Günter, A. (Hrsg.): Wissensbasiertes Konfigurieren - Ergebnisse aus dem Projekt PROKON. Infix, Sankt Augustin, 1995.

21

Einsatz von Simulationsverfahren bei der Konfigurierung

Sven Hader

Kurzfassung

Nachdem sich die Simulation in den letzten Jahren in vielen Bereichen als adäquater Ansatz zur Analyse technischer und nicht-technischer Systeme durchgesetzt hat, gewinnt sie auch auf dem Gebiet der Konfigurierung zunehmend an Bedeutung. In diesem Beitrag wird deshalb aufbauend auf einer Beschreibung erfolgversprechender Einsatzmöglichkeiten der Simulation bei der Konfigurierung ein Simulationskonzept für KONWERK vorgestellt.

21.1 Einleitung

Die Computersimulation (im folgenden kurz *Simulation* genannt) beschäftigt sich mit der Vorhersage des Verhaltens realer oder hypothetischer Systeme durch Untersuchung von Computermodellen dieser Systeme (siehe z.B. [Bratley et al. 1987] und [Widman et al. 1989]). Modelle stellen dabei Abbilder der Systeme dar, in denen jedoch nur die problemrelevanten Aspekte repräsentiert werden. Dadurch ergibt sich eine Verminderung der Komplexität, die oft eine Verhaltensvorhersage erst möglich macht. Grundsätzlich ist die Verwendung von Modellen gegenüber den Originalsystemen im weitesten Sinne "kostengünstiger".

Je nach Art der Zustandsübergänge in den verwendeten Modellen kann zwischen *kontinuierlicher* und *diskreter* Simulation unterschieden werden. Bei der kontinuierlichen Simulation treten stetige Veränderungen der Zustandsvariablen auf. Diese Form der Simulation wird vorwiegend bei physikalischen und biologischen Systemen verwendet, bei den Modellen handelt es sich meist um Differentialgleichungssysteme. Bei der diskreten Simulation treten (sprunghafte) Veränderungen der Zustandsvariablen nur zu diskreten Zeitpunkten auf. Diese Form der Simulation wird bei einer Vielzahl technischer Systeme (z.B. logistische Systeme, Rechnersysteme) verwendet, bei den Modellen handelt es sich meist um algorithmische Beschreibungen von Aktions- bzw. Ereignissequenzen.

Eine Simulation wird durchgeführt, indem ein Modell (i.allg. repräsentiert durch ein Computerprogramm) unter Verwendung einer Menge von Eingangsparametern "abgearbeitet" wird. Das Ergebnis der Simulation ist eine Menge von Ausgangsparametern (Kenngrößen), die das konkrete Verhalten des Modells widerspiegeln. Diese können verwendet werden, um

- den Ist-Zustand des Modells festzustellen (Verifizierung) oder
- durch Rückschlüsse auf zu ändernde Eingangsparameter einen Soll-Zustand des Modells zu erreichen (Modifizierung/Optimierung).

Nachdem sich die Simulation in den letzten Jahren in vielen Bereichen als adäquater Ansatz zur Analyse technischer und nicht-technischer Systeme durchgesetzt hat (nicht zuletzt durch die Verbesserung der hard- und softwaretechnischen Basis), gewinnt sie auch auf dem Gebiet der Konfigurierung zunehmend an Bedeutung. Ihr Vorteil besteht in der Fähigkeit, Werte von Objekteigenschaften (Kenngrößen) zu ermitteln, die mit anderen Verfahren (z.B. analytisch mittels Formeln) nicht oder nur mit großem Aufwand bestimmbar sind, weil

- die Struktur der Objekte zu komplex ist
  (z.B. sehr viele Teilobjekte, komplizierte Relationen zwischen den Teilobjekten)
- das Wissen über Struktur und Eigenschaften der Objekte unvollständig bzw. unsicher ist (vgl. schwach strukturierte Domänen, Kapitel 3) oder
- stochastische Einflüsse berücksichtigt werden müssen.

Dadurch kann die Simulation innerhalb der folgenden Problemkreise als Hilfsmittel sinnvoll eingesetzt werden:

- Festlegung bzw. Einschränkung der Eigenschaftswerte von Domänenobjekten
  (ggf. in Verbindung mit Optimierungsverfahren zur Bestimmung optimaler Werte, siehe auch Kapitel 2 und 14),
- Auswahl optimaler Domänenobjekte bzw. (Teil-)Konfigurationen
  (z.B. in Verbindung mit Entscheidungsverfahren, Kapitel 15),
- Test von Domänenobjekten bzw. (Teil-)Konfigurationen auf die Erfüllung vorgegebener Restriktionen,
- Generierung von Modifizierungshinweisen zur Reparatur von konfliktbehafteten Teilkonfigurationen (siehe Kapitel 16)

In diesem Beitrag soll ein Simulationskonzept für KONWERK vorgestellt werden. Es basiert auf einer Untersuchung bisheriger Simulationsansätze bei der Konfigurierung (Abschnitt 21.2) und insbesondere auf dem Simulationskonzept von PLAKON (Abschnitt 21.3). Die Vorstellung des Konzepts erfolgt in Abschnitt 21.4 und eine abschließende Zusammenfassung in Abschnitt 21.5.

21.2 Stand des Simulationseinsatzes

Trotz der in der Einführung geschilderten Möglichkeiten wird die Simulation in den meisten heute existierenden Konfigurierungssystemen *nicht* eingesetzt. Die Ursachen dafür können in den betrachteten Domänen bzw. den objektiv vorhandenen Nachteilen der Simulation liegen, jedoch auch subjektiver Natur sein:

- Die Simulation sollte nur für solche Domänen verwendet werden, für die keine geeigneten analytischen Verfahren existieren, die denselben Zweck erfüllen.
- Der Einsatz der Simulation bedeutet meist einen erhöhten Aufwand sowohl bei der Entwicklung geeigneter Modelle als auch bei der Durchführung aussagekräftiger Simulationsstudien. Darüber hinaus ist oftmals eine zusätzliche Auswertung und Aufbereitung der ermittelten Ergebnisse notwendig.
- Sowohl die Akzeptanz der Simulation als auch der Kenntnisstand zu Einsatzmöglichkeiten und Konzepten ist bei den Entwicklern von Konfigurierungssystemen oft relativ gering (siehe hierzu die Studien in [Bock et al. 1993] und [Gangl 1993]). Eine Einbeziehung von Simulations-Fachleuten in die Entwicklung ist meist nicht möglich.

Die Konfigurierung von Fertigungsanlagen (siehe z.B. [Hader 1995; Hausknecht 1989; Weule et al. 1988]) ist eine der wenigen Domänen, für die bisher simulationsunterstützte Konfigurierungssysteme existieren. Die Simulation wird bei diesen Systemen entweder zur Verifizierung von Lösungskonfigurationen oder zur Auswahl der besten aus einer Menge von Konfigurationen verwendet. Im ersten Fall können z.T. auch Hinweise zur "Reparatur" unkorrekter Konfigurationen generiert werden (z.B. anhand einer Schwach-

stellenanalyse). Die Bereitstellung der für die Simulation notwendigen Modelle erfolgt in Form von externen Simulationsprogrammen. Diese werden entweder durch den Entwickler des Konfigurierungssystems implementiert (als einzelnes Programm bzw. Programmbibliothek) oder durch einen automatischen Programmgenerator zur Laufzeit erzeugt (bisher nur für spezielle eingeschränkte Domänen).

PLAKON (siehe [Cunis et al. 1991]) ist eines der ersten Konfigurierungssysteme, das ein fundiertes Simulationskonzept besitzt und insbesondere eine Integration der Simulation in den laufenden Konfigurierungsprozeß ermöglicht. Deshalb und da PLAKON als Vorgängerprojekt von PROKON eine besondere Stellung einnimmt, soll das Simulationskonzept von PLAKON im folgenden Abschnitt näher erläutert werden.

21.3 Das Simulationskonzept von PLAKON

Die Simulation wird in PLAKON zur Bewertung und Auswahl von Teilkonfigurationen bzw. als *Bearbeitungsverfahren* zur Bestimmung von Eigenschaftswerten von Domänenobjekten eingesetzt (vgl. auch [Strecker 1991a; Strecker 1991b] und [Günter 1991b]). Eigenschaften lassen sich in *Parameter* (beeinflussen das Objektverhalten) und *Kenngrößen* (spiegeln das Objektverhalten wieder) unterteilen. Da bei der Simulation das Eingabe-Ausgabe-Verhalten von Objekten (unidirektional) nachgebildet wird, können nur Werte von Kenngrößen-Eigenschaften *direkt* bestimmt werden. Um Werte von Parameter-Eigenschaften bestimmen zu können, wird die Simulation im Rahmen eines Suchprozesses (Auswahl bzw. Optimierung) verwendet, um *indirekt* den Parameterwert zu finden, der ein gewünschtes Verhalten realisiert. Dadurch kann die Simulation in PLAKON u.a. benutzt werden, um

- Domänenobjekte oder (Teil-)Konfigurationen zu bewerten
  (durch Ermittlung der Werte von Kenngrößen-Eigenschaften und Vergleich mit den vorgegebenen Restriktionen)
- optimierte Parameter für Domänenobjekte zu bestimmen
  (durch Suche nach Werten für Parameter-Eigenschaften, die ein vorgegebenes Verhalten realisieren)

Diese Möglichkeiten werden in PLAKON in Form eines Zusatzmoduls "Simulation" bereitgestellt, das als wesentliches Element eine sogenannte *Simulationskomponente* enthält. Diese Simulationskomponente übernimmt alle im Zusammenhang mit der Simulation stehenden Tätigkeiten wie Bereitstellung der Eingabedaten, Ablaufsteuerung der Simulation und Auswertung der Ergebnisdaten. Sie wird aktiviert, wenn im Laufe der Konfigurierung die Eigenschaft eines Domänenobjekts bestimmt werden soll, für die als Bearbeitungsverfahren "Simulation" vorgesehen ist. Die Simulationskomponente entnimmt einer Facette dieser Eigenschaft ein spezielles Objekt *Simulationsexperiment*[39], das alle für die Simulation notwendigen Informationen enthält. Ausgehend von diesen Informationen führt die Simulationskomponente Simulationen durch, die der Ermittlung des gesuchten Eigenschaftswertes dienen. Der ermittelte Eigenschaftswert wird auf Einhaltung der aktuell zulässigen Wertebereiche geprüft, wobei ggf. der Konfigurierungssteuerung ein Konflikt signalisiert und eine Konfliktbehandlung eingeleitet wird.

Simulationsexperimente enthalten als wesentliche Elemente eine Reihe von *Simulationsmethoden*. Diese stellen *funktionale Modelle* für das Verhalten von Domänenobjekten dar (d.h. sie beschreiben deren Eingabe-Ausgabe-Verhalten) und können sowohl als interne Funktionen als auch als externe Programme realisiert sein. Die Ablaufsteuerung der Simulationskomponente sorgt für die sequentielle Ausführung der beteiligten

[39] wenn im folgenden von "Simulationsexperiment" gesprochen wird, dann ist das entsprechende PLAKON- bzw. KONWERK-Konstrukt gemeint und nicht der gleichlautende Begriff aus der Simulationsterminologie

Simulationsmethoden in der im Simulationsexperiment festgelegten *linearen* Sequenz. Hier zeigt sich eine wesentliche Einschränkung dieses Simulationskonzepts, da es nicht ohne größte Schwierigkeiten möglich ist, Systeme mit *dynamischem* Verhalten (insbesondere mit Rückkopplungen) zu simulieren.

21.4 Ein Simulationskonzept für KONWERK

Das in diesem Abschnitt beschriebene Konzept (siehe auch [Hader 1995]) basiert auf dem Simulationskonzept von PLAKON, erweitert dieses jedoch in verschiedene Richtungen. Eine Realisierung in KONWERK steht noch aus, so daß die Beschreibung wegen der fehlenden praktischen Erfahrungen an manchen Stellen recht allgemein gehalten ist.

Die Erweiterung von KONWERK zum Einsatz von Simulationsverfahren sollte aus einem *Simulations-Grundmodul* und einer Reihe von *Simulations-Ergänzungsmodulen* bestehen. Das Grundmodul stellt Funktionen zur grundlegenden Integration der Simulation in den Konfigurierungsprozeß zur Verfügung, die Ergänzungsmodule bieten zusätzliche Funktionen an, die den Einsatz verschiedenartiger Simulationsverfahren (kontinuierliche, ereignisorientierte, qualitative usw.) ermöglichen. Durch diese Aufteilung soll erreicht werden, daß einerseits die Realisierung eines einfachen Simulationskonzepts (in Form des Grundmoduls) leicht möglich ist und andererseits Erweiterungen dieses Konzepts (in Form von Ergänzungsmodulen) je nach Bedarf sukzessive vorgenommen werden können.

Simulationen werden in KONWERK durch *Simulationsexperimente* beschrieben, die alle für die Durchführung der Simulation notwendigen Informationen beinhalten, wie

- das zugrundeliegende Simulationsverfahren
- eine Menge von Simulationsmethoden
- die funktionalen Beziehungen zwischen den Simulationsmethoden
- notwendige Vorbedingungen zur Durchführung der Simulation
  (Welche Objekte müssen existieren? Welche Eigenschaften müssen bereits belegt sein?)

Die Aktivierung der Simulation im Verlauf des Konfigurierungsprozesses kann entweder bei der Bewertung und Auswahl von Teilkonfigurationen oder bei der Durchführung eines Konfigurationsschritts (Einsatz als *Bearbeitungsverfahren*) erfolgen. In letzterem Fall wird die Simulation i.allg. dann aktiviert, wenn der Wert einer Objekteigenschaft bestimmt werden soll, die eine Facette :bearbeitungsverfahren (Simulation ...) besitzt (siehe Beispiel 21.1).

```
(def-do
   :name              werkzeugmaschine
   :oberkonzept       maschine
   :parameter
         ( mittlere-lebensdauer       [800.0 1200.0] )
         ( mittlere-reparaturdauer    [1.0 20.0] )
         ( mittlere-verfuegbarkeit    [0.0 1.0]
            :bearbeitungsverfahren    (Simulation, Benutzeranfrage)
            :sim-experiment           se-verfuegbarkeit )
   :sim-methoden     ( sm-verfuegbarkeit )      )
```

Beispiel 21.1: Verfügbarkeitsermittlung durch Simulation

Zu Domänenobjekten, die im Rahmen von Simulationen untersucht werden sollen, müssen entsprechende *Simulationsmethoden* existieren, die funktionale Modelle dieser Objekte darstellen. Diese enthalten u.a.

- eine Repräsentation des funktionalen Modells
- Informationen zur Kombination mit anderen funktionalen Modellen
- Informationen zur Anbindung der Eingangs- und Ausgangsparameter des Modells an die Eigenschaften der konkreten Domänenobjekt-Instanzen (ggf. mit Angabe zulässiger Wertebereiche)
- Informationen zur Ausführung des Modells

Da Modelle stets nur bestimmte problemrelevante Aspekte abbilden (siehe Einleitung), können für ein Domänenobjekt durchaus auch mehrere Simulationsmethoden existieren. Durch sie können z.B. verschiedene Teilfunktionen eines Objekts oder unterschiedliche Aggregierungsniveaus beschrieben werden.

Zur Repräsentation der funktionalen Modelle sind eine Reihe von Ansätzen denkbar. Am einfachsten (aber auch am inflexibelsten) ist sicher die Verwendung vorgefertigter externer Simulationsprogramme. Besser geeignet scheint eine formale Repräsentation, die das Verhalten des Modells "beschreibt" und bei Bedarf in eine ausführbare Form übersetzt werden kann. Diese Repräsentation sollte erweiterbar sein, da neu hinzukommende Simulationsverfahren meist auch (teilweise) neue Beschreibungs-Konstrukte erfordern. Sollten sich diese Konstrukte mit den existierenden Mitteln von KONWERK nicht darstellen lassen, müßten in den jeweiligen Ergänzungsmodulen entsprechende Erweiterungen realisiert werden.

Soll durch eine Simulation das Zusammenwirken mehrerer Domänenobjekte untersucht werden, besteht die Notwendigkeit, die funktionale Interaktion dieser Objekte (repräsentiert durch ihre Modelle) geeignet zu beschreiben. Dazu bietet sich der Ansatz der *komponentenorientierten Modellierung* an (siehe u.a. [Stallman et al. 1977] und [Rehbold 1991]). Dieser Ansatz geht davon aus, daß sich (insbesondere technische) Systeme in eine Menge von in sich abgeschlossenen Komponenten unterteilen lassen, die ausschließlich über explizite *Verbindungen* mit anderen Komponenten interagieren. Verbindungen können gerichtet oder ungerichtet sein. Die Komponenten besitzen definierte Schnittstellen, sogenannte *Ports*, über die Verbindungen zu anderen Komponenten geknüpft werden können. Ports können (zumindest bei gerichteten Verbindungen) in Eingangs-Ports (für Einflüsse von "außen") und Ausgangs-Ports (für Einflüsse nach "außen") unterteilt werden.

Entsprechend diesem Ansatz besitzen die funktionalen Modelle von "interaktionsfähigen" Domänenobjekten eine Reihe von Ports (repräsentiert durch Slots :in-ports bzw. :out-ports in den Simulationsmethoden). Durch Verbindungen zwischen den Ports der Modelle (repräsentiert durch n:m-Relationen in den Simulationsexperimenten) können beliebige Interaktionsbeziehungen dargestellt und simuliert werden[40].

21.4.1 Das Simulations-Grundmodul

Das Grundmodul beinhaltet eine Funktion simulationskomponente, die die Verbindung zwischen dem Simulationsmechanismus und der Konfigurierungssteuerung realisiert. Bei der Aktivierung der Simulation durch die Steuerung wird dieser Funktion ein konkretes Simulationsexperiment übergeben.

Als erstes wird durch die Simulationskomponente geprüft, ob die Simulation überhaupt durchgeführt werden kann. Dabei wird im wesentlichen getestet, ob alle notwendigen Domänenobjekte bereits existieren und die Eigenschaften, die als Eingangsparameter der Simulation dienen, bereits konkrete Werte besitzen. Ggf. werden noch notwendige Anbindungen von Simulationsdaten an Domänenobjekt-Eigenschaften vorgenommen.

[40] In PLAKON demgegenüber sind die Interaktionsbeziehungen auf lineare Sequenzen beschränkt, so daß eine Modellierung und Simulation von *dynamischem* Verhalten (z.B. Rückkopplungen) nicht möglich ist.

Kann die Simulation im augenblicklichen Stadium der Konfigurierung noch nicht durchgeführt werden, wird sie zurückgestellt und es werden ggf. alternativ mögliche Bearbeitungsverfahren verwendet.

Als nächstes wird die generische Funktion simulation-durchfuehren aufgerufen, die in Abhängigkeit vom zu verwendenden Simulationsverfahren die Simulation entweder direkt ausführt oder dazu spezielle, von den Ergänzungsmodulen bereitgestellte Funktionen benutzt. Um den Aufbau des Grundmoduls möglichst einfach zu halten, ermöglicht dieses nur die direkte Ausführung von einfachen Simulationen, die aus einzelnen externen Programmen oder internen Formeln bestehen.

Anschließend wird eine Auswertung der erzeugten Ergebnisse durchgeführt. Das ist insbesondere bei der Verwendung *stochastischer* Modelle (enthalten Zufallsgrößen) notwendig, da diese keine exakten Werte liefern, sondern nur Schätzwerte. Anhand dieser Schätzwerte lassen sich Konfidenzintervalle ableiten, die den gesuchten Wert einschließen (bei einer gewissen Irrtumswahrscheinlichkeit). In diesem Fall kann der entsprechende Eigenschaftswert deshalb nicht konkret festgelegt sondern nur einschränkt werden. Es existieren zwar statistische Verfahren zur Verkleinerung der Konfidenzintervalle (d.h. zur Erhöhung der Schätzgenauigkeit, siehe [Bratley et al. 1987]), diese gehen jedoch sehr stark auf Kosten der Simulationslaufzeit.

Zum Schluß werden die durch die Simulation bestimmten Eigenschaftswerte in die aktuelle Teilkonfiguration eingetragen. Zu beachten ist, daß neben der Eigenschaft, die zur Simulationsaktivierung geführt hat, ggf. noch weitere Eigenschaften desselben oder anderer Domänenobjekte mit Werten belegt werden können. Hier zeigt sich eine gewisse Analogie zur Constraint-Propagierung, wobei Simulationen jedoch im allgemeinen nur *unidirektional* ausgeführt werden können.

Werden bei der Wertbelegung keine vorgegebenen Wertebereiche verletzt, kann die Simulation erfolgreich beendet werden. Treten jedoch Konflikte auf, dann wird eine Konfliktauflösung veranlaßt, die z.B. mittels Reparaturanweisungen versucht, den erkannten Konflikt zu beseitigen (siehe Kapitel 16). Mögliche Reparaturanweisungen können u.a. ausgehend von den Simulationsergebnissen und domänenabhängigem Kausalwissen (bei Fertigungssystemen z.B. Wissen zur Engpaßbeseitigung) generiert und ihre Wirksamkeit anhand von Test-Simulationen überprüft werden. Eine weitergehende Unterstützung der Konfliktauflösung durch die Simulation könnte in der Durchführung von Sensitivitätsanalysen bestehen, die zusätzliche Erkenntnisse z.B. zu den Einflüssen von Eingangs- auf Ausgangsparameter liefern und somit eine Unterscheidung zwischen "wichtigen" und "weniger wichtigen" Eigenschaften bzw. Objekten erlauben (bezogen auf den betrachteten Konflikt).

21.4.2 Die Simulations-Ergänzungsmodule

Jedes Ergänzungsmodul stellt die Funktionalität für das Durchführen von Simulationen eines speziellen Simulationsverfahrens zur Verfügung. Mögliche Simulationsverfahren können u.a. sein:

- kontinuierliche Simulation,
- diskrete ereignisorientierte Simulation und
- qualitative Simulation

Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, daß Simulationen in Form von externen Simulationsprogrammen ausgeführt werden. Zu diesem Zweck ist es notwendig, das konkrete Simulationsmodell, das i.allg. aus einer Menge formal repräsentierter funktionaler Modelle und den zwischen ihnen definierten Verbindungen besteht, in ein ausführbares Programm zu übersetzen. Diese Übersetzung erfolgt in einem

Programmgenerator, der eine spezielle Wissensbasis mit Wissen über die Umsetzung formaler Modellkonstrukte in konkrete Sprachkonstrukte des Zielsystems (z.B. Simulationssprache) enthält. Sinnvoll erscheint dabei die Verwendung eines allgemeinen "Rahmens", der bereits Konstrukte für die bei diesem Simulationsverfahren notwendigen Mechanismen enthält (z.B. für Nachrichtenaustausch, Datensammlung, Ereignislisten). Durch Austausch der verwendeten Wissensbasis ist eine schnelle Anpassung an andere (z.B. domänenabhängige) Zielsysteme möglich.

Nachdem ein ausführbares Programm generiert wurde, wird die Simulation durchgeführt. Zum Datenaustausch zwischen dem Programm und KONWERK können dabei Textdateien, Pipes oder andere Kommunikationsmechanismen verwendet werden. Nach Beendigung der Simulation werden die ermittelten Ergebnisse im Grundmodul weiter verarbeitet.

21.5 Zusammenfassung

Dieser Beitrag ist als Motivation für einen breiteren Einsatz der Simulation bei der Konfigurierung zu verstehen. Es wurde gezeigt, daß die Simulation mit ihren Möglichkeiten zur funktionalen Analyse von Systemen dazu beitragen kann, über die einfache Wertermittlung hinausgehende Aufgaben bei der Verifizierung, Optimierung und Reparatur von Konfigurationen zu übernehmen. Auch und gerade in den Problemkreisen "Innovatives Konfigurieren" und "Kreatives Konfigurieren" sind sinnvolle Einsatzgebiete der Simulation zu sehen. Dazu eine kurze Motivation:

- Die Simulation besitzt besondere Fähigkeiten bei der Handhabung von unvollständigem oder unsicherem Wissen. Da die zugrundeliegenden Modelle im Prinzip beliebig angepaßt werden können (was bei analytischen Methoden i.allg. nicht möglich ist), kann das vorhandene Wissen optimal ausgenutzt werden. Auf fehlendes oder unsicheres Wissen kann durch geeignete Vereinfachungen, Zusammenfassungen und Annahmen innerhalb der Modelle reagiert werden (siehe z.B. qualitative Simulation).
- Die Simulation leitet die Funktion von zusammengesetzten Systemen aus den Funktionen und Beziehungen der enthaltenen Elemente her. Dadurch können beliebig komplexe oder "ungewöhnliche" Systeme einer Domäne untersucht werden, wenn die Funktionalität der atomaren Elemente bekannt ist. Die Analyse von neuartigen Teilkonfigurationen, für die noch kein Erfahrungswissen vorliegt, stellt somit kein Problem dar.
- Die Simulation kann zur Aufdeckung neuen Wissens beitragen, indem sie einen tiefen Einblick in die Funktionsweise von Systemen ermöglicht und z.B. über Sensitivitätsuntersuchungen wichtige von weniger wichtigen Parametern trennt und kausale Zusammenhänge aufdeckt.

Literatur

[Bock et al. 1993] S. Bock, R. Meyer. Akzeptanz der Simulationstechnik - Ergebnis einer Umfrage, in: A. Sydow (Hrsg.), *8. Symposium Simulationstechnik*, Berlin, (Seite 95-98), Vieweg-Verlag, 1993

[Bratley et al. 1987] P. Bratley, B.L. Fox, L.E. Schrage. *A Guide to Simulation*, Springer-Verlag, 1987

[Cunis et al. 1991] R. Cunis, A. Günter, H. Strecker (Hrsg.). *Das PLAKON-Buch*, Springer-Verlag, 1991

[Gangl 1993] P. Gangl. Simulation - eine Schlüsseltechnologie der 90er Jahre: Hoher Nutzen aber geringer Kenntnisstand in der Wirtschaft, in: A. Sydow (Hrsg.), *8. Symposium Simulationstechnik*, Berlin, (Seite 103-106), Vieweg-Verlag, 1993

[Günter 1991b] A. Günter. *Flexible Kontrolle in Expertensystemen für Planungs- und Konfigurierungsaufgaben in technischen Domänen*, Dissertation, Universität Hamburg; erschienen in der Reihe Dissertationen zur Künstlichen Intelligenz Band Nr. 3, infix-Verlag (1992), 1991

[Hader 1995] S. Hader. *Der Einsatz der Simulation bei der Konfigurierung*, PROKON-Memo, Nr. 58, TU Chemnitz, 1995

[Hausknecht 1989] M. Hausknecht. *Expertensystem zur Konfigurationsplanung flexibler Fertigungsanlagen*, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1989

[Rehbold 1991] R. Rehbold. *Integration modellbasierten Wissens in technische Diagnostik-Expertensysteme*, Dissertation, Universität Kaiserslautern, Fachbereich Informatik, 1991

[Stallman et al. 1977] R.M. Stallman, G.J. Sussman. Forward Reasoning and Dependency-Directed Backtracking in a System for Computer-Aided Circuit Design, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 9, (Seite 135-196), 1977

[Strecker 1991a] H. Strecker. Simulation in PLAKON, in: R. Cunis, A. Günter, H. Strekker (Hrsg.). *Das PLAKON-Buch*, (Seite 145-154), Berlin, Springer-Verlag , 1991

[Strecker 1991b] H. Strecker. *Simulationsgestützte Systemkonfigurierung am Beispiel automatischer Röntgenprüfsysteme*. Dissertation, Universität Hamburg, 1991

[Weule et al. 1988] H. Weule, D. Buchberger, R. Wieser: Wissensbasierte Konfigurierung und Optimierung von Fertigungsanlagen, in: *Technische Rundschau*, Vol. 16, (Seite 138-143), 1988

[Widman et al. 1989] L.E. Widman, K.A. Loparo, N.R. Nielsen (eds.). *Artificial Intelligence, Simulation, and Modeling*, Wiley & Sons, 1989