

Gerhard Bandow / Hartmut H. Holz Müller (Hrsg.)

„Das ist gar kein Modell!“

GABLER RESEARCH

Gerhard Bandow
Hartmut H. Holzmüller (Hrsg.)

„Das ist gar kein Modell!“

Unterschiedliche Modelle
und Modellierungen
in Betriebswirtschaftslehre
und Ingenieurwissenschaften

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

1. Auflage 2010

Alle Rechte vorbehalten

© Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2010

Lektorat: Ute Wrasmann | Sabine Schöller

Gabler ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.gabler.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8349-1842-0

Vorwort

Dieser Sammelband richtet sich an Leser aus der Betriebswirtschaftslehre und den Ingenieurwissenschaften. Er soll einen Beitrag zur Erleichterung der interdisziplinären Zusammenarbeit im wissenschaftlichen und im unternehmerischen Umfeld leisten. Die hier gesammelten Manuskripte decken eine breite Palette an modellbezogenen Fragen aus beiden Disziplinen ab und geben einen Einblick in den Umgang mit Modellen in beiden Fachbereichen.

Auslöser für die Herausgabe dieses Sammelbandes war die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Arbeitskreis „Modellierung“, der im Rahmen der Arbeit im Sonderforschungsbereich 696 „Forderungsgerechte Auslegung von intralogistischen Systemen – Logistics on Demand“ eingerichtet wurde. Im Laufe der Arbeit in diesem Kreis stellte sich deutlich heraus, dass in den jeweiligen Disziplinen eine Fülle von Modellen, manchmal auch sehr ähnlicher Struktur, eingesetzt wird. Aber aufgrund der unterschiedlichen Objektauschnitte einer Modellierung und anderer Zielsetzungen, für die Modelle eingesetzt werden, ist die Kommunikation und Zusammenarbeit über Fachgrenzen hinweg nicht einfach. Zielsetzung des Bandes ist es daher, einen Beitrag zum besseren Verständnis von Modellen der jeweiligen anderen Disziplin zu leisten, den Umgang mit Modellen zu erleichtern und damit interdisziplinäre Kooperationen zu stimulieren.

Insgesamt haben 29 Autoren an dem Sammelband mitgewirkt. Ihnen allen danken wir herzlich für die Bereitschaft zur Zusammenarbeit. Besonders erfreut hat uns die Bereitschaft aller Autoren, sich mit den Rückmeldungen von Gutachtern aus der jeweils anderen Disziplin zu beschäftigen und die Anregungen entsprechend dem Erfahrungs- und Erwartungshorizont von Wissenschaftlern aus der anderen Disziplin zu berücksichtigen. Unser Dank gilt dem Vorstand des SFB 696 für die finanzielle Unterstützung des Bandes. Alke Töllner und Maike Jockisch danken wir für die organisatorische Begleitung des Vorhabens von der ersten Idee bis zur Fertigstellung. Unser Dank für die Unterstützung bei der technischen Erstellung des Manuskripts und die umsichtige Lektoratsarbeit gilt Fabian Pahl und Christian Hoops. Beim Gabler-Verlag sind wir Frau Sabine Schöller, Frau Claudia Jeske und Frau Barbara Roscher für die professionelle Betreuung dieses Sammelbands zu Dank verpflichtet.

Dortmund, November 2009

Gerhard Bandow und Hartmut H. Holzmüller

Einleitung

Zur disziplinbedingten „Färbung“ von Modellen in der Betriebswirtschaftslehre und den Ingenieurwissenschaften

1 Die Bedeutung von Modellen

Für viele Tätigkeitsbereiche ist die Entwicklung von Modellen und deren Einsatz im Zusammenhang mit der Bewältigung von wissenschaftlichen und praktischen Aufgabenstellungen charakteristisch. Dies gilt insbesondere auch für die unmittelbar anwendungsbezogenen Disziplinen der Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. Eine zentrale Funktion von Modellen ist die Abbildung von realen Phänomenen bzw. Systemen. Ziel ist es, die Realität mittels geeigneter Darstellungsformen besser zu verstehen und handhaben zu können. Eng verknüpft mit der Abbildungsfunktion ist oftmals eine Vereinfachung aufgrund der Modellbildung, die bei der Nutzung von Modellen komplexitätsreduzierend wirkt. Dadurch wird wiederum die Beschäftigung mit den komplexen Phänomenen bzw. Systemen erleichtert. Eine dritte, wichtige Facette der Funktionalität von Modellen ergibt sich aus ihrer Zweckorientierung. Modelle werden mit einer bestimmten Absicht entwickelt und eingesetzt. Sie sind also nicht zweckfrei, sondern werden zur Erreichung spezifischer wissenschaftlicher und praktischer Zielsetzungen genutzt.

Im wissenschaftlichen Bereich liegt die Bedeutung von Modellen auf der Erkenntnisgewinnung. Modelle sind leistungsfähige Strukturierungsinstrumente, die helfen, interessierende Phänomene, Systeme oder Systembereiche zu beschreiben und handhabbar zu machen. Zudem erlauben spezifische Modelltypen die Prüfung von (komplexen) Zusammenhängen. Voraussetzung hierfür ist die Erfassung der wesentlichen Modellelemente in einer Art und Weise, die in späterer Folge die Ermittlung der Relationen zwischen einzelnen Größen (Variablen) zulässt, welche die Modelle konstituieren. Des Weiteren sind Modelle überaus leistungsfähige didaktische Instrumente, die im Rahmen der (wissenschaftlichen) Aus- und Weiterbildung die Erklärung und Demonstration realer Systeme in effizienter Weise ermöglichen.

Die Bedeutung von Modellen im Praxiszusammenhang ergibt sich naturgemäß vor allem aus ihrem Einsatz und ihrer Anwendung. Modelle sind in diesem Kontext insbesondere hilfreich bei der Planung und Gestaltung von Systemen und entsprechenden Prozessen, die in diesen Systemen ablaufen. Modelle erlauben aber auch, in struktu-

rierter Form die Verbesserung von Systemen und Prozessen voranzutreiben. Sie sind ein probates Mittel, um zukünftige Systemzustände vorherzusagen und daher geeignet, für prognostische Zwecke eingesetzt zu werden.

2 Disziplinäre Ausformung von Modellen

Die grundsätzlich ubiquitäre Bedeutung von Modellen in vielen Disziplinen und den zugehörigen Wissenschafts- und Anwendungsfeldern bedeutet jedoch nicht, dass in einzelnen Disziplinen ein identischer Satz von Modellen und eine entsprechende Nutzung vorliegen. Vielmehr kann davon ausgegangen werden, dass sich wesentliche disziplinäre Besonderheiten in der Anwendung von Modellen daraus ergeben, dass der Zweck der Modellierung von spezifischen Objektbereichen in einzelnen Fächern und Aufgabenfeldern sehr unterschiedlich ist. Abhängig von dem aus einer Disziplin resultierenden Grundverständnis, also einer „spezifischen Sicht auf die Welt“, wird die Vorgehensweise bei der Modellierung von beispielsweise Facetten einer industriellen Anlage unterschiedlich sein. Die entsprechenden Modellierungsabsichten können überwiegend technischer, ökonomischer, organisationaler, psychologischer, sozialer etc. Natur sein. Mit der jeweils eingeschlagenen Vorgehensweise geht oftmals auch eine andere Art der Modellbildung einher.

Eng verknüpft mit dem grundsätzlichen Zweck der Modellierung ist die angestrebte Zielsetzung der Modellbildung bzw. -nutzung, die naturgemäß deutlichen Einfluss auf die Art der Modellierung hat. Schlussendlich resultiert aus Grundverständnis und Zielsetzung ein spezifisches Selbstverständnis der Modellierung in einzelnen Disziplinen, das sich einerseits in methodischen Charakteristika – wie z. B. der Art der verwendeten Variablen, der unterlegten Messtheorien und der Modellprüfung – und andererseits in stilistischen Merkmalen – wie z. B. in der Betonung der Eleganz eines Modells, der Effizienz, der Nachvollziehbarkeit, der mathematischen Ausrichtung etc. – niederschlägt.

Konsequenzen, die sich aus diesen disziplinären Besonderheiten der Modellierung ergeben, sind unter anderem die unterschiedliche Häufigkeit, mit der bestimmte Modelltypen eingesetzt werden. In manchen Wissenschaftsfeldern spielen bestimmte Arten von Modellen eine untergeordnete Rolle bzw. werden überhaupt nicht genutzt, während andere Klassen von Modellen, z. B. mathematische Modelle oder psychometrische Modelle, zum Kern der Disziplin zählen. Darüber hinaus haben sich in einzelnen Disziplinen bestimmte Modellierungstraditionen entwickelt, die beispielsweise ihren Niederschlag in der Art und Weise der vorherrschenden Herangehensweise an die Modellierung finden.

3 Modellbedingte Hemmnisse in der Zusammenarbeit zwischen Betriebswirtschaftlern und Ingenieuren

Beide Disziplinen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie eine stark anwendungsorientierte Ausrichtung haben. Das heißt, in der Regel sind die entsprechenden fachdisziplinären Tätigkeiten darauf ausgerichtet, einem entsprechenden Gestaltungsauftrag nachzukommen. Dieser Gestaltungsauftrag hat sehr häufig einen engen und unmittelbaren Zusammenhang zu Unternehmen, Märkten und Wirtschaftsprozessen im Allgemeinen. In den Ingenieurwissenschaften stehen dabei technische Aspekte im Vordergrund. Diese können zum einen sehr grundsätzlicher Natur sein und z. B. Werkstoffe, die Konstruktion oder die Produktionsprozesse von einzelnen Gütern sowie die Gestaltung von unternehmensweiten und -übergreifenden Prozessen der Logistik, Produktion, Instandhaltung, etc. betreffen.

Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Sicht stehen stärker die wirtschaftlichen und menschlichen Komponenten im Vordergrund. Fragen der Gestaltung der kaufmännischen Dokumentation von Unternehmensprozessen, die Einbindung von Unternehmen in Rechtssysteme, die Gestaltung der Beziehungen zu Stakeholdern (Anspruchsgruppen) von Unternehmen (Eigentümer, Lieferanten, Kunden, Mitarbeiter etc.), die organisationale Strukturierung, die Planung und Realisation von Innovationen und entsprechenden Investitionen sowie die Bewältigung von Führungs- und Personalaufgaben sind typische Aufgabenfelder. Damit wird deutlich, dass sich Ingenieure und Betriebswirtschaftler oftmals mit identischen Untersuchungsbereichen, im einfachsten Fall Unternehmen oder Teilen von Unternehmen, beschäftigen, aber verschiedene Facetten der Realität fokussieren und daher oftmals mit sehr unterschiedlichen Modellansätzen an die Handhabung der Realität herangehen.

Neben der unterschiedlichen Art des „Zuschnitts“ der interessierenden Gegenstandsbereiche ist es aber auch die bereits angesprochene differente Sichtweise auf möglicherweise identische Realitätsausschnitte, die als Barriere in der Zusammenarbeit wirkt. Diese Barriere ist vermutlich aus der jeweiligen Tradition bedingt mit der Betriebswirtschaftler und Ingenieure sozialisiert werden. Stark abstrahiert geht es in beiden Disziplinen um eine möglichst gute Gestaltung des Verhältnisses von Mitteleinsatz und Ergebnis. Diese Input-Output-Relation wird von Betriebswirtschaftlern zumeist auf wirtschaftliche Ziele, wie Risiko, Gewinn, Liquidität oder Marktanteile hin betrachtet. Während im Ingenieursbereich Effizienz, Kosten, Zuverlässigkeit, Dauerhaftigkeit etc. im Vordergrund stehen. Die angesprochenen Erfolgskriterien sind in hohem Maße kompatibel, herunter gebrochen auf Teilvorhaben und das Tagesgeschäft ergeben sich jedoch andere unmittelbare Zielsetzungen. Als logische Konsequenz

resultiert hieraus auch eine differente Modellbildung in den beiden Disziplinen, diese hemmt wiederum das gegenseitige Verständnis.

Überlagert bzw. unterlegt sind die Hemmnisse zur Zusammenarbeit, die aus einem disziplinspezifischen Zuschnitt von Untersuchungsbereichen und differenter Sichtweise resultieren, von einer jeweils charakteristischen „Fachsprache“ in den beiden Disziplinen. Identische Objekte und Aspekte werden verschiedenartig definiert und in verschiedene sprachliche Bezugsrahmen eingeordnet. Damit erscheinen möglicherweise gleiche Modellierungen oder Modellierungsprinzipien als sehr unterschiedlich und erschweren die gegenseitige Verständigung und die Bereitschaft zur Zusammenarbeit.

Es ist davon auszugehen, dass die Überlappungsbereiche zwischen der betriebswirtschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Modellwelt aufgrund der offensichtlichen Verzahnung von Aufgabenfeldern, den ähnlichen Gestaltungsprinzipien und dem prinzipiellen Gestaltungsauftrag groß sind. Daher müsste ein gegenseitiges Verständnis über Modellierungsansätze in der jeweils anderen Disziplin gegeben sein. Es gilt zusätzlich zu berücksichtigen, dass Modellierungsbereiche existieren, die für die jeweils andere Disziplin „exotischen“ Charakter aufweisen und schwer zugänglich sind. So ist beispielsweise eine Modellierung mit starker unmittelbarer naturwissenschaftlicher Ausrichtung, wie dies in der Materialwissenschaft der Fall ist, für kaufmännisch ausgebildete Personen nicht einfach zu erschließen. Umgekehrt sind psychologisch oder sozialpsychologisch basierte Modellierungen des Mitarbeiter- oder Kundenverhaltens für Ingenieure nicht immer leicht nachzuvollziehen.

4 Die Stimulation der Zusammenarbeit durch mehr Modelleinsicht

Mit dem vorliegenden Sammelband soll kein Beitrag zur Entwicklung einer technisch-ökonomischen „Metadisziplin“ geleistet werden, die auf eine Integration von betriebswirtschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Denkhaltungen und Modellierungsansätzen zugeht. Wir glauben an die Vorteile von Arbeitsteilung in Wissenschaft und in Praxis. Zielsetzung ist es daher, durch das Aufzeigen der Unterschiede bei der Modellierung die Fähigkeit zu stimulieren, Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Herangehensweise an Problemstellungen und Gestaltungsaufgaben zu erkennen. Die Auseinandersetzung mit Modellierungsansätzen aus beiden Disziplinen soll so das gegenseitige Verständnis für wissenschaftliches und praktisches Arbeiten vor dem anderen Fachhintergrund erhöhen und damit einen Beitrag zum Abbau von Hemmnissen in der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit von Betriebswirtschaftlern und Ingenieuren leisten.

Der Sammelband ist in drei Teile gegliedert.

Der erste Teil des Sammelbandes befasst sich mit den generellen Grundlagen von Modellen und Modellierung. Er steckt den Rahmen für die weiteren Beiträge ab. *Töllner, Jungmann, Bücker und Brutschek* setzen sich einleitend mit der terminologischen Abgrenzung des Modellbegriffs, den zentralen Funktionen und Einsatzfeldern von Modellen sowie Prinzipien der Modellbildung auseinander. Der Beitrag von *Jockisch und Rosendahl* arbeitet die verschiedenen Möglichkeiten zur Klassifikation von Modellen auf und liefert eine einfache Struktur, die es erlaubt, Modelle aus der Betriebswirtschaftslehre und den Ingenieurwissenschaften einheitlich einzuordnen.

In Teil 2 des Bandes werden insgesamt 18 exemplarische Modellierungsansätze präsentiert. Entsprechend der erarbeiteten Klassifikation von *Jockisch und Rosendahl* sind die einzelnen Beiträge dieses Teils des Sammelbandes nach dem modellierten Ausschnitt der Realität bzw. der *Betrachtungsebene* (individuell/spezifisch, mittlere Komplexität, umfassend) zusammengefasst. Naturgemäß ist die Zuordnung zu den genannten Klassen nicht immer eindeutig möglich, weil bestimmte Modelltypen mit einer großen Bandbreite eingesetzt werden können. Die hier realisierte Gruppierung ist an dem Einsatzfeld orientiert, das in dem jeweiligen Beitrag vorrangig angesprochen wird.

In der Gruppe der Modelle, die sich auf die kleinsten Einheiten in größeren technischen, sozio-technischen oder sozialen Systemen, wie z. B. Anlagen oder Unternehmen, beziehen, sind 9 Beiträge zusammengefasst. Im Fokus der Betrachtung stehen hierbei Modellierungen, die sich mit kleinen Bausteinen von größeren Systemen, also z. B. Werkstoffen, Maschinenteilen, Mikro-Prozessen oder Individuen beschäftigen.

Der Beitrag von *Eggert* beschreibt die Modellierung mechanischer Systeme und ihrer Dynamik unter Einsatz von zwei gebräuchlichen Simulationswerkzeugen, Simulink® und SimMechanics®. Dabei werden die Vorgehensweise zur Modellierung und die unterschiedlichen Modellierungsmethoden mit dem Ziel der Simulation des dynamischen Verhaltens mechanischer Systeme dargestellt. Dementsprechend handelt es sich um die Modellierung eines technischen Systems auf einer sehr spezifischen Betrachtungsebene.

Benthaus erläutert in seinem Beitrag den Einsatz von Differentialgleichungen zur mathematischen Modellierung technischer Systeme. Die Betrachtungsebene ist dabei vom Anwendungsfall abhängig und kann von sehr spezifisch bis umfassend ausfallen. Je genauer das Systemverhalten berechnet werden soll, desto kleiner wird der betrachtete Ausschnitt aus der Realität und desto spezifischer wird die Betrachtungsebene.

Rademacher und *Zielke* stellen Modelle zur Ermittlung von Belastungskollektiven von intralogistischen Systemen vor. Diese ermöglichen ein zeitgerafftes Nachfahren der mechanischen Belastung von Bauteilen mit dem Ziel der Bestimmung ihrer Lebensdauer. Dementsprechend handelt es sich um die Modellierung eines technischen Systems auf einer sehr spezifischen Betrachtungsebene.

Die Modellierung eines technischen Systems auf spezifischer Betrachtungsebene mit Hilfe eines neuronalen Netzes beschreibt *Kreischer* in seinem Beitrag. Ziel ist es, das Schwingungsverhalten zu simulieren, um so das tatsächliche Schwingungsverhalten im Kontext der Schwingungsüberwachung zu prognostizieren. Dadurch wird es möglich, die auffälligen Komponenten zu identifizieren, die eine weitere Analyse durch einen Experten benötigen. Diese Komponenten zeichnen sich durch Schwingungen aus, die nicht im erwarteten Frequenzbereich liegen.

Die Modellierung kinematischer Strukturen von Roboteranwendungen wird im Beitrag von *Brutscheck* und *Bücker* beschrieben. Das Kinematikmodell nach Denavit und Hartenberg erlaubt die Abbildung der Gelenkkoordination einer Roboterhand, eines Greifers oder von anderem Werkzeug, das durch einen Roboter geführt werden soll. Es handelt sich damit um die Modellbildung im Kontext eines technischen Systems auf sehr spezifischer Betrachtungsebene.

Im Beitrag von *Wieczorek* wird die Statistische Versuchsplanung als Modellierungsmethode für ein technisches System auf sehr spezifischer Betrachtungsebene vorgestellt. Sie kann sowohl als Erklärungsmodell für den Zusammenhang von Einflussgrößen und Zielgrößen in Form von Gesetzmäßigkeiten als auch als Prognosemodell für eine Zielgröße bei definierten Einflussgrößen angewendet werden. Der Beitrag beschreibt ein Modell zur Prognose des Ablöseverhaltens von Polyurethanbandagen von Schwerlasträdern.

Gössinger und *Stahlbuck* präsentieren ein Entscheidungsmodell zur Personaleinsatzplanung an Kommissionieranlagen. Es dient zur Ermittlung von optimalen Einsatzplänen für das Kommissionierpersonal. Die Modellierung zielt demnach auf ein sozio-technisches System ab, das einen Teilausschnitt mittlerer Komplexität eines Unternehmens betrifft.

Uygun und *Luft* befassen sich in ihrem Beitrag mit dem Maßnahmenfilter-Modell. Dabei handelt es sich um ein Vorgehensmodell zur systematischen Auswahl von Maßnahmen zur kapazitiven Optimierung und Anpassung von sozio-technischen Systemen an veränderte Rahmenbedingungen. Da sich die Maßnahmen auf spezifische Probleme in definierten Prozessschritten beziehen handelt es sich um einen Anwendungsfall auf der spezifischen Betrachtungsebene.

Jockisch beschreibt schließlich das Technologieakzeptanzmodell. Dieses Erklärungsmodell dient zur verhaltenswissenschaftlichen Modellierung von Beziehungsstrukturen mit latenten Konstrukten. Am Beispiel der Akzeptanz neuer Informationstechnologien durch die Benutzer wird aufgezeigt, wie Fragebogendaten zur empirischen Überprüfung von Beziehungsgeflechten mit latenten Variablen genutzt werden. Das soziale System wird in Form des Anwenderverhaltens auf einer individuellen Betrachtungsebene modelliert.

In der Gruppe der Modelle, die sich auf eine mittlere Betrachtungsebene von technischen, sozio-technischen und sozialen *Systemen* beziehen, finden sich 5 Beiträge. Ge-

genstand der Modellierung sind in diesem Fall Teilschnitte von umfassenderen Systemen, also beispielsweise eine bestimmte Maschinengruppe innerhalb einer Industrieanlage, mehrere Teilschritte innerhalb einer umfangreichen Prozesskette oder Aufgaben bzw. Strukturen auf Abteilungs- oder Gruppenebene in einem Unternehmen.

Der Beitrag von *ten Hompel* und *Jung* befasst sich mit einem Markoff-Modell zur Ermittlung der technischen Verfügbarkeit intralogistischer Systeme. Es ermöglicht die systematische Berechnung der technischen Verfügbarkeit. Dabei wird das dynamische Systemverhalten durch Wahrscheinlichkeitsgrößen abgebildet. Dieses Analysemodell erlaubt eine adäquate Auseinandersetzung mit einem technischen Teilsystem. Beispiele für Teilsysteme eines Intralogistiksystems sind u. a. Wareneingang, Kommissioniersystem, Lagerhaltung etc.

Absicht des Beitrags von *Winzer* und *Schlund* ist es, ein Analysemodell (DeCoDe) darzustellen, mit dessen Hilfe während der Produktentwicklung für technische Systeme die Beziehungen zwischen Systemelementen systematisch untersucht werden können. Das Modell bezieht sich auf die rein technische Seite des Entwicklungsprozesses und der geschilderte Anwendungsbezug fokussiert auf einen Teilausschnitt der Produktentwicklung.

Der Beitrag von *Wenzel* und *Bandow* befasst sich mit der Prognose des Verlaufs des Abnutzungsvorrats von Komponenten eines Intralogistiksystems. Das beschriebene Prognosemodell für die Modellierung des Abnutzungsverhaltens eines Intralogistiksystems ermöglicht den Anwendern, Aussagen über die Restnutzungsdauer von Komponenten eines technischen Systems und die Bestimmung von erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen zu treffen. Dementsprechend zielt die Analyse auf eine mittlere Betrachtungsebene ab.

Auf die Modellierung von sozio-technischen Systemen auf der Abteilungs- oder Funktionsebene zielt der Beitrag von *Witt* ab. Anhand der Nutzung von Netzplanmodellen im Innovationsmanagement wird diese vielfältig einsetzbare Klasse von Formalmodellen in den Grundzügen beschrieben. Es werden unterschiedliche Typen von Netzplanmodellen vorgestellt und ein illustratives Anwendungsbeispiel beschrieben.

Töllner befasst sich in ihrem Beitrag mit Modellen organisationaler Kaufentscheidungen. Die Bandbreite dieser Modelle ist groß und reicht von Partial- zu Totalmodellen mit dem Ziel, industrielle Beschaffungsvorgänge zu beschreiben und zu erklären. Aufgrund der Vielzahl möglicher Akteure und der damit verbundenen Eigenschaften und Vernetzungen werden je nach Modellierungszweck soziale oder sozio-technische Systeme auf individueller bzw. mittlerer Betrachtungsebene modelliert.

Schließlich enthält der Sammelband als Beispiele für Modelle, die sich auf umfassende technische, sozio-technische und soziale Systeme beziehen, 4 Beiträge. Damit sind Modelle bzw. Modellierungen angesprochen, welche sich beispielsweise auf gesamte

technische Anlagen, umfassende Prozessabläufe und Unternehmen als Ganzes beziehen.

Das Dortmunder Prozesskettenmodell der Intralogistik stellen *Jungmann* und *Uygun* in ihrem Beitrag vor. Es dient zur Modellierung sozio-technischer Systeme auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen. Eine Stärke des Modells ist dabei, dass Prozesse auf jeder Betrachtungsebene (von spezifisch bis umfassend) nach dem gleichen Muster modelliert werden und dadurch die Modellierung flexibel auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden kann.

Im Beitrag von *Wötzel* und *Bandow* werden ein holistischer und ein modularer Modellierungsansatz für die antizipative Veränderungsplanung von intralogistischen Systemen vorgestellt. Dabei steht das Zusammenspiel von Mensch und Technik im Mittelpunkt. Es handelt sich somit um die Modellierung eines sozio-technischen Systems, die in umfassender Weise angelegt ist.

Hoffjan und *Schroll* nutzen in ihrem Beitrag das Konzept der wertorientierten Unternehmenssteuerung, einem weit verbreiteten betriebswirtschaftlichen Entscheidungsmodell, zur Bebilderung des Einsatzes im Anlagenbau. Es handelt sich um eine umfassende, das Gesamtunternehmen betreffende Modellierung, welche auf die Managementaspekte der Unternehmensführung abzielt.

Der Beitrag von *Wahl* und *Broll* beschreibt ein Entscheidungsmodell zur Lagerhaltungspolitik bei Unsicherheit im Rahmen des güterwirtschaftlichen Risikomanagements. Betrachtet wird der Export eines internationalen Unternehmens mit dem Schwerpunkt auf Wechselkursrisiken. Damit handelt es sich um die Betrachtung eines sozio-technischen Systems in sehr umfassender Weise.

Im abschließenden Teil 3 ziehen die Herausgeber ein Resümee und reflektieren den Beitrag des Sammelwerks zur Weiterentwicklung der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Betriebswirtschaftlern und Ingenieuren. Künftige Handlungsfelder und Entwicklungspfade in der Forschung im Hinblick auf Modelle und Modellierung im interdisziplinären Spannungsfeld werden identifiziert und bewertet.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V

Einleitung..... VII

TEIL 1: MODELLE UND MODELLIERUNG – GRUNDLAGEN

Alke Töllner, Thorsten Jungmann, Matthias Bücken und Tobias Brutscheck

Modelle und Modellierung3

Maïke Jockisch und Jens Rosendahl

Klassifikation von Modellen23

TEIL 2: BEISPIELE AUS DEN DISZIPLINEN

2.1 Modelle mit spezifischem Fokus auf Detailausschnitte aus größeren Systemen

Jan Eggert

Modellierung mechanischer Systeme und ihrer Dynamik55

Burkhard Benthous

Differentialgleichungen als mathematische Modelle für technische Systeme.....81

Hans-Georg Rademacher und Reiner Zielke

Modelle zur Bestimmung von Belastungskollektiven von
intralogistischen Systemen103

Christian Kreischer

Neuronale Netze in der Schwingungsdiagnostik.....131

Tobias Brutscheck und Matthias Bücken

Modellierung von Roboterkinematiken nach Denavit und Hartenberg149

<i>Dorothee Wieczorek</i>	
Statistische Versuchsplanung.....	167
<i>Ralf Gössinger und Bastian Stahlbuck</i>	
Entscheidungsmodell zur Personaleinsatzplanung an Kommissionieranlagen	189
<i>Yilmaz Uygun und Nils Luft</i>	
Vorgehensmodell zur Maßnahmenselktion: Das Maßnahmenfilter-Modell	213
<i>Maïke Jockisch</i>	
Das Technologieakzeptanzmodell	233
2.2 Modelle mit Fokus auf eine mittlere Betrachtungsebene	
<i>Michael ten Hompel und Eike-Niklas Jung</i>	
Markoff-Modell zur Ermittlung der technischen Verfügbarkeit intralogistischer Systeme	255
<i>Sebastian Schlund und Petra Winzer</i>	
DeCoDe-Modell zur anforderungsgerechten Produktentwicklung	277
<i>Sebastian D. Wenzel und Gerhard Bandow</i>	
Prognosemodell für den Abnutzungsvorratsverlauf von Intralogistiksystemkomponenten.....	295
<i>Peter Witt</i>	
Netzplanmodelle im Innovationsmanagement	311
<i>Alke Töllner</i>	
Modelle organisationaler Kaufentscheidungen.....	333
2.3 Modelle mit umfassendem Fokus auf größere Systeme	
<i>Thorsten Jungmann und Yilmaz Uygun</i>	
Das Dortmunder Prozesskettenmodell in der Intralogistik	357
<i>Gerhard Bandow und André Wötzel</i>	
Modellierungsansätze zur antizipativen Veränderungsplanung in intralogistischen Systemen	383

Andreas Hoffjan und Stefan Schroll
Modell zur wertorientierten Unternehmenssteuerung und seine Anwendung
im Anlagenbau.....405

Jack E. Wahl und Udo Broll
Güterwirtschaftliches Risikomanagement429

TEIL 3: RESÜMEE

Hartmut H. Holzmüller und Gerhard Bandow
Modelle und Modellierungen in der Betriebswirtschaftslehre und
den Ingenieurwissenschaften.....451

Die Autorinnen und Autoren.....457

Stichwortverzeichnis465

Teil 1

Modelle und Modellierung

– Grundlagen

**Alke Töllner, Thorsten Jungmann, Matthias Bücker
und Tobias Brutscheck**

Modelle und Modellierung

Terminologie, Funktionen und Nutzung

1	Einführung	5
2	Terminologie	6
3	Funktionen und Nutzung.....	11
3.1	Zu modellierende Systeme – das Modellobjekt	11
3.2	Ziele des Modellsystems.....	13
3.3	Vom Modellobjekt zum Modell – die Modellierung	18
4	Literaturverzeichnis	20

1 Einführung

Im Rahmen von Forschungsprojekten aber auch in der Unternehmenspraxis gewinnen interdisziplinäre Kooperationen zunehmend an Bedeutung. Von besonderer Relevanz ist dabei die Zusammenarbeit von Ingenieuren und Betriebswirten. Denn Industrieprojekte werden inzwischen fast ausnahmslos abteilungsübergreifend organisiert, so dass eine Abstimmung der verschiedenen Beteiligten unumgänglich wird. Scheint die Nutzung der unterschiedlichen Kompetenzen von Ingenieuren und Ökonomen grundsätzlich sehr vielversprechend, so dass eine verbesserte Leistung daraus hervorgehen kann, sehen sich interdisziplinäre Arbeitsgemeinschaften doch auch mit verschiedenartigen Konflikten konfrontiert. Insbesondere Kommunikationsbarrieren, die aus der unterschiedlichen Verwendung von Begrifflichkeiten resultieren, gilt es zu überwinden.

Ein differenziertes Verständnis von Modellen, deren Erstellung und Verwendung, bereitet in diesem Zusammenhang einige Schwierigkeiten. Werden Modelle grundsätzlich zwar häufig im jeweiligen Arbeitskontext genutzt, bestehen zwischen den Disziplinen doch große Unterschiede hinsichtlich u. a. der Modellierungsweise, der Art der verwendeten Modelle oder des Zwecks, den ein Modell erfüllen soll. Während in der Betriebswirtschaftslehre z. B. oftmals verbale oder grafische Modelle verwendet werden, sind in den Ingenieurwissenschaften überwiegend mathematische Modelle vorzufinden.

Ziel dieses Beitrags ist es daher, eine gemeinsame terminologische Basis zu schaffen, die der Verbesserung des gegenseitigen Verständnisses von Ingenieuren und Betriebswirten dient und das kooperative Arbeiten mit Modellen erleichtert. Die Modelle in den beiden Disziplinen unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht. Da aber auch Gemeinsamkeiten bestehen, sollen diese genutzt werden, um eine einheitliche Grundlage zu entwickeln, die zum Verständnis der jeweils anderen Welt beiträgt. Demnach werden in diesem Beitrag die grundsätzlichen Merkmale von Modellen herausgearbeitet und damit einhergehend eine für diesen Sammelband einheitliche Terminologie geschaffen sowie die unterschiedlichen Funktionen von Modellen näher erläutert.

Da oftmals beispielsweise die Auseinandersetzung mit einem realen System nicht möglich oder mit unangemessen hohem Aufwand verbunden ist, sind Modelle ein wesentlicher Gegenstand wissenschaftlichen Arbeitens und wissenschaftlicher Theorien (Stachowiak, 1973; Schweizer, 1979). Infolgedessen bedient sich die Wissenschaft eines oder mehrerer Modelle, die ein Abbild der Realität darstellen, um sich indirekt mit einem Untersuchungsgegenstand auseinandersetzen zu können.

Der Begriff „Modell“ wird in den Wissenschaften vielfältig verwendet. Dabei variiert allerdings die Bedeutung in Abhängigkeit des Wissenschaftsbereiches und der Fachdisziplin. In den Kunstwissenschaften wird unter einem Modell oftmals die Vorlage für ein Kunstwerk verstanden. In der Betriebswirtschaftslehre werden sowohl ökonomische

mische quantitative Größen als auch z. B. Verhaltensweisen von Wettbewerbern oder Kunden modelliert, während in den Ingenieurwissenschaften unter Modellen u. a. Zeichnungen und Gleichungssysteme verstanden werden, welche der statischen und dynamischen Berechnung von Konstruktionen dienen. Somit sind Modelle ein wichtiger Bestandteil ökonomischer, verhaltenswissenschaftlicher und ebenso technischer Arbeiten.

Eine theoretische Auseinandersetzung mit Modellen sowie mit deren Erstellung, d. h. der Modellierung, findet im Rahmen der Modelltheorie statt. Gegenstand der Modelltheorie ist jedoch nicht zwingendermaßen eine disziplinübergreifende oder sogar disziplinunabhängige Bearbeitung des Themenfeldes. Die Modelltheorie der Mathematik und Logik ist z. B. auf Grund ihrer formalisierten Sprache für Außenstehende bzw. Personen, die der Disziplin nicht angehören, schwer bis gar nicht verständlich. Eine ohne Kenntnis bestimmter formalsprachlicher Konventionen mögliche Auseinandersetzung mit der Theorie von Modellen ist hingegen aber in der Sprachwissenschaft zu finden (vgl. Schweizer 1979).

Eine „allgemeine Modelltheorie“ entwickelt Stachowiak (1973) aus einer didaktisch-philosophischen Perspektive, die von Neugebauer (1980) aufgegriffen und auf Unterrichtssituationen hin weiterentwickelt wird. Diese Weiterentwicklung vollzieht Ropohl (1980) mit Blick auf den Technikunterricht. Er begründet damit eine technische Modelltheorie, die er zu einer „Systemtheorie der Technik“ führt (vgl. Ropohl 1999). Die im Rahmen dieser „Systemtheorie der Technik“ manifestierte Modelltheorie eignet sich in besonderer Weise als Basis für die Erstellung einer begrifflichen Grundlage von Modellen in der Betriebswirtschaftslehre und den Ingenieurwissenschaften, da in ihr Aspekte der Modellierung technischer (ingenieurwissenschaftlicher) Realität sowie menschlichen Handelns und menschlicher Entscheidungen (betriebswirtschaftliche Realität), kombiniert sind.

Da mit zunehmendem Spezialisierungsgrad innerhalb der wissenschaftlichen Disziplinen die Modelle eines Fachgebietes gegenüber Außenstehenden zunehmend unverständlicher werden, werden im Folgenden nun terminologische Grundlagen aufgearbeitet und die konstituierenden Merkmale von Modellen beschrieben, um eine fachübergreifende Kommunikation zu unterstützen.

2 Terminologie

Die fachspezifische Verwendung von Modellen und die Entwicklung von entsprechend spezialisierten Modellen haben dazu geführt, dass der Begriff des Modells in den wissenschaftlichen Disziplinen unterschiedlich definiert wird. Im Folgenden werden daher unterschiedliche Definitionen aus der Betriebswirtschaftslehre und den

Ingenieurwissenschaften in ihrem Kontext vorgestellt sowie abschließend eine für die weitere Verwendung in diesem Buch allgemeine Definition eingeführt, welche fachübergreifend und zweckmäßig ist.

Homburg (2000) beschreibt Modelle der Betriebswirtschaftslehre, welche ein analytisches Vorgehen in der Unternehmensplanung ermöglichen. Er betont, dass formale Definitionen ein Modell als ein System auffassen, das einem Originalsystem zugeordnet ist und zu diesem in einer gewissen Ähnlichkeitsbeziehung steht. Die Ähnlichkeitsbeziehung zeichnet sich für ihn insbesondere durch Reduktion aus, d. h. durch die Vereinfachung des Originals. Zelewski (1999) sieht in Modellen dagegen insbesondere Instrumente der Problemrepräsentation. Alle problemrepräsentierenden Artefakte, die in der Absicht geschaffen wurden, ein problemkonstituierendes Diskrepanzempfinden zu beseitigen, stellen für ihn im weitesten Sinne ein Modell dar. Zelewski schließt jedoch nicht aus, dass Modelle auch andere Zwecke erfüllen können. Eine sehr allgemeine Definition des Begriffes Modell liefert zudem Zschocke (1995): „Ein Modell soll ein Bild von etwas für jemanden sein“.

Die VDI Richtlinie 3633 „Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen“ stellt hingegen durch ihre Modelldefinitionen in den Bereichen der Ingenieurwissenschaften eine gemeinsame Begriffsgrundlage bereit. Als Modell wird „eine vereinfachte Nachbildung eines existierenden oder gedachten Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System“ verstanden, welches „sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild unterscheidet“ [VDI3633]. Die VDI Richtlinie 2249 beschäftigt sich z. B. mit der Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung. Ein Kernpunkt dieser Richtlinie ist die Beschreibung und Definition von CAD-Systemen, die in den Ingenieurwissenschaften u. a. zur Produktentwicklung eingesetzt werden. Ein Modell wird hier zunächst allgemein, in Anlehnung an Roth (1988), definiert als „ein dem Zweck entsprechender Repräsentant (Vertreter) eines Originals“. Mit dem Betrachtungsschwerpunkt der rechnerunterstützten Konstruktionsarbeit wird die Definition für ein Modell genauer spezifiziert: „Ein Modell ist eine dem Zweck entsprechende und interaktiv beeinflussbare rechnerinterne Beschreibung eines Objektes“ (VDI 2249, 2003). Diese Definition eines Modells spiegelt stark den vorgesehenen Einsatzzweck und die rechnerinterne Repräsentationsform wieder.

Der kurze Einblick in die Vielfalt der Modell-Definitionen zeigt deutlich, dass in vielen Fällen die Ziele oder Zwecke eines Modells mit einbezogen werden. Ziel und Zweck unterscheiden sich dadurch, dass das Ziel im Allgemeinen ein angestrebter, in der Zukunft liegender Zustand ist, während der Zweck die Ursache einer geplanten Handlung ist. Wenn die Verwirklichung eines Zieles mit Handlungen und Mitteln geplant ist, kann das Ziel als Zweck angesehen werden. Ein Zweck ist demnach ein Ziel, das durch Handlungen realisiert werden soll.

Für eine übergreifende Betrachtung von Modellen bzw. ihrer Verwendung in der Betriebswirtschaftslehre und den Ingenieurwissenschaften ist es allerdings notwendig, eine allgemeine Definition von Modellen zu finden, die alle relevanten Aspekte von Modellen umfasst und den Begriff in keine bestimmte Richtung prägt. Allgemein können Modelle demnach als „eine für einen bestimmten Zweck gebildete, vereinfachende Abbildung eines als System aufgefassten Realitätsausschnittes“ (Roski, 1986) definiert werden.

In der Wissenschaft werden Modelle im Rahmen methodischer Vorgehensweisen aufgrund unterschiedlicher Zielsetzungen modelliert oder genutzt bzw. zu verschiedenen Zwecken eingesetzt, nämlich zur:

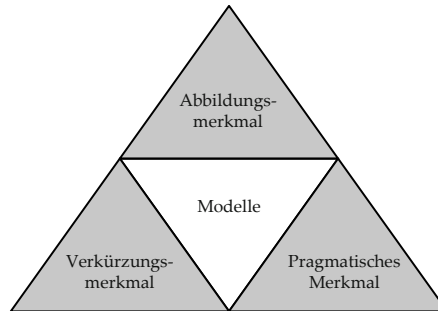
- Beschreibung
- Erklärung und Demonstration
- Prognose
- Mathematischen Berechnung
- Experimentellen Untersuchung
- Planung und Gestaltung
- Verbesserung

Die genannten Einsatzgründe schließen einander gegenseitig nicht aus. Ein Modell, das z. B. zur leichteren Anschaulichkeit gegenüber einem realen System für den Einsatz in Lehrveranstaltungen erstellt worden ist, kann darüber hinaus auch zur Berechnung und Verbesserung des Originals oder zu experimentellen Zwecken eingesetzt werden.

Obwohl sich die Modelle unterschiedlicher Fachdisziplinen in wesentlichen Merkmalen unterscheiden, weisen sie grundlegende Gemeinsamkeiten auf. Aus modelltheoretischer Sicht zeichnen sich Modelle allgemein durch drei Hauptmerkmale aus, die in Abbildung 1 dargestellt sind (vgl. Stachowiak, 1973).

Abbildungsmerkmal: Modelle sind Abbildungen bzw. Repräsentationen realer Systeme bzw. natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können. Bei den Originalen kann es sich um natürlich entstandene oder technisch angefertigte Systeme handeln. Sie können symbolischer, begrifflicher oder physischer Natur sein. Beispiele für Originale sind soziale, technische oder sozio-technische Systeme, wie etwa ein Unternehmen mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bzw. mit seinen technischen Anlagen. In der Literatur wird das Abbildungsmerkmal auch als Abbildungsbeziehung (Zelewski, 1999) oder Ähnlichkeitsbeziehung (Homburg, 2000) zwischen Original und Modell bezeichnet.

Abbildung 1: Allgemeine Merkmale von Modellen (eigene Darstellung)



Verkürzungsmerkmal: Modelle erfassen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die für Ersteller und Benutzer relevant sind. Am Beispiel der Modellierung eines Unternehmens können sowohl die arbeitsorganisatorischen Prozesse Gegenstand eines Modells sein als auch sämtliche Geldströme in der Bilanz oder die technischen Abläufe zur Instandhaltung der Anlagen eines bestimmten Produktionsabschnittes. In allen Fällen wird das jeweilige Modell unter Berücksichtigung der relevanten und unter Vernachlässigung der irrelevanten Eigenschaften erstellt, wobei sich die Relevanz stets daran orientiert, zu welchem Zweck ein Modell erstellt wird (vgl. Pragmatisches Merkmal). Das Verkürzungsmerkmal wird von anderen Autoren auch als Reduktion (Homburg, 2000) oder Vereinfachung (Zelewski, 1999) betitelt.

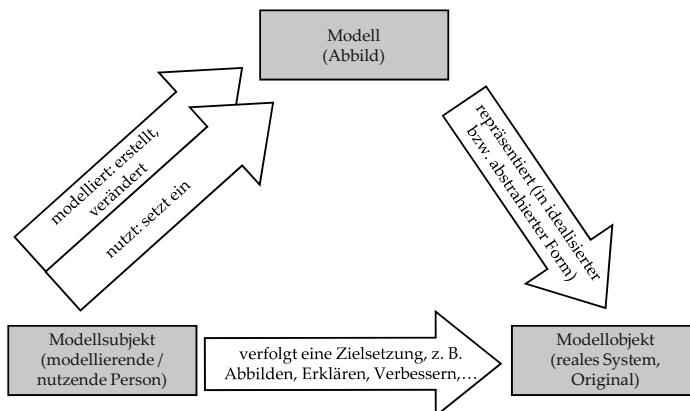
Pragmatisches Merkmal: Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Die Verbindung zwischen Modell und Original ist zweckgebunden. Modelle ersetzen Originale für begrenzte Zeitintervalle, dienen verschiedenen Personen für unterschiedliche Zweckmäßigkeiten und sind auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen eingeschränkt. Auch die Nutzung eines Modells ist den Personen vorbehalten, die entweder an der Erstellung beteiligt waren oder aufgrund ihrer Ausbildung bzw. Erfahrung mit der Verwendung solcher Modelle vertraut sind.

Die hier aufgeführten Merkmale der Abbildung, der Verkürzung und des Pragmatismus werden nicht von allen Autoren, die sich mit Modellen beschäftigen, explizit als solche bezeichnet. Darüber, dass Modelle diese Merkmale oder Eigenschaften im Allgemeinen aufweisen, herrscht allerdings ein breiter Konsens. Spezielle Modelle besitzen natürlich eine ganze Reihe weiterer Merkmale, die für ihre jeweilige Funktion notwendig sind. Die drei hier vorgestellten Merkmale sind dagegen für alle im Rahmen der Betriebswirtschaftslehre oder den Ingenieurwissenschaften eingesetzten Modelle bedeutsam.

Aus dem von Stachowiak genannten Pragmatismusmerkmal resultiert die Bindung von Modellen an einen Einsatzzweck. „Modelle sind [...] ihren Originalen nicht per se zugeordnet; sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion stets [...] zu bestimmten Zwecken und Zielen, denen die Modellbildung und die Modelloperationen unterliegen“ (Stachowiak, 1980). Stachowiak (ebd.) nennt fünf Elemente des Beziehungssystems von Modellen zu ihrer Umwelt: Das *Modell* selbst, das *Original*, die Person, welche das Modell verwendet (*Verwender*), die *Zeitspanne*, für die das Modell das Original repräsentiert und die *Intention*, mit der das Modell verwendet wird (*Modellzweck*). Wird ein Modell nicht vom Verwender erstellt, so ist dieses Beziehungssystem sogar um weitere Elemente zu ergänzen, nämlich eine weitere Zeitspanne und ggf. weitere Zwecke, nämlich die des Erstellers und die des Verwenders.

Neugebauer (1980) stellt eine ähnliche, aber vereinfachte Sichtweise vor, nach der ein Modell einerseits in Relation zu einem „Bezugssystem“, dem Original, und andererseits zu einem „Verwendersystem“ steht. Die Zielsetzung bei der Erstellung bzw. Verwendung eines Modells kennzeichnet die Beziehung zwischen der modellierenden und verwendenden Person, während insbesondere das Abbildungsmerkmal die Beziehung zwischen einem Modell und seinem Original kennzeichnet. Durch Hinzufügen der Erstellung und Nutzung eines Modells durch die verwendende Person, entsteht ein System aus drei Elementen, die jeweils durch Aktivitäten miteinander in Beziehung gesetzt werden. Abbildung 2 zeigt eine grafische Repräsentation des Beziehungssystems.

Abbildung 2: Beziehungsdreieck (eigene Darstellung)



Ausgehend von diesem Beziehungsdreieck wird im Folgenden auf Funktionen von Modellen in den Modellwelten der Betriebswirtschaft und den Ingenieurwissenschaft-

ten eingegangen und deren vielfältige Nutzung beleuchtet. Dabei werden zunächst Modellobjekte, d. h. die zu modellierenden Systeme, betrachtet. Anschließend wird auf verschiedene Ziele der Modellierung und damit auf Modellsubjekte, also Ersteller und Verwender von Modellen, eingegangen. Im Weiteren werden sodann die Aktivitäten, die der Modellierung dienen, erläutert sowie Werkzeuge zur Erstellung und Bearbeitung von Modellen beschrieben.

3 Funktionen und Nutzung

Die Gründe für die Nutzung von Modellen liegen nach Neugebauer (1980) darin, dass quantitative, qualitative, räumliche, zeitliche, ökonomische, juristische, ethische, soziale und viele andere Gründe die Verwendung des realen Systems für die beabsichtigte Handlung erschweren oder verhindern können. Aus der Vielseitigkeit der Motive für den Einsatz von Modellen resultiert aber auch eine Vielzahl von Funktionen, die Modelle erfüllen. Der Struktur des Beziehungsdreiecks folgend, wird im Weiteren zunächst auf die zu modellierenden Systeme näher eingegangen, bevor die Ziele der Modellsubjekte beleuchtet werden und abschließend die Erstellung von Modellen, d. h. die Modellierung, näher betrachtet wird.

3.1 Zu modellierende Systeme - das Modellobjekt

Innerhalb der Relation zwischen einem Modellsubjekt, einem Modellobjekt und einem Modell ist die Abgrenzung des zu modellierenden (Teil-)Systems für die spätere Verwendung eines Modells von besonderer Bedeutung. Das Modellobjekt, ein Ausschnitt aus einem – oftmals, aber nicht notwendigerweise – realen System, ist so zu wählen und abzugrenzen, dass das Modell einen bestimmten Zweck erfüllt und der Zielsetzung des Modellsubjekts Rechnung trägt. Als Modellsubjekt kann dabei eine einzelne Person gelten, welche das Modell erstellt und im Weiteren auch für sich nutzt. Es ist aber auch denkbar, dass unterschiedliche Personen an der Modellierung beteiligt sind oder das Modell von mehreren Personen genutzt wird. In diesem Fall existieren diverse Modellsubjekte, die möglicherweise auch verschiedenartige Zielsetzungen verfolgen.

Ein reales System wie auch ein Abbild der Realität besteht aus einer „Menge von Elementen mit bestimmten Eigenschaften und einer Menge von Beziehungen zwischen diesen Elementen“ (Gal/Gehring, 1981), wobei die Gesamtheit der Beziehungen Struktur genannt wird. Durch Rückschlüsse vom Modellverhalten auf die Wirklichkeit kann

das Verhalten des realen bzw. modellierten Systems beschrieben, erklärt oder vorhergesagt werden (Gal/Gehring, 1981).

Da es oftmals nicht möglich ist, ein System in ein Labor zu bringen – weil es groß, immobil oder noch nicht existent ist – und somit Realexperimente nicht durchführbar sind, ergibt sich die Notwendigkeit, dieses nachzubilden (Kubicek, 1977). Dabei ist zu berücksichtigen, dass reale Systeme grundsätzlich weder vollständig identifizierbar noch gänzlich repräsentierbar sind, so dass eine Beschränkung auf einzelne Ausschnitte unumgänglich ist und nur bestimmte Aspekte eines Originals in einem Modell beschrieben werden (Troitzsch, 1990). Modelle dienen somit als Hilfsmittel, um den Umgang mit der äußerst komplexen Realität, dem realen System, zu erleichtern (Lilien et al., 1992).

Um jedoch ein System identifizieren zu können, ist es notwendig, es von Anderem, nicht zum System Gehörendem, abzugrenzen. Die Systemumgebung, ohne die das System nicht wahrnehmbar wäre und die sowohl Einfluss auf die Systementwicklung hat als auch von Auswirkungen der Systemgrößen betroffen ist, ist dabei zu berücksichtigen. Zur Erstellung eines Modells ist demnach ein gewisses Vorverständnis nötig, damit nicht nur sämtliche für die modellierende Person relevanten Aspekte aufgenommen werden, sondern auch für spätere Benutzer die entscheidenden Elemente einbezogen werden. Unter diesen Prämissen ist schließlich die Systemumgebung vom zu modellierenden System loszulösen (Ropohl, 1999, Bossel, 1992). Natürlich sollte zusätzlich aber auch die Zielsetzung des Modellsubjekts Berücksichtigung finden.

Während beispielsweise bei technischen Systemen oftmals eine physikalische Schnittstelle (z. B. Oberfläche, Ein- und Austrittspunkte von Material) mit der Systemgrenze übereinstimmt, gestaltet sich die Grenzdefinition im sozialwissenschaftlichen Bereich weitaus schwieriger (Bossel, 1992). Da es notwendig ist, eine Abgrenzung vorzunehmen, innerhalb derer ein System möglichst selbständig funktioniert, um im Weiteren das unbeeinflusste Systemverhalten analysieren zu können, erschweren z. B. soziale Verknüpfungen und Interaktionen die Grenzdefinition. Damit einhergehend ist sowohl für die Modellierung ingenieur-wissenschaftlicher Systeme, insbesondere aber für sozialwissenschaftliche Systeme eine Analyse ihrer Wirkungsstruktur erforderlich.

Hinsichtlich der Eigenschaften von Systemen ist grundsätzlich zwischen sozialen, technischen und sozio-technischen Systemen zu unterscheiden. Bei einem sozialen System wird der Mensch, sei es die psychische Komponente eines Individuums oder aber die Interaktion zwischen Individuen, als Objekt modelliert, so dass z. B. die Untersuchung des Verhaltens einzelner Personen oder Gruppen als Modellzweck gilt. Sozio-technische Systeme beinhalten sowohl Menschen als auch technische Elemente, d. h. als Analyseobjekt dient die Interaktion von sozialen und technischen Subsystemen. Logistische Systeme oder ganze betriebliche Organisationen sind somit beispielsweise als ein derartiges System anzusehen (Haberfellner, 1974). Bei einem technischen System handelt es sich um den Zusammenschluss von ausschließlich technischen Elementen bzw. physikalischen Komponenten. Menschen werden dabei

lediglich mit ihren physischen Eigenschaften als Parameter berücksichtigt, da technische Systeme prinzipiell eigenständig funktionieren.

In unterschiedlichen Fachdisziplinen dienen verschiedene Systeme als Modellobjekt. Im Rahmen der Betriebswirtschaftslehre und insbesondere bei verhaltenswissenschaftlichen Untersuchungen sind entweder der Mensch, seine Entscheidungen und Handlungen sowie sein Verhalten gegenüber anderen Individuen, d. h. die Beziehung zu diesen, von Interesse oder aber das Zusammenspiel von Mensch und Maschine innerhalb eines Unternehmens. Während sich bei der Fokussierung auf den Menschen z. B. durch die Analyse der Konsequenzen potentieller Handlungsalternativen und deren anschließender Bewertung auf wahrscheinliche Handlungsweisen der Individuen schließen lässt (Bossel, 1992), sind die Interaktionen innerhalb einer betrieblichen Organisation als sozio-technisches System zu verstehen. So steht beispielsweise in der Logistik häufig das Zusammenwirken von Mensch und Maschine an der Schnittstelle von Technik und Betriebswirtschaft im Fokus. Diese Interaktion kann als ein zusammenhängendes, abgrenzbares System verstanden werden, in welchem der eine Teil ohne den anderen nicht autonom arbeiten kann. Ein Modell eines solchen sozio-technischen Systems muss sowohl Menschen als auch technische Anlagen berücksichtigen, um in der späteren Verwendung das Systemverhalten realitätsnah widerzuspiegeln.

Modelle der Ingenieurwissenschaften bilden hauptsächlich technische Anlagen und deren Funktionsweise ab. Der Mensch findet in diesem Zusammenhang lediglich mit seinen allgemeinen physischen Merkmalen – beispielsweise beim Bedienen oder Instandhalten der Anlage – Berücksichtigung, seine individuellen physischen und psychischen Merkmale werden beim Modellieren technischer Systeme allerdings vernachlässigt.

Der aus der Zielsetzung des Modellsubjektes resultierende Modellzweck ist somit bereits bei der Abgrenzung eines Systems, d. h. der Definition des Modellobjekts, zu berücksichtigen.

Die Komponenten des Modelldreiecks (Abbildung 2) dürfen demnach nicht losgelöst von einander betrachtet werden. Sie stehen teilweise in einem Abhängigkeitsverhältnis, das sich u. a. durch die Zielen der modellierenden Personen ergibt.

3.2 Ziele des Modellsubjekts

Im Modelldreieck ist das Subjekt die Person, die ein Modell zum Lösen einer bestimmten Aufgabenstellung nutzt. Daraus ergibt sich für das Modell ein bestimmtes Ziel und, weil die Verwendung konkreter Mittel und Handlungen zur Erreichung dieses Ziels durch die Modellierung impliziert wird, auch ein Modellzweck. Der Zweck eines Modells ist der wichtigste Aspekt bei der Modellierung, da die Anforderungen an ein

Modell vorwiegend aus dem Einsatzzweck resultieren und ein Modell nicht sinnvoll ohne einen bestimmten Zweck erstellt werden kann. Die Aufgabenstellungen, für die Modelle genutzt werden, können sehr unterschiedlich sein, ein Modell sollte jedoch nur für eine oder wenige Aufgabenstellungen erstellt werden, um einen bestimmten Zweck gezielt erfüllen zu können. Es ist nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand möglich, ein Modell zu erstellen, das für sehr viele oder gar alle Zwecke gleich gut verwendet werden kann. Solch ein Modell erweist sich außerdem aufgrund seiner Komplexität als sehr fehleranfällig und ist für spezifische Aufgaben weitaus weniger effizient als angepasste Modelle (Bossel, 1994).

Aus den genannten Gründen ist es notwendig, sich vor der Erstellung eines Modells über den genauen Zweck im Klaren zu sein. Die Zwecke können allerdings nicht immer streng voneinander getrennt werden, sondern überschneiden sich in gewissem Maß.

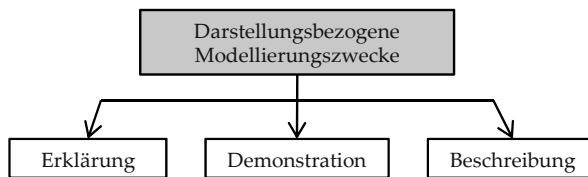
Bossel (1994) unterscheidet zwischen zwei fundamentalen Möglichkeiten für Modellrepräsentationen, die auch in kombinierter Form auftreten können (Bossel, 1994). Einerseits besteht die Möglichkeit, ein Modell, das allein für die Nachahmung eines bestimmten Verhaltens vorgesehen ist, zu erstellen. Dabei wird jedoch die innere Struktur des betrachteten Systems nicht abgebildet. Andererseits ist es möglich, insbesondere die innere Struktur eines Systems in ihren relevanten Zügen nachzubilden. Während der erste Modellierungsansatz nur auf das bis dato beobachtete Verhalten eines Systems zurückgreifen kann, erlaubt der letztgenannte Modellierungsansatz vielfältigere Möglichkeiten der Verwendung und dient insbesondere der Erklärung von Phänomenen statt nur allein ihrer Nachbildung. Das Besondere dabei ist, dass Versuche mit Bedingungen durchgeführt werden können, die bei realen oder geplanten Systemen bisher noch nicht aufgetreten sind.

Zur Verdeutlichung dieses Sachverhalts kann als Beispiel der in der Konstruktion von mechanischen Bauteilen verwendete Kerbfaktor angeführt werden, der ein Beobachtungsmodell des Verhaltens von gekerbten Werkstücken darstellt. Dieser Faktor wird in Versuchsreihen gewonnen, ohne die tatsächlich dahinter stehenden Wirkmechanismen exakt zu kennen. In den Wirtschaftswissenschaften ist in diesem Zusammenhang beispielhaft eine Unternehmensbilanz, eine Aufstellung von Herkunft und Verwendung des Kapitals, zu nennen. Die Bilanz gibt einen Überblick über die wirtschaftliche Lage eines Unternehmens zu einem bestimmten Zeitpunkt, die Interdependenzen der quantitativen Größen, d. h. die innere Struktur, werden jedoch nicht ersichtlich. Im Gegensatz dazu ist das Modell einer Kinematik im Bereich der Robotik ein Modell, das die kinematische Struktur eines realen Roboterarms nachbildet. Mit diesem Modell können Bewegungen simuliert werden, die mit einem realen System noch nicht ausgeführt wurden. Als Modell zur Erklärung von Phänomenen, für welche die innere Struktur eines Systems betrachtet wird, können zudem Modelle der Informationsverarbeitung, die im Rahmen der Werbewirkungsforschung Anwendung finden, genannt werden.

Den beschriebenen zwei Möglichkeiten der Modellrepräsentation können schließlich unterschiedliche detailliertere Aufgaben bzw. Zwecke zugeordnet werden, die im Folgenden dargestellt werden.

Als ein erster Bereich, der eher der Nachahmung eines bestimmten Systemverhaltens zugeordnet werden kann, ist ganz allgemein die Nutzung von Modellen für die Darstellung unterschiedlicher Sachverhalte zu nennen (Abbildung 3).

Abbildung 3: Darstellungsbezogene Modellierungszwecke (eigene Darstellung)



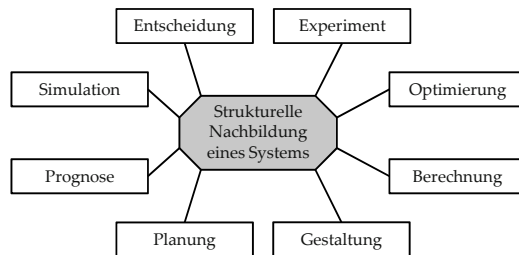
Darunter fällt beispielsweise die Tätigkeit des *Erklärens*. Hierbei besteht die vorrangige Zielsetzung darin, das Verständnis anderer Personen für ein bestimmtes Phänomen zu wecken beziehungsweise zu schaffen. Ein weiteres Ziel von Modellen zur Erklärung kann aber auch die Darstellung von Ursachen für einen bestimmten Sachverhalt sein (Woodward, 1995). Die Produktions- und Kostentheorie von Gutenberg ist beispielsweise als ein betriebswirtschaftliches Erklärungsmodelle anzusehen.

Das *Demonstrieren* ist ebenfalls ein Modellzweck, um etwas darzustellen (von lat. „demonstrare“ = „zeigen, hinweisen, nachweisen“). Er überschneidet sich mit der Tätigkeit Erklären, da es auch hier in gewisser Weise darauf ankommt, Verständnis für einen Sachverhalt zu erreichen. Ein Beispiel dafür kann ein Modell eines Fahrzeuggetriebes sein, durch das der Zusammenhang zwischen Antriebs- und Abtriebsbewegung demonstriert bzw. veranschaulicht wird. Auf der anderen Seite kann beispielsweise ein physikalisches Modell dazu verwendet werden, bestimmte entwickelte Theorien zu begründen.

Eine weitere Tätigkeit, die mit der Darstellung von Sachverhalten zusammenhängt und für die Modelle eingesetzt werden können, ist das *Beschreiben*. Das Verständnis des Beschreibens ist abhängig von den unterschiedlichen Sichtweisen der Fachdisziplinen. So wird beispielsweise in der empirischen Sozialforschung das Beschreiben als unvoreingenommene Darstellung von Sachverhalten aufgefasst (Gal/Gehring, 1981). In den Ingenieurwissenschaften wird in sog. Vorgehensmodellen die Systematik zur Lösung bestimmter Problemstellungen bzw. Aufgaben beschrieben (Haberfellner u. a., 2002).

Neben den genannten eher darstellungsbezogenen Modellzwecken gibt es weitere Modellierungszwecke, die jedoch eher der „Arbeit mit dem Modell“ entsprechen bzw. die sich auf die strukturelle Nachbildung eines Systems beziehen, um daraus bestimmte Erkenntnisse zu gewinnen (Abbildung 4).

Abbildung 4: Modellzwecke, die sich auf die strukturelle Nachbildung eines Systems beziehen (eigene Darstellung)



Das *Experimentieren* ist hierbei eine klassische wissenschaftliche Tätigkeit. Bei der Verwendung von Modellen für das Experimentieren geht es vorrangig darum, die Auswirkungen bestimmter Parameter oder Eingangsgrößen auf zu erfassende Ausgangsgrößen zu untersuchen bzw. Aussagen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu gewinnen. Am Modell eines Flugzeugflügels lassen sich durch entsprechende Experimente Aussagen über den Zusammenhang zwischen Umströmungsgeschwindigkeit und Auftrieb gewinnen, durch Experimente in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sind hingegen z. B. Aussagen über Verhaltensänderungen unter verschiedenen Bedingungen möglich.

Diese Zusammenhänge von Ursache und Wirkung werden beispielsweise beim *Optimieren bzw. Verbessern* genutzt, bei dem es darum geht, bestimmte Parameter so anzupassen, dass bestmögliche Ergebnisse bei den relevanten Ausgangsgrößen eines Systems erzielt werden können.

In vielen Fällen werden Modelle für *Berechnungen* verwendet, um relevante Kenngrößen für vorhandene oder geplante Strukturen zu ermitteln. Bei der Konstruktion von Maschinenbauteilen werden beispielsweise zur Berechnung der Verformung komplexer Bauteile Finite Elemente Modelle genutzt, die aus einer endlichen Anzahl Elemente bestehen und durch numerische Zusammenhänge das Verhalten eines geplanten oder realen Bauteils nachbilden. Ebenso können aber auch Wirkungszusammenhänge zwischen z. B. Kaufabsichten von Konsumenten und dem tatsächlichem Umsatz eines