

VDI-Richtlinie 4465 „Modellbildungsprozess“ Vorgehensweise und Status

Kai Furmans, Jens Wisser
kai.furmans@ifl.uni-karlsruhe.de
jens.wisser@ifl.uni-karlsruhe.de
Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, Universität Karlsruhe (TH)
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

Kurzfassung

In allen Phasen des Lebenszyklus eines fördertechnischen, materialflußtechnischen oder logistischen Systems (im Weiteren FML-System genannt) kann es erforderlich sein, Modelle dieses Systems zu erstellen, um mit Hilfe eines oder mehrerer Modelle das Verhalten des abgebildeten Systems zu studieren, also eine Systemstudie durchzuführen. Ob das geschickte Modellieren ein Handwerk, eine Kunst oder gar Wissenschaft ist, lässt sich nicht feststellen, deshalb hat sich der Fachausschuß zum Ziel gesetzt, zumindest all das Wissen zusammen zu tragen und zu strukturieren, welches in der Gemeinschaft der Modellierungs- und Simulationsspezialisten über die Modellierung von FML-Systemen vorhanden ist.

Die VDI-Richtlinie 4465 „Modellbildungsprozesse“ beschreibt auf dieser Basis eine systematische Vorgehensweise, die von einer Aufgabenstellung zu einem aussagefähigen Modell führt. Dieser Vorgang wird Modellbildungsprozess genannt.

Dieser Bericht soll und kann nicht den Inhalt der Richtlinie vorweg nehmen. Stattdessen soll über die wesentlichen Elemente und die Strukturierung der Richtlinie berichtet werden.

1 Einleitung

In der VDI-Richtlinie 4465 „Modellbildungsprozess“ wird aufgezeigt, mit welchen Mitteln und in welchen Schritten Modellbildungsprozesse zu einem Ergebnis führen, welches dem Stand der Technik entspricht und dabei Aufwand und Ergebnis in Relation zur angestrebten Aussage angemessen gestaltet.

Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Erstellung von Modellen für Simulationsexperimente oder für eine analytische Betrachtung. Die Erfahrung zeigt jedoch auch, dass im Laufe des Modellbildungsprozesses häufig bereits solche Erkenntnisse gewonnen werden können, die die Aufgabe lösen und damit das Implementieren und Auswerten eines Modells entbehrlich machen. Diese Erkenntnisse werden an Modellen gewonnen, die im Verlaufe der Modelbildung, möglicherweise noch nicht als formales Modell, erstellt werden. Sie vertiefen bereits das Systemverständnis und in Kommunikation zwischen den beteiligten Fachleuten sowie mit dem Auftraggeber kann mit ihrer Hilfe die Aufgabenstellung unter Umständen frühzeitig gelöst werden. Deshalb beschränkt sich die Richtlinie nicht nur auf die Implementierungsaspekte

formaler, experimentierbarer oder berechenbarer Modelle, sondern umfasst den gesamten Lebenszyklus des Modells.

2 Modellbildung im Systemlebenszyklus

Beim Thema Modellbildung, insbesondere bei derjenigen von Modellen zur simulativen oder analytischen Bewertung von Systemen denkt man unwillkürlich an Modelle, die in einer Planungsphase, also während der *Entwicklung* eines FML-Systems erstellt werden. Immer häufiger wird jedoch angestrebt, einmal erstellte Modelle in allen Phasen der Systemnutzung zu verwenden. In der Praxis ist diese Vorgehensweise noch nicht sehr weit verbreitet, stellt jedoch insbesondere bei komplexen Anlagen eine noch ungenutzte Möglichkeit zur Verbesserung der Hochlauf- und Betriebsphase dar, so dass anzunehmen ist, dass auch in der *Realisierungsphase* zukünftig verstärkt Modelle eingesetzt werden.

Dabei möge man sich klarmachen, dass alle FML-Systeme explizite oder implizite Steuerungssysteme besitzen. Einem solchen Steuerungssystem liegt zwangsläufig ein Modell zugrunde, das die Ursache-Wirkungsbeziehungen im gesteuerten System beschreibt. Dieses Modell wird nicht immer explizit formuliert, so dass es notwendig werden kann, dieses implizite Modell an das Tageslicht zu holen, wenn sich in der *Nutzungsphase* herausstellt, dass die Erwartungen an das System nicht erfüllt werden. In einer Analysephase muss in solchen Situationen ein Systemverständnis erzielt oder verbessert werden, um darauf aufbauend das System und seinen Betrieb geeignet zu verbessern.

Die gleiche Argumentation gilt auch für die Phasen, in denen das System umgebaut wird, ggfs. kann auch die Außerbetriebnahme eines Systems durch Modelle unterstützt werden, in beiden Fällen ist dies besonders empfehlenswert, wenn das System vernetzt mit anderen, weiter genutzten Systemen betrieben wird.

3 Modellbildungsphasen

Die Beachtung des Systemlebenszyklus des zu untersuchenden FML-Systems ist insbesondere für die erste Phase des Modellbildungsprozesses, die *Aufgaben- und Zielformulierung* besonders wichtig. Hier wird abgesteckt, welche Aufgaben die Modellierung eines FML-Systems erfüllen soll und welche Ziele im Einzelnen mit der Systemstudie verfolgt werden. Ebenfalls sind die Rahmenbedingungen (Budget, Zeitrahmen, Projektbeteiligte und zur Verfügung stehende Werkzeuge) unter denen die Systemstudie durchgeführt werden soll, zu klären. Die Richtlinie soll hier exemplarisch Fragestellungen und Zielsetzungen aufführen, die dem Nutzer der Richtlinie als Referenz bei der Definition des eigenen Projektauftrages dienen sollen.

Der Leser der Richtlinie und ein potentieller Bearbeiter einer Systemstudie ist sich darüber im Klaren, dass bereits bei der Beschreibung der Aufgaben und Ziele eine, wenn auch noch wenig formale Modellbildung vorgenommen wird, und wird deshalb diesem Vorgang die notwendige Aufmerksamkeit schenken.

In der nächsten Phase, der *Systemanalyse und Konkretisierung der Zielstellungen* geht es darum, festzulegen, welche Ursachen-Wirkungsbeziehungen von Relevanz sind, welche Größen das System beschreiben und welche Beziehungen unter den Bestandteilen des Systems bestehen. In dieser Phase kommen bereits formale Beschreibungsmittel zum

Einsatz, die es insbesondere erlauben, Beziehungen zwischen den Systemobjekten zu beschreiben und nach anschließender Datenerhebung und -analyse quantitativ zu hinterlegen. Dabei werden im Wesentlichen beschrieben:

- die technische Struktur des Systems
- die zu bewältigende Systemlast
- die Organisation des Systems.

Auf der Basis des nun erzielten Systemverständnisses ist es nun möglich, die *relevanten Modellaspekte* zu bestimmen. Dieser Schritt ist einer der entscheidenden Schritte im Modellbildungsprozess, erfolgt hier doch bereits auf der Basis der bisher gewonnenen Informationen eine Auswahl derjenigen Systemaspekte, die im Verlauf der weiteren Untersuchung modelliert werden. Damit wird auch impliziert, dass die nicht weiter dargestellten Systemaspekte keinen Einfluss auf das Untersuchungsziel besitzen. Ist nicht sicher, ob diese Aussage getroffen werden kann, ist in der Folge mit Hilfe einer Sensitivitätsuntersuchung nachzuweisen, dass vermutete Einflüsse nicht bestehen. Auch bei Einigkeit aller Projektbeteiligten sollte in diesem Schritt dokumentiert werden, welche Modellaspekte im weiteren Verlauf der Systemstudie keinen Niederschlag mehr finden, welche Aussagen deshalb unter Umständen nicht getroffen werden können oder welche besonderen Betriebszustände (z.B. Störungen) nicht abgebildet werden.

Aus welchen Informationen aus der vorangegangenen Systemanalyse können Hinweise für die geeignete Modellreduktion erhalten werden? Systembestandteile können zum Beispiel dann vergrößernd modelliert werden, wenn

- der Eingangsstrom in ein Element mit dem Ausgangsstrom identisch ist, und das Verhalten innerhalb des Elements nicht betrachtet werden soll, oder
- die Transformation des Eingangsstroms in einen Ausgangsstrom einfach möglich ist,
- die Skala (Zeit, Raum, Gewicht) sich verändert, und deshalb ganz verschiedene Genauigkeitsanforderungen vorliegen,
- eine gewollte Entkopplung zweier Prozesse vorliegt (z.B. durch Lager),
- unterstellt werden kann, dass eine Ressource stets vorhanden ist, so dass der Prozess zu ihrer Bereitstellung nur dann modelliert wird, wenn er explizit untersucht werden soll.

Modellaspekte sollten dann nicht eliminiert werden, wenn bekannt ist, dass in zwei Modellbereichen konkurrierende Ziele verfolgt werden oder das Zusammenwirken von Modellelementen nicht transparent ist.

Nach Abschluss dieser Phase kann die *formale Modellbeschreibung* erfolgen, sofern nicht, wie häufig berichtet wird, bereits mit Abschluss der Bestimmung der relevanten Modellaspekte bereits ein so großes Systemverständnis erzielt wurde, dass alle zu klärenden Fragen beantwortet werden können..

Welche Form der Beschreibung des Modells in dieser Phase geeignet und zu wählen ist, ist zum Einen dadurch bestimmt, welche Eigenschaften das zu modellierende System besitzt und zum Anderen dadurch, welche Aussagen über das System getroffen werden sollen.

Aus allen möglichen Modelltypen sollten dann diejenigen genutzt werden, die im Team beherrscht werden und dabei ein vernünftiges Verhältnis zwischen Modellerstellungs- und pflegeaufwand zur Güte der erzielten Ergebnisse aufweisen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass zu Validierungs- und Verifikationszwecken

kritische Modellaspekte auch mit verschiedenen Modelltypen und Beschreibungsmitteln analysiert werden sollen.

Ist das Beschreibungsmittel ausgewählt und sind die zu modellierenden Aspekte bekannt, ist nun durch *Systemdekomposition* das abzubildende Gesamtsystem in geeignete Teilsysteme zu zerlegen und formal abzubilden. Hierbei kommt hierarchischen Modellierungsansätzen eine große Bedeutung zu, da diese den Bearbeiter systematisch von einer stark abstrahierten Sicht zu einer detaillierten Systembeschreibung führen. Dabei ist unter Kosten- / Nutzenaspekten jedoch stets abzuwägen, ob der Modellierungsaufwand in einem Teilsystem noch durch das zu erzielende Ergebnis gerechtfertigt ist.

Ansatzpunkte zur Problemdekomposition ergeben sich durch die Betrachtung von Entkopplungspunkten, von Verantwortungs- und Steuerungsbereichen und die Analyse der Systemgrenzen von technischen Systemen. Auch die Topologie und die Baukastenstruktur eines FML-Systems können Aufschluss über mögliche Zerlegungspunkte liefern.

Meist überlappend mit den vorgelagerten Schritten beginnt der Implementierungsprozess, wenn eine quantifizierte Aussage erforderlich ist. Implementierung ist in diesem Zusammenhang sehr weit gefasst zu verstehen und reicht von der mathematischen Formulierung bis hin zur Implementierung in einer Programmiersprache.

Der gesamte Modellbildungsprozess wird im Team und im Dialog mit verschiedenen Interessengruppen im Umfeld des zu untersuchenden Systems durchgeführt. Die Qualität der *Kommunikation* innerhalb des Teams und mit der Projektumgebung ist mit entscheidend für die Akzeptanz und die Umsetzung der mit Hilfe des Modells gewonnenen Erkenntnisse. Diese Kommunikation wird unterstützt durch die laufende Modelldokumentation, weshalb diesem Blickwinkel bei der Auswahl des Modelltyps, der Beschreibungsmittel und der Implementierung Beachtung geschenkt werden muß.

Die beschriebene Reihenfolge der Schritte stellt einen sinnvollen Ablauf dar. Der Modellbildungsprozess ist jedoch keine ideale, determinierte, unumkehrbare Abfolge von Schritten, sondern durch parallele und iterative Bearbeitung einzelner Aufgaben gekennzeichnet. Die Herausforderung für die Steuerung des Modellbildungsprozesses liegt darin, dass zwangsläufig eine laufende Konkretisierung der Ziele und damit auch eine Aktualisierung der Anforderungen an das Modell erfolgt.

4 Auswahl von Modelltyp und Beschreibungsmittel

Die zur Modellierung verwendeten Beschreibungsmittel werden im Rahmen der Richtlinie in Bezug zur Phase, in der sie erfahrungsgemäß eingesetzt werden, dargestellt. Eine durchgängige Darstellung des abzubildenden Systems mittels eines einzigen Beschreibungsmittels scheint eine einleuchtende Forderung zu sein. Dem ist entgegenzuhalten, dass in frühen Phasen der Modellierung eine formale Beschreibung nicht möglich, zu einer womöglich notwendigen späteren Quantifizierung des Systemverhaltens jedoch unumgänglich ist. Weiterhin zeigt sich, dass häufig eine aufwändige quantitative Darstellung entbehrlich ist, wenn es durch geeignete Konzentration auf die wesentlichen Modellelemente und durch gute Problemdekomposition gelingt, ein Systemverständnis über Ursache-Wirkungskettendiagramme zu erzielen.

Ausgehend von der *Aufgaben- und Zielformulierung* ist deshalb stets im Auge zu behalten, in welcher Phase welche Aussagen mit Hilfe des Modells getroffen werden sollen. Diese Aussagen lassen sich unterteilen in:

- Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Systembestandteilen.
- Verifikation der grundsätzlichen Funktionsfähigkeit von Lösungsansätzen.
- Ermittlung des Ressourcenbedarfs, um eine gestellte Aufgabe bei gegebener Systemlast zu bewältigen.
- Sensitivitätsanalysen, die bestehen können aus:
 - Ermittlung des Einflusses der Systemumgebung auf die Systemleistung.
 - Ermittlung der für die Systemleistung besonders ausschlaggebenden Systemparameter (Stellhebel).
 - Bestimmung der Parameterintervalle, in denen das System auf Stellhebelveränderungen reagiert.
- Verifikation, Untersuchung und Vergleich von Betriebsstrategien.

Ein Ergebnis der Systemanalyse ist die Bestimmung der Systemeigenschaften, die im Modell Berücksichtigung finden müssen. Zu denjenigen Eigenschaften, die für die Auswahl der Beschreibungsmittel von großer Bedeutung sind, zählen:

- Einfluß des Zufalls auf das Systemverhalten.
- Einfluß der Zeit auf das System (Zeitvariant oder invariant, stationär oder instationär).
- Kopplung des Systems mit der Außenwelt statisch oder dynamisch.
- Nebenläufigkeiten und Synchronisation von Prozessen sind ergebnisbestimmend.

Weiterhin ist der Anwendungsbezug des Modells zu berücksichtigen, wenn es darum geht, den Modelltyp und das geeignete Beschreibungsmittel zu bestimmen. Im Rahmen der Richtlinie wird hier im Wesentlichen zwischen Planungsunterstützung, Betriebsoptimierung und Anwenderschulung unterschieden werden.

Hier hat sich das Richtlinienerteam zur Aufgabe gemacht, eine Gegenüberstellung von möglichen Aussagen und Systemeigenschaften zu erarbeiten, die aufzeigt, welche Beschreibungsmittel und Modelltypen die notwendigen Aussagen liefern können. Ein weiterer Aspekt bei der Auswahl des Beschreibungsmittels ist die Zeitdauer, die dem Modell zur Verfügung steht, um eine Aussage zu erzielen. Insbesondere bei Modellen, die während der Betriebsphase genutzt werden, kann dies eine erhebliche Restriktion darstellen. Angesichts der erheblichen Fortschritte, die in der Vergangenheit auf dem Gebiet der rechnerimplementierten Modelle erzielt wurden und voraussichtlich noch erzielt werden können, ist dieser Gesichtspunkt für die Richtlinie nicht zu hoch zu bewerten, da sich die Grenzen laufend verschieben werden. Praktisch hingegen kann dies eine harte Restriktion darstellen.

5 Teamzusammensetzung und Kommunikation

Die erfolgreiche, d.h. aussagekräftige und gleichzeitig effiziente Modellierung von logistischen, materialflußtechnischen und fördertechnischen Systemen erfordert die Beteiligung von Personen, die als Gruppe das abzubildende System kennen sowie

Erfahrung mit dem Modellbildungsprozess und den benutzten Beschreibungsmitteln mitbringen.

Diese Gruppe erarbeitet sich im Laufe des Modellbildungsprozesses das Verständnis für die Zusammenhänge des zu untersuchenden Systems und wird dabei bereits vor der formalen Darstellung des Modells und der numerischen Auswertung mit Hilfe dieses Modells zu Erkenntnissen gelangen, die der Projektumgebung, also dem Auftraggeber, den künftigen Nutzern und ggfs. einer Entscheidungsebene vermittelt werden muß. Gleichzeitig entsteht innerhalb des Teams eine Eigendynamik, die dazu führen kann, dass die Systemstudie sich nicht an den Zielsetzungen, sondern am technisch machbaren orientiert.

Grundsätzlich gelten deshalb alle Regeln guten Projektmanagements auch für die Durchführung von Modellbildungsprozessen.

Bei der Strukturierung eines Projektes und seines Ablaufes ist jedoch besonders zu berücksichtigen, dass während des Projektes systematisch Erkenntnisgewinn angestrebt wird, der dem Teamumfeld so mitgeteilt werden muss, dass diese, möglicherweise überraschenden, Erkenntnisse verarbeitet und akzeptiert werden können. Gleichzeitig hat in diesem Dialog das Teamumfeld die Aufgabe, diese Erkenntnisse zu prüfen und damit gleichzeitig einen ersten Validierungsschritt vorzunehmen.

Da die mit Hilfe des Modells gewonnenen Ergebnisse häufig langfristige Konsequenzen in Form einer erstellten Anlage oder eines eingeführten Prozesses haben, oder das Modell im operativen Betrieb als Teil eines Steuerungs- und Regelungssystems verwendet wird, ist darauf zu achten, dass die Dokumentation des Modells unabhängig von den Erstellern und technisch auch langfristig erschließbar sein muss.