

PLM (Product Lifecycle Management), Qualitätsmanagement, Simulation

Technologieplanung und -bewertung mittels Prozesskettensimulation *

Total Cost and Benefit of Ownership innerhalb der Produktion der Premium Aerotec GmbH

B. Denkena, M. Eikötter, J. Schürmeyer, R. Goesmann, H. Apmann, M. Lünemann

Es wird deutlich, dass bei Methoden der Technologiebewertung und der Investitionsrechnung Verbesserungspotential besteht, da diese Interdependenzen eines Investitionsobjektes mit dem prozess- und organisationsbezogenen Umfeld bislang nur unzureichend quantitativ abbilden. Um eine integrierte Technologieplanung und -bewertung zu ermöglichen, wurden bei der Premium Aerotec GmbH technologische (T), organisatorische (O) und prozessbezogene (P) Bewertungsfaktoren der spanenden Fertigung identifiziert und in das Verfahren der Total Cost and Benefit of Ownership (TCBO) integriert. Der Fachbeitrag zeigt innerhalb der Großsteilfertigung der Premium Aerotec GmbH, wie eine integrierte Betrachtung der identifizierten T.O.P.-Bewertungsfaktoren mittels einer Prozesskettensimulation praxisnah durchgeführt und so eine verbesserte quantifizierbare TCBO-Bewertung erreicht werden kann.

Technology planning and assessment through process chain simulation – Total Cost and Benefit of Ownership within the production of Premium Aerotec GmbH

Current methods of technology assessment do not sufficiently include the manufacturing processes and organization around the investment target. Because most interdependencies cannot be quantified, companies predominantly assess technology investments using methods excluding technological aspects. The following article will introduce a new approach to examine the Total Cost and Benefit of Ownership (TCBO) using process chain simulation models. Building up a representative manufacturing concept of Premium Aerotec GmbH will provide a practical insight how to use simulation in order to generate a database for a technology assessment.

1 Einleitung

Mangels geeigneter Investitionsbewertungsverfahren, welche die Lebenszykluskosten sowie den Nutzen auch im prozess- und organisationsbezogenen Umfeld betrachten, beschränkt sich bei produzierenden Unternehmen die Bewertung von Investitionsalternativen oftmals auf die Anschaffungskosten. Prozess- und organisationsübergreifende Kostenwirkungen von Investitionen werden bei Planungsvorhaben lediglich qualitativ, beispielsweise in Form von Bewertungsskalen berücksichtigt.

Die spanende Fertigung variantenreicher Produkte muss Investitionen in teure Fertigungstechnologien vor dem Hintergrund der Investitionskosten im Verhältnis zu dem Nutzen im Fertigungsprozess beurteilen. Um Fehlinvestitionen zu vermeiden, ist es hierbei essentiell, eine Bewertung unter Berücksichtigung des Zusammenspiels des Investitionsobjektes mit dem vorhandenen organisations- und prozessbezogenen Umfeld des Unternehmens zu planen.

2 Bewertung von Technologien

2.1 Verfahren der Technologieplanung und -bewertung sowie Investitionsrechnung

Methoden der Technologieplanung und -bewertung lassen sich nach Gerybadze [1] in empirische Analysen und Auswertungen (zum Beispiel Patentanalysen oder Technologiedatenbanken), Kausal- und Systemmodelle (etwa Technologie-diffusions- und Technologielebenszyklusmodelle), induktiv-mathematische Verfahren (zum Beispiel S-Kurven-Konzept) sowie induktivstrukturierte Verfahren (wie Technologiebaukasten, Technologieportfolios, Technologiekalender, Roadmapping, Szenariotechnik) unterteilen. Die Betrachtung der Methoden ergibt, dass primär eine qualitative Bewertung von Technologien erfolgt, um eine Technologieauswahl und eine Bestimmung eines Investitionszeitpunktes durchzuführen.

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Mark Eikötter
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jan Schürmeyer
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)
Leibniz Universität Hannover
An der Universität 2, D-30823 Garbsen
Tel. +49 (0)511 / 762-19793, Fax +49 (0)511 / 762-5115
E-Mail: eikoetter@ifw.uni-hannover.de
oder schuermeyer@ifw.uni-hannover.de
Internet: www.ifw.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Ralf Goesmann (Leiter der
Großsteilfertigung im Bereich Teilefertigung & Montagen)
Dr.-Ing. Hilmar Apmann (Leiter Konzepte und
Technologie-Entwicklung im Bereich Fertigungssysteme)
Dr.-Ing. Martin Lünemann (Leiter Kundenbetreuung
und Ersatzteilmanagement im Bereich Programm-
Management, Serien- und Neuprogramme des Werkes Varel)
Premium Aerotec GmbH
Riesweg 151-155, D-26316 Varel
Tel. +49 (0)4451 / 121-0, Fax +49 (0)4451 / 121-444
Internet: www.premium-aerotec.com

Dank

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages geförderten Projektes „AGILITA – Agile Produktionslogistik und Transportanlagen“ (Förderkennzeichen: 01 MA09005) sowie des durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts „Integrierte Bewertung von Maschinenkonzepten und Fertigungsprozessen“ (DE 447/721) erarbeitet.

Info

* Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („Peer-Review“).

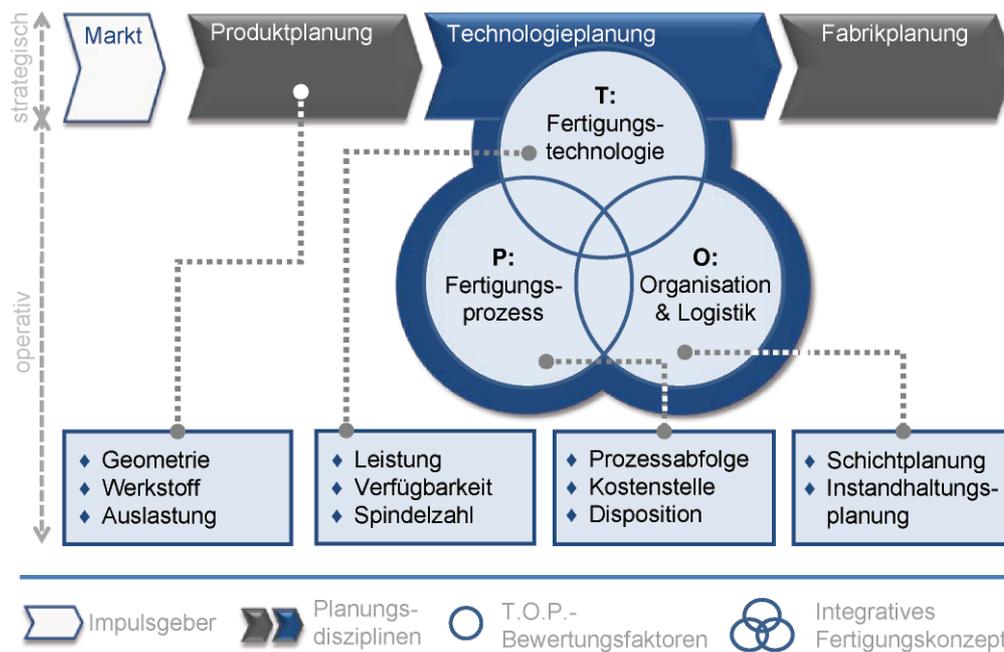


Bild 1. Integrierte Technologieplanung und -bewertung

Die Quantifizierung von Entscheidungsgrößen findet weitgehend über Gewichtungsfaktoren statt. Eine monetäre Betrachtung technologischer Investitionsalternativen bleibt unzureichend.

Verfahren der Investitionsrechnung werden nach Schäfer in statische (zum Beispiel Kosten- und Gewinnvergleichsrechnung, Rentabilitätsrechnung, Amortisationsrechnung) und dynamische Verfahren (wie Kapitalwertmethode oder Realoptionenansätze) sowie Verfahren der Risikobetrachtung differenziert (zum Beispiel zuschlagsbasierte Korrekturverfahren) [2]. Diese Einteilung lässt sich durch Verfahren zur Berechnung der Lebenszykluskosten ergänzen (etwa Life Cycle Costing (LCC), beziehungsweise Total Cost of Ownership (TCO) und Total Benefit of Ownership (TBO)) [3]. Diese beschränken sich auf direkt einer Technologie zuzuordnende Zahlungsflüsse. Eine Berücksichtigung der Zahlungsströme, die durch das technologische, prozesstechnische und organisatorische Umfeld des Investitionsobjekts ausgelöst werden, erfolgt nicht.

2.2 T.O.P.-Bewertungsfaktoren der spanenden Fertigung

Die Wechselwirkungen zwischen Technologie, Fertigungsprozess und organisatorischen Aspekten sind von entscheidender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit einer Fertigung [3]. Nur wenn Technologien optimal aufeinander abgestimmt und mit der Umgebung vernetzt werden, schaffen diese einen tatsächlichen Mehrwert. Für Investitionsentscheidungen ist es erforderlich, diese Potentiale quantifizieren zu können.

Um Unternehmen der spanenden Fertigung eine umfassende Bewertung des Investitionsobjekts Werkzeugmaschine zu ermöglichen, muss eine ganzheitliche Betrachtung der T.O.P.-Bewertungsfaktoren Technologie (T), Organisation (O) und Prozess (P) erfolgen. Weiterhin müsste die operative Technologiebewertung in die Planungsdisziplinen einer strategisch ausgerichteten Technologieplanung integriert werden

[3]. Wegen der Schwierigkeit, Wechselwirkungen überblicken zu können, ist insbesondere bei Unternehmen mit einer hohen Produktvarianz und kleinen Serien die Integration der Planungsdisziplinen und Bewertungsfaktoren essentiell.

Die Großteilfertigung der Premium Aerotec GmbH ist durch eine hohe Variantenvielfalt gekennzeichnet. Eine Betrachtung der Fertigung, ergab die in **Bild 1** dargestellten T.O.P.-Bewertungsfaktoren. Ausgehend von auf dem Markt vorherrschenden Kundenanforderungen und den erfolgten Beauftragungen definieren sich in der Produktplanung die geometrischen Abmessungen der zu fertigenden Produkte, das zu verwendende Material sowie die Auslastung der zur Verfügung stehender Fertigungstechnologien. Weiterhin erfolgt die Priorisierung des Auftrageingangs.

Die Faktoren der Produktplanung beeinflussen das in der Technologieplanung zu erstellende Fertigungskonzept signifikant und stellen somit die wesentlichen Impulsgeber dar [4]. Technologisch (T) besteht Entscheidungsvariabilität hinsichtlich alternativer Maschinenkonzepte. Diese weisen beispielsweise divergierende Maschinenleistungen, Verfügbarkeiten und Fehlerbehebungszeiten (Mean Time To Repair (MTTR)) auf. Organisatorisch (O) sind die Schicht und Instandhaltungsplanung zu betrachten. Prozessbezogen (P) entscheidet die Abfolge der Fertigungsprozesse, die Disposition von Material und Fertigungsressourcen (zum Beispiel Sonderwerkzeuge) sowie die Zuweisung der Kostenstellen bildenden Maschinenkonzepte über die Ausgestaltung des Fertigungskonzeptes.

Um eine integrierte Bewertung eines Fertigungskonzeptes im Rahmen der Technologieplanung und -bewertung zu ermöglichen, ist eine Einbeziehung und quantifizierbare Bewertung der identifizierten T.O.P.-Bewertungsfaktoren nötig.

2.3 Bewertungsinstrument Prozesskettensimulation

Für die Bewertung eines Fertigungskonzeptes ist eine konsistente Datenbasis erforderlich. Daher wird ein Instrument

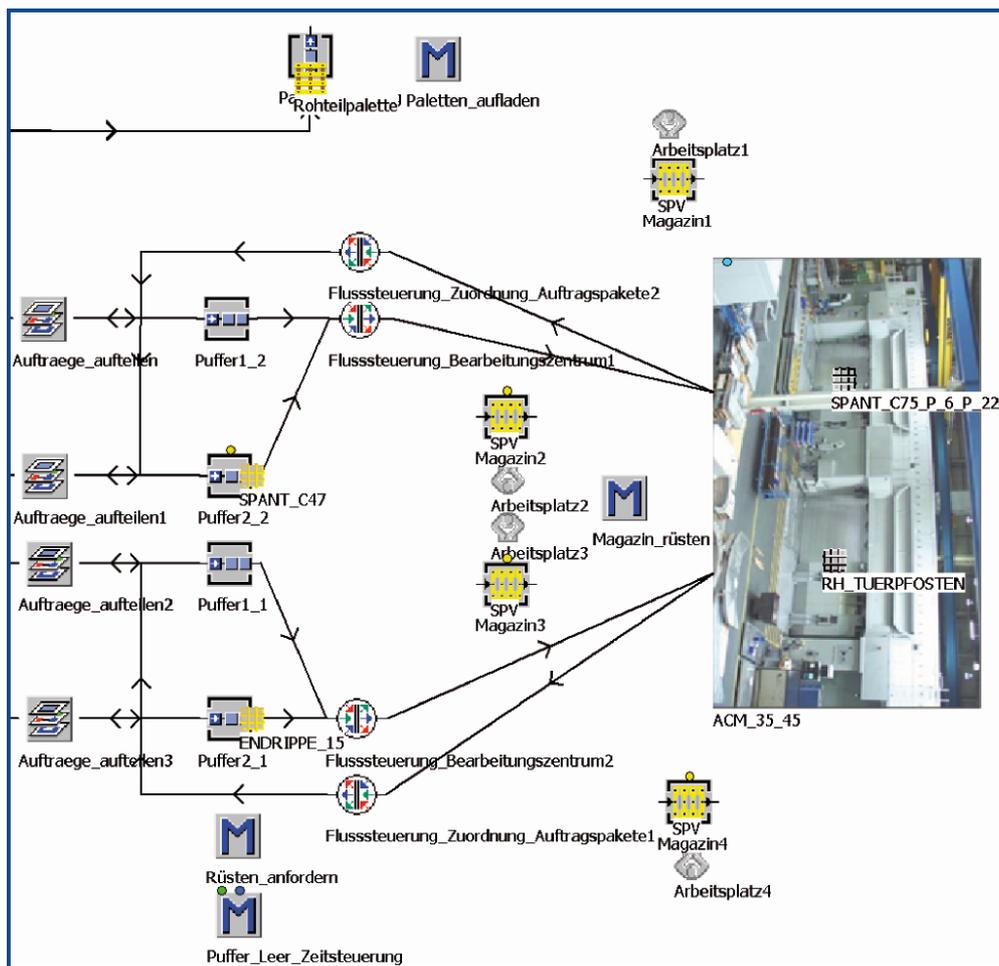


Bild 2. Modellausschnitt des Rüstmodells einer Werkzeugmaschine

benötigt, welches auch für moderne, hochkomplexe Produktionssysteme die erforderlichen Daten als Grundlage der Analyse der T.O.P.-Bewertungsfaktoren zur Verfügung stellen kann.

Moderne Produktionssysteme müssen eine steigende Produktkomplexität und Variantenvielfalt fertigen. Wegen der hohen Anforderung an Flexibilität sowie der sinkenden Losgrößen und Produktlebenszyklen steigt auch die Komplexität der bei der Technologiebewertung zu berücksichtigenden Wechselwirkungen. Dies führt dazu, dass einfache Analysemethoden den Anforderungen der Bewertung nicht mehr gerecht werden [5]. Prozesskettensimulationen sind in der Lage, die Realität wirklichkeitsnah abzubilden. Hierdurch sind eine Analyse und Bewertung einer Vielzahl zeit- und zufallsabhängiger Systemgrößen sowie Wechselwirkungen möglich, bei denen mathematisch-analytische Verfahren an ihre Grenzen stoßen [6]. Die Möglichkeit, auch komplexe Systeme und Zusammenhänge erfassen zu können, qualifiziert Simulationen, einen Beitrag zur Lösung strategischer und operativer Herausforderungen der Technologieplanung und -bewertung zu leisten. Hierbei wird der Begriff Simulation gemäß VDI-Richtlinie 3633 verstanden als „Nachbilden eines Systems mit dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“ [6]. Durch die Simulation werden eine kontextsensitive Validierung neuer Planungen und Steuerungen innerhalb der Produktionslogistik sowie eine Identifikation

von Optimierungspotentialen innerhalb der Prozesskette ermöglicht [7, 8].

Folgend wird vorgestellt, wie mittels einer Prozesskettensimulation eine Analyse der sich aus der T.O.P.-Bewertung ergebenden Kosten- und Nutzenfaktoren umgesetzt werden kann.

3 Optimierung des Fertigungskonzeptmodells mittels Prozesskettensimulation

3.1 Methodisches Vorgehen zur Erstellung des Fertigungskonzeptmodells

Das Fertigungskonzeptmodell zur Produktion von Flugzeugspanten beim Anwendungspartner Premium Aerotec GmbH wurde mit Hilfe der Siemens „PLM PlantSimulation“ modelliert. Dabei wurden zur Erstellung des simulationsbasierten Fertigungskonzeptmodells das methodische Vorgehen der VDI-Richtlinie 3633 zur „Simulation von Logistik, Materialfluss und Produktionssystemen“ sowie die Erfolgsfaktoren nach Wenzel et al. für die Nachnutzung des Simulationsmodells sowie zur Gewährleistung der Einsatzfähigkeit verschiedener Technologien im Anwendungsszenario herangezogen [6, 9]. Im Zuge der Modellierung wurden einzelne Fertigungstechnologien innerhalb der Großteilfertigung (Produkte bis 7,8 m Länge) modular aufgebaut. Anpassungen hinsichtlich der Planungs- und Steuerungsstrategien inner-

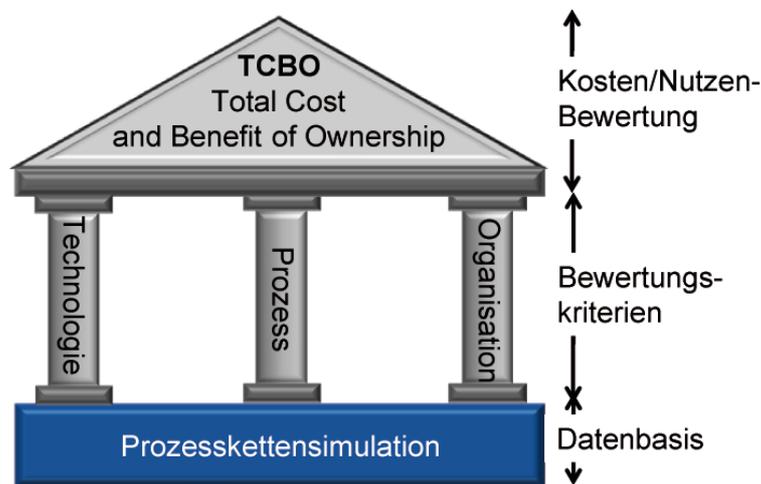


Bild 3. Säulenmodell der TCBO (Total Cost and Benefit of Ownership)-Bewertung

halb der Produktion sowie der Austausch einzelner Fertigungstechnologien können hierdurch ermöglicht und aufwandsreduziert umgesetzt werden. Folgend wird die Modellierung eines Bearbeitungszentrums exemplarisch beschrieben.

3.2 Anwendungsszenario Großteilefertigung der Premium Aerotec GmbH

Begonnen wurde mit der Abbildung einer Werkzeugmaschine, welche zwei Bearbeitungsplätze mit jeweils zwei Spindeln umfasst. Beide Bearbeitungsplätze arbeiten grundsätzlich unabhängig (Bild 2). Aufgrund der technologischen Verkettung der beiden Bearbeitungsplätze des Bearbeitungszentrums ist jedoch im Fall von Störungen oder Wartungsmaßnahmen die Verfügbarkeit sämtlicher vier Spindeln nicht gegeben. Jeweils zwei Rüsttische sind einem Bearbeitungsplatz zugeordnet und können wechselseitig in den Bearbeitungsraum eingefahren werden. Damit ist eine hauptzeitparallele Bearbeitung zur Rüstzeitreduzierung möglich.

Die Modellierung des Bearbeitungszentrums aus der Sicht eines eingehenden Auftrages gliedert sich dabei wie folgt:

- a) Verarbeitung eingehender Aufträge: Flurförderfahrzeuge der Produktionslogistik wird im Zuge der Modellierung durch den auf sie beladenen Auftrag automatisch ein anzusteuender Prozessschritt (Zielort) zugewiesen.
- b) Aufträge lagern, von Paletten laden und Paletten abtransportieren: An dem Bearbeitungszentrum wurden zwei unterschiedlich charakterisierte Pufferbausteine vorgesehen. Während der erste Puffer die tatsächliche Lagerfläche an einer Maschine darstellt, der in aller Regel nur für zwei Aufträge ausreichend Platz bietet, stellt der zweite Puffer die Ausnutzung einer Freifläche in der Halle dar.
- c) Aufteilen von Aufträgen in gleichzeitig zu spannende Auftragspakete: In Abhängigkeit der eingesetzten Fertigungstechnologie und der genutzten Spannvorrichtung ergibt sich eine maximale Anzahl an möglichen zu spannenden Halbzeugen. Die oben beschriebene Teilung von Aufträgen erfolgt im Modell innerhalb eines eigenen Netzwerkbausteins. Da die Funktionalität dieses Bausteins an fast allen Kostenstellen in identischer Form benötigt wird, können Änderungen an diesem vererbt werden.
- d) Rüsten von Spannvorrichtungen: Für fast sämtliche Fertigungstechnologien muss vor der spannenden Bearbeitung

die zum Spannen der Halbzeugen benötigte Vorrichtung gerüstet werden. Zumeist sind jeweils zwei Spanntische einem Bearbeitungszentrum zugeordnet, sodass das oben beschriebene hauptzeitparallele Rüsten ermöglicht wird.

- e) Spanende Bearbeitung von Halbzeugen: Im Modell wurde für die Bearbeitung eine Unterebene gebildet, um diesen Prozess von den vorgelagerten, organisatorischen Prozessen zu trennen. Hierbei wird das Halbzeug von den Magazinen wechselseitig in die Maschine überführt und dort bearbeitet.

- f) Transport von gefertigten Bauteilen und nicht mehr benötigten Vorrichtungen: Verladen von Produkten auf Bauteilträgern und anschließendem Transport an den folgenden Prozessschritt im Vorgangsplan sowie die Einlagerung von Vorrichtungen.

Innerhalb des oben beschriebenen Vorgehens zur Modellierung des Fertigungskonzepts wurde der Einfluss von Maschinenstillständen detailliert berücksichtigt, da dieser erheblichen Einfluss auf die Produktivität der Fertigungstechnologie hat. Dabei wurde zwischen den folgenden Ursachen unterschieden:

- Stillstand durch technische Ausfälle
 - Stillstand aufgrund von unbesetzten Schichten/Feiertagen
 - Stillstand aufgrund geplanter Wartungsmaßnahmen
- Mit Hilfe dieses simulationsbasierten Fertigungskonzeptmodells können somit wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Eignung neuer Investitionen erarbeitet und Fehlinvestitionen vermieden werden.

Die Integration der Methode „Total Cost and Benefit of Ownership (TCBO)“ in das Simulationsmodell bildet hierbei eine bedeutende Verbesserung hinsichtlich der Bewertungsmöglichkeit von Fertigungstechnologien, wie zum Beispiel Werkzeugmaschinen.

4 TCBO-Bewertung des Fertigungskonzeptmodells

4.1 Integration der Prozesskettensimulation in die TCBO-Bewertungsmethodik

Das validierte Prozesskettensimulationsmodell bietet die Möglichkeit, die empirisch ermittelten T.O.P.-Bewertungsfaktoren des Fertigungskonzepts einer Kosten / Nutzen-Betrachtung zu unterziehen. Hierdurch wird erstmals ein

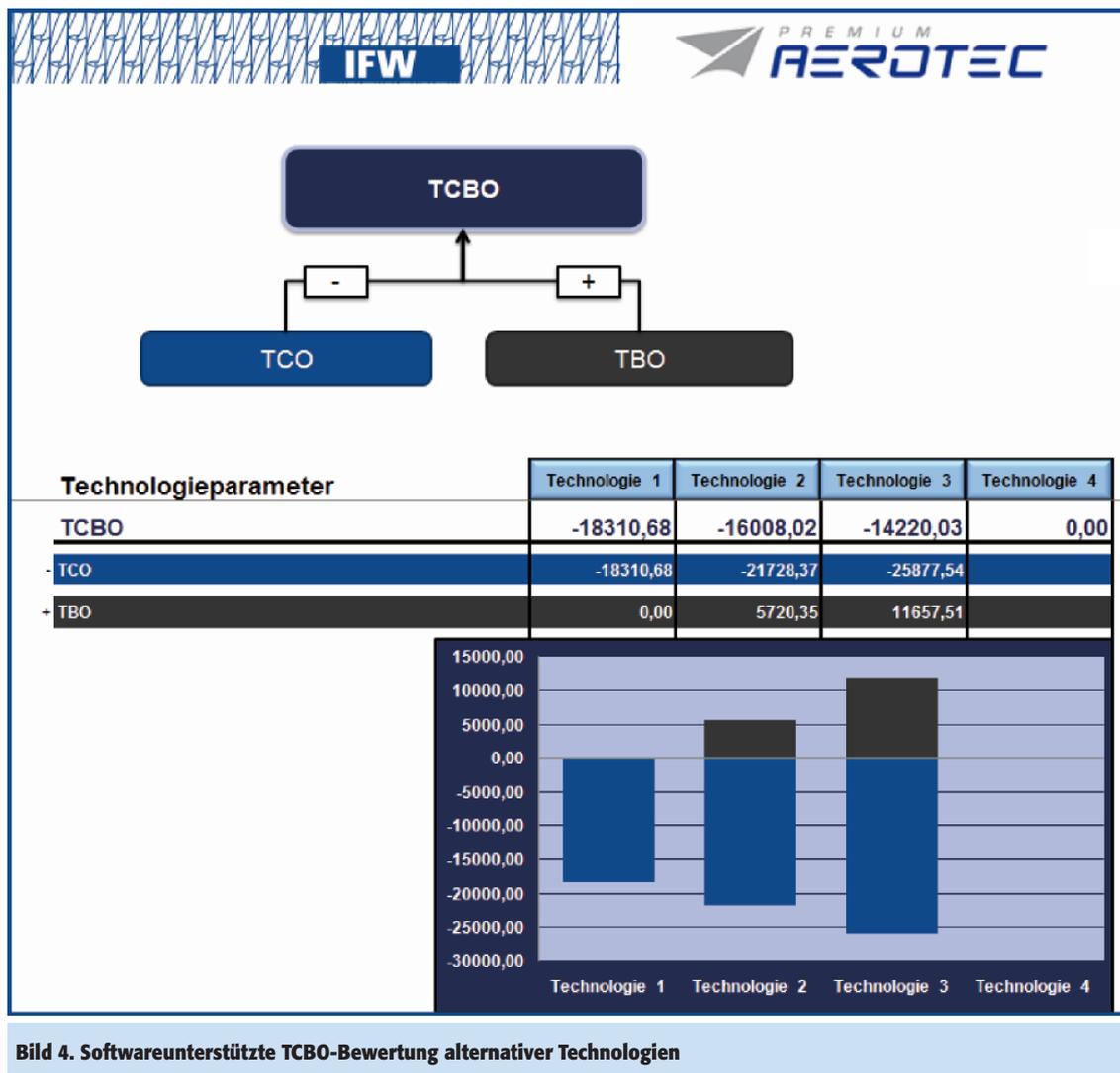


Bild 4. Softwareunterstützte TCBO-Bewertung alternativer Technologien

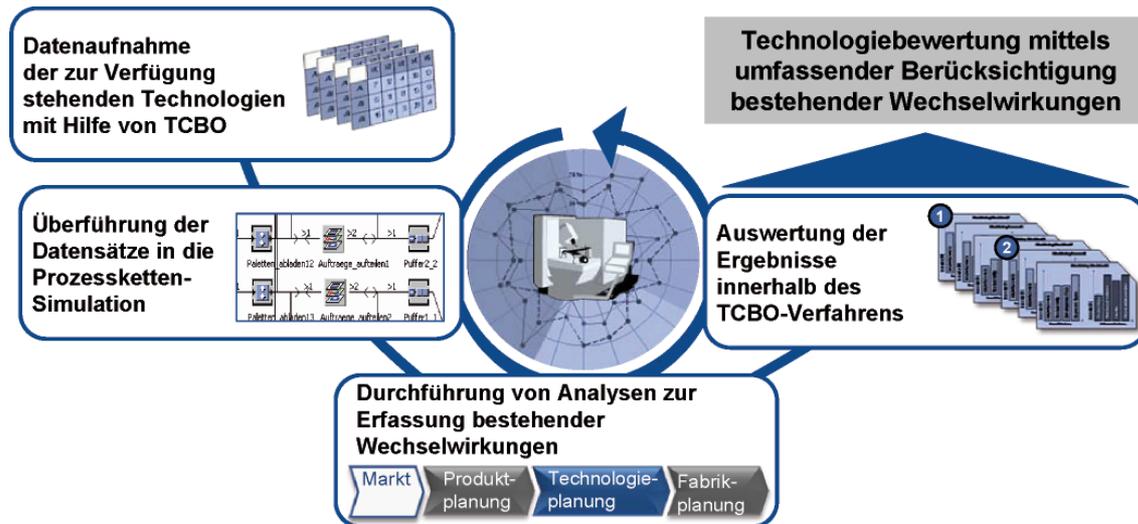
quantifizierbares Bewerten der wesentlichen Faktoren der Total Cost and Benefit of Ownership (TCBO) für variierende Fertigungskonzepte ermöglicht. Die verwendeten Bewertungsfaktoren orientieren sich dabei an der VDI Richtlinie 2284, welche der Zielsetzung unterliegt, „eine Methode zur Durchführung einer Lebenszykluskostenbetrachtung zur Verfügung zu stellen“ [10]. Darüber hinaus orientieren sich die Bewertungsfaktoren an dem VDMA-Einheitsblatt 664121 „Manufacturing Execution Systems (MES) Kennzahlen“ [11]. Durch die Verwendung der Richtlinie sowie des Einheitsblattes wird sichergestellt, dass ein einheitliches Verständnis hinsichtlich der Schlüsselindikatoren zur Bewertung der Leistungsfähigkeit einer Fertigungstechnologie vorliegt.

Auf Grundlage der durch die Prozesskettensimulation verfügbaren Datenbasis ist eine simulationsbasierte Analyse der wesentlichen Bewertungsfaktoren eines Fertigungskonzepts und damit eine Bewertung der Total Cost and Benefit of Ownership (TCBO) möglich (Bild 3). Um zukünftig anfallenden Kosten (TCO) dem zukünftigen Nutzen (TBO) geeigneter Technologien gegenüberzustellen, wurde das simulationsbasierte Fertigungskonzeptmodell mittels Schnittstellen in eine softwareunterstützte TCBO-Methode integriert [12]. Hierdurch wird eine umfassende Datenbasis zur Quantifizierung der Bewertungskriterien bereit gestellt.

4.2 Quantifizierung der TCBO

Die Integration der Prozesskettensimulation in die TCBO-Bewertungsmethodik ermöglicht es, in den Richtlinien des VDI und VDMA definierte Bewertungsfaktoren zu quantifizieren und damit eindeutig zu bewerten. Bild 4 zeigt das umgesetzte softwaregestützte TCBO-Bewertungssystem. Dieses fungiert als Nutzerschnittstelle, um eine Datenübertragung von TCBO relevanten Kenngrößen für alternative Technologien in das Prozesskettensimulationsmodell zu ermöglichen. Dabei können T.O.P-Bewertungsfaktoren, wie Spindelzahl, Verfügbarkeit, durchschnittliche Instandhaltungszeit, Bearbeitungs- oder Rüstzeiten (T), unterschiedliche Schichtpläne (O) oder Materialdispositionen (P), die sich auf das Verhalten der Simulation auswirken, variiert, übertragen, simulationsbasiert analysiert und ausgewertet werden.

Wie in Bild 5 dargestellt, werden im Rahmen der Bewertung des Fertigungskonzepts die Analyseergebnisse zur Auswertung in das softwaregestützte TCBO-Bewertungssystem zurückübertragen. So lassen sich durch eine Rückführung der Simulationsergebnisse in die TCBO-Bewertungsmethodik Operative Rüstkosten, Maschinenstandzeiten, die Ausbringungsmenge einer Technologie und die Kapazitätsgrenze des Gesamtsystems eindeutig quantifizieren.


Bild 5. Bewertung des Fertigungskonzeptmodells

Diese Rückführung von Simulationsergebnissen ermöglicht, eine präzise Bewertungsgrundlage für die Technologieplanung zu erzeugen. Hierdurch können alternative Technologien hinsichtlich der T.O.P.-Bewertungsfaktoren analysiert und damit die Notwendigkeit intuitiver Betrachtungen im Rahmen von Investitionsentscheidungen reduziert werden.

5 Zusammenfassung

Wie gezeigt werden konnte, bestehen Verbesserungspotentiale bei Methoden der Technologieplanung und -bewertung sowie der Investitionsrechnung. Prozess- und organisationsbezogene Bewertungsfaktoren werden in derzeitigen Ansätzen unzureichend quantitativ abgebildet. Um eine quantifizierbare Bewertung von Technologien der spanenden Fertigung zu ermöglichen, wurden bei der Premium Aerotec

GmbH technologische (T), organisatorische (O) und prozessbezogene (P) Bewertungsfaktoren identifiziert. Indem ein beispielhaftes Fertigungskonzept der Premium Aerotec GmbH mittels einer Prozesskettensimulation abgebildet wurde, konnte die Eignung simulationsbasierter Ansätze für eine umfassende Technologiebewertung praxisnah dargestellt werden. Eine neue Schnittstelle zwischen einem TCBO-Bewertungssystem ermöglicht es, T.O.P. Bewertungsfaktoren der spanenden Fertigung zu variieren und das zukünftige Verhalten des Fertigungskonzepts simulationsbasiert zu analysieren. Durch die Rückführung der Simulationsergebnisse kann anschließend eine quantifizierbare Bewertung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses alternativer Investitionsvorhaben auf Grundlage einer umfassenden Datenbasis durchgeführt werden. □

Literatur

- [1] Gerybadze, A.: Technologische Vorhersagen. In: Kern, W.; Schröder, H. H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996
- [2] Schäfer, H.: Unternehmensinvestition – Grundzüge in Theorie und Management. 2. Auflage. Heidelberg: Physica-Verlag 2005
- [3] Denkena, B.; Schürmeyer, J.; Eikötter, M.: Investitionsbewertung von Technologie, Prozess und Organisation im Rahmen des Technologie-Roadmappings. wt Werkstatttechnik online 99 (2009) H. 11/12, S. 883–888. Internet: www.werkstatttechnik.de. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag
- [4] Eikötter, M.; Denkena, B.: Synchronisation der strategischen Produkt-, Technologie- und Fabrikplanung mittels Roadmapping. 5. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 19.11.–20.11.2009, S. 177–191, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaft, Heinz Nixdorf Institut, Berlin, 2009
- [5] Bangsow, S.: Fertigungssimulationen mit Plant-Simulation und SimTalk. München: Hanser-Verlag 2008
- [6] N. N.: VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Produktions- und Materialflusssystemen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993
- [7] Denkena, B.; Woelk, P.O.; Brandes, A.: Flexible Process Chains by Template Based Configuration. Annals of the German Academic Society for Production Engineering (WGP) – Production Engineering XII (2005) 2, S. 81–84
- [8] Tönshoff, H. K.; Denkena, B.; Friemuth, T.; Zwick, M.; Brandes, A.: Technological Interfaces of Industrial Process Chains. Annals of the German Academic Society for Production Engineering (WGP) – Production Engineering IX (2002) 2, S. 43–46
- [9] Wenzel, S. et al.: Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik – Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Heidelberg: Springer-Verlag 2008
- [10] N. N.: VDI Richtlinie 2884: Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC). Düsseldorf: VDI Verlag 2005
- [11] N. N.: VDMA-Einheitsblatt 66412–1: Manufacturing Execution Systems (MES) Kennzahlen. Berlin: Beuth-Verlag 2009
- [12] Denkena, B.; Rudzio, H.; Eikötter, M.; Blümel, P.: Total Cost and Benefit of Ownership. Industrie Management (2009) H. 5