

Kapitel 1. Einführung

Inhalt

1.1	<i>Problemstellungen heutiger ökonomischer Systeme</i>	1
1.2	<i>Ziele der Arbeit</i>	5
1.3	<i>Gliederung der Arbeit</i>	7

1.1. Problemstellungen heutiger ökonomischer Systeme

In der Praxis vorkommende Systeme, nachfolgend auch als real existierende Systeme oder kurz als *Realsysteme* bezeichnet, sind durch eine hohe Komplexität infolge verschiedenster einwirkender Faktoren gekennzeichnet. Diese Komplexität macht eine rechnergestützte optimale Steuerung des Gesamtsystems unter Echtzeitbedingungen derzeit kaum möglich. Im heutigen Zeitalter global vernetzter Rechnernetze ist es zwar problemlos möglich, bestimmte Informationen über die aktuellen und abgelaufenen Prozesse innerhalb weniger Sekunden oder Bruchteilen von Sekunden abzufragen, eine allen Optimierungsanforderungen genügende Modellbildung für das Gesamtsystem ist jedoch i. Allg. nicht möglich. Ein Lösungsweg für dieses Problem ist die Zerlegung des Gesamtsystems in einzelne Untermodelle, welche getrennt betrachtet und optimiert werden.

Unter Bezug auf den in der Arbeit gewählten Fokus auf Modelle von Systemen der Produktion und Lagerhaltung kann beispielsweise eine getrennte Betrachtung von Produktions- und Investitionsströmen sinnvoll sein. Hieraus ergibt sich bereits eine erste Problemstellung für den Ersteller eines Modells, den Modellierer. Es wird die Frage nach einer sinnvollen Zerlegung eines zu modellierenden Systems anhand der innerbetrieblichen Abläufe aus einer bestimmten Sichtweise aufgeworfen (siehe Abb. 1.1).

Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird sich aus logistischer Sichtweise eine andere Modellzerlegung ergeben als aus einer zeitlich orientierten Sichtweise. Die logistische Sichtweise führt u. a. Betrachtungen eines günstigen innerbetrieblichen Materialflusses und sinnvoller Lagerstrategien durch (siehe [AF05] oder [Tem06]), wäh-

Abb. 1.1

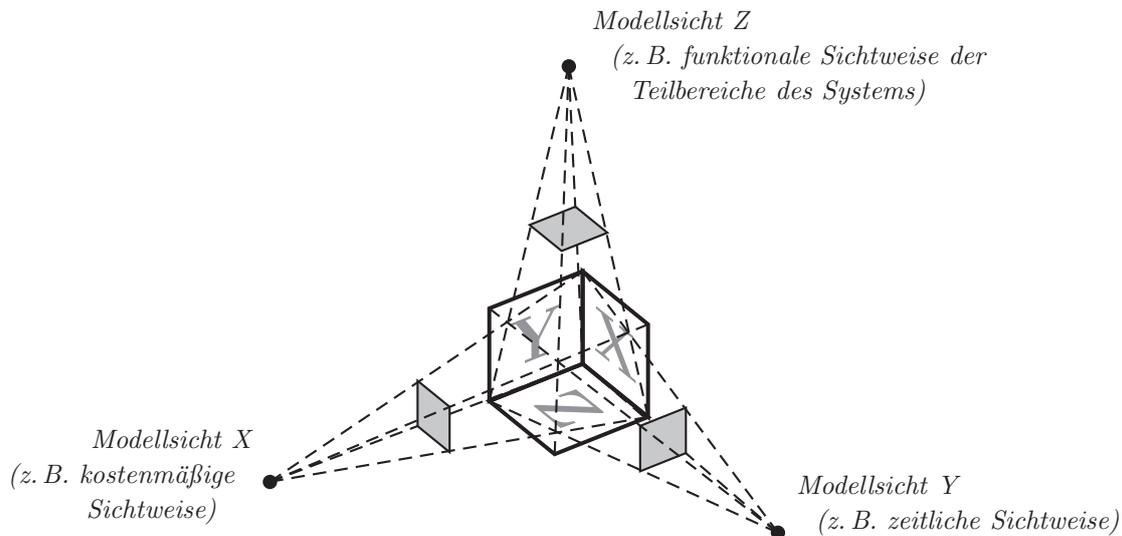


Abb. 1.1.: Zerlegung eines (ökonomischen) Systems aus verschiedenen Sichtweisen

renddessen sich die zeitlich orientierte Sichtweise z. B. eher mit Auswirkungen der operativen (kurzfristigen), taktischen (mittelfristigen) oder strategischen (langfristigen) Planung beschäftigt (siehe [Sch02]). Innerhalb dieser Arbeit wird von einer zeitlich orientierten Sichtweise im Hinblick auf eine kurz- und mittelfristige Planung ausgegangen, um die kostenoptimale Lösung des Problems zu einem Produktionssystem mit anschließender Lagerhaltung, nachfolgend als *Produktions- und Lagerhaltungssystem* bezeichnet, anzustreben. Die Betrachtung anderer Sichtweisen oder ein möglicher Vergleich untereinander wären ebenso denkbar, sollen aber nicht Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen sein.

Im Gegensatz zur Steigerung der Komplexität von Realsystemen ist die derzeitige Rechentechnik gerade ausreichend weit entwickelt, um ein solches System in seiner gesamten Komplexität auf einem Rechner intern abzubilden und ggf. verschiedene Modellabläufe mittels Animation in Echtzeit graphisch darzustellen. In der Regel ist es aber mit den derzeit industriell eingesetzten Rechnern jedoch nicht möglich, eine optimale Steuerung des gesamten abgebildeten komplexen Realsystems unter Echtzeitanforderungen durchzuführen. Lediglich durch eine Abstraktion der verschiedenen Teilsysteme und den Verzicht auf die Bestimmung der global optimalen Lösung kann es gelingen, Echtzeitanforderungen an den Optimierungsprozess gerecht zu werden. Bei der Untersuchung bisher nicht betrachteter neuartiger Modelle ist eine solche Vorgehensweise aber eher weniger sinnvoll, weil noch keine genauen Aussagen über das Verhalten des modellierten Systems getroffen werden können und somit eine Nachahmung durch abstrahierte Teilsysteme nicht möglich ist. Um dennoch Untersuchungen bzgl. Realsystemen durchführen zu können, wird, unter Verzicht auf Echtzeitanforderungen, u. a. auf Methoden wie die *rechnergestützte Simulation* zurückgegriffen (siehe [Ban98]). Diese ermöglicht es z. B. für verschiedene Szenarien, Vorhersagen über das zukünftige Systemverhalten des abgebildeten Realsystems aufzuzeigen, um eine aus einer bestimmten festgelegten Sichtweise optimale Entscheidung zu treffen. Aus diesem Grund wird bei der Untersuchung von Modellen für Produktions- und Lagerhaltungssysteme auch auf die Methode

der rechnergestützten Simulation sowie der *simulationsbasierten Optimierung* zum Treffen einer kostenoptimalen Produktionsentscheidung zurückgegriffen.

Für die Herausfilterung der wesentlichen Bestandteile eines Realsystems sollte eine Kooperation zwischen einem *Experten des untersuchten Systems* (erste Expertengruppe) und einem *Experten auf dem Gebiet der Modellierung, Simulation und Optimierung* (zweite Expertengruppe) eines solchen Systems erfolgen. Die zweite Expertengruppe kann die Möglichkeiten und Grenzen der aktuellen Forschung und Entwicklung auf dem speziellen Gebiet aufzeigen, wobei sie diese zumeist an bereits existierenden mathematischen Modellen orientieren wird, um die Entscheidung treffen zu können, ob ein neues Modell erstellt werden muss oder auf ein existierendes mit ggf. entsprechenden Änderungen und Erweiterungen zurückgegriffen werden kann. Unter Zuhilfenahme des Wissens der ersten Expertengruppe können dann die notwendigen technologischen und ökonomischen Rand- und Nebenbedingungen des Problems festgelegt werden. Für die Untersuchung neuartiger Modelle ist diese Vorgehensweise mit bestimmten Ausnahmen ähnlich sinnvoll. Zwar kann man sich bei diesen an existierenden mathematischen Problemstellungen anlehnen, um eine Klassifizierung des Problems vorzunehmen und aktuelle Entwicklungen zu verdeutlichen, aber die Erstellung neuer Modelle mit einer individuellen Charakteristik ist unabdingbar. Eine solche Vorgehensweise wird auch in der vorliegenden Arbeit gewählt, um eine Klassifizierung des neuartigen Untersuchungsmodells des Produktions- und Lagerhaltungssystems auf der Grundlage existierender Modellansätze durchzuführen.

In diesem Zusammenhang ergibt sich auch die Problemstellung der möglichst exakten *rechnerinternen Modellierung* eines vorliegenden Problems bzw. Realsystems (siehe Abb. 1.2), im Bezug auf die Anwendung der simulationsbasierten Optimierung zur Lösung eines vorliegenden Problems. Es gilt nach wie vor der Grundsatz: So viel wie möglich, aber nur so exakt wie nötig.

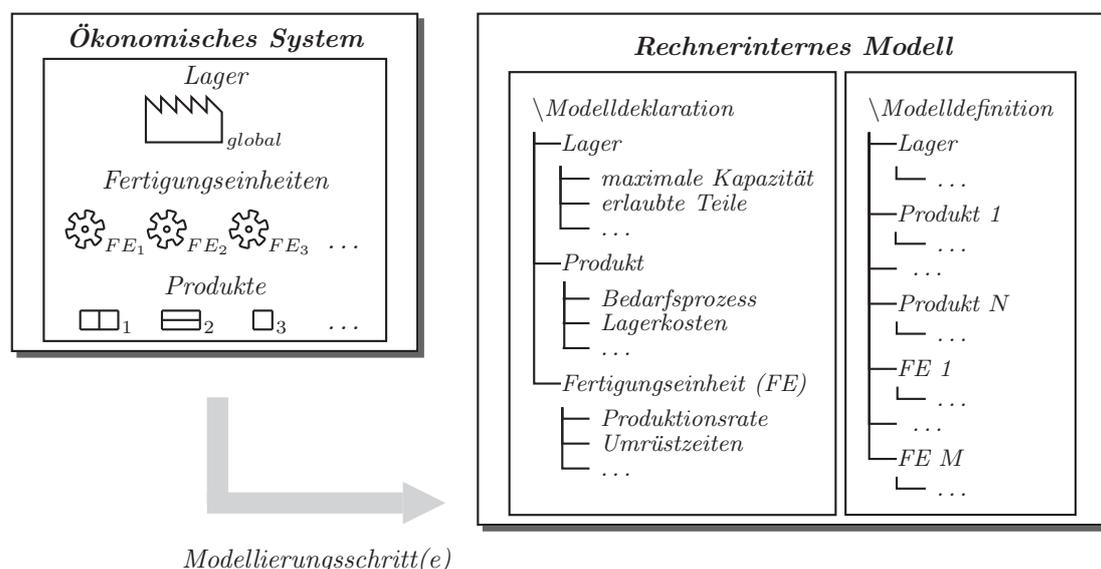


Abb. 1.2

Abb. 1.2.: Rechnerinterne Modellabbildung eines (ökonomischen) Systems

Gerade im kommerziellen Bereich gibt es bereits seit einigen Jahren Modellierungs- und Simulationswerkzeuge mit einem weitreichenden Funktionsumfang zur rechnerinternen Repräsentation und einer möglichst exakten graphischen Darstellung eines Modells (evtl. mit Animation eines Simulationslaufes (siehe [RA07])). Bei diesen kommerziellen Softwaresystemen stehen jedoch neben speziellen Kundenwünschen zumeist die Visualisierung des Modells und einzelner Simulationsläufe sowie umfangreiche Schnittstellen zu anderen Softwaresystemen im Vordergrund und weniger die Umsetzung der vielfältigen Möglichkeiten, welche die Modellierung, die Simulation oder auch die Optimierung bieten. Seit der Einführung graphischer Benutzeroberflächen vor über 20 Jahren haben sich die visuellen Gestaltungsmerkmale kommerzieller Simulationswerkzeuge immer mehr verbessert und reichen heute von verschiedenen interaktiven Eingabemöglichkeiten (siehe [Fis01]) bis hin zu dreidimensionalen Darstellungen komplexer ökonomischer Systeme (siehe [Dyn07]). Die vielfältige rechnerinterne Repräsentation eines Modells ist demnach durch die verschiedensten Softwaresysteme bereits sehr gut abgedeckt. Themen wie die Optimierung eines Realsystems, Laufzeitminimierung eines Simulationslaufes oder die Bewertung der Simulationsergebnisse werden hingegen vielfach außer Acht gelassen und als Probleme des Anwenders betrachtet. Allerdings sind diese Gesichtspunkte gerade für die Untersuchung von aktuellen Modellen zu Realsystemen von besonderem Interesse, um das vorhandene Optimierungspotential des Systems besser auszuschöpfen. Zudem besteht bei moderner kommerzieller Simulationssoftware teilweise das Problem, dass die graphische Oberfläche meist nicht ganz abschaltbar ist, was wiederum zu einer *Verlangsamung der Simulation* im Bezug auf die Laufzeit führt. Unter dem Gesichtspunkt der Optimierungsmöglichkeiten verzichten heutige kommerzielle Softwaresysteme oftmals gänzlich auf Optimierungsverfahren, welche sich mit Problematiken wie der *verteilter und parallelen Optimierung* auseinandersetzen. Bei genauerer Recherche kann festgestellt werden, dass die in [Fu01a] angegebene Tabelle mit den genutzten Optimierungsverfahren bis heute noch weitestgehend aktuell ist. Dies macht die Kopplung eines externen Optimierers notwendig, wodurch wiederum kostbare Rechenzeit verloren geht. Zudem ergeben sich häufig lizenzrechtliche Probleme, weil ein Softwareprodukt nicht gleichzeitig auf mehreren Rechnern eingesetzt werden darf. Eine Ausnahme bilden dabei die im Vergleich zu Einzelplatzrechnern deutlich teureren Server-Lizenzen [engl.]. Wird hingegen nicht kommerzielle Simulationssoftware, welche für akademische Zwecke³, entwickelt ist, damit verglichen, so treten die Probleme in anderer Richtung auf. Bei diesen existiert nach Meinung des Autors teilweise keine oder nur eine spärliche graphische Oberfläche, so dass die Modelleingabe schwer und umständlich i. Allg. über Texteditoren erfolgen muss. Allerdings sind bei diesen nicht kommerziellen Softwaresystemen die internen Algorithmen für die Simulation und Optimierung auf einem höheren Niveau als bei kommerziellen Softwaresystemen, weil sie sich an den aktuellen Forschungsergebnissen orientieren und dadurch die Entwicklung neuer Verfahren und Algorithmen vorantreiben. Nach Auffassung des Autor wird in kommerziellen Softwaresystemen bspw. kaum darauf Rücksicht genommen, verschiedene *sequentielle, parallele und hybride sowie*

³Mit Software für akademische Zwecke ist Software gemeint, welche eher im Rahmen von theoretischen Untersuchungen eingesetzt wird.

ein- und mehrkriterielle Optimierungsverfahren zu implementieren. Dies würde es wiederum ermöglichen, eine Menge von Verfahren für die Optimierung von real existierenden oder neuen, theoretischen ökonomischen Problemstellungen bereitzustellen. Zudem werden in kommerziellen Softwaresystemen oftmals nur spezielle Problemnischen abgedeckt, was zumeist am fehlenden Umfang verschiedener *externer Schnittstellen* liegt. Die Möglichkeiten zur *Kopplung anderer externer Berechner, Simulatoren und Optimierer* wird somit erschwert oder unmöglich. Bei den derzeitigen kommerziellen Softwaresystemen werden außerdem keine *internen Programm- oder Programmierschnittstellen* bereitgestellt, welche die Möglichkeit bieten, die *Weiterentwicklung des Softwaresystems* gezielt durch Dritte voranzutreiben oder ein bestehendes Softwaresystem zu verbessern.

Es erscheint daher sinnvoll, ein nicht kommerzielles Softwaresystem auf akademischem Niveau⁴ zu schaffen, welches die Vorteile kommerzieller sowie nicht kommerzieller Softwaresysteme im Bereich der Modellierung, Simulation und Optimierung nutzt. Darüber hinaus erweist es sich auch als sinnvoll, mittels unkomplizierter visueller Hilfsmittel einen Teil der vorhandenen, akademisch geschaffenen Möglichkeiten anhand verschiedener Modellbeispiele aufzuzeigen. Für diese Zwecke wurde vom Autor das *Softwaresystem CAOS* (Abkürzung für *CalculationAssessmentOptimisationSystem* [engl.]) entwickelt. Es ist ein *Hilfsmittel zur rechnergestützten Modellierung, Simulation, Optimierung und Bewertung ökonomischer Problemstellungen*, welches moderne Methoden der modularen und objekt-orientierten Softwaretechnologie umsetzt sowie moderne Softwareentwicklungstechniken verfolgt (siehe [Bal05]). CAOS stellt zudem verschiedene externe und interne Schnittstellen bereit, welche einerseits die Einbindung eigener Softwareteile und andererseits auch eine gezielte Weiterentwicklung des bestehenden Softwaresystems im Rahmen der vorhandenen Entwicklungslizenz ermöglichen.

1.2. Ziele der Arbeit

Hauptziel der Arbeit ist die Schaffung eines akademischen Softwaresystems mit dessen Hilfe sich verschiedene theoretische Ansätze durch praktische Untersuchungen beweisen lassen. Das Softwaresystem soll dabei den heutigen Anforderungen an moderne Softwaretechnologien, wie bspw. *objektorientierte, modulare Programmierung* und *Mehr-Schichten-Architektur*, entsprechen, um die Mit- und Weiterentwicklung zu ermöglichen und zu vereinfachen. Mit Hilfe dieses Softwaresystems werden innerhalb dieser Arbeit bspw. *Möglichkeiten zur Verkürzung der Simulationsdauer eines Simulationsexperimentes* sowie der *Verkürzung der Optimierungsdauer durch verteilte und hybride Optimierung* dargelegt. Hierbei kommt ein neuartiger Optimierungsansatz zum Einsatz, der es erlaubt, für jede Optimierungsvariable einen individuellen Optimierer einzusetzen, um so ein geeignetes Optimierungsverfahren, angepasst auf die problemspezifischen Charakteristiken, zu verwenden.

⁴Gemeint ist ein Softwaresystem, in welchem gezielt auch neuere theoretische Erkenntnisse einfließen.

Im Hinblick auf die Modellierung erlaubt die Trennung von Modelldeklaration und -definition es dem Softwareentwickler in Zusammenarbeit mit dem Modellierer, eine Deklaration für ein Modell vorzugeben. Dieses dient einem Anwender des Softwaresystems als Unterstützung bei der Eingabe der exakten Modelldaten und der damit verbundenen Erstellung der Modelldefinition. Dieser gewählte, neuartige Ansatz ermöglicht es, die Verifizierung der Eingabedaten für ein Modell anhand seiner Deklaration bereits im Vorfeld einer Berechnung oder Simulation vorzunehmen. Dadurch werden, unter der Voraussetzung der korrekten Modellierung eines Systems, die Fehlermöglichkeiten auf wenige logische Fehler des Anwenders bei der Modelldateneingabe reduziert.

Bei der Modellierung der Elemente eines Systems wird eine spezielle Einteilung in verschiedene Gruppen von Modellelementen vorgenommen, um die Bedeutung einzelner Modellbestandteile für den Anwender besser hervorzuheben. Es soll verdeutlicht werden, wie sich eine solche Vorgehensweise auf das Verständnis eines Modells auswirken kann. Durch die Entwicklung einer neuen graphischen Oberfläche wird die Modelleingabe, -validierung und -auswertung vereinfacht, so dass der Anwender sich auf die eigentlich wesentlichen Ziele seiner Arbeit bei der Nutzung des Softwaresystems, der simulationsbasierten Optimierung, konzentrieren kann.

Praxisbezug erhält das Softwaresystem CAOS innerhalb dieser Darlegungen durch die Aufstellung theoretischer Modelle für Produktions- und Lagerhaltungssysteme, deren Implementierung in das Softwaresystem sowie deren Analyse in verschiedene Richtungen mittels dieses Systems vorgenommen wurden. Um eine Einordnung der neuartigen Modelle im Rahmen bisheriger, vorhandener Modelle vornehmen zu können und deren praktische Relevanz hervorzuheben, wird in dieser Arbeit ein Überblick über die vorhandenen theoretischen Modelle für Produktions- und Lagerhaltungssysteme sowie bisherige Untersuchungen gegeben.

Die Komplexität des untersuchten Modells zu Produktions- und Lagerhaltungssystemen entsteht hierbei u. a. durch die Vielfalt der Produkte und deren Variationen die von ein und demselben Produkt erzeugt werden können. Stochastische Einflussgrößen z. B. in Folge beliebiger Verteilungen für Kundenankünfte, Bedarfsmengen, Produktionszeiten, Umrüstzeiten etc., lassen eine analytische Lösung des zugrunde liegenden Problems nicht zu. Darüber hinaus erhöht sich die Komplexität des Modells oftmals noch durch die Betrachtung der verschiedensten vor- oder nachgelagerten innerbetrieblichen und möglicherweise auch außerbetrieblichen Teilproblemstellungen, welche direkt oder indirekt mit dem zu optimierenden Prozess verbunden sind. Aus der Kombination aller Teilproblemstellungen ergibt sich wiederum das Gesamtproblem, so dass dessen Charakteristik durch eine Modellzerlegung sowie der exakten Modellierung der Teilmodelle und deren Wechselwirkungen untereinander nicht verloren gehen darf.