

2/2012

Input/Output-Graphen als Instrument einer entscheidungsorientierten Produktionstheorie?

Eignung aktivitätsanalytischer Produktions- und praktischer Stoffstromanalysemodelle, dargestellt am Beispiel der Restmüllentsorgung

Daniel Miofsky, Thomas Berg

Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre



Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übertragung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, bleiben vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© VERLAG proWiWi e. V., Ilmenau, 2012

Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre
www.tu-ilmenau.de/is-ww

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Norbert Bach, Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Gernot Brähler,
Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Anja Geigenmüller, Prof. Dr. rer. pol. David Müller,
Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Rainer Souren

ISSN 2192-4643

ISBN 978-3-940882-37-0

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012200236

Ilmenauer Schriften zur
Betriebswirtschaftslehre
2/2012

Input/Output-Graphen als Instrument einer
entscheidungsorientierten Produktionstheorie?

Eignung aktivitätsanalytischer Produktions-
und praktischer Stoffstromanalysemodelle,
dargestellt am Beispiel der Restmüllentsorgung

Daniel Miofsky¹, Thomas Berg²



Das diesem Arbeitsbericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben
„Wertschöpfungstheorie betrieblicher Entsorgungsprozesse“
wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

¹ Dipl.-Kfm. Daniel Miofsky, Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fachgebiets
Produktionswirtschaft/Industriebetriebslehre an der TU Ilmenau

² Dipl.-Wirt.-Inf. Thomas Berg, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für
Unternehmenstheorie an der RWTH Aachen

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
1 Einleitung.....	1
2 Anforderungen einer entscheidungsorientierten Produktionstheorie an Input/Output-Graphen.....	2
2.1 Abbildung von Objekt- und Prozesseigenschaften	2
2.2 Erweiterung um Alternativen und Dynamisierungsaspekte.....	5
2.3 Beurteilung der Prozesse auf Basis von Präferenzäußerungen und Kennzahlen.....	7
3 Abbildungsdefizite bei der Implementierung entscheidungsorientierter Produktionsmodelle für Entsorgungsprozesse in der Stoffstromanalysesoftware UMBERTO	10
3.1 Abbildung von Objekt- und Prozesseigenschaften	11
3.2 Erweiterung um Alternativen und Dynamisierungsaspekte.....	12
3.3 Beurteilung der Prozesse auf Basis von Präferenzäußerungen und Kennzahlen.....	13
4 Resümee	14
5 Literaturverzeichnis.....	17

Danksagung

Für die kritische Begutachtung des Arbeitsberichtes sowie für wertvolle Hinweise und anregende Diskussionen danken die Autoren insbesondere Herrn Univ.-Prof. Dr. Rainer Souren, sowie Herrn Dr. Magnus Richter (beide Fachgebiet Produktionswirtschaft/Industriebetriebslehre, TU Ilmenau) und Herrn Dipl.-Wirt.-Ing. Mark Müser (Lehrstuhl für Unternehmenstheorie, RWTH Aachen).

1 Einleitung

Schon seit einigen Jahren fordert DYCKHOFF, die klassische Produktionstheorie zu erweitern, um aktuellen Entwicklungen im Produktionsmanagement weiterhin eine theoretische Grundlage geben zu können und den Anschluss an andere betriebswirtschaftliche Teilgebiete nicht zu verlieren.¹ Kern der Kritik an der bis dato vorherrschenden, „klassischen“ Produktions- und Kostentheorie ist u. a. die Fokussierung auf materielle Produktionsobjekte, rein quantitative Zusammenhänge und den (kurzfristigen) Gewinn als einzig relevante Entscheidungsgröße. Im Vordergrund der von DYCKHOFF geforderten Neukonzeption steht hingegen die entscheidungsorientierte Erweiterung der Produktionstheorie zu einer umfänglichen und integrativen *Theorie der Wertschöpfung*, die es ermöglicht, Entscheidungen unter Berücksichtigung aller relevanten Objekte, Prozesse und Ziele zu treffen und auch weiterführende Leistungsbereiche, wie etwa die Dienstleistungsproduktion, zu erfassen.²

Ein Ziel des vorliegenden Arbeitsberichtes ist es, die konzeptionelle Entwicklung dieser Theorie zu unterstützen, indem Anforderungen zusammengetragen werden, die für die theoretische und praktische Umsetzung der Neukonzeption erforderlich sind. Die Ableitung der Anforderungen erfolgt dabei induktiv am Beispiel kommunaler Restmüllentsorgungsprozesse, die von MIOFSKY/SOUREN bereits strukturell untersucht und dargestellt wurden.³ Als graphisches Abbildungsinstrument dienen dazu *aktivitätsanalytische Input/Output-Graphen*,⁴ die sich aus dem Bereich der graphischen Produktionsmodelle als Analysetool der Aktivitätsanalyse für Prozessstrukturen „klassischer“ Sachleistungsproduktionen bereits bewährt haben und auch hier im Fokus stehen.⁵ Für die Abbildung und Beurteilung dienstleistungsähnlicher Produktionsstrukturen wie der Restmüllabfuhr deuteten sich jedoch Defizite an. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es daher, zu prüfen, inwiefern die Input/Output-Graphen den aufgezeigten Anforderungen bereits genügen, an welcher Stelle konkrete Defizite bei der Umsetzung der Anforderungen vorliegen und welche Lösungsansätze in der Literatur eventuell bestehen. Den beiden geschilderten Zielen widmet sich Kapitel 2, das nach Abbildungsgegenständen (Modellierung von Objekt- und Prozesseigenschaften, Alternativen, Dynamik und Stochastik) und Beurteilungsaspekten (Präferenzen, Kennzahlen) untergliedert ist.

Darüber hinaus soll in Kapitel 3 zusätzlich geprüft werden, inwiefern sich die Stoffstromanalysesoftware UMBERTO, mit deren Hilfe Prozesszusammenhänge in der Praxis visuell abgebildet und analysiert werden können, eignet, die Anforderungen gemäß dem erstellten Anforderungskatalog zu erfüllen und insofern als „Vorbild“ der Input/Output-Graphen zu dienen.

Kapitel 4 fasst abschließend die gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf erforderliche Schritte, die zur Theorieerweiterung notwendig sind.

¹ Vgl. u. a. Dyckhoff 1993, Dyckhoff 2003a und Dyckhoff 2003b.

² Vgl. Dyckhoff 2003a, S.15 und Dyckhoff 2003b, S. 721f.

³ Vgl. Miofsky/Souren 2011.

⁴ Vgl. zum Instrument der Input/Output-Graphen als Darstellungsform von Produktionsaktivitäten Dyckhoff 2006, S. 35ff.; sowie ihrer Kompatibilität zu mathematischen Gleichungs- und Optimierungsmodellen Zimmermann/Völzgen 1972, S. 6.

⁵ Vgl. zu den Vorzügen aktivitätsanalytischer Input/Output-Graphen Richter 2012, S. 65ff.

2 Anforderungen einer entscheidungsorientierten Produktionstheorie an Input/Output-Graphen

2.1 Abbildung von Objekt- und Prozesseigenschaften

Da die Ableitung einer entscheidungsorientierten Handlungskonsequenz auf einer umfänglichen Beurteilung und Bewertung aller Handlungsalternativen beruht, ist es erforderlich, dass alle relevanten Objekte und Prozesse betrachtet und in die Entscheidung einbezogen werden.⁶ Darüber hinaus reicht es bei der Modellierung realer Produktionsprozesse nicht aus, nur die quantitativen Zusammenhänge darzustellen; auch die Abbildung qualitativer Veränderungen einzelner Objekte ist für die ausführliche Beschreibung der Handlungsoptionen erforderlich.

Berücksichtigung und Abbildung von Potenzialfaktoren

Standen bei der Produktion von Sachleistungen bisher vorrangig Repetierfaktoren im Fokus betriebswirtschaftlicher Entscheidungen, rücken mit der Analyse weiterer Leistungskategorien wie Transport- oder Dienstleistungen zunehmend auch die Potenzialfaktoren in den Vordergrund.⁷

Dies lässt sich u. a. darauf zurückführen, dass mittels der (notwendigen) Integration des externen Faktors bzw. des Leistungsobjekts in den (Dienst-)Leistungsprozess Rohstoffe zum großen Teil nicht mehr durch den Anbieter selbst, sondern vielmehr durch den Nachfrager in den Kombinationsprozess eingebracht werden.⁸ Folglich konzentrieren sich die Planungsaktivitäten des Anbieters vor allem in der sog. Vorkombinationsphase verstärkt auf die Potenzialfaktoren, die dazu dienen, andere (Repetier-)Faktoren zu verändern.⁹ Dabei gehen sie selbst materiell i. d. R. unverändert aus dem Prozess wieder hervor, weshalb ihr Transformationsbeitrag häufig über ihr abgegebenes Potenzial gemessen wird. Input/Output-Graphen müssen in der Lage sein, Potenzialfaktoren vollständig und zweckmäßig zu erfassen sowie umfänglich – in Abgrenzung zu Repetierfaktoren – abzubilden.¹⁰

Schon am Beispiel der Restmüllabfuhr im Arbeitsbericht von MIOFSKY/SOUREN, im Speziellen bei den vorbereitenden Prozessen „Einstieg in das Sammelfahrzeug“ und „Fahrt in die Stadt“, zeigt sich, dass Prozesse relevant sind, bei denen ausschließlich Potenzialfaktoren („Lader“, „Fahrer“ und „Sammelfahrzeug“) von Interesse sind.¹¹ Hier wird deutlich, dass die genannten Anforderungen durch herkömmliche Input/Output-Graphen nicht zweckmäßig erfüllt werden können: Würde das abgegebene Potenzial der Faktoren auf herkömmliche Weise erfasst und abgebildet werden, entstünde theoretisch ein Prozess ohne Outputobjekte, da das Potenzial annahmege-

⁶ Vgl. Dyckhoff 2003a, S. 17ff.

⁷ Vgl. zur Unterscheidung von Potenzial- und Repetierfaktoren Dyckhoff 2006, S. 46-47.

⁸ Vgl. Maleri/Frietzsche 2008, S. 5, sowie zur Notwendigkeit der Integration externer Faktoren zusammenfassend Rück 2000, S. 275.

⁹ Vgl. Souren/Richter/Miofsky 2009, S. 5f., sowie zur Mehrstufigkeit der Dienstleistungsproduktion Corsten 1985, S. 161f.

¹⁰ Vgl. zur Notwendigkeit der Unterscheidung zwischen Potenzial- und Repetierfaktoren bei der graphischen Modellierung Richter 2012, S. 114-116.

¹¹ Vgl. Miofsky/Souren 2011, S. 5.

mäß während der Prozessdurchführung aufgebraucht wird und weitere Objekte nicht betrachtet werden. Das wiederum erscheint nicht nur produktionstheoretisch äußerst fragwürdig, sondern ist auch entscheidungstheoretisch wenig zielführend: So besteht das Ziel der Prozesse in der Ortsveränderung der Potenzialfaktoren selbst, die Erfassung der (in der Eigenschaft „Ort der Verfügbarkeit“ geänderten) Potenzialfaktoren als Ergebnis des Prozesses auf der Outputseite ist also von erheblicher Relevanz. Zudem würde ein Informationsverlust eintreten, da ohne Prozessoutput nicht unmittelbar erkennbar wäre, in welchem strukturellen Zusammenhang die Prozesse mit anderen Prozessen stehen.

Das strukturelle Manko könnte zumindest umgangen werden, indem bei der quantitativen Beschreibung nicht auf das *Potenzial*, sondern auf die *Anzahl* der beteiligten Potenzialfaktoren am Prozess abgestellt wird. Dadurch werden die Potenzialfaktoren zwar dann auch als Outputobjekte modelliert, allerdings geht dadurch die entscheidungsrelevante Information über das abgegebene Leistungspotenzial verloren. Aus diesem Grund erscheint auch diese Form der Abbildung wenig zielführend. Darüber hinaus muss bei dieser Erfassungsform der Faktoren auf die Bruttoversion ausgewichen werden, da sich sonst die auf der Input- und Outputseite qualitativ und quantitativ gleichen Potenzialfaktorobjekte aufgrund der bei der Nettoerfassung erforderlichen Subtraktion der Output- und Inputquantitäten gegenseitig aufheben würden.¹²

Berücksichtigung und Abbildung qualitativer Objekteigenschaften

Das eigenschaftsbezogene Defizit, wie z. B. der nicht erkennbare Ortswechsel, ließe sich beheben, wenn identische Objekte hinsichtlich relevanter Eigenschaften bzw. Merkmale genauer spezifiziert werden und so Veränderungen sichtbar gemacht werden könnten. So ist gerade bei Dienstleistungsprozessen häufig zu beobachten, dass das Ziel der Transformation in der *Eigenschaftsänderung* eines (externen) Faktors begründet liegt,¹³ und keine neue Objektart (wie bei der Sachgüterproduktion üblich) geschaffen wird.¹⁴ Input/Output-Graphen sollten folglich in der Lage sein, eine Objektart hinsichtlich materieller, örtlicher und zeitlicher Eigenschaften zu beschreiben und die Veränderung an deren Merkmalen erkennbar zu machen.

So würde bei den eben genannten Potenzialfaktoren ein Ortsmerkmal die Ortsveränderung durch einen Transportprozess deutlich machen. Des Weiteren stellt der Füllstand der Restmülltonnen mit Abfall ein qualitatives (und mithin auch entscheidungsrelevantes!) Eigenschaftsmerkmal der Restmüllbehälter dar, das sich insbesondere nach der Behälterleerung ändert (i. d. R. von „voll“ auf „leer“).¹⁵ Aus dem Leerungsprozess geht folglich auch kein neues Objekt, sondern lediglich ein in seinen materiellen Eigenschaften (Füllstand) *veränderter* Behälter hervor. Im Rahmen der bestehenden Input/Output-Graphen ist eine derartige Merkmalsdifferenzierung bisher jedoch nicht vorgesehen,¹⁶ und so lässt sich mit bestehenden Mitteln die erfolgte Eigenschaftsänderung nur mit Hilfe einer neuen Objektart („MGB_{120,L}“ für den leeren Behälter gegenüber dem „neuen“ Objekt „MGB_{120,B}“ für den befüllten Behälter) abbilden.¹⁷

¹² Vgl. zur Brutto- und Nettoversion bei der Erfassung der Objekte Dyckhoff 1994, S. 57-60.

¹³ Vgl. Gössinger 2005, S. 4.

¹⁴ Vgl. Richter 2012, S. 105.

¹⁵ Vgl. Miofsky/Souren 2011, S. 8f.

¹⁶ Vgl. Souren/Richter/Miofsky 2009, S. 6.

¹⁷ Vgl. Miofsky/Souren 2011, S. 8.

Diese Art der Modellierung stellt jedoch nur eine Behelfslösung dar, da die auf Eigenschaften beschränkten Objektveränderungen verschleiert werden.¹⁸ Weitere Beispiele finden sich bei der anschließenden Abfallverbrennung, wo z. B. eine detaillierte Beschreibung des Objektes „Rauchgas“ bezüglich seiner qualitativen Zusammensetzung (Rauchgasbestandteile) einen deutlichen Struktur- und Informationsgewinn mit sich bringen würde.¹⁹

Ansätze, Objekte mittels qualitativer Eigenschaften genauer zu beschreiben, gibt es in der Produktionstheorie bereits.²⁰ Ein weiterführendes Ziel muss es sein, diese Ansätze vollständig in die Produktionsmodelle zu integrieren und auch in die Input/Output-Graphen zweckmäßig einzubinden. Den diesbezüglich derzeit fruchtbarsten Ansatz zur Integration qualitativer Objektmerkmale liefert SOUREN mit der Komponentenmodellierung.²¹

Berücksichtigung und Abbildung von Prozessfaktoren

Um Prozesse zielgerichtet kontrollieren und steuern zu können, sind häufig nicht nur die Qualität und/oder die Quantität der beteiligten Objekte von Interesse, sondern auch die sog. Prozessfaktoren. Darunter werden Parameter wie z. B. die Prozessgeschwindigkeit oder die Prozesstemperatur gezählt, die die Transformation und damit häufig das Prozessergebnis in Qualität und Quantität beeinflussen.²² Da davon wiederum der Verbrauch einzelner Inputfaktoren abhängt, ist Prozessfaktoren insgesamt eine erhebliche betriebswirtschaftliche Entscheidungsrelevanz beizumessen.

Bei der Restmüllabfuhr spielen diese Faktoren eher eine untergeordnete Rolle. Zwar kommt hier die Arbeitszeit bzw. -geschwindigkeit als Prozessparameter in Frage, allerdings ist eine Anpassung aufgrund des begrenzt steigerungsfähigen Leistungspotenzials der Arbeitskräfte schwer vorstellbar. Deutlich mehr Relevanz besitzen Prozessfaktoren bei der Müllverbrennung. Um eine möglichst schadstoffarme Verbrennung zu gewährleisten, müssen z. B. die entstehenden Rauchgase eine Temperatur von 850 °C erreichen, andernfalls ist mit Stützbrennern für eine Nachregelung zu sorgen. Einen anderen wichtigen Prozessfaktor stellt die Verweilzeit der Abgase im Feuerungsraum bei o. g. Temperaturen dar, die in diesem Fall mindestens 2 Sekunden betragen muss.²³ Auch bei der Rauchgasreinigung sind die einzelnen Teilprozesse von vielen entscheidungsrelevanten Prozessfaktoren wie Temperatur, Druck oder Durchlaufzeit abhängig.²⁴

Zur Berücksichtigung der Prozessfaktoren hat die Produktionstheorie bereits zahlreiche Ansätze hervorgebracht. Pionierarbeit leistete u. a. GUTENBERG mit der von ihm entwickelten Produktionsfunktion von Typ B für den intensitätsabhängigen Verbrauch von Potenzialfaktoren und Betriebsstoffen;²⁵ einen weiteren nennenswerten Ansatz stellen die sog. Engineering-Productions-Functions dar.²⁶ Ziel muss es sein, die Input/Output-Graphen um diese Elemente zu erweitern.

¹⁸ Vgl. Richter 2012, S. 106f.

¹⁹ Vgl. zu den Verbrennungsprozessen Miofsky/Souren 2011, S. 13-20.

²⁰ Vgl. u. a. Dyckhoff 1994, S. 241f., Souren 1996, S. 90-112 und Souren 2002; S. 204-207, Gössinger 2005 sowie die bei Gössinger 2005, S. 57 zitierten Quellen zu Huch 1966 und Lücke 1973.

²¹ Vgl. Souren 1996, S. 90-112, und Souren 2002, S. 204-207.

²² Vgl. Dyckhoff 2006, S. 44.

²³ Vgl. § 4 Abs. 2 17. BImSchV, sowie vertiefend Tabasaran 1994, S. 270f.

²⁴ Vgl. Miofsky/Souren 2011, Kapitel 2.4.3.

²⁵ Vgl. Gutenberg 1983, S. 326-337.

²⁶ Vgl. Chenery 1949, sowie ausführlich Fandel 2005, S. 127-143.

2.2 Erweiterung um Alternativen und Dynamisierungsaspekte

Integration von Alternativprozessen und Berücksichtigung der Prozessreihenfolge

Die graphische Abbildung struktureller Prozesszusammenhänge mittels Input/Output-Graphen hat gegenüber anderen Darstellungsformen wie Vektoren oder Input/Output-Tabellen den wesentlichen Vorteil, schnell einen übersichtlichen Zusammenhang über die Verflechtungen der beteiligten Prozesse und Objekte zu liefern.²⁷ Allerdings kann eine solche Abbildung schnell an Übersicht verlieren, je tiefer die Analyseebene gewählt wird, da dann in der Regel mehr Teilprozesse und Zwischenprodukte in den Analysefokus treten. Ein Problem, das insbesondere bei der Analyse (entsorgungs-)logistischer Prozesse wie z. B. der Müllabfuhr (oder analog den Paket- oder Briefauslieferungen) auftreten kann, besteht in der Aufdeckung einer Vielzahl nahezu identischer Teilprozesse, die nacheinander (mehrmals) ausgeführt werden. Diese müssten – sofern sie Analyserelevanz besitzen – graphisch jeweils nacheinander modelliert werden, was schnell in nicht mehr durchdringbaren Input/Output-Graphen münden kann und somit als Entscheidungsgrundlage unbrauchbar wird. Die graphische Produktionstheorie müsste folglich einen Modellierungsmechanismus bereitstellen, der es zulässt, strukturell ähnliche Prozesse zweckmäßig zusammenzufassen, über eine Auswahlmöglichkeit zu verbinden und die Reihenfolge des Prozessdurchlaufs zu definieren.

Am Beispiel der Restabfallabfuhr lässt sich die Relevanz auch praktisch aufzeigen. So werden im Vollservice die Abfallbehälter durch die Lader an die Straße gestellt,²⁸ wobei sich lediglich die Wegstrecke und die Behältergröße mit jedem Prozessdurchlauf ändern. Stellen die Lader während einer Tour beispielsweise 150 Behälter bereit, müssten entsprechend 150 Behälterbereitstellungsprozessen modelliert werden. Im weiteren Verlauf der Restmüllentsorgung wäre zudem die gleiche Anzahl an Prozessen für die Behälterleerung (Umschlag) und noch mal für die anschließende Behälterzurückstellung zu modellieren.

Für einige der genannten Anforderungen gibt es bereits zweckmäßige Lösungsansätze. Wie am Beispiel der Bereitstellungsprozesse bei MIOFSKY/SOUREN aufgezeigt, wurden zunächst die einzelnen Prozesse nach der Behältergröße differenziert und zu *strukturgleichen* Prozessen zusammengefasst.²⁹ Um eine Auswahlmöglichkeit zwischen den einzelnen Teilprozessen zu schaffen und diese am Ende auch wieder zu vereinen, wurden sog. *Prozessweichen* implementiert, die gedanklich auf XOR-, OR- bzw. AND-Konnektoren basieren und bei der Modellierung von *ereignisgesteuerten Prozessketten* in gleichem Sinne Anwendung finden.³⁰ Der so dargestellte Strukturtyp entspricht in theoretischer Hinsicht einer *Verfahrenswahl*³¹ (zur Nutzung eines Potenzialfaktors), wobei der Lader als Potenzialfaktor aufgrund der zyklusartigen Prozessgestaltung stets zum Auswahlpunkt zurückkehrt und somit die graphische Möglichkeit geschaffen wurde, einen der aufgedeckten strukturgleichen Prozesse erneut zu durchlaufen. Während in den klassischen aktivitätsanalytischen Input/Output-Graphen auch die Anzahl der jeweiligen Prozessdurchläufe

²⁷ Vgl. Dyckhoff 1994, S. 184. Vgl. allgemein zu Darstellungsformen von Produktionsaktivitäten Dyckhoff 1994, S. 183-186, und Dyckhoff 2006, S. 34-37.

²⁸ Vgl. Miofsky/Souren 2011, S. 5ff.

²⁹ Vgl. Miofsky/Souren 2011, S. 6f. Die jeweils unterschiedliche Wegstrecke zu den Behältern wurde dabei vernachlässigt, stattdessen wurde für jede Behältergröße eine ermittelte Durchschnittszeit angenommen. Die Prozesse bedingen dabei zwingend auch ein unterschiedliches Outputobjekt.

³⁰ Vgl. Überblicksartig zur Modellierung von Geschäftsprozessen Scheer 2002.

³¹ Vgl. allgemein zur Verfahrenswahl Dyckhoff 1994, S. 221-229.

durch die Angabe des Prozessniveaus steuerbar ist, ist hingegen noch kein Instrumentarium bekannt, das die genaue Reihenfolge der Teilprozessdurchläufe festlegen und abbilden kann. Zwar ist es formal vorstellbar, die Teilprozesse mit differenzierbaren Identifikationsmerkmalen (wie z. B. einer Teilprozessnummer) zu versehen und die Reihenfolge dann in einem (eindimensionalen) Vektor zu erfassen, eine graphische Lösung kann daraus jedoch nicht zweckmäßig abgeleitet werden.

Dennoch besteht ein Vorteil dieses Modellierungsansatzes darin, dass eine Vielzahl gleichartiger Produktionsverläufe übersichtlich (statisch) modelliert werden könnten. Darüber hinaus bieten sich so auch Anknüpfungspunkte für die Abbildung dynamischer Produktionsverhältnisse.

Dynamisierung der Prozesse

Dynamische Betrachtungen unterscheiden sich von statischen darin, dass die Input/Output-Verhältnisse nicht nur für eine Planungsperiode betrachtet, sondern über mehrere (Teil-)Perioden hinweg analysiert werden.³² Somit steht (neben der strukturellen Verknüpfung) die zeitliche Abstimmung der Teilprozesse bei einer dynamischen Prozessplanung im Fokus. Zur Unterstützung des Produktionsplanungsprozesses sollten graphische Produktionsmodelle folglich in der Lage sein, dynamische Produktionsverhältnisse zu erfassen und abzubilden.

So könnte ein dynamischer Ansatz auch die Planung von Entsorgungsleistungen unterstützen. Wie beispielsweise bei der Restabfallabfuhr zu erkennen, werden die Lader zu Beginn der Entleerungstour zunächst in der Stadt abgesetzt und am Ende wieder eingesammelt.³³ Es gilt durch eine zeitliche Abstimmung zu vermeiden, dass die Lader unnötig lange auf das Sammelfahrzeug warten müssen – oder umgekehrt, dass das Fahrzeug zurückkehrt, bevor die Lader die Behälterrückstellung beendet haben. Auch bei der Abfallverbrennung finden sich zeitliche Abhängigkeiten: So werden Teile des erzeugten Prozessdampfes verwendet, um das Speisewasser oder die angesaugte Frischluft, die für die nachfolgende Verbrennungs- und Dampferzeugungsperiode benötigt werden, zu erwärmen. Ein weiteres Beispiel stellt der Rauchwäscherprozess dar: So wird das bei der Waschung verwendete Waschwasser über mehrere Perioden hinweg genutzt und folglich mit den ausgewaschenen Schadstoffen aufkonzentriert. Bei Erreichung eines Schwellwertes wird dann das Wasser an einen nachgelagerten Neutralisierungsprozess abgegeben; entsprechend muss dieser dann auch zur Verfügung stehen.

Für die graphische Abbildung dynamischer Prozesse sind in der Literatur bereits einige Lösungsansätze bekannt. Dabei stellen die von PETRI entwickelten *Petri-Netze* den vielversprechendsten Implementierungsansatz dar,³⁴ wobei insbesondere die sog. Schaltvorgänge den dynamischen Aspekt in den Netzen begründen und auch strukturelle Alternativprozesse zulässig sind.³⁵ Da auch die graphische Aktivitätsanalyse unverkennbar eine große Nähe zu Petri-Netzen aufweist, lassen sich die dynamischen Elemente prinzipiell übertragen.³⁶ Für die Erfassung dynamischer Produktionsverhältnisse auf formal-theoretischer Ebene sei zudem auf MAY³⁷ und wiederum auf GUTENBERG mit der Produktionsfunktion von Typ B verwiesen, wobei die Produktionszeit in Ver-

³² Vgl. Fandel 2005, Kapitel 6 und insbesondere S. 149, sowie Dyckhoff 2006, S. 112-115.

³³ Vgl. Miofsky/Souren 2011, Kapitel 2.3.

³⁴ Vgl. zur ursprünglichen Petri-Netz-Theorie Petri 1962.

³⁵ Vgl. Weilerscheidt/Haupt 1995 sowie Dyckhoff/Spengler 2010, S. 221-223.

³⁶ Vgl. für ein Beispiel Dyckhoff 2006, S. 113f.

³⁷ Vgl. May 1992.

bindung mit der gewählten Intensität über den quantitativen Verbrauch an Einsatzfaktoren bestimmt. Wenn es gelingt, die Elemente zusammenzuführen und (graphisch und formal) abzubilden, könnte die Produktionsplanung sowohl in temporaler als auch in strukturaler und verbrauchsoptimierter Hinsicht integrativ durch Simulationsabläufe unterstützt und optimiert werden.

Integration von Stochastizitäten

Mit dynamischen Prozessen geht oftmals auch eine zunehmende Unsicherheit im Produktionsprozess bezüglich der Einsatz-, Prozess- und Ausbringungsobjekte einher, die im Zeitverlauf (mehrerer Perioden) qualitativen und quantitativen Schwankungen unterliegen und somit oft nicht mit Sicherheit geplant werden können. Durch die Formalisierung und Abbildung sog. Stochastizitäten könnte der Planungsprozess unterstützt werden, da so beispielsweise mögliche Schwankungsbreiten erkannt und gesteuert werden könnten.

Bei der Restabfallabfuhr wird die Stochastizität z. B. im Füllstand der jeweils zu leerenden Behälter deutlich, der vor der Abfuhr nicht abgeschätzt werden kann; ebenso unterliegt die Bereit- und Zurückstellungszeit unvorhersehbaren Schwankungen, da nicht immer absehbar ist, wie schnell die Lader jeweils an die auf dem Grundstück befindlichen Behälter herankommen. Bei der Abfallverbrennung unterliegt sogar der gesamte Prozess stochastischen Einflüssen, da der angelieferte Abfall in seiner qualitativen Zusammensetzung enorm schwankt. Somit ändert sich auch ständig und nahezu unvorhersehbar die Qualität und Quantität der im Rauchgas enthaltenen Schadstoffe. Darauf muss wiederum der Reinigungsprozess flexibel reagieren können, indem z. B. die Zufuhr der Reinigungsmittel (wie z. B. Aktivkohle, Adsorbens oder Kalkmilch) in die Teilprozesse je nach Menge der entsprechenden Schadstoffe permanent angepasst wird, was wiederum Planungsaktivitäten, z. B. hinsichtlich einer Prozessoptimierung, erschwert.

Für die Erfassung stochastisch bedingter Unsicherheiten wurden in der Literatur unterschiedliche Ansätze entwickelt. Dabei scheint die Bildung *stochastischer Input- und Outputkoeffizienten* ein fruchtbarer Weg,³⁸ da diese in Input/Output-Graphen integriert werden können und entsprechend deterministische Angaben ersetzen.³⁹ Lassen sich die Grenzen verlässlich bestimmen, kann die Planung zumindest soweit unterstützt werden, da sich verschiedene zu bewertende Szenarien ableiten lassen.

2.3 Beurteilung der Prozesse auf Basis von Präferenzäußerungen und Kennzahlen

Grundlegender Baustein einer *entscheidungsorientierten* Produktionstheorie ist die Einbeziehung und Berücksichtigung sämtlicher Anspruchsgruppen und deren Zielvorstellungen in den Entscheidungsprozess. Diese Anforderung besitzt zwar keinen direkten Einfluss auf die Modellierung der Prozesszusammenhänge mittels Input/Output-Graphen. Sie ist jedoch für eine praxistaugliche Abbildung von Entsorgungsprozessen essenziell und wirkt zudem auf die Auswahl zur berücksichtigender (und mittels Input/Output-Graphen zu modellierender) Prozesse zurück.

³⁸ Vgl. Jahnke 1995, S. 21ff. und Fandel 2005, S. 180ff.

³⁹ Vgl. Richter 2012, S. 117.

Berücksichtigung von Präferenzen des Produzenten und der Stakeholder

Ziel der Neukonzeption ist es, die Produktionsaktivität aus dem Produktionsraum zu realisieren, die die höchste Wertschöpfung verspricht, wobei der Wahl ein Beurteilungs- und Bewertungsprozess alternativer Realisationsmöglichkeiten vorausgeht, der auf den Zielen und Präferenzen der Unternehmung **und** der mit dem Unternehmen verbundenen Stakeholdern (z. B. Mitarbeiter, Kunden, Lieferanten) fußt.

Das damit nicht mehr nur finanzielle Ziele im Vordergrund stehen, zeigt sich z. B. bei der Planung der Restmüllabfuhr deutlich. So richtet sich die gefahrene Entleerungstour nicht nur nach der Kostenoptimierung, sondern sie berücksichtigt auch eine tariflich vereinbarte Maximalleistung der Fahrer.⁴⁰ Zudem hat jeder Kunde einen Anspruch auf Leerung seines Behälters, auch an schwer zugänglichen und den Prozess verzögernden Stellen. Auch richtet sich die Prozessoptimierung bei der Abfallverbrennung primär nach den einzuhaltenden Schadstoffkonzentrationen im Abgas und einer möglichst hohen Anlagenverfügbarkeit, erst danach folgen die stärker finanziell motivierten Ziele wie das Maximieren der Dampfausbeute oder die sparsame Verwendung der Einsatzmittel bei der Rauchgasreinigung.

In der „klassischen“ Produktionstheorie ist eine derartig ausgeprägte Berücksichtigung verschiedener Zielgrößen und Anspruchsgruppen jedoch nicht vorgesehen. Um diesen Missständen zu begegnen, schlägt DYCKHOFF in mehreren Beiträgen ein universales 3-Ebenen-Modell vor, das die bestehende Theorie deutlich erweitert.⁴¹ Demnach werden auf der untersten *Technologieebene* zunächst *alle* relevanten Objekte und Transformationen erfasst, also auch solche, die für die Stakeholder eine Relevanz besitzen. Im Gegensatz dazu waren bisher lediglich die für die Sachleistungserbringung benötigten Produktionsobjekte relevant, die anschließend durch den Produzenten monetär bewertet wurden, woraus schließlich die erfolgs- bzw. gewinnmaximale Produktionsentscheidung abgeleitet wurde.⁴² DYCKHOFF fügt eine zusätzliche Beurteilungsstufe ein, die sich im 3-Ebenen-Modell als *Ergebnisebene* der Technologieebene anschließt. An dieser Stelle kann, auf Basis der Präferenzen des Produzenten, aber auch aller anderen Akteure, eine Beurteilung der Objekte vorgenommen werden, bei der ausdrücklich auch nichtmonetäre Bewertungsmaßstäbe zulässig sind. In der Folge werden ineffiziente Produktionen von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.⁴³ Die Produktionsentscheidung wird dann auf der obersten *Erfolgsebene* getroffen, wobei die verbleibenden Produktionsalternativen auf dem Weg dahin eine (eindimensionale) Bewertung seitens der Entscheidungsakteure erfahren. Aus der sich daraus ergebenden Präferenzreihfolge folgt letztlich die zu realisierende Produktion.

Die praktische Umsetzung des Konzeptes, das aus einer reinen *Produktions- und Kostentheorie* eine *Theorie der Wertschöpfung* macht, erfordert einige Erweiterungen. So lassen sich z. B. die

⁴⁰ Im Stadtbetrieb Aachen gibt es dafür ein Punktemodell, wobei jeder Behälter (je nach Größe und Standort) mit unterschiedlich vielen Punkten bewertet wird. Bei jeder Behälterleerung werden dem Lader die entsprechenden Punkte gutgeschrieben, wobei er pro Tag eine vorgeschriebene Maximalpunktzahl nicht überschreiten darf.

⁴¹ Vgl. umfassend Dyckhoff 1993.

⁴² Vgl. Esser 2001, S. 1.

⁴³ Eine rudimentäre Beurteilung besteht im sog. Normalfall, wonach die Objekte hinsichtlich der Kategorien „Gut“, „Übel“ und „Neutrum“ beurteilt werden, vgl. ausführlich Dyckhoff 2006, Kapitel 4.2. Anschließend werden mittels geeigneter Dominanztests alle ineffizienten Produktionen für die weitere Betrachtung ausgeschlossen.

Präferenzvorstellungen mittels Präferenz- oder Zielfunktionen formal erfassen;⁴⁴ für deren Abbildung in graphischen Produktionsmodellen sind in der Literatur hingegen nur begrenzte Darstellungsmöglichkeiten bekannt. Weitere Defizite bestehen insbesondere bei der Implementierung der neuartigen Ergebnisebene aufgrund der erforderlichen Berücksichtigung sämtlicher betroffener Akteure und deren verschiedenen Zielvorgaben im Entscheidungsprozess, die auch in nicht-monetärer Form existieren können. Eine Lösungsmöglichkeit wird darin gesehen, aus den Zielen möglichst konkrete Zielvorgaben abzuleiten und diese – so gut wie möglich – durch verschiedene Kennzahlen zu operationalisieren.

Anknüpfungsfähigkeit an Kennzahlensysteme

Dadurch würde die Möglichkeit geschaffen, sämtliche Präferenzen in Form von Kennzahlen in einem Ziel- und Kennzahlensystem als Beurteilungsinstrument der Ergebnisebene zu verankern und die Planungsaktivitäten unter Berücksichtigung der Zielvorgaben auszurichten bzw. zu optimieren. Folglich muss die Produktionstheorie in der Lage sein, alle entscheidungsrelevanten Elemente wie Objektqualitäten und -quantitäten, Prozessparameter oder Zielvorstellungen der Akteure operational zu erfassen und mittels Kennzahlen auszudrücken. Um diese Vorgaben zu realisieren, ist es des Weiteren notwendig, neben dem eigentlichen unternehmerischen Produktionsprozess zusätzlich auch die (begleitenden) Prozesse abzubilden, die zur Erfassung und Ableitung aller erhobenen Kennzahlen notwendig sind. Nach Abschluss des Bewertungsprozesses, der als Resultat eine möglichst „optimale“ Entscheidung unter Berücksichtigung aller Präferenzen ermittelt hat, können die notwendigen Steuerparameter entsprechend justiert und der Prozess gemäß der getroffenen Entscheidung zielgerichtet gelenkt werden, da die Steuerparameter im Idealfall direkt mit den Prozessen verknüpft sind.

Auch bei der Abfallentsorgung kann ein Kennzahlensystem die Planung und Steuerung unterstützen, da der (kommunale) Entsorger mit verschiedenen Stakeholdern in Verbindung steht, was wiederum in einer Vielzahl unterschiedlicher Ansprüche mündet. Im Bereich der Restmüllabholung sind neben logistischen Prozesskennzahlen, die z. B. auf die Produktivität abzielen, auch Kennzahlen relevant, die die Mitarbeiter- oder Bürger-/Kundenzufriedenheit messen. Entsprechend sind auch solche Prozesse zu erfassen, die derartige Aspekte umfassend abbilden können und somit die Ableitung zweckmäßiger Kennzahl unterstützen. Wird beispielsweise als Maß für die Bürgerzufriedenheit bei der Restmüllabholung die Anzahl der Beschwerden genutzt, sind zunächst die Prozesse und Objekte samt relevanter Eigenschaften zu erfassen, die eine Beschwerde hervorrufen können – zum Beispiel die Eigenschaft „Füllstand“ eines (nicht geleerten) Behälters bei der Restmüllentleerung. Da die Beschwerde erst auftritt, nach dem der Bürger die Tonne überprüft hat, ist ein entsprechender Prüfprozess des Bürgers zu modellieren, in dessen Folge er „zufrieden“ oder „unzufrieden“ ist. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit wird sich bei einem unzufriedenen Bürger dann ein Prozess „Beschwerde durchführen“ anschließen, auf dessen Grundlage sich dann wiederum eine Kennzahl „Kundenzufriedenheit“ ableiten lässt.⁴⁵

Wie dargestellt, erfordert diese kennzahlenbasierte Form der Prozesssteuerung, dass nunmehr auch Prozesse berücksichtigt und mittels Input/Output-Graphen modelliert werden müssen, die zumindest nicht direkt im Zusammenhang mit dem Produktionsergebnis stehen. Die klassische

⁴⁴ Vgl. beispielsweise Dyckhoff/Ahn 2010, S. 1265ff.

⁴⁵ Zum Beispiel, indem die Anzahl der Prozesse „Beschwerde durchführen“ von allen Bürgern in einem definierten Zeitraum gezählt werden.

Produktionstheorie weist an dieser Stelle Defizite auf, da sie – aufgrund der direkten Vernachlässigung von Stakeholderinteressen – nur auf den materiellen Produktionsprozess und die damit verbundenen quantitativen Input/Output-Zusammenhänge fokussiert ist. Andere Interessen und Ziele, wie z. B. die Kundenzufriedenheit, lassen sich so weder messen noch steuern. Anknüpfungspunkte könnte das Controlling liefern, wo mit der *Balanced Scorecard* (BSC) eine Konzeption bekannt ist, mittels derer (strategische) Unternehmensentscheidungen unter Berücksichtigung sämtlicher betroffener Akteure und ihrer Präferenzen getroffen werden.⁴⁶ Die „bisherige“ prozessuale Betrachtungsebene (Technologieebene) wird vorrangig durch die in der BSC verankerte Prozessperspektive abgebildet und integriert somit den bestehenden produktionswirtschaftlichen Entscheidungsansatz, der unter Einfluss der anderen Perspektiven erweitert wird. Auch für den Bereich der Abfallentsorgung sind in den letzten Jahren strategische Controllingkonzeptionen entwickelt worden.⁴⁷ Eine daraus abgeleitete operative Controllingkonzeption, die darüber hinaus die aufgezeigte Prozessverknüpfung beinhaltet, besteht indes noch nicht.

3 Abbildungsdefizite bei der Implementierung entscheidungsorientierter Produktionsmodelle für Entsorgungsprozesse in der Stoffstromanalysesoftware UMBERTO

Aufbauend auf den in Kapitel 2 eingeführten und erläuterten Anforderungen werden diese nun hinsichtlich deren Umsetzbarkeit mittels Software zur Stoffstromanalyse überprüft. Als Modellbeispiele dienen weiterhin die realen Restmüllentsorgungsprozesse aus MIOFSKY/SOUREN.⁴⁸

Als Referenzsoftware wird das Softwaretool Umberto 5.5 genutzt, das von der ifu Hamburg GmbH und der ifeu Heidelberg GmbH entwickelt wird. Umberto ist eine im deutschen Sprachraum weit verbreitete Stoffstromanalyse-Software, welche speziell für die Ökobilanzierung, die Ökoeffizienzanalyse und die CO₂-Berechnung eingesetzt werden kann. Die Software befindet sich seit 1992 in der kontinuierlichen Entwicklung und wird von namhaften Unternehmen eingesetzt (u. a. BASF, Duales System Deutschland sowie Henkel).⁴⁹ Im Folgenden wird auf die einzelnen Anforderungen eingegangen, für tiefergehende Details über Umberto sei auf die Homepage des Herstellers verwiesen.⁵⁰ Des Weiteren wird explizit nur auf die Funktionalitäten Bezug genommen, die Umberto standardmäßig anbietet. Diese Abgrenzung wird gezogen, weil Umberto mit Hilfe einer Programmierschnittstelle und unter der Benutzung von Skriptsprachen die Möglichkeit bereitstellt, die Anwendung und die Stoffstrommodelle um verschiedenste, zusätzliche Funktionalitäten zu erweitern.

⁴⁶ Vgl. ausführlich zur Idee und Umsetzung der Balanced Scorecard Kaplan/Norton 1997.

⁴⁷ Vgl. u. a. die Schriften von Elyas 2009, Krawczik/Zisowski 2004 und Stegmann 2002.

⁴⁸ Vgl. Miofsky/Souren 2011.

⁴⁹ Vgl. ifu Hamburg GmbH 2012a, <http://www.ifu.com>, Abrufdatum: 27.01.2012.

⁵⁰ Vgl. ifu Hamburg GmbH 2012b, <http://www.ifu.com>, Abrufdatum: 27.01.2012.

3.1 Abbildung von Objekt- und Prozesseigenschaften

Berücksichtigung und Abbildung von Potenzialfaktoren

Bei der Restmüllabfuhr sind zur vollständigen Abbildung des Prozesses Potenzialfaktoren zu modellieren. Hierbei sind insbesondere die menschlichen Arbeitskräfte (hier die Müllwerker, unterteilt in Lader und Fahrer) und das Sammelfahrzeug hervorzuheben, die bei der Mülleinsammlung an allen Prozessen aktiv beteiligt sind.⁵¹ Diese Potenzialfaktoren gehen in die entsprechenden Prozesse als Inputs ein und verlassen diese unverändert als Outputs.

Innerhalb von Umberto können Potenzialfaktoren nicht explizit modelliert werden, jedoch können diese über eigens definierte Materialien mit entsprechenden Einheiten abgebildet werden. Auf diese Weise können die Potenzialfaktoren selbst und ihre Leistungsabgabe als Stoffströme abgebildet werden. Bspw. kann die Anzahl eines genutzten Maschinentyps und die Leistungsabgabe einer Maschine entsprechend als Input und Output in einem Prozess definiert werden. Somit kann, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, die Anzahl und das Potenzial der beteiligten Potenzialfaktoren modelliert werden. Hinsichtlich der LCIs (Life Cycle Inventory) werden die Materialien je nach gewähltem Materialtyp (Good, Neutral oder Bad) in den Berechnungen berücksichtigt, sodass evtl. eine gesonderte Auswertung nötig ist. Über die in Umberto zur Verfügung stehenden Funktionalitäten ist damit eine Modellierung von Potenzialfaktoren in der obigen Form realisierbar.

Berücksichtigung und Abbildung qualitativer Objekteigenschaften

Insbesondere bezüglich der thermischen Müllbehandlung ist die Modellierung von Stoffqualitäten besonders zu berücksichtigen, da die Stoffqualitäten direkten Einfluss auf die Prozesse haben. Dies können z. B. die Temperatur, der Feuchtigkeitsgrad und die Zusammensetzung des Brennstoffes sein. Zur Abbildung der Zusammensetzung des Brennstoffes bzw. des Mülls bietet sich die Komponentenmodellierung als Modellierungstechnik an.⁵² Bezüglich der Restmüllabfuhr sind, wie zuvor erwähnt, beispielsweise Attribute für den Füllstand (z. B. „voll“ oder „leer“) eines Restmüllbehälters zu berücksichtigen.

In Umberto können Materialien in die drei Kategorien Good, Neutral und Bad eingeordnet werden. Darüber hinaus können Materialien verschiedene Eigenschaften zugewiesen werden. Diese Eigenschaften sind jedoch fest an das jeweilige Material gekoppelt und lassen sich bei Verwendung des Materials nicht mehr ändern, sodass bspw. eine Variation der Temperatur eines Materials über mehrere Prozesse hinweg nicht möglich ist. Um Stoffqualitäten abbilden zu können, ist es somit notwendig, alle Kombinationen von Eigenschaftsmerkmalen als einzelne Materialien in Umberto zu definieren, also für jede Objektart eine eigene Materialart.⁵³ Dies ist unpraktikabel, da z. B. bei der thermischen Müllbehandlung der Feuchtigkeitsgrad des Brennstoffes unmittelbare Auswirkungen auf den Verbrennungsprozess hat und dieser variabel ist, sodass in Abhängigkeit zu vorhergehenden Prozessen diese Stoffqualität angepasst werden muss. Eine Zusammenfassung von Materialien zu größeren Einheiten, wie es die Komponentenmodellierung

⁵¹ Vgl. Miofsky/Souren 2011, S. 4ff.

⁵² Vgl. Souren 1996, S. 82ff.

⁵³ Für das Beispiel des Restmüllbehälters müssten beispielsweise mindestens zwei Materialien angelegt werden (für einen vollen und einen leeren Restmüllbehälter).

erfordert, ist ebenfalls nicht möglich. Die Abbildung von Rauchgas, das sich je nach Prozessfortschritt aus unterschiedlichen Komponenten zusammensetzt, ist mittels Umberto nicht umsetzbar. Es können nur die einzelnen Komponenten ohne die Zuordnung zu einem übergeordneten Material dargestellt werden. Stoffqualitäten lassen sich daher in Umberto nur mit hohem Aufwand modellieren.

Berücksichtigung und Abbildung von Prozessfaktoren

Bei der Müllbehandlung und der Mülleinsammlung ist eine Parametrisierung der Prozesse von hoher Bedeutung. Beispiele notwendiger Prozessparameter sind bei der thermischen Müllbehandlung die zu erzielende Verbrennungstemperatur des Brennstoffes oder die Menge der Ammoniakendüsung in den Verbrennungsprozess und bezüglich der Mülleinsammlung die Anzahl, die Größe sowie die enthaltenen Restmüllmengen der zu entleerenden Müllbehälter einer Tour.⁵⁴

Prozessparameter können mittels Umberto modelliert werden, wobei es möglich ist, für einen Prozess mehrere Parameter zu definieren und diese in den Berechnungen des Prozesses zu berücksichtigen. Die Parameter müssen jedoch vor der Berechnung eines Prozesses auf einen spezifischen Wert festgelegt werden, sodass keine dynamische Bestimmung der Parameter in Abhängigkeit von anderen Prozessen oder bestimmten Materialeigenschaften möglich ist. Zudem ist keine Optimierung der Parameter, wie bspw. die Reduzierung der Anzahl der Lader bei entsprechend kleinen Touren, möglich. Grundsätzlich wird demnach die Modellierung von Prozessparametern unter Berücksichtigung oben genannter Einschränkungen in Umberto unterstützt.

3.2 Erweiterung um Alternativen und Dynamisierungsaspekte

Integration von Alternativprozessen und Berücksichtigung der Prozessreihenfolge

Insbesondere bei der Restmüllabfuhr ist die Wahl von Alternativprozessen eine Notwendigkeit. Beispielsweise wird zwischen unterschiedlichen Behältergrößen bei der Einsammlung unterschieden, woran sich unterschiedliche Prozessketten anschließen.⁵⁵ Bei der Beendigung einer Tour steht als letzte Option das Entleeren einer Tonne der Fahrt zur Müllverwertungsanlage gegenüber. Um Alternativprozesse auswählen zu können, müssen Fallunterscheidungen durchgeführt werden. Des Weiteren wiederholen sich die Prozesse der Bereitstellung, der Leerung und des Zurückstellens eines Müllbehälters, die mittels Kreisläufen bei sich ändernden Objekten modelliert werden können.

Die Software Umberto bietet bzgl. Fallunterscheidungen und der darauf basierenden Wahl von Alternativprozessen keine Unterstützung, da diese Form der Modellierung in Stoffstromnetzen nicht definiert ist. Des Weiteren ist die Modellierung von Kreisläufen in Umberto zwar möglich, jedoch können Prozessketten innerhalb einer Periode bzw. eines Zyklus nicht mehrfach durchlaufen werden. Um eine vollständige Tour für die Restmüllabfuhr zu modellieren, müssten sich wiederholende Prozesse einzeln abgebildet oder aggregiert dargestellt werden.

Dynamisierung der Prozesse

⁵⁴ Vgl. Miofsky/Souren 2011, S. 6ff.

⁵⁵ Vgl. Miofsky/Souren 2011, S. 8.

Um die Prozesse vollständig abbilden zu können, wie sie bei der Restmüllabfuhr und der thermischen Müllbehandlung vorkommen, ist eine Dynamisierung der Prozesse notwendig. Bei der Restmüllabfuhr sollten durch eine zeitliche Abstimmung beispielsweise Wartezeiten zwischen dem Sammelfahrzeug und den Ladern vermieden werden. Des Weiteren müssen Prozesse wie die Neutralisierung von Waschwasser flexibel zur Verfügung stehen (hier bei der Überschreitung des Grenzwertes für die Schadstoffkonzentration im Waschwasser).

Mittels Umberto ist die Darstellung dynamischer Komponenten, insbesondere zeitliche Abhängigkeiten und unterschiedliche Zeitdauern für einzelne Prozesse, nicht möglich, da ein Stoffstromnetz immer einer konkreten zeitlichen Periode zugeordnet ist. Für die Modellierung zeitlicher Abhängigkeiten bietet Umberto generell keine Unterstützung an. Bzgl. der Neutralisierung von Waschwasser kann dies wiederum ähnlich wie bei der Modellierung von Kreisläufen nur durch eine Aggregation der Prozesse dargestellt werden. Eine Dynamisierung der Prozesse ist mit Umberto daher nicht umsetzbar.⁵⁶

Integration von Stochastizitäten

Wie in Kapitel 2 aufgeführt wurde, unterliegt bspw. die Zusammensetzung des angelieferten Restmülls bei der thermischen Müllbehandlung Stochastizitäten, sodass die qualitativen Eigenschaften des Restmülls variieren.

In Umberto können mittels der Monte-Carlo-Simulation Parameter definiert werden, die Verteilungsfunktionen unterliegen. Auf diese Parameter kann wiederum zugegriffen werden, um Stoffströme zu bestimmen. In Umberto ist damit grundsätzlich die Berücksichtigung von Stochastizitäten gegeben.

3.3 Beurteilung der Prozesse auf Basis von Präferenzäußerungen und Kennzahlen

Berücksichtigung von Präferenzen des Produzenten und der Stakeholder

Unter die Präferenzen des Produzenten und der Stakeholder fallen bezüglich der Restmüllentsorgung beispielsweise die Mitarbeiterzufriedenheit der eingesetzten Müllwerker, die Funktionsfähigkeit von Betriebsmitteln (wie z. B. Sammelfahrzeuge), die Entsorgungssicherheit, die Kundenzufriedenheit und die Einhaltung von Grenzwerten für die Emissionen bei der thermischen Müllbehandlung.

Um diese Kennzahlen in Umberto darstellen zu können, müssen sie aus den Stoffströmen abgeleitet werden bzw. mittels diesen modelliert werden. Hierbei können insbesondere selbst definierte Einheiten genutzt werden, um beispielsweise den Grad der Mitarbeiterzufriedenheit zu modellieren. Mittels der Kategorisierung (in Good, Neutral oder Bad) kann eine Aussage über die Erwünschtheit eines Materials getätigt werden. Darüber hinaus bietet Umberto jedoch keine Modellierung solcher Größen an. Zur Unterstützung der Präferenzen des Produzenten müssen die enthaltenen Kennzahlensysteme entweder erweitert oder eigene Kennzahlensysteme entwickelt werden. Des Weiteren ist keine Prozessoptimierung hinsichtlich der Kennzahlgrößen mög-

⁵⁶ Vgl. Schmidt 2002, S. 77.

lich, da die Berechnungen von Umberto auf Szenarien mit fest gewählten Parametern basieren und eine mathematische Optimierung der Werte nicht unterstützt wird.

Anknüpfungsfähigkeit an Kennzahlensysteme

Für die Generierung von Kennzahlen aus den Restmüllentsorgungsprozessen muss eine Anknüpfungsfähigkeit der Modellierung an Kennzahlensysteme vorhanden sein.

Mit Umberto ist die Erstellung selbst definierter Einheiten und eigener Kennzahlensysteme möglich. Dies beschränkt sich jedoch auf die im jeweiligen Stoffstromnetz modellierten Prozesse. D. h., wenn die kennzahlgenerierende Größe nicht in Umberto abzubilden ist, so ist auch ihre Nutzung im Kennzahlensystem nicht möglich. Dies betrifft insbesondere Kennzahlen, die sich aus den Präferenzen des Produzenten und der Stakeholder ableiten lassen (beispielsweise Kundenzufriedenheit, nicht abgeholte Müllbehälter etc.). Aus diesen Gründen ist es erforderlich, bspw. den Beschwerdeprozess eines nicht abgeholten Müllbehälters, der sich auf die Kundenzufriedenheit auswirkt, modellieren zu können.

4 Resümee

Die Ausführungen haben gezeigt, dass eine Neukonzeption der Produktionstheorie mit einigen tief greifenden Änderungen einhergehen muss. Ziel war es, die wichtigsten Anforderungen zusammenzutragen, die zur graphischen Umsetzung der Produktionstheorie mittels Input/Output-Graphen gemäß dem 3-Ebenen-Modell von Dyckhoff notwendig sind. Dazu zählen für den Bereich der Technologieebene u. a. die Abbildung von Potenzialfaktoren und Stoffqualitäten sowie die Integration von Alternativprozessen und dynamischen Elementen. Für die Ergebnis- und Erfolgsebene sind insbesondere die Erfassung der Produzenten- und Stakeholderpräferenzen relevant sowie – als Bindeglied zwischen allen Ebenen – die Anknüpfungsfähigkeit an Kennzahlensysteme.

Für die Implementierung der Anforderungen sind verschiedene Ansätze und Überlegungen aus der Literatur genannt worden. Um den Forderungen zu genügen, müssen einige Vorarbeiten lediglich noch erweitert oder modifiziert werden (z. B. die Komponentenmodellierung zur Abbildung von Stoffqualitäten oder dynamische Petri-Netze), für einige andere gibt es noch intensiven Weiterentwicklungsbedarf (z. B. Abbildung von Präferenzen und Kennzahlen und deren Prozessverknüpfung).

Bei der Überprüfung der Anforderungen zur Modellierbarkeit mittels der Stoffstromsoftware Umberto ist festzuhalten, dass vor allem Faktoren, die nicht als Stoffströme abbildbar sind, nicht modelliert werden können (beispielsweise Präferenzen der Akteure). Des Weiteren können erweiterte Attribute von Objektinstanzen nicht abgebildet und durch Prozesse verändert werden. Wichtige Aspekte, wie die Dynamisierung eines Stoffstrommodells und die Nutzung von Fallunterscheidungen, können ebenso nicht mittels eines Stoffstromnetzes dargestellt werden. An dieser Stelle müssen Stoffstromnetze um diese dynamischen Komponenten erweitert werden. Aufgrund der statischen Struktur der Stoffstromnetze, welche eher einen deskriptiven Charakter

besitzen,⁵⁷ sind in Umberto zudem keine Möglichkeiten zur mathematischen Optimierung der Modelle gegeben. Die Analyse der Anforderungen an Ökosoftware zeigt somit, dass moderne Anwendungen insbesondere Defizite bei der Modellierung von Stoffqualitäten und der Berücksichtigung von Alternativprozessen und Dynamisierungsaspekten besitzen. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Anforderungen und Umsetzungsmöglichkeiten noch einmal im Überblick.

Tabelle 1: Anforderungen entscheidungsorientierter Produktionstheorie und deren Umsetzbarkeit mittels Input/Output-Graphen und Stoffstromanalysesoftware

Anforderung		Umsetzbar mit Input/Output-Graphen auf Basis der Produktionstheorie nach DYCKHOFF	Umsetzbar mit Stoffstromanalysesoftware (Umberto)
Abbildung von Objekt- und Prozesseigenschaften	Berücksichtigung und Abbildung von Potenzialfaktoren	<p>Möglich, wenn die <i>Leistungsabgabe</i> modelliert werden soll (analog zu Repetierfaktoren).</p> <p>Bisher nicht möglich, wenn die Anzahl in Netodarstellung modelliert werden soll. Die Potenzialfaktoren heben sich mangels Differenzierungsmöglichkeiten zwischen Input- und Outputobjekten in den Input/Output-Graphen auf.</p> <p>Durch die gezielte Erweiterung der Input/Output-Graphen mittels spezifischer graphischer Elemente (Richter 2012) könnte die Abbildung gelingen.</p>	<p>Möglich, wenn die Potenzialfaktoren und deren Leistungsabgabe als Stoffstrom modelliert werden.</p>
	Berücksichtigung und Abbildung qualitativer Objekteigenschaften	<p>Bisher nicht möglich, da kein Beschreibungsinstrument zur Erfassung qualitativer Merkmale (materieller, örtlicher oder zeitlicher Art) existiert.</p> <p>Konkrete Ansätze zur Abbildung auf Basis der Komponentenquantitäten bestehen (Souren 1996); für qualitative Eigenschaften müssen bestehende theoretische Beiträge (Gössinger 2005) noch integriert werden.</p>	<p>Nur mit hohem Aufwand umsetzbar, da für jede Ausprägung einer Objektart eine eigene Materialart modelliert werden muss.</p>
	Berücksichtigung und Abbildung von Prozessfaktoren	<p>Prinzipiell möglich über die Angabe entsprechender Verbrauchs- und Ausbringungsfunktionen und ihrer Verknüpfung zu Input/Output-Quantitäten; bisher jedoch nur punktuell integriert (z. B. Verbrauchsfunktionen von GUTENBERG).</p> <p>Möglich, wenn vorhandene theoretische Ansätze funktionaler Produktionsmodelle (z. B. Engineering-Productions-Functions, vgl. Chenery 1949) in die Graphentheorie integriert werden können.</p>	<p>Möglich durch die Nutzung von Parametern, jedoch ohne Optimierung oder dynamische Wahl der Parameter.</p>

⁵⁷ Vgl. Schmidt 2002, S. 77.

Erweiterung um Alternativen und Dynamisierungsaspekte	Integration von Alternativprozessen und Berücksichtigung der Prozessreihenfolge	<p>Teilweise möglich, da Alternativprozesse über die Verfahrenswahl parallel dargestellt werden können. Eine konkrete kausale oder temporale Durchlaufreihenfolge der einzelnen Alternativprozesse lässt sich nicht abbilden.</p> <p>Mit den Schaltvorgängen der Petri-Netze (vgl. Petri 1962 sowie Weilerscheidt/Haupt 1995) ist ein graphisches Instrument bekannt, mit dem eine Prozessabfolge abgebildet werden kann und das eine hohe Verwandtschaft zu Input/Output-Graphen aufweist.</p>	<p>Nicht möglich, da Fallunterscheidungen bzw. Alternativprozesse nicht modelliert werden können. Des Weiteren können Kreisläufe nur aggregiert abgebildet werden, da die sich die Berechnung immer auf eine Periode bezieht.</p>
	Dynamisierung der Prozesse	<p>Bisher nicht möglich, da notwendige temporale Eigenschaften nicht (Zeitpunkt der Objektverfügbarkeit) oder nur bedingt (Prozessdauer) abgebildet werden können.</p> <p>Möglich durch die Abbildung temporaler Objekteigenschaften und Einbindung von Zeitindizes (May 1992) in die I/O-Graphen.</p>	<p>Nicht möglich, da Prozessdauern nicht abgebildet werden können.</p>
	Integration von Stochastizitäten	<p>Bisher nicht möglich, da stets von deterministischen Produktionszusammenhängen ausgegangen wird.</p> <p>Möglich, wenn es gelingt, die aus der formalen Produktionstheorie bekannten stochastischen Erweiterungsansätze (z. B. Jahnke 1995) in die graphische Analyse zu integrieren.</p>	<p>Möglich durch die Nutzung von Verteilungsfunktionen für Parameter, die in die Berechnung von Stoffströmen einbezogen werden können.</p>
Beurteilung der Prozesse auf Basis von Präferenzäußerungen und Kennzahlen	Berücksichtigung von Präferenzen des Produzenten und der Stakeholder	<p>Ansatzweise möglich, jedoch bisher lediglich rudimentäre Objektbeurteilungen (Gut/Übel/Neutrum) und monetäre Objektbewertungen aus Sicht des Produzenten.</p> <p>Um die prozessbeurteilende Ergebnisebene besser zu integrieren, müssen weitere Beurteilungsmaßstäbe gefunden und mit den Input/Output-Zusammenhängen verknüpft werden.</p>	<p>Teilweise möglich durch Materialkategorien (Good, Neutral, Bad) oder Materialien mit selbstdefinierten Einheiten.</p>
	Anknüpfungsfähigkeit an Kennzahlensysteme	<p>Prinzipiell möglich, wenn alle entscheidungs- und damit auch kennzahlenrelevanten Prozesse und Objekte erfasst und abgebildet werden.</p> <p>Die daraus abgeleiteten Kennzahlen lassen sich dann in ein mehrdimensionales Kennzahlensystem (z. B. <i>Balanced Scorecard</i>) übertragen.</p>	<p>Möglich, wenn alle kennzahlgenerierenden Größen mittels Stoffstromnetzen modelliert werden können.</p>

Sobald für sämtliche Anforderungen zweckmäßige Implementierungsansätze gefunden worden sind, müssen in einem letzten Schritt alle Ansätze aufeinander abgestimmt und in eine einheitliche *Theorie der Wertschöpfung* überführt werden. Parallel dazu scheint die Entwicklung einer darauf abgestimmten (Stoffstrom-)Analysesoftware sinnvoll, die diese Theorie graphisch umsetzen kann. Damit wäre es möglich, sämtliche Produktionsprozesse und Ansprüche zu erfassen und einer EDV-gestützten Prozessoptimierung zukommen zu lassen.

5 Literaturverzeichnis

- Chenery, H. B.: Engineering Production Functions, in: The Quarterly Journal of Economics, 1949, S. 507-531.
- Corsten, H.: Ansätze zu einer Theorie der Produktionswirtschaft für Dienstleistungen – Kennzeichnung der Dienstleistungsproduktion und Analyse ihrer Gestaltungsmaßnahmen, Braunschweig 1985.
- Dyckhoff, H.: Theoretische Grundlagen einer umweltorientierten Produktionswirtschaft, in: Wagner, G.R. (Hrsg): Betriebswirtschaft und Umweltschutz, Stuttgart 1993, S. 81-105.
- Dyckhoff, H.: Betriebliche Produktion – Theoretische Grundlagen einer umweltorientierten Produktionswirtschaft, 2. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 1994.
- Dyckhoff, H.: Eine moderne Konzeption der Produktionstheorie, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Moderne Produktionskonzepte für Güter- und Dienstleistungsproduktionen, München 2003a, S. 13-32.
- Dyckhoff, H.: Neukonzeption der Produktionstheorie, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Nr. 7, 2003b, S. 705-732.
- Dyckhoff, H.: Produktionstheorie, 5. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 2006.
- Dyckhoff, H./Ahn, H.: Verallgemeinerte DEA-Modelle zur Performanceanalyse, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Nr. 12, 2010, S. 1249-1276.
- Dyckhoff, H./Spengler, T.: Produktionswirtschaft: Eine Einführung, 3. Aufl., Berlin/Heidelberg 2010.
- Elyas, A.: Strategisches Controlling deutscher Entsorgungsbetriebe – Betriebstypologie, generisches Ziel- und Kennzahlensystem und Konzept eines Referenzdatenmodells, Aachen 2009.
- Esser, J.: Entscheidungsorientierte Erweiterung der Produktionstheorie, Frankfurt a. M. 2001.
- Fandel, G.: Produktion I – Produktions- und Kostentheorie, 6. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 2005.
- Gössinger, R.: Dienstleistungen als Problemlösungen. Eine produktionstheoretische Analyse auf der Grundlage von Eigenschaften, Wiesbaden 2005.
- Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre – Band I: Die Produktion, 24. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 1983.
- ifu Hamburg GmbH: Referenzen für Umberto, <http://www.ifu.com/de/referenzen/umberto>, Abrufdatum: 27.01.2012a.
- ifu Hamburg GmbH: Umberto 5.5, <http://www.ifu.com/de>, Abrufdatum: 27.01.2012b.

- Jahnke, H.: Produktion bei Unsicherheit – Elemente einer betriebswirtschaftlichen Produktionslehre bei Unsicherheit, Heidelberg 1995.
- Kaplan, R.S./Norton, D.P.: Balanced Scorecard – Strategien erfolgreich umsetzen, Stuttgart 1997.
- Krawczik, A./Zisowski, T.: Strategische Unternehmenssteuerung in der Abfallwirtschaft mit Hilfe der Balanced Scorecard, Frankfurt a. M. 2004.
- Maleri, R./Frieztische, U.: Grundlagen der Dienstleistungsproduktion, 5. Aufl., Berlin/Heidelberg 2008.
- May, E.: Dynamische Produktionstheorie auf Basis der Aktivitätsanalyse, Heidelberg 1992.
- Miofsky, D./Souren, R.: Graphische Modellierung und Systematisierung realer Restmüllentsorgungsprozesse, Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre 10/2011, 2011.
- Petri, C.A.: Kommunikation mit Automaten, Berlin 1962.
- Richter, M.: Modelle wissensintensiver Dienstleistungen – Ansätze einer modernen Produktionstheorie auf Basis der graphischen Aktivitätsanalyse, Wiesbaden 2012.
- Scheer, A.-W.: ARIS – Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem, 4. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 2002.
- Schmidt, M.: Verknüpfung gekapselter Produktionsmodelle durch Stoffstromnetze und Einbindung von Tools des Operations Research, in: Fichtner, W., Geldermann, J. (Hrsg.): Einsatz von OR-Verfahren zur techno-ökonomischen Analyse von Produktionssystemen, Frankfurt a. M. 2002, S. 75-94.
- Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV), in der Fassung vom 27.01.2009, BGBl. I 2009, S. 129 der neu verfassten Bekanntmachung vom 14.08.2003, BGBl. I 2003, S. 1633.
- Souren, R.: Theorie betrieblicher Reduktion – Grundlagen, Modellierung und Optimierungsansätze stofflicher Entsorgungsprozesse, Heidelberg 1996.
- Souren, R.: Konsumgüterverpackungen in der Kreislaufwirtschaft – Stoffströme, Transformationsprozesse, Transaktionsbeziehungen, Wiesbaden 2002.
- Souren, R./Richter, M./Miofsky, D.: Eignung graphischer Produktionsmodelle zur strukturellen Darstellung komplexer Dienstleistungen – Analyse eines erweiterten aktivitätsanalytischen Modellierungskonzepts am Beispiel von Bestattungsdienstleistungen. Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre 3/2009, 2009.
- Stegmann, B.: Benchmarking als Instrument einer New Public Management-orientierten Controlkonzeption für kommunale Abfallwirtschaftsbetriebe, Aachen 2002.
- Tabasaran, O.: Abfallwirtschaft, Abfalltechnik: Siedlungsabfälle, Berlin 1994.

Tarifvertrag Abfallentsorgung Aachen (TV Abfallentsorgung Aachen), gültig ab 01.01.2009.

Weilerscheidt, U./Haupt, R.: Der Einsatz von Petri-Netzen in der Produktionswirtschaft, in: Das Wirtschaftsstudium (WISU), Nr. 3/95, 1995, S. 214-219.

Zimmermann, H.-J./Völzgen, H.: Darstellung und quantitative Behandlung stochastischer Abläufe mit Hilfe graphentheoretischer Methoden und unter besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendbarkeit auf spezielle Probleme der Unternehmensforschung, Opladen 1972.



Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre

**Institut für Betriebswirtschaftslehre der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der
Technischen Universität Ilmenau**

www.tu-ilmenau.de/is-ww

Herausgeber

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

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

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

Prof. Dr. rer. pol. David Müller

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

ISSN 2192-4643

ISBN 978-3-940882-37-0

URN [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012200236](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012200236)

www.tu-ilmenau.de

