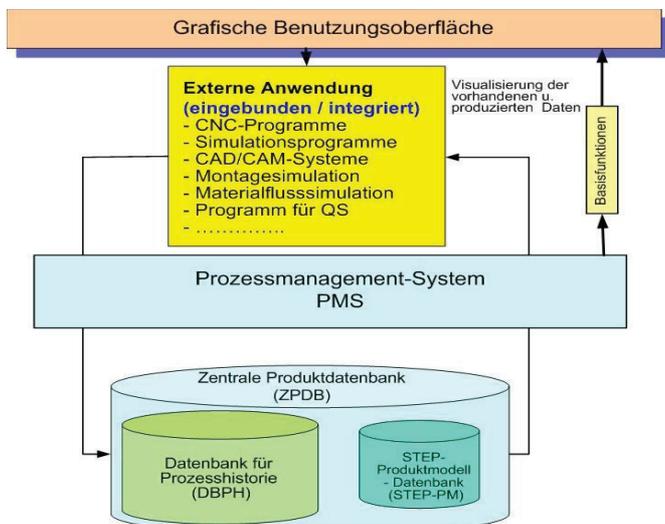


Abb. 5. Überblick über die Bestandteile /Datenfluss im NS [4]

Auf der BO können Produkt- und Prozessdaten visualisiert und externe Anwendungen (CAD/ CAM-Systeme, Simulationsprogramme) für den virtuellen Fertigungsprozess ausgeführt werden. Das PMS ist die Kommandozentrale zur Steuerung des Datenflusses innerhalb des NS. Die ZPDB wird zur Abspeicherung und Archivierung der Produkt- und Prozessdaten verwendet. Während des virtuellen Fertigungsprozesses findet ein Zusammenspiel der erwähnten Systemkomponenten statt [3].

### IX. DARSTELLUNG DES NS

Das NS lässt sich in Abb. 6 darstellen. In der grafischen BO werden die virtuellen Teilprozesse der virtuellen Fertigung in einem Hauptmenü platziert, die auf Wunsch graphisch und basierend auf der SADT-Methode [4], [5], [6], auf der Arbeitsfläche dargestellt werden können. Die Verknüpfungen zu den externen Anwendungen sind ebenfalls in der BO platziert und können bei Bedarf verwendet werden. Zur Ausführung eines Teilprozesses der virtuellen Fertigung eines Produkts werden die entsprechenden externen Anwendungen in der Benutzungsoberfläche durch den Programmstart aktiviert, die in einem separaten Fenster in der Arbeitsfläche ausgeführt werden. Im Hintergrund werden den aktivierten externen Anwendungen benötigte Daten und Dateien aus der ZPDB über das PMS gesendet.

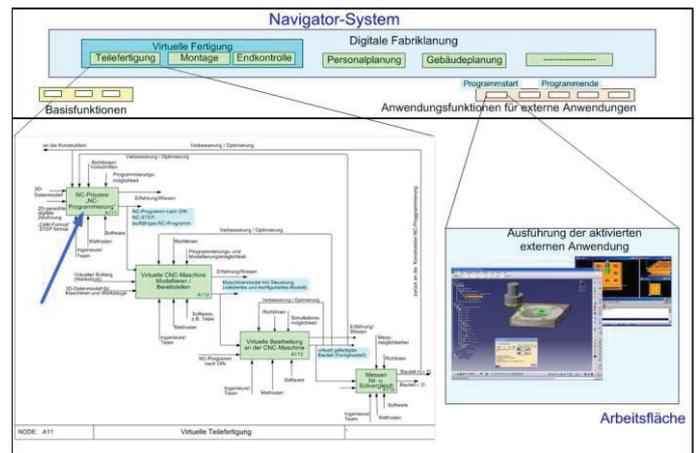


Abb. 6. Virtuelle Teilefertigung im Navigator-System

### X. ANWENDUNGSBEISPIEL

Zur Verifizierung der entwickelten Methode soll das Produkt Hydropumpe virtuell gefertigt werden (vgl. Abb. 7). Hierfür werden mehrere Eingangsdaten dem NS über das PMS von einer externen Datenstelle importiert, die in der ZPDB entsprechend zur Weiterverwendung abgelegt und archiviert werden. Hier gilt wie oben erwähnt, dass die Navigation unter den Prozessen/Teilprozessen basierend auf der SADT-Methode auf der gemeinsamen Ebene BO des NS erfolgt. Diese Prozesse/Teilprozesse werden mittels externer Anwendungen ohne Unterbrechungen (Medienbrüche) ausgeführt. Hierfür ist der Anstoß der *virtuellen Fertigung* des Produkts „Hydropumpe“ vorzunehmen. Dabei sind externe Anwendungen für die Teilprozesse „virtuelle Teilefertigung, virtuelle Montage und virtuelle Prüfung“ nötig. Die digitalen Bauteile, Baugruppen sowie Kauf- und Normteile sind aus mehreren CAD-Systemen ins NS über eine externe Datenschnittstelle zu importieren.

Beispielhaft wird lediglich die virtuelle Teilefertigung für das Teil „Gehäuse“ innerhalb des NS durchgeführt. Zur Durchführung dieses Teilprozesses „Teile-fertigung“ werden geeignete und im NS integrierte externe Anwendungen in der grafischen BO des NS aktiviert bzw. gestartet, die autonom und unbeeinflusst vom NS arbeiten. Diese externen Anwendungen öffnen sich in einem neuen Fenster mit eigenem Menü und führen bspw. den NC-Prozess für das Gehäuse, den Prozess zur Modellierung virtueller CNC-Maschinen usw. aus.

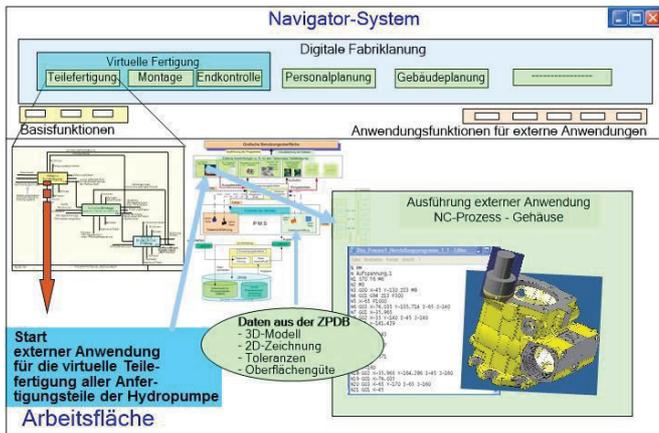


Abb. 7. Hydropumpe-Gehäuse im Navigator-System

Hierbei werden die benötigten Daten des Gehäuses, wie 2D-Zeichnung, 3D-Modell des Gehäuses usw. durch das PMS aufbereitet und der aktivierten externen Anwendung gesendet. Die durch die externe Anwendung modifizierten Daten (hier das Modell für das bearbeitete Gehäuse, NC-Programm) werden über das PMS an die ZPDB zurückgesendet und dort sortiert sowie passend abgelegt. Diese Daten stehen für die weitere Verwendung in der virtuellen Montage und Prüfung zur Verfügung.

- [1] T. Günther, R. Brandis, D. Nordsiek, S. Peters, „Frühzeitige und qualifizierte Kostenprognose für Produktionssysteme“. In: BMF-Kongress 10. Karlsruher Arbeits-gespräche Produktionsforschung 2010, KIT Karlsruhe.
- [2] R. Anderl, „Produktdateientechnologie -Produkt- u. Prozessmodellierung, Skript“ SS2011, Fachgebiet Datenverarbeitung TU Darmstadt.
- [3] B. Awiszus, A. Hoffmann, et al, „Durchgängige Virtualisierung der Entwicklung u. Produktion von Fahrzeugen“. Gemeinsamer FuE-Abschlussbericht, BMBF 2012.
- [4] H. Badra, „Konzeptionelle Entwicklung einer Methodik zur Navigation in der Fertigungssimulation im Rahmen der Fabrikplanung“, Dissertation, TU Chemnitz, 2012.
- [5] H. Badra, E. Müller, „Prozessmanagement in den Fertigungssystemen - Navigator System“, Konferenz VPP2013 – Trend and Strategien für die Produktion von morgen – 24.10.2013, Chemnitz 2013.
- [6] H. Badra, „Virtual Manufacturing- Navigator System“ In: 5th International Conference on Engineering and Sustainability (ICES5), Dec. 2014 Islamic University of Gaza, Palestine.
- [7] J. Ovtcharova, „Virtuelles Abbild - neue Ingenieurmethoden für Industrie 4.0“. In: 3.Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung an der Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik. Technische Universität Chemnitz, 2015.
- [8] J. Ovtcharova, „Virtual Engineering I, Vorlesungskript 2007“, Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) Karlsruhe Institut für Technologie (KIT)
- [9] N.N., „Virtuelle Inbetriebnahme“, IT&Production, <https://www.it-production.com/produktentwicklung/virtuelle-inbetriebnahme/> - Nov. 2018