

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

Überwachung und Diagnose mit betriebsparallelen Simulationsmethoden

Monitoring and Diagnostics based on Synchronous Simulation Methods

Sebastian Kain, Frank Schiller
Fachgebiet für Automatisierungstechnik, Lehrstuhl für Informationstechnik,
Technische Universität München, Garching (Germany)
kain@itm.tum.de, schiller@itm.tum.de

Thomas Trenner, Siemens AG, Nürnberg (Germany),
trenner.thomas@siemens.com

Abstract: Fulfilling considerable requirements concerning flexibility, availability and efficiency, automation systems have become complex mechatronic systems. In the operation phase, the identification and analysis of failures is fundamental. Bearing the challenges of automation systems, a methodology is proposed, realizing monitoring and diagnostics based on an extended quantitative simulation approach with qualitative aspects. Therein, a simulation operated in parallel to the real system represents the functional behavior of the system.

1 Motivation

An Fertigungsanlagen werden hohe Anforderungen bezüglich Flexibilität und Effizienz gestellt. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen soll in Anlagen z.B. die effiziente Bearbeitung unterschiedlicher Produkte in möglichst großer Anzahl und gemäß der erforderlichen Qualität möglich sein (WEIGERT, WERNER, KELLNER 2002, S.42; WIENDAHL, HEGER 2004). Ein Maß für die Performanz einer Anlage stellt die Gesamtanlageneffektivität (GAE) dar. Diese umfasst die drei Kennzahlen Verfügbarkeitsgrad, Leistungsgrad und Qualitätsgrad einer Anlage und ermöglicht die Bewertung der erzielten Wertschöpfung (HANSEN 2005). Im Anlagenbetrieb können unterschiedliche Einflüsse auf die Anlage einwirken und zu Abweichungen vom optimalen Anlagenbetrieb führen, daher kommen Überwachung und Diagnose des Anlagenbetriebs eine besondere Bedeutung zu.

Im Beitrag werden bestehende Konzepte zur Unterstützung des Anlagenbetriebs auf Basis quantitativer Modelle eingeordnet und ein weiterführendes Konzept zur

Online-Überwachung des Anlagenbetriebs vorgestellt. Der Beitrag ist folgendermaßen strukturiert: In Abschnitt 2 folgt die Einordnung unterschiedlicher quantitativer Simulationsverfahren zur Unterstützung des Anlagenbetriebs. Daran anschließend wird in Abschnitt 3 eine Architektur zur simulationsbasierten Online-Anlagenüberwachung und Diagnose vorgestellt, in Abschnitt 4 ein geeignetes Simulationsmodell vorgestellt und in Abschnitt 5 das notwendige Vorgehen diskutiert. Ein Konzept zur prototypischen Umsetzung folgt in Abschnitt 6, Abschnitt 7 schließt mit einem Ausblick.

2 Einsatz quantitativer Simulationsmodelle im Anlagenbetrieb

Im Entwicklungsprozess von Fertigungssystemen wird das Anlagenengineering mittlerweile wesentlich durch Modellbildung und Simulation unterstützt. In frühen Phasen der Entwicklung ermöglichen abstrakte ereignisdiskrete Modelle vorab Aussagen über das zu erwartende Anlagenverhalten, z. B. bei der Layoutplanung. Nachfolgend kommen im Engineering des Steuerungssystems und der Leittechnik bis hin zur virtuellen Inbetriebnahme quantitative funktionale Simulationsmodelle zum Einsatz (DEUTEL, SUHM 2002, S. 14).

Im Betrieb ermöglicht die Vorhersage des zu erwartenden Anlagenverhaltens die frühzeitige Bewertung und Optimierung des angestrebten Prozesses. Aus Kosten- und Aufwandsgründen wird eine Weiterverwendung der im Entwicklungsprozess erstellten Modelle im Anlagenbetrieb angestrebt. Dazu werden im Folgenden Simulationsmethoden zur Bestimmung des Anlagen- und Prozessverhaltens im laufenden Anlagenbetrieb vorgestellt und eingeordnet.

2.1 Simulationsbasierte Anlaufunterstützung

Besonders der Anlauf von komplexen Automatisierungssystemen stellt eine große Herausforderung dar. Kürzere Produktentwicklungszyklen und zahlreiche Produktvarianten erfordern einen aufwandsarmen Produktionsanlauf sowie einen wirtschaftlichen Betrieb (DÖBELE, BREGULA 2008, S. 3). In LANZA (2005, S. 54) wird ein Verfahren vorgestellt, in dem herkömmliche Ablaufsimulation um Funktionen erweitert wird, welche die Eignung des Prozesses beschreiben. Grundlage hierfür ist die Abbildung dieser Prozesseigenschaft in sog. Qualitätsfähigkeitskurven. Damit kann die zu erwartende Prozessqualität vorherbestimmt werden. Liegen Handlungsalternativen zum Produktionsanlauf vor, ermöglichen in der Simulation ermittelte GAE die Beurteilung der Alternativen. Damit können Anlaufverzögerungen reduziert und somit die Zeit bis zur Einführung des zu fertigenden Produkts am Markt verringert werden.

2.2 Betreibersimulation

Der Begriff "Betreibersimulation" wird in der Literatur nicht einheitlich verwendet. In VDI (2000, S. 4) werden Anwendungsfälle für Simulation in der Betriebsphase aufgezeigt, die den Betreiber durch vorausschauende Untersuchungen beim Betrieb des realen Systems unterstützen. Das Ziel der Betreibersimulation besteht darin, die

Produktionsplanung und -steuerung (PPS) mit Simulationsmethoden zu unterstützen (HOLZ 2007, S. 37). Die Aufgaben von PPS-Systemen umfassen neben Auftragskoordination, Lagerwesen und Controlling auch die Produktionssteuerung zur Durchführung und Überwachung der Produktion (GLASER, GEIGER, ROHDE 1992). Zweck der Betreibersimulation ist dabei i.A. die Vorhersage des Verhaltens kompletter Anlagen/Fabriken.

In KLOSE (2006, S.7) wird eine Implementierung für die innerbetriebliche Logistik der Automobilindustrie vorgestellt, in welcher die Parametrierung der Simulation auf Basis des aktuellen Prozessabbildes der Produktion erfolgt. Anschließend wird die Simulation durchgeführt, um Durchlaufzeiten, kumulierte Rückstände oder das Verhalten von Anlagenspeichern zu bestimmen.

Ein vergleichbarer Ansatz auf Linien-/Anlagenebene wird in SAUER (2000) als "betriebsbegleitende Simulation" vorgestellt. Ziel ist die Unterstützung der Produktionsplanung durch Vorhersagen über den weiteren Produktionsverlauf (z.B. der laufenden Schicht) mit Hilfe von vorwiegend ereignisdiskreten Simulationsmodellen.

2.3 Betreibersimulation auf Maschinenebene

In KAIN, HEUSCHMANN und SCHILLER (2008) wird ein simulationsbasierter Ansatz zur Identifikation des Optimierungspotentials von Automatisierungssystemen auf Maschinenebene vorgestellt. In einer Voraussimulation wird das zu erwartende Anlagenverhalten ermittelt und durch geeignete Auswertung evaluiert. Grundlage hierfür ist ein funktionales Verhaltensmodell der realen Anlage sowie eine Nachbildung des Steuerungssystems. Initialisiert mit dem aktuellen Zustand der Anlage und des Steuerungssystems ermöglicht die Voraussimulation die Berechnung des Systemverhaltens ohne Einwirkung äußerer Störungen. Die Validität des Modells der Anlage sowie des Steuerungssystems bestimmen maßgeblich die Belastbarkeit der Simulationsergebnisse. Die Autoren diskutieren deshalb eine Methodik zur Modellierung des Steuerungssystems unter Verwendung des originalen Steuerungscode.

2.4 Einordnung und Bewertung der Simulationsansätze

Alle vorgestellten Simulationsansätze bieten eine Methodik an, den in dem Automatisierungssystem realisierten Prozess mit Hilfe von Maß- und Bewertungsgrößen zu charakterisieren. Die gewählten Begrifflichkeiten dienen maßgeblich zur Abgrenzung von bestehenden Simulationsmethoden und ermöglichen allein keine Strukturierung.

Bei der "Simulationsbasierten Anlaufunterstützung" liegt die Anlaufphase des noch veränderlichen Produktionsprozesses im Mittelpunkt. Im Anlagenbetrieb unterstützen "Betreibersimulation" und "Betriebsbegleitende Simulation" im Wesentlichen die Produktionsplanung und -steuerung. In der "Voraussimulation" liegt der Fokus der Vorherbestimmung auf Maschinenebene. Damit fokussieren die vorgestellten Simulationsansätze auf unterschiedliche Systemsichten und unterscheiden sich in dem Einsatzzweck und dem Detaillierungsgrad der Systemnachbildung.

Allen Anwendungen gemein ist der Ansatz, das zukünftige Anlagenverhalten vorher zu bestimmen und durch Eingriffe in die Auftragsplanung optimal zu gestalten. Damit können Auswirkungen von Störungen im Anlagenbetrieb zwar vermindert, nicht jedoch deren Auftreten erkannt werden. Im Folgenden wird ein Ansatz vorgestellt, welcher auf Basis einer parallel betriebenen Echtzeitsimulation die Überwachung und Diagnose von Fertigungsanlagen im Betrieb ermöglicht.

3 Überwachung des Anlagenbetriebs mit parallelbetriebenen Simulationsmodellen

In der Praxis kann die Produktivität einer Anlage durch eine Vielzahl von Faktoren gemindert werden, wie z. B. ungeplante Rüstzeiten, unsachgemäße Bedienung oder Störungen. Die Überwachung des Anlagenbetriebs ermöglicht die frühzeitige Identifikation von Störungen im Anlagenbetrieb.

Die Überwachung des Anlagenbetriebs wird im Folgenden auf Basis eines zeitlich parallel zur realen Anlage betriebenen quantitativen Anlagenmodells realisiert, in welchem die funktionalen Abhängigkeiten in der Anlage nachgebildet sind. Wirken, ausgehend von einem identischen Zustand, die gleichen Eingangsgrößen des Steuerungssystems auf die Simulation und die reale Anlage, stellt sich in beiden idealerweise derselbe Zustand ein (Wechselwirkungen in Regelstrecken der realen Anlage und des Steuerungssystems seien vernachlässigbar). Damit kann der Zustand des realen Systems mit Hilfe der parallel betriebenen Simulation, ähnlich einem Beobachter, ermittelt werden (vgl. Abb. 1).

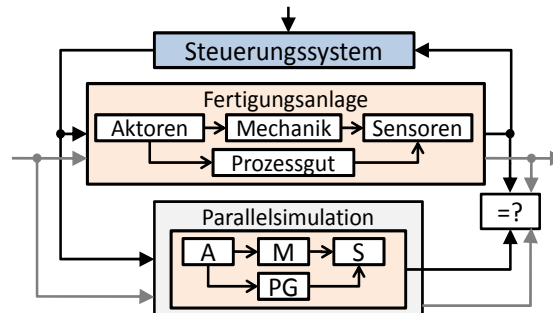


Abbildung 1: Grundlegende Architektur Parallelsimulation

Dies ist einem Hardware-in-the-Loop-Aufbau (STOEPPLER, MENZEL, DOUGLAS 2005, S.13) ähnlich, wobei die in der Simulation ermittelten Sensorsignale nicht in die Steuerung des realen Systems zurückgeführt werden. Durch Auswertung des realen und simulierten (fehlerfreien) Verhaltens kann die reale Anlage überwacht und Abweichungen vom spezifizierten Anlagenverhalten erkannt werden.

4 Modellierung für die betriebsparallele Simulation

Zur Ermittlung des Anlagenverhaltens wird die Wirkkette Aktorik-Mechanik-Prozessgut-Sensorik in der Anlagensimulation nachgebildet. Die Steuerungssignale

bewirken Aktorzustände, die wiederum Eigenschaften des Prozessguts beeinflussen. Anschließend wird in Abhängigkeit des Prozessguts der Zustand der Sensorik bestimmt. Dies kann unter Verwendung von quantitativen funktionalen Simulationsmodellen erreicht werden, wie sie z. B. aus der Anlagenentwicklung zur Verfügung stehen (z.B. DEUTEL, SUHM 2002, S. 15; STOEPLER, MENZEL, DOUGLAS 2005, S. 14).

Beim Einsatz quantitativer Modelle erfolgt auf Basis des hinterlegten Systemmodells stets eine exakte Berechnung des Systemverhaltens. Ebenso führen gleiche Startbedingungen und Einflussgrößen stets zu dem gleichen berechneten Systemverhalten (Determinismus). Treten bei dem Signalvergleich zwischen quantitativer Simulation und Realität Abweichungen auf, ist stets zu untersuchen, ob diese aus Unschärfe im Simulationsmodell (z. B. durch Abstraktion bei der Modellierung des Systems) oder aus Störungen in dem realen System resultieren.

Ist die Unschärfe bekannt, so ist die Auswertung der Abweichungen im Hinblick auf Störungen im Anlagenbetrieb effizient möglich. Um ohne Kenntnis der beschriebenen Unschärfe Störungen zu erkennen, entwerfen DVORAK und KUIPERS (1991, S. 68) Diagnosemethoden auf Basis qualitativer Modelle. Bei Fertigungsanlagen erfordert die Erstellung qualitativer Modelle zur Überwachung und Diagnose zusätzlichen Aufwand. Die Weiterverwendung der bereits im Entwicklungsprozess erstellten quantitativen funktionalen Modelle wäre aus Sicht der Modellbildung und Simulation effizient.

Es sind deshalb Simulationsmethoden zu entwickeln, welche die Realisierung von Überwachung und Diagnose bei Fertigungsanlagen unter Weiterverwendung der im Entwicklungsprozess bereits erstellten funktionalen Anlagenmodelle effizient ermöglichen. In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, dies durch Erweiterung der quantitativen funktionalen Simulationsmodelle um qualitative Elemente zu realisieren:

- Einführung eines Konzepts zur Beschreibung unscharfer Simulationswerte durch Intervalle anstelle von einzelnen Werten.
- Bereitstellung der Möglichkeit zur Berechnung unterschiedlicher Simulationspfade, falls diese durch unscharfe Simulationswerte bedingt sind.

Bei der virtuellen Inbetriebnahme von Steuerungssystemen für Fertigungsanlagen mit dominierendem Materialfluss gilt es, die Position der einzelnen Prozessgüter detailliert zu modellieren, um die Wirkkette Aktor-Prozessgut-Sensor entsprechend der realen Anlage nachzubilden. Im klassischen quantitativen Ansatz kann eine Förderstrecke als Integrator der Prozessgutposition modelliert werden. Stochastische Einflüsse, z. B. durch Reibung an Führungsschienen, werden ggf. über die Mittellung von Modellparametern berücksichtigt. Bei der Simulation resultiert dann entsprechend ein Wert für die Position des Prozessguts, die im Parallelbetrieb statistisch mit dem realen Signal übereinstimmt.

Eine qualitative Erweiterung besteht darin, anstelle konkreter u. U. gemittelter Prozessgutpositionen stochastische Einflüsse mittels Aufenthaltswahrscheinlichkeiten zur Verfügung zu stellen. Zeitvariante Dichtefunktionen erlauben dann z. B. die Berechnung eines zulässigen Intervalls, in welchem sich das Prozessgut in der Realität aufhält (vgl. Abb. 2).

Die Berücksichtigung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten im Modell (und damit Unschärfe) kann dazu führen, dass unterschiedliche Simulationspfade (Kandidaten) gültig sind. Während der Ausführung des Simulationsmodells in Echtzeit sind diese durch Abgleich mit der realen Anlage einzuschränken und Unschärfen durch reale Messwerte zu reduzieren (Synchronisation). Bei der Überwachung des Anlagenverhaltens auf Signalebene erfolgt anschließend die Prüfung, ob sich die Signalverläufe der realen Anlage innerhalb der in der Simulation bestimmten Intervallgrenzen befinden.

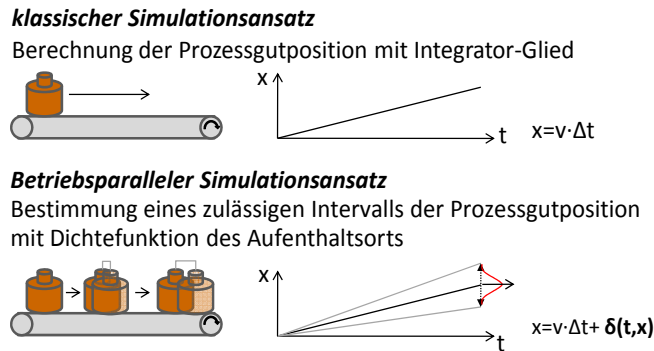


Abbildung 2: Beispiel-Modellierung einer Förderstrecke nach klassischem Ansatz und betriebsparallel

5 Vorgehen bei der Überwachung und Diagnose mit betriebsparalleler Simulation

Zur Anwendung der signalbasierten Überwachung und Diagnose von Fertigungsanlagen auf Basis der erweiterten betriebsparallelen Simulationsmodelle ist folgendes Vorgehen erforderlich:

Im Anlagen-Engineering wird auf Basis der für die Virtuelle Inbetriebnahme erstellten funktionalen Simulationsmodelle das Anlagenmodell für die Parallelsimulation erstellt. Damit umfasst das Simulationsmodell neben geometrischen Abmessungen auch die Funktion der Anlage sowie Abhängigkeiten der Anlagenkomponenten und den realisierten Prozess. Damit kann das Anlagenverhalten bereits näherungsweise abgebildet werden.

Nach der Inbetriebnahme der realen Anlage wird das Simulationsmodell in der Modellvalidierung feinparametriert. Grundlage hierfür ist der Parallellauf der Simulation mit der realen Anlage im fehlerfreien Fall. Dabei erfolgt u.a. die Bestimmung der Parameter zur Abbildung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Prozessgüter im Simulationsmodell mit Hilfe der in der Anlage verbauten Sensorik.

Im Anlagenbetrieb wird das Simulationsmodell parallel zur realen Anlage in einer Echtzeitsimulationsumgebung ausgeführt. Bei dem Signalvergleich wird überprüft, ob sich der Verlauf der realen Sensorsignale innerhalb der in der Simulation berechneten erwarteten Grenzen befindet. Dies ermöglicht die Identifikation und Auswertung von Störungen in der realen Anlage.

6 Prototypische Realisierung

Neben dem zuvor beschriebenen Vorgehen zur signalbasierten Überwachung und Diagnose mit betriebsparalleler Simulation muss die Werkzeugunterstützung zusätzlich folgenden Anforderungen genügen:

- Echtzeitanbindung an die Anlage zur Signalerfassung, z.B. über Feldbus, sowie an das Leitsystem zur Ausgabe von Meldungen
- Nachbildung des Anlagenverhaltens in Echtzeit
- kurz- und langfristiger Vergleich des simulierten und realen Anlagenverhaltens, Diagnosesystem zur Auswertung von Abweichungen

Derzeit wird die in Abb. 3 dargestellte Werkzeugarchitektur unter Verwendung der Werkzeuge Siemens Simba Pro (Ankopplung Feldbus), Siemens Sinumerik MS (Echtzeitsimulation), Microsoft Access (Datenbanksystem) und Mathworks Matlab (Datenauswertung) implementiert.

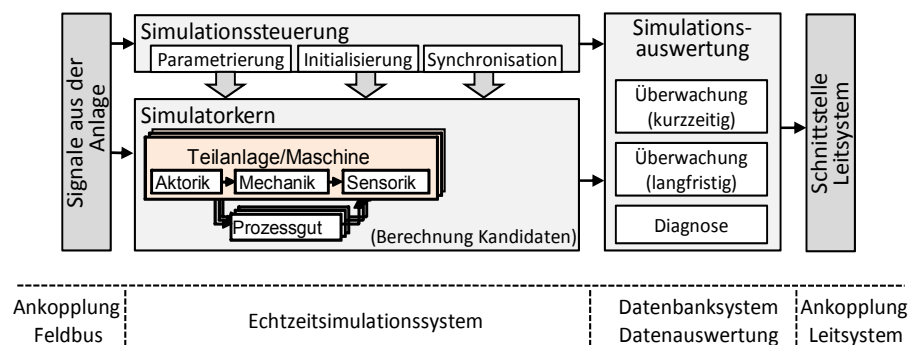


Abbildung 3: Architektur Werkzeugunterstützung betriebsparallele Überwachung und Diagnose

Zur Evaluation dient ein mit Speicherprogrammierbaren Steuerungen (S7-Technologie) und Feldbus (Profibus) ausgestatteter Demonstrator zur Lagerhaltung, Befüllung und Palettierung von Prozessgütern. Erste Ergebnisse der Evaluation am Demonstrator bestätigen das Vorgehen.

7 Ausblick

Betriebsparallele Simulationen auf Feldebene von Fertigungssystemen weisen großes Potential auf, den Anlagenbetrieb zu unterstützen. Das vorgestellte Simulationskonzept ist derzeit Forschungsgegenstand und wird im Rahmen des Verbundprojekts Avilus ("Angewandte Virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus", Fkz. 01IM08001X, gefördert durch das BMBF im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung) untersucht. Dazu erfolgt im Teilprojekt "Betriebsparallele Simulation" in Zusammenarbeit mit dem Anwendungspartner Siemens die Weiterentwicklung der skizzierten Methoden zur betriebsparallelen Simulation für den effizienten Betrieb von komplexen Fertigungsanlagen.

Literatur

- DEUTEL, Franz; SUHM, Christian: Simulation Based Engineering – ein vernetzter Prozess Durchgängiger Einsatz der Simulation über den gesamten Anlagenlebenszyklus. A&D Newsletter, München, Nr.10, Oktober 2002, S. 14-16.
- DÖBELE, Mathias; BREGULA, Markus: Planung der Automatisierungstechnik auf Basis von standardisierten Planungskomponenten. In: 39. Jahrestagung des Siemens Automatisierungs-Kreis. Hrsg.: KLASSEN, F. Köln: Eigenverlag FH Köln, 2008.
- DVORAK, Daniel; KUIPERS, Benjamin: Process monitoring and diagnosis: a model-based approach. In: IEEE Expert, 6(1991)3, S. 67-74.
- GLASER, Horst; GEIGER, Werner; ROHDE, Volker: PPS - Produktionsplanung und -steuerung. Wiesbaden: Gabler, 2. Auflage 1992.
- HANSEN, Robert C.: Overall Equipment Effectiveness. New York, NY: Industrial Press, 2005.
- HOTZ, Ingo: Simulationsbasierte Frühwarnsysteme zur Unterstützung der operativen Produktionssteuerung und -planung in der Automobilindustrie. Magdeburg: Dissertation Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2007.
- KAIN, Sebastian; HEUSCHMANN, Christian; SCHILLER, Frank: Von der virtuellen Inbetriebnahme zur Betriebsparallelen Simulation. In: Automatisierungstechnische Praxis, 50(2008)8, S. 48-52.
- KLOSE, Markus: Betreibersimulation Werk Leipzig- Ein webbasiertes und online gekoppeltes Prognosetool zur Unterstützung der Produktionssteuerung. BMW AG, Leipzig, 2006.
- LANZA, Gisela: Simulationsbasierte Anlaufunterstützung auf Basis der Qualitätsfähigkeiten von Produktionsprozessen. Karlsruhe: wbk Institut für Produktionstechnik, 2005.
- SAUER, Wilfried: Optimierung von Fertigungsprozessen in der Elektronikproduktion durch prozessbegleitende Simulation. In: Modellierung der Produktion, Abschlusskolloquium zum DFG Schwerpunktprogramm. Hannover: Universität Hannover, Institut für Fabrikanlagen, Hannover, 2000.
- STOEPLER, Guido; MENZEL, Thomas; DOUGLAS, Steve: Hardware-in-the-loop simulation of machine tools and manufacturing systems. In: Computing and Control Engineering, 16(2005), S. 10-15.
- VDI: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, VDI 3633, Blatt 1, Grundlagen. Düsseldorf, 2000.
- WEIGERT, Gerald; WERNER, Sebastian; KELLNER, Marc: Fertigungsplanung durch prozessbegleitende Simulation Einleitung. In: Anwendungen der Simulationstechnik in Produktion und Logistik-Tagungsband zur 10. ASIM-Fachtagung. Hrsg.: NOCHE, J.; DRUYEN, B. Erlangen: SCS Europe, 2002, S. 42-51.
- WIENDAHL, Hans-Peter; HEGER, Christoph: Justifying Changeability. A Methodical Approach to Achieving Cost Effectiveness. In: The International Journal For Manufacturing Science & Production, 6(2004)1-2, S. 33-39.