

Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Stoffströmen durch Simulation

Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil.

Thorsten Claus

IHI Zittau

Markt 23

02763 Zittau

Tel.: 035 83/55 499 11

Fax: 035 83/ 61 27 34

claus@ihi-zittau.de

Lars Kollenkark

Fachhochschule Nordhausen

Weinberghof 4

99734 Nordhausen

Tel.: 036 31/ 42 07 24

Fax: 036 31/ 42 08 11

kollenkark@fh-nordhausen.de

1 Beschreibung der Problemlage

Gegenstand industrieller Fertigungsprozesse ist die Transformation von Stoffen und Materialien, mit dem Ziel, eine Wertschöpfung im Unternehmen zu erzielen. Während noch vor einigen Jahren der Personalkostenblock stark im Interesse von Optimierungsuntersuchungen betrieblicher Wertschöpfung stand, bedingen nunmehr ökonomische, ökologische und politische Rahmenbedingungen das bewusste Umgehen mit dem Material- und Energieeinsatz sowie dessen Verarbeitung. Neben der zunehmenden Verknappung an Rohstoffen und des damit einhergehenden Preisanstiegs auf den Rohstoffmärkten zählen auch steigende Entsorgungskosten zu den Rahmenbedingungen, die Hintergrund aktueller Herausforderungen für das verarbeitende Gewerbe sind. Aus diesem Grund ist es für Unternehmen von elementarer Bedeutung, sich mit sämtlichen anfallenden Material- und Energieströmen auseinanderzusetzen. Dazu zählen neben dem stoffwirtschaftlichen Input an Produktionsfaktoren auch alle, durch den Produktionsprozess ausgelösten Outputs. Eine Konzentration auf das Hauptprodukt stellt eine unzulässige Verengung dar, da sich die Erzeugung von verkaufsfähigen Produkten und die Entstehung von Abfall gegenseitig bedingen. Unternehmen müssen daher die Zusammenhänge von Materialeinsatz, Transformationsprozess und Outputentstehung vor dem Hintergrund unternehmerischer Zielbeiträge reflektieren.

Verschiedene Untersuchungen und Analysen zeigen auf, dass in Deutschland Potenziale zur rentablen Senkung der Material- und Energiekosten um bis zu 20 Prozent bestehen, diese jedoch nicht

vollständig ausgeschöpft werden (vgl. [AlKrJo05], [Stum05]). In der betrieblichen Praxis finden selbst kurzfristige Maßnahmen keine Berücksichtigung, was auf Hemmnisse wie fehlende Informationen, mangelndes Bewusstsein über Materialeffizienzpotenziale, Personal- und Zeitdefizite, hoher organisatorischer Aufwand oder betriebliche Routinen zurückzuführen ist (vgl. [Brüg09], [Jahn05], [KoLi05], [Stum05]). Darüber hinaus zeichnen sich Transformationsprozesse auf Grund ihrer Vielzahl an Material- und Energieströmen durch hohe Komplexität aus, was die Anwendung von Optimierungsmodellen oder mathematischen Methoden erschwert. Für das verfolgte Ziel, die Wirtschaftlichkeit der Stoffströme zu erhöhen, eignet sich nach Meinung der Autoren das Verfahren der Simulation.

Wie die Vielzahl von Richtlinien und die Publikationen zur Simulation zeigen (vgl. [Wenz00]), ist die Simulation ein wichtiges Analyseinstrument für die Planung und den Betrieb von Produktionsanlagen und Logistiksystemen und elementar als betriebliche Entscheidungshilfe (vgl. [Biet99]). Bevor auf die Modellierung von Stoffflusssystemen mit Hilfe von Petri-Netzen eingegangen wird, wird im Folgenden die Theorie der Kuppelproduktion vor dem Hintergrund der teleologischen Produktgestaltung vorgestellt.

2 Kuppelproduktion vor dem Hintergrund einer teleologischen Produktgestaltung

2.1 Grundbegriffe und Gegenstand der Theorie der Kuppelproduktion

Die Berücksichtigung sämtlicher anfallender Outputobjektarten des Produktionsprozesses und eine Bewertung dieser bedingt die Auseinandersetzung mit der Theorie der Kuppelproduktion. Die heute gebräuchliche Definition geht auf Riebel zurück, der Kuppelproduktion als „Produktionsprozesse, bei denen naturgesetzlich oder technologisch bedingt zwangsläufig zwei oder mehr Produktarten hervorgehen (...)“ [Rieb96] definiert. „Die Gesamtheit der zwangsläufig entstehenden Produkte bilden das (Kuppel-)Produktbündel oder Produktkombinat, die einzelnen Produkte werden (Teil-)Kuppelprodukte, Spaltprodukte, Zwangsanfallprodukte oder primär verbundene Produkte genannt.“ [Rieb96]

Da betriebliche Leistungserstellung stets mit Energieumwandlung verbunden ist, was zwangsläufig zu dem unvermeidlichen Anfall nicht verfügbarer und somit nicht mehr nutzbarer Energie führt, ist aus stoffwirtschaftlicher Sicht jeder Produktionsprozess auch Kuppelproduktionsprozess. Dieser Sachverhalt wird jedoch in der wissenschaftlichen Literatur weitestgehend vernachlässigt, da sich die betriebswirtschaftliche Produktionstheorie traditionell mit der Einproduktproduktion beschäftigt und die Abwesenheit von Kuppelproduktion unterstellt (vgl. [Pres02]).

Nach Meinung der Autoren ist insbesondere das auftretende Problem der Spaltproduktbewertung Ursache für die fehlende wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema. Obwohl an verschiedenen Stellen auf die Notwendigkeit hingewiesen wird, werden Spaltprodukte vielmals als untrennbarer Bestandteil bei der Herstellung des Zielproduktes interpretiert. Eine Bewertung gilt dabei als willkürlich, da sich gemeinsam erfasste Aufwendungen bis zum Spaltpunkt nicht sachlogisch den einzelnen Outputobjekten zuweisen lassen (vgl. [Rieb70]).

2.2 Zusammenhang zwischen teleologischer Produktqualität und Unternehmenserfolg

Neben der Ressourcenverknappung, politischen und rechtlichen Eingriffen des Staates als Herausforderungen für Produktionsunternehmen, müssen sich diese auch zunehmend an den Bedürfnissen der Kunden orientieren. In Diskussionen um den Erhalt bzw. der Steigerung des Unternehmenserfolges, wird der Produktqualität große Aufmerksamkeit zugemessen, da Verbesserungen der Produktqualität die Zufriedenheit der Kunden erhöhen (vgl. [Herr96]). Kundenzufriedenheit gilt wiederum als die wesentliche Determinante des zukünftigen Unternehmenserfolges, da Loyalität und die damit verbundene Wiederkauftrate dem Unternehmen eine dauerhafte Absatzbasis sichert, was die Grundlage für langfristigen Unternehmenserfolg ist. Die Orientierung der Leistungsgestaltung an den Ansprüchen der Kunden ist dabei eine Notwendigkeit (vgl. [HeHu00]).

Kundenorientierte Produktgestaltung heißt dabei Leistungen zu erstellen, die sowohl für den Kunden als auch den Produzenten einen Nutzen schaffen. Dies bedeutet, dass Unternehmen nur solche Produkte fertigen dürfen, die sich am vom Kunden gewünschten Nutzen orientieren und zur Schaffung eines Wettbewerbsvorteils gegenüber den Konkurrenten beitragen (vgl. [ScSc01]). Wie oben beschrieben, erwarten Kunden beim Kauf eines Produktes einen positiven Nutzen. Sie sind nicht bereit ein Gut zu erwerben, das ihre Bedürfnisse und Anforderungen nicht befriedigen kann. Dies kann zum einen hervorgerufen werden durch eine Produktgestaltung, die den Wünschen des Abnehmers nicht gerecht wird und zum anderen durch eine Aufwandssumme, die die Nutzensumme übertrifft und somit zu einem negativen Nettonutzen führt. Der Kunde interessiert sich insbesondere für ein Spaltprodukt – das sogenannte Hauptprodukt – und nicht für die sonstigen Outputobjekte, da er nur von diesem einen positiven Nettonutzen erwartet (vgl. Abbildung 1). Jedoch gilt es an dieser Stelle zu berücksichtigen, dass die Beurteilung des Nettonutzens des Hauptproduktes direkt abhängig vom Anfall der übrigen Spaltprodukte ist, da für die Weiterverarbeitung, Aufbereitung oder Entsorgung der übrigen Spaltprodukte Kosten entstehen, die auf das Hauptprodukt überwältzt werden.

Aus Sicht des Konsumenten sind diese Nebenprodukte nicht wertsteigernd und müssen daher als Verschwendung betrachtet werden. Zwar sind die Materialien, die nicht in das Hauptprodukt eingehen, sondern ausgeschleust werden müssen, für die Herstellung des Produktes zu einem gegebenen Zeitpunkt not-

wendig, für die Funktionserfüllung und damit auch für die Nutzenstiftung beim Anwender, sind diese prinzipiell entbehrlich. Dies bedeutet, dass sich der Ressourcenverbrauch durchaus reduzieren lässt, ohne den Produktnutzen zu berühren.

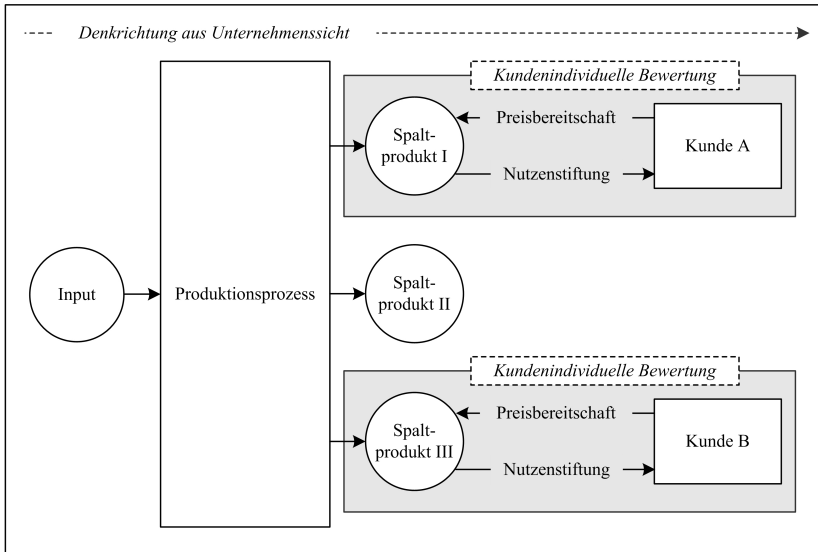


Abbildung 1: Zusammenhang Spaltproduktentstehung und Kundenbewertung.

Insbesondere vor der oben beschriebenen Problemlage wird es für Unternehmen immer wichtiger auf alle Quellen der Verschwendung einzugehen und die betrieblichen und überbetrieblichen Material- und Energieflüsse effizient zu gestalten. Dafür müssen diese analysiert, bewertet und gesteuert werden. Solche Stoffeinsätze und sämtliche damit in Verbindung stehenden Kosten, die keinen Beitrag für die Zielerreichung des Produzenten liefern, gilt es soweit wie möglich zu vermeiden. Aus diesem

Grund ist es notwendig den Zusammenhang von Güterverbrauch, Produktionsprozess und Spaltproduktentstehung zu durchleuchten und detaillierte Kenntnis über die mengen- und wertmäßigen Ergebnisse der Leistungserstellung zu besitzen. Dabei darf die Abfall- oder Reststoffentstehung nicht als Partialproblem betrachtet werden, sondern muss in die Planungsaktivitäten des Produktentstehungsprozesses integriert werden.

3 Modellierung des Kuppelproduktionssystems mit Hilfe von Petri-Netzen

3.1 Petri-Netze zur Modellierung des Mengengerüsts

Insbesondere von Seiten der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie wurden in den letzten Jahren verschiedene Ansätze entwickelt, die stoffliche Aspekte stärker in die Planungsaktivitäten integrieren. Mit Hilfe von ingenieurwissenschaftlichen Modellierungsansätzen können Produktionsfunktionen stärker technisch fundiert und prozesstechnische Zusammenhänge sowie Stoff- und Energieströme explizit berücksichtigt werden (vgl. [Schu03]). Dabei hat sich insbesondere die Modellierung mittels Netzgraphen in den letzten Jahren zunehmend in kommerziellen Stoffflussanalysewerkzeugen durchgesetzt, weshalb auf diese zurückgegriffen werden soll. Speziell im Zusammenhang mit der Ökobilanzierung haben sich sogenannte Stoffstromnetze etabliert (vgl. [MöRo95]), die auf Grundlagen der Petri-Netz-Theorie basieren.

Stoffstromnetze bestehen aus zwei Kategorien von Knoten, den Stellen und den Transitionen. Die Knoten der ersten Art verfügen über eine Kapazität und symbolisieren Stoff- und Energiebestände in Form von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, Zwischen- oder Endprodukten sowie Abfällen (vgl. [HäSpRe98]). Dieser Ort der Lagerung wird als Stelle bezeichnet und in Grafiken als Kreis dargestellt. Umwandlungsprozesse, wie Produktions- und Recyclingprozesse, werden durch Transitionen, in Form eines Rechtecks, dargestellt. Transitionen stehen für Aktivitäten und können als gekapselte (Produktions-)Modelle betrachtet werden, da ein einzelner Prozess wiederum als ein Netz aus vielen Einzelprozessen aufgefasst werden kann (vgl. [MöRo95], [Baum96]). Die Abhängigkeiten zwischen den Input- und den Outputströmen eines Prozesses können einfache lineare oder auch komplexe Funktionen sein. Stellen und Transitionen sind durch Kanten miteinander verbunden. Sie stellen Stoffflüsse zwischen den Knoten dar und sind mit Kantengewichten bewertet (vgl. [Schu03]).

Auf methodischer Ebene besteht die Möglichkeit hierarchische Stoffstromnetze aufzubauen, deren einzelne Transitionen wiederum vollständige Netze enthalten können. Somit kommt es zu einer Verteilung der Netzkomplexität auf verschiedene Detaillierungsebenen, was zu einer Erhöhung der Übersichtlichkeit und Verteilung der Komplexität führt. Insbesondere die besondere Herausforderung bei Kuppelproduktionsprozessen, die Verbundenheit bis zum Spalt punkt, kann durch eine gezielte Verfeine-

rung der Netzstruktur aufgehoben und die Zurechnungsproblematik gelöst werden (vgl. [Möll00]).

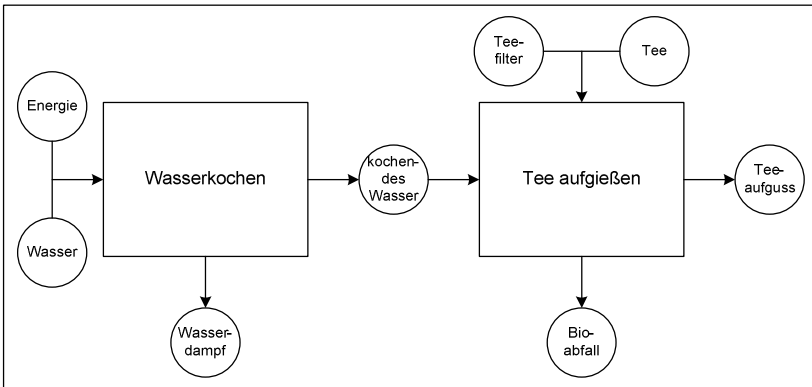


Abbildung 2: Stoffstromnetz der Teezubereitung.

Abbildung 2 gibt die statische Struktur des zu Grunde liegenden Produktionssystems wieder und bildet die vorhandenen Stoff- und Energieströme ab. Für die Modellierung und Simulation komplex verschachtelter Kuppelproduktionssysteme müssen deren dynamischen Eigenschaften untersucht und beschrieben werden, was im Rahmen der Netzsimulation durch das Schalten aktivierter Transitionen ermöglicht wird. Ausgehend von der Anfangsmarkierung des Netzes, d.h. von den verfügbaren Beständen zu Beginn der betrachteten Planungsperiode, ergeben sich Bestandsveränderungen der Stellen, durch sukzessive Anwendung der Schaltregeln für die jeweils aktivierten Transitionen und den damit einhergehenden Folgemarkierungen. Diese Stoffstromanalyse ist ausreichend für die Bestimmung periodenbezogener Stoff- und Energiebilanzen (vgl. [Schu03]). Die auf

diese Weise ermittelten Mengenrelationen sind Ausgangspunkt für die monetäre Bewertung.

3.2 Monetäre Bewertung

Produktionsprozesse basieren auf Grundprinzipien der Stoff- und Energieumwandlung und es ist Aufgabe des Produktionsmanagements eine wirtschaftlich sinnvolle Steuerung der Input-Output-Beziehungen von eingesetzten Produktionsfaktoren und ausgebrachten Produkten vorzunehmen (vgl. [Schu03]). Vor dem oben beschriebenen Hintergrund gewinnt die effiziente Verwendung des Stoffeinsatzes zunehmend an Bedeutung, wobei Entscheidungen über Prozessgestaltungsmaßnahmen nur anhand aussagekräftiger Größen getroffen werden können. Das heute vorliegende Verständnis von Materialeffizienz als Quotient von Produktoutput und Materialinput (vgl. [DeMa10]) muss eher als Produktivitätskennziffer beurteilt und besser als Stoffumsatzgrad bezeichnet werden. Aussagen über die Effizienz benötigen die Verknüpfung mit betriebswirtschaftlichen Zielgrößen. Insbesondere für ökonomische Bewertungsvorgänge ist die Verwendung monetärer Wertmassstäbe von substantieller Bedeutung (vgl. [Pres89]), da sie die Bewertung objektivierbar machen und somit einen Vergleich zwischen völlig unterschiedlichen Handlungsalternativen zulassen (vgl. [HaEi95]).

Das Streben nach Gewinn als oberstes Ziel marktwirtschaftlich orientierter Unternehmen, findet sich auch in den Zielvorgaben für Produktionsprozesse wieder. Für den Erfolg produktionswirtschaftlicher Tätigkeit wird das Betriebsergebnis bzw. der

Operating Profit als entsprechender Maßstab angesehen, der durch Stoff- und Energieumsatzprozesse in Form der Umsatzerlöse und der Herstellkosten direkt beeinflusst wird. Mit Hilfe der Wirtschaftlichkeitskennziffer kann eine Aussage darüber getroffen werden, inwieweit das eingesetzte Material einen Beitrag zum Gewinn leistet.

Kuppelprodukte stellen, stoffwirtschaftlich betrachtet, feste, flüssig oder gasförmige Substanzen dar, für deren Erstellung im Rahmen des Produktionsprozesses ein Güterverbrauch stattgefunden hat, der mit Kosten bewertet werden kann und die bei Verkauf, Vermietung oder Verpachtung einen Erlös erzielen bzw. bei Aufbereitung oder Entsorgung weitere Kosten verursachen. Sie sind damit die analytische Bezugsgröße für die Beurteilung der Zielwirksamkeit. Da sich in der Entstehung die Outputobjekte gegenseitig beeinflussen, ist es nach Meinung des Autors wichtig, sämtliche Spaltprodukte des Kuppelproduktionsprozesses hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit zu bewerten. Die Wirtschaftlichkeit eines Kuppelproduktes soll im Folgenden verstanden werden als das Verhältnis des Erlöses, der mit Hilfe des Kuppelproduktes erzielt werden kann, zu den ihm direkt zurechenbaren Kosten. Die Kennziffer liefert somit Aussagen zur wirtschaftlichen Effizienz von Stoff- und Energieeinsätzen im Unternehmen und ist damit aus betriebswirtschaftlicher Sicht als stoffwirtschaftliches Effizienzkriterium zu bezeichnen.

3.3 Ableitung von Optimierungsansätzen

Da prozesstechnische Zusammenhänge Berücksichtigung bei der Bestimmung der Mengengerüsts finden, liefert die Kennziffer der Wirtschaftlichkeit Informationen darüber, an welcher Stelle im Produktionsprozess Möglichkeiten für die Erhöhung des Stoffumsatzgrades wirtschaftlich sinnvoll sind und wo nicht. Als Optimierungsziel¹ für Kuppelproduktionsprozesse kann definiert werden, dass Materialeinsätze und sonstige damit in Verbindung stehende Faktorverbrauche, die nicht zur Erfüllung der Produktfunktionen beitragen und somit auch keinen Beitrag zur Zielerreichung leisten, soweit wie möglich zu vermeiden sind, da sie für das Unternehmen keinen positiven Beitrag zum Betriebsergebnis leisten. Um dieses Ziel zu erreichen, sind zwei Strategien denkbar.

1. Minimierungsstrategie
2. Maximierungsstrategie

Die Minimierungsstrategie verfolgt die Erhöhung des Gewinns des Produktionssystems durch Reduktion der in den Transformationsprozess eingehenden Stoff- und Energieinputs. Es wird versucht den Fertigungsprozess und Materialeinsatz so zu gestalten, dass eine geringere Menge an Einsatzfaktoren benötigt wird, um die gleiche Menge an Outputobjekten zu erzielen.

¹ An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass Simulation ein heuristisches Verfahren darstellt und somit nicht zu einer optimalen Lösung führen muss. Optimierung in diesem Zusammenhang meint die Verbesserung gegenüber der ursprünglichen Parameterkonstellation.

Die Verfolgung der Maximierungsstrategie bedeutet, dass der Zielbeitrag des Kuppelproduktionssystems durch Steigerung des Erlöses erhöht wird. Zu erreichen ist dies, durch Optimierung des Transformationsverfahrens und einer effizienteren Nutzung des gegebenen Stoffeinsatzes der zu einer steigenden Ausbringungsmenge führt oder durch Erhöhung der Preise, z.B. auf Grund der Bedienung neuer Absatzmärkte.

Neben der Konzentration auf die Wirtschaftlichkeit, liefert die Berücksichtigung der relativen Kosten- und Mengenanteile hilfreiche Informationen für die Identifikation möglicher Optimierungsansätze.

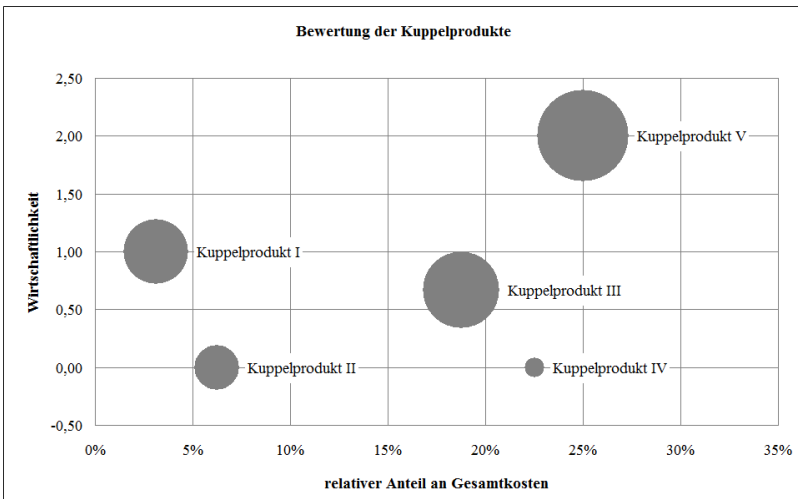


Abbildung 3: Bewertung von Kuppelprodukten.

In Abbildung 3 weisen sowohl Kuppelprodukt II als auch Kuppelprodukt IV eine Wirtschaftlichkeit von Null auf. Bei einer rein technischen Betrachtungsweise, würden sich Möglichkeiten der Verbesserung zuerst auf die Prozesse konzentrieren, die in

Zusammenhang mit der Erzeugung von Kuppelprodukt II stehen, da es im Vergleich gekennzeichnet ist durch den größeren mengenmäßigen Anfall (ausgedrückt durch die Größe der Blase). Diese rein technische Betrachtung liegt bis dato sehr vielen Optimierungsansätzen zu Grunde. Durch die Bewertung mit ökonomischen Größen ist hingegen zu erkennen, dass es Spaltprodukt IV ist, dem die primäre Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte. Obwohl der mengenmäßige Anfall deutlich geringer ist, ist es für das Unternehmen von höherer ökonomischer Relevanz, da es durch einen größeren Kostenanteil gekennzeichnet ist. Dies kann zum einen bedeuten, dass der materielle Gegenwert des Outputs im Vergleich höher ist, da kostenintensivere Inputmaterialien verwendet wurden oder, dass die sonstigen direkt zurechenbaren Kosten, z.B. für Aufbereitung oder Entsorgung, im Vergleich höher sind.

4 Anwendungsgebiete und Ausblick

Im Rahmen von Praxisprojekten wurde deutlich, dass die Erfassung sämtlicher Material- und Energieströme, selbst bei einfachen Systemen, schnell komplexe Strukturen annimmt. Die in Kapitel 3 vorgestellte Systematik ein Simulationsmodell auf Basis von Stoffstromnetzen zu entwickeln, trägt daher positiv zu dem Verständnis für das zu untersuchende System bei. Es werden Informationen aus verschiedenen Quellen, wie z.B. Disposition, technischer Verwaltung, Umweltmanagement aber auch Materialwirtschaft, Einkauf und Vertrieb zusammengefügt und dem Anwender zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise kann eine gemeinsame Sichtweise auf das System geschaffen werden

die dazu beiträgt, die verschiedenen Interessen der Anspruchsgruppen zu vereinen.

Darüber hinaus lässt sich durch Simulation das zukünftige Verhalten des realen Systems prognostizieren. Auf Basis des Erklärungsmodells können verschiedenste Strategien durchgespielt werden, um die Auswirkungen der Parameterkonstellationen auf die vorgegebenen Ziele aufzuzeigen. Entscheidungen bezüglich:

- produktionsorganisatorischen Änderungen,
- Investitions- und Restrukturierungsentscheidungen in Produktion, Materialwirtschaft, Kreislauf- und Entsorgungswirtschaft,
- elementaren technologischen Änderungen bzw. Prozessinnovationen,
- notwendigen Veränderungen in der Stoffeinsatzstruktur sowie
- der Konzeption und Optimierung von Kreislauf- und Entsorgungsprozessen

können dabei unterstützt werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht nach Meinung der Autoren bezüglich der Einbindung in bestehende IT-Systemlandschaften. Die vielfältigen Informationen sind häufig in verschiedensten Informationsquellen abgelegt und bedeuten einen enormen Erhebungsaufwand. Die Integration der Methodik in bestehende Systeme könnte insbesondere solche Hemmnisse reduzieren, die auf Personal- und Zeitdefizite zurückzuführen sind und somit die praktische Auseinandersetzung mit dem Thema erhöhen.

Literaturverzeichnis

- [AlKrJo05] *Alberti, K.; Kristof, K.; Jochem, E.*: Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen. Studie, Fraunhofer- Institut für System- und Innovationsforschung; Arthur D. Little GmbH; Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wiesbaden, 2005.
- [Baum96] *Baumgarten, B.*: Petri-Netze: Grundlagen und Anwendungen, Akad. Verlag, Heidelberg, 1996.
- [Biet99] *Biethahn, J. et al.*: Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe. Physica Verlag, Heidelberg, 1999.
- [Brüg09] *Brüggemann, A.*: Material- und Rohstoffeffizienz in Unternehmen. In: KfW Bankengruppe (Hrsg.): Perspektive Zukunftsfähigkeit – Steigerung der Rohstoff- und Materialeffizienz. Arbeitspapier, Frankfurt am Main, 2009, S. 33-52.
- [DeMa10] *Deutsche Materialeffizienzagentur*: Was ist Materialeffizienz? 2010, <http://www.demea.de/was-ist-materialeffizienz>. Abruf am 2010-09-13.
- [HaEi95] *Hauser, C.; Eisele, R.*: A concept for the Market Oriented Evaluation of Business Processes. In:

- Burke, G. (Hrsg.): Examining business process re-engineering: current perspectives and research directions. Kogan Page, London, 1995, S. 70-81.
- [HäSpRe98] *Hähre, S.; Spengler, T.; Rentz, O.*: Kopplung von Flowsheeting-Modellen und Petri-Netzen zur Planung industrieller Stoffstromnetzwerke. In: Umweltwirtschaftsforum. Nr. 2, (6. Jg.), 1998, S. 9-15.
- [HeHu00] *Herrmann, A.; Huber, F.*: Kundenorientierte Produktgestaltung - Ziele und Aufgaben. In: Herrmann, A. et al. (Hrsg.): Kundenorientierte Produktgestaltung. Vahlen, München, 2000, S. 3-18.
- [Herr96] *Herrmann, A.*: Nachfrageorientierte Produktgestaltung. Gabler, Wiesbaden, 1996.
- [Jahn05] *Jahns, P.*: Mit unternehmerischen Engagement zur Ökoeffizienz – Möglichkeiten zur Förderung durch die öffentliche Hand. In: Liedtke, C.; Busch, T. (Hrsg.): Materialeffizienz: Potenziale bewerten, Innovationen fördern. Beschäftigung sichern, oekom Verlag, München, 2005, S. 99-110.
- [KoLi05] *Kristof, K.; Liedtke, C.*: Wie könnte eine erfolgreiche Materialeffizienzpolitik für den Mittelstand aussehen? In: Liedtke, C.; Busch, T. (Hrsg.): Materialeffizienz: Potenziale bewerten,

- Innovationen fördern, Beschäftigung sichern. oe-
kom Verlag, München, 2005, S. 47-62.
- [Küll99] *Küll, R.; Stähly, P.:* Zur Planung und effizienten
Abwicklung von Simulationsexperimenten. In:
Biethahn, J. et al. (Hrsg.): Simulation als betrieb-
liche Entscheidungshilfe. Physica Verlag, Hei-
delberg, 1999, S. 1-21.
- [Möll00] *Möller, A.:* Grundlagen stoffstrombasierter be-
trieblicher Umweltinformationssysteme. Projekt-
Verl., Bochum, 2000.
- [MöRo95] *Möller, A.; Rolf, A.:* Methodische Ansätze zur
Erstellung von Stoffstromanalysen unter beson-
derer Berücksichtigung von Petri-Netzen. In:
Schmidt, M.; Schorb, A. (Hrsg.): Stoffstromanal-
ysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Springer,
Berlin [u.a.], 1995, S. 33-58.
- [Pres89] *Pressmar, D.:* Quantifizierung und Bewertung.
In: Szypersky, N. (Hrsg.): Handwörterbuch der
Planung, Poeschel, Stuttgart, 1989, S. 1679-1688.
- [Pres02] *Pressmar, D.:* Produktions- und kostentheoreti-
sche Modellierung der Kuppelproduktion. In:
Keuper, F. (Hrsg.); Produktion und Controlling.
Dt. Univ.-Verl., Wiesbaden, 2002, S. 83-101.

- [Rieb70] *Riebel, P.:* Kalkulation der Kuppelprodukte. In: Handwörterbuch des Rechnungswesens. Schäffer-Pöschel, Stuttgart, 1970, S. 994-1006.
- [Rieb96] *Riebel, P.:* Kuppelproduktion. In: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Schäffer-Pöschel, Stuttgart, 1996, S. 992-1004.
- [ScSc01] *Scharf, A.; Schubert, B.:* Marketing. Schäffer-Pöschel, Stuttgart, 2001.
- [Schu03] *Schultmann, F.:* Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement: betriebswirtschaftliche Planung und Steuerung industrieller Kreislaufwirtschaftssysteme. Schmidt, Berlin, 2003.
- [Stum05] *von Stumpfheldt, G.:* Das Impulsprogramm Materialeffizienz als Instrument zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Schaffung von Arbeitsplätzen. In: Liedtke, C.; Busch, T. (Hrsg.): Materialeffizienz: Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern. oekom Verlag, München, 2005, S. 37-46.
- [Wenz00] *Wenzel, S.:* Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. In: Frontiers in Simulation. Society for Computer Simulation International, Genth, 2000, S. 261-278.