

Vorlesungsreihe Diskrete Simulation (Masterkurs)

Einführung in die diskrete Simulation

Prof. Dr.-Ing. Thomas Wiedemann
email: wiedem@informatik.htw-dresden.de



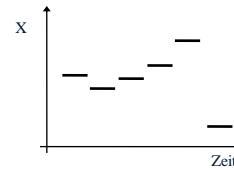
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DRESDEN (FH)
Fachbereich Informatik/Mathematik

Simulation von diskreten Modellen

- Einführung
- Abgrenzung zu kontinuierlichen Modellen
- Typische Anwendungsgebiete diskreter Simulatoren
- Aufbau diskreter Simulationssysteme
 - Grundarchitektur
 - Arten der Zeitsteuerung
- Software für die diskrete Simulation

Einführung in die diskrete Simulation

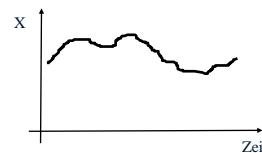
- Bei der Klassifizierung der Simulationsmodelle nach der Art des Zustandsüberganges der Systemparameter wird zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Systemen unterschieden.
- Bei den diskontinuierlichen Systemen, im folgenden kurz als **diskrete Systeme** bezeichnet, erfolgen die Zustandsübergänge nur zu ganz bestimmten Zeitpunkten. Zwischen den einzelnen Zeitpunkten bleiben die Zustandsgrößen konstant.
- Typische Anwendungsfälle zeitdiskreter Systeme ergeben sich bei
 - der allgemeinen Teilefertigung,
 - der Lagerhaltung abzählbarer Produkte,
 - in der Telekommunikation bei der Vermittlung einzelner Gespräche,
 - und im Verkehr.
- Wie bereits bei der Klassifizierung der Simulationsmodelle ausgeführt wurde, kann aus dem Zeitverhalten eines realen Systems nicht zwingend auf den Charakter des Modells geschlossen werden.



Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 3

Abgrenzung zu kontinuierlichen Modellen

- Kontinuierliche Modelle zeigen dagegen einen stetigen Werteverlauf.
- Die Modellierung erfolgt in der Regel mit mathematischen Gleichungen.
- Bei trägen Systemen (mit Gedächtnis) treten Differentialgleichungen auf.
- Aufgabe der kontinuierlichen Modellierung und Simulation ist dabei „nur“ die Formulierung der Differentialgleichungssysteme.
- Die Lösung ist Aufgabe der Software zur Kontinuierlichen Simulation, dies sind in der Regel numerische Differentialgleichungslöser mit den Methoden von Euler und Runge-Kutta .
 - Probleme treten speziell im Bereich der Genauigkeit und Stabilität auf.
 - Es können dabei auch sehr komplexe Systeme (z.B. Weltmodell von Forrester) modelliert und berechnet werden.
- Details zu dieser Gesamtheit finden Sie im Bachelorkurs „Simulation“ im Bereich „Kontinuierliche Simulation“ oder im optionalen Masterkurs „Kontinuierliche Simulation“ von Prof. Nestler.



Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 4

Typische Merkmale diskreter Simulationsmodelle

Ansatzpunkte zur Abgrenzung der diskreten von der kontinuierlichen Simulation:

PRO diskrete Simulation:

- eine zu betrachtende **Individualität der System- und Modellobjekte**
- Bei einer sehr geringen Anzahl von Systemobjekten (<30) spielt das Verhalten einzelner Objekte eine große Rolle.
- Ein stark typenabhängiges Verhalten erfordert eine getrennte Beschreibung für jeden Objekttyp. Bei kontinuierlichen Modelle führt dieser zur Aufspaltung der Modellvariablen und stark anwachsender Komplexität.
- Objekte mit Kombinationen von Eigenschaftstypen (z.B. Verhalten in Abhängigkeit von Farbe / Gewicht) sind mit einer Aufspaltung in Variablentypen kaum sinnvoll modellierbar

PRO kontinuierliche Simulation

- Stetige Werteverläufe (schwer realisierbar bei diskreten Simulationssystemen)
- sehr lange Betrachtungszeiträume (Langzeitstudien)
- bei sehr vielen Systemobjekten nivellieren sich die einzelnen zeitdiskreten Ereignisse und lassen sich kontinuierliche Modelle günstiger berechnen

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 5

Anwendungsgebiete diskreter Simulationsuntersuchungen

Bedien- und Warteschlangensysteme

- häufigstes Einsatzgebiet diskreter Simulationswerkzeuge
- Untersuchungen haben gezeigt, daß sich die Werkstücke in üblichen Fertigungseinrichtungen bis zu 90% der Zeit in Warteschlangen befinden.
- Handel und Dienstleistungssektor versuchen im Interesse der Kundenzufriedenheit die Anzahl und Länge der Warteschlangen zu reduzieren.

Beschreibung von Bedien- und Warteschlangen

- Als Ausgangsgrößen werden die Ankunftsrate der zu bedienenden Objekte (Personen, Teile, Fahrzeuge etc.) und die Bedienrate (z.B. in 20 Personen pro Stunde) verwendet.



- gesucht werden die mittlere Warteschlangenlänge, die mittlere Wartezeit pro zu bedienendem Objekt und bei stochastischen Einflüssen auch die maximale Warteschlangenlänge. Bei Bedarf werden auch verschiedene Strategien zur Organisation und Steuerung der Warteschlangen geprüft.

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 6

Anwendungsgebiete in der Industrie

Investitionsplanung von technischen Systemen und Fertigungsanlagen

- Kapazitätsberechnungen unter Berücksichtigung von stochastischen Einflußgrößen
- Bestimmung von Kenngrößen (Pufferlager, Materiallager)
- Layoutplanung zur Optimierung des innerbetrieblichen Transports
- Personalplanung

Operative Planung

- Reihenfolgeplanung für oder anstelle von Fertigungsleitständen mit dem Ziel der Auslastungsmaximierung und Einhaltung von Lieferzeiten
- Kostensimulation zur Minimierung der Fertigungskosten
- Personaleinsatzplanung
- zunehmende Bedeutung bei der Supply-Chain-Analyse

Zu modellierende Objekte

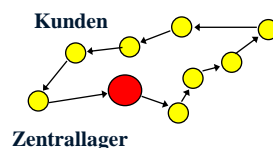
- Maschinen, (Werkzeuge) Transportmittel
- Produkte, Fertigungshilfsmittel
- Bedienpersonal, Wartungspersonal

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 7

Anwendungsgebiete in der Logistik

Logistik

- In sehr vielen Bereichen der Logistik und des Transports sind sowohl die Anforderungen (z.B. der Kunden) wie auch die Rahmenbedingungen (Wetter, Verkehrsstaus) stochastischer Natur.
- Bei gleichzeitiger Optimierung in sich widersprüchlicher Ziele (niedrige Kosten, hohe Kundenzufriedenheit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit von Spezialfahrzeugen) sind Standardverfahren wie die Simplexmethode kaum sinnvoll einsetzbar.
- Zur Bestimmung optimaler Fahrtrouten und Servicestrategien kann die diskrete Simulation sehr gut eingesetzt werden.
- Häufig erfolgt dabei der Test verschiedener Fahrtrouten und Strategien anhand von simulativen Planspielen unter Einbeziehung von zufälligen Modellparametern.



Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 8

Analyse und Optimierung technischer Systeme

Analyse von IT-Systemen

- Netzwerke : Bandbreitenberechnungen unter Berücksichtigung von stochastischen Einflußgrößen (Anwenderrequests, Störungen, externe Einflüsse)
- Serversysteme – Single core : Load Scheduling, max. Datenaufkommen
- Serversysteme – Parallel Systeme: opt. Load Balancing, auch bei Störungen oder Ausfällen, Havarie-Szenarien
- Mobile Kommunikation : Lokalisierung der Funkmasten, Netz-Abdeckung (Funklöcher, bes. Problem in den USA), Kundenakzeptanz von neuen Tarifmodellen

Verkehrssysteme

- Strategische, langfristige Verkehrsplanung (Flughafenausbau, Umgehungstrassen, Ansiedlung neuer Kunden in Gewebegebieten)
- Kurzfristige Vor-Ort-Planung bei Baumaßnahmen, Havarien
- Analyse und Optimierung von Fahrplänen (Bahn / Flugzeuge)

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 9

Grundlegende Bestandteile diskreter Simulationssysteme

Anstelle einer mathematischen Beschreibung erfolgt bei diskreten Simulationssystemen eine Systemnachbildung durch algorithmische Beschreibungen:

- Das Verhalten der Systemobjekte wird programmtechnisch nachgebildet.
- Eigenschaften der Systemobjekte werden auf Softwareobjekte mit entsprechenden Attributen übertragen.
- Der enge Zusammenhang zwischen Systemobjekt und Softwareobjekt war auch der Ausgangspunkt für die erste Realisierung objektorientierter Programmierung mit der der Simulationssprache SIMULA bereits in den 60er Jahren.

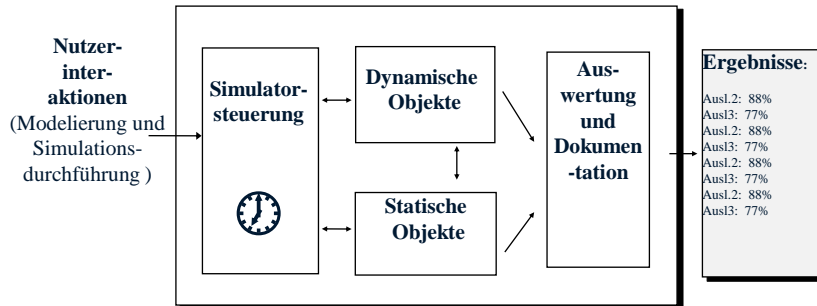
Die Modellobjekte (Entities) lassen sich in folgende Modellbestandteile unterteilen :

- **Statische (permanente) Objekte**, häufig auch als Einrichtungen (oder treffender engl. Facilities) bezeichnet, dienen zur Nachbildung der Bedienstationen, Bearbeitungseinrichtungen oder sonstigen Systemobjekten mit Servicefunktionen.
- **Dynamische Objekte** (engl. auch Transactions) realisieren die Darstellung sich dynamisch durch das System bewegenden Personen, Fahrzeuge oder Teile.

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 10

Aufbau von diskreten Simulationssystemen

- Die **Simulationssteuerung** und dabei insbesondere die **Zeitsteuerung** ist verantwortlich für die korrekte Nachbildung der Wechselwirkungen zwischen den statischen und dynamischen Objekten.
- Weitere Module dienen zur Aufzeichnung des Simulationsverlaufs für die spätere statistische Auswertung oder zur Animation von Abläufen.



Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 11

Anforderungen an die Simulatorsteuerung

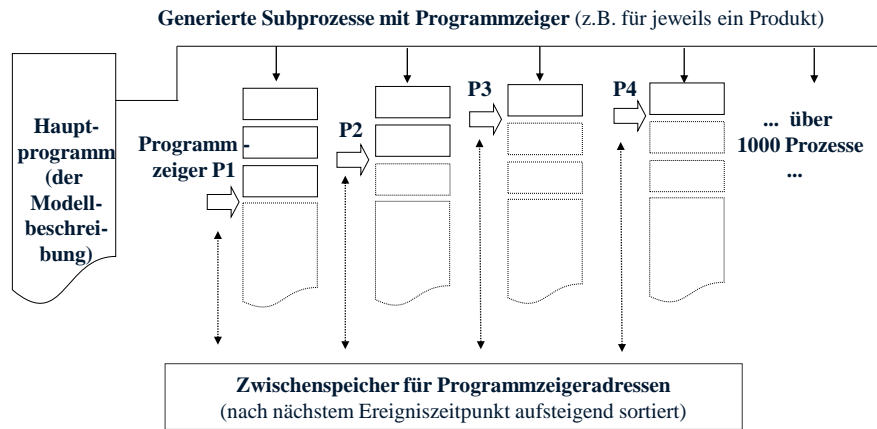
- Die Wechselwirkungen von Objekten in diskreten Simulationsmodellen sind in der Regel von einer hohen Parallelität der Vorgänge geprägt.
- Zu einem beliebigen Zeitpunkt laufen mehrere Prozesse unabhängig voneinander ab. Die Reihenfolge der Programmabarbeitung ergibt sich dabei allein aus der zeitlichen Folge der Einzelereignisse (engl. Events)
- Die Abbildung der parallelen Prozesse auf ein Ein-Prozessorsystem geht über die Anforderungen eines normalen Multitaskings hinaus. Aufgrund meist sehr vieler, dafür aber sehr kleiner Einzelereignisse muß das Umschalten von einem auf den anderen Prozeß sehr effizient und schnell erfolgen.
- Erste, spezialisierte Simulationssprachen verfügten über Koroutinenfähigkeit, d.h. die Eigenschaft, innerhalb einer sequentiellen Beschreibung des Objektverhaltens auf andere Prozesse umschalten zu können. Auf der Ebene der Assemblerprogrammierung läßt sich Koroutinenfähigkeit durch eine Manipulation der Rückkehradresse einer Funktion auf dem Prozessorstack erreichen.
- Heutige, moderne Programmiersprachen wie C++ oder DELPHI verfügen leider über keine Koroutinenfähigkeit. Eine direkte Modellierung und Simulation diskreter Systeme ist daher nur mit erhöhtem Aufwand möglich.

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 12

Quasiparalleler Ablauf der Simulation

Optionen zur Parallelisierung des Programmlaufs

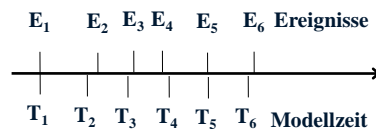
- Zerlegung des Simulationsprogramms in reine Funktionsaufrufe und Verwaltung der Funktionen über Vektoren von Pointern auf Funktionen
- Verwendung von Threads für eine kleine Anzahl von Prozessen (noch relativ aufwendig und langsam- vgl. System SILK von Kilgore [Kilg99])



Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 13

Zeitsteuerung mit fixen Zeitinkrementen

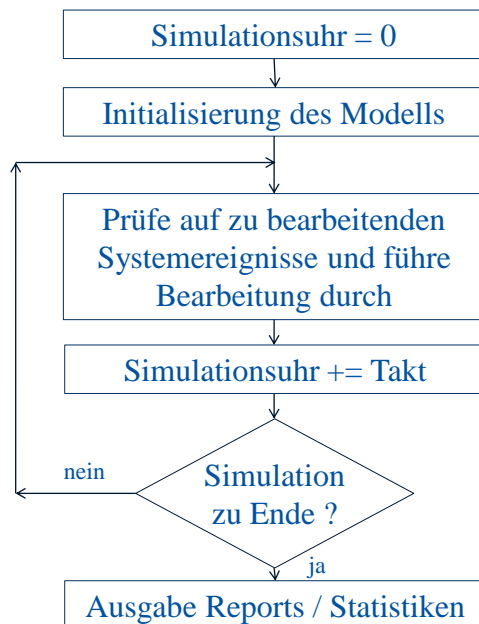
- Bei einer ersten, einfachen Lösung zur Zeitsteuerung kann bei der diskreten Simulation mit einem vorgegebenen, **FESTEN Zeitinkrement** gearbeitet werden.
- **Zu jedem Zeitpunkt T_i** wird überprüft ob entsprechende Ereignisse eingetreten sind bzw. ob ein Ereignis zu bearbeiten ist.



- Die Realisierung der Simulationssteuerung ist bei diesem Verfahren relativ einfach, da nur die Modellzeit mit dem Inkrement monoton steigend hochgezählt wird.
- Allerdings können vers. Ereignisse auf EINEN Zeitpunkt fallen (vgl. E3 u. E4) !
- Weniger einfach ist die Modellierung von zufälligen Ereignissen, da bei jedem Takt das Eintreten des Ereignisses überprüft werden muß. Bei komplexeren Verteilungsfunktionen muß dabei die Vergangenheit berücksichtigt werden, was zu einem beträchtlichen Aufwand in der Modellbeschreibung führt.
- **Das Verfahren der fixen Zeitinkremente wird nur selten und meist nur bei spezialisierten, hoch aggregierten Modellen verwendet, bei denen wenige Zustandsvariable sich sehr häufig ändern.**

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 14

Algorithmus der Zeitsteuerung mit fixen Zeitinkrementen



- Bei einer ersten, einfachen Lösung zur Zeitsteuerung kann bei der diskreten Simulation mit einem vorgegebenen, **FESTEN Zeitinkrement (=Takt)** gearbeitet werden.
- Zu jedem Zeitpunkt T_i wird überprüft ob entsprechende Ereignisse eingetreten sind bzw. ob ein Ereignis zu bearbeiten ist.
- Der Takt sollte in der Größe der modellüblichen Änderungen oder etwas darunter liegen, z.B. bei PKW-Verkehrssimulationen im Bereich von 0.1 bis 1 s, bei Schiffen im Minutenbereich und bei IT-Systemen im Bereich von Nano- bis Mikrosekunden.

Grafik in Anlehnung an [Sauer99] S. 31

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 15

Zeitsteuerung mit variablen Zeitinkrementen

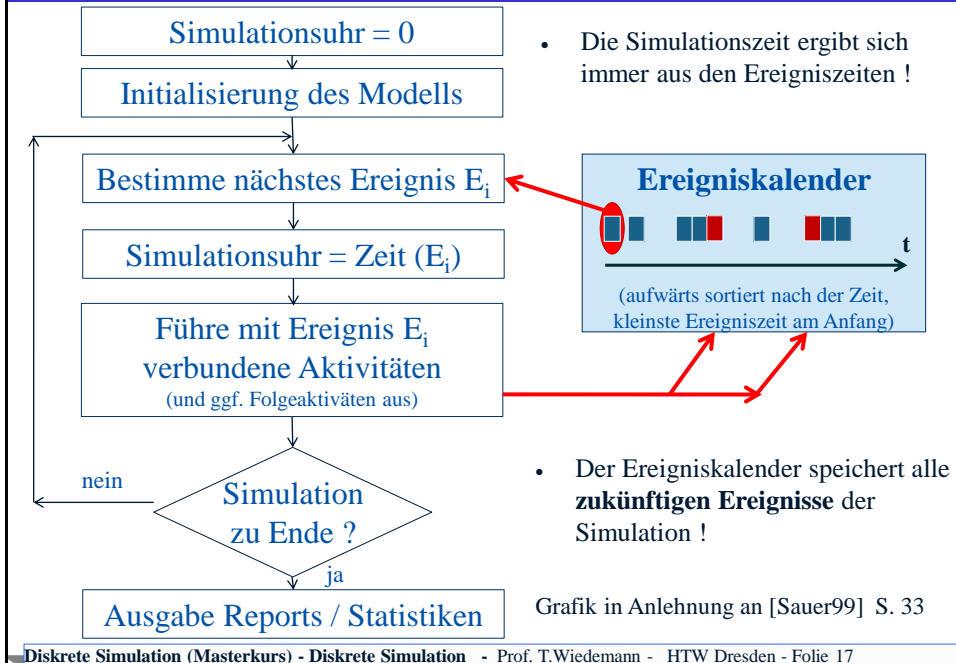
- Die einzelnen Zeitpunkte T_i können auch durch Auswertung des Modells ermittelt werden.
- Die Modellzeit wird damit nicht mehr durch die modellexterne Simulationssteuerung vorgegeben, sondern wird asynchron durch die Abläufe im Modell gesetzt.
- Ein Modellzeitpunkt entspricht mindestens einem Ereignis !



- Bei der **ereignisorientierten Simulation** wird durch die Simulationssteuerung ein **Systemkalender** (engl. Future event list) mit den nächsten möglichen Ereignissen geführt.
- Durch Bestimmung des Minimums aller anstehenden Ereigniszeitpunkte wird der nächste Modellzeitpunkt bestimmt und die Simulationsuhr entsprechend gesetzt.

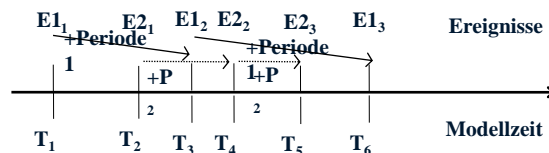
Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 16

Algorithmus der Zeitsteuerung mit variablen Zeitinkrementen



Berechnung des Systemkalenders

- Die „Termine“ im Systemkalender werden durch eine Vorausbestimmung des nächsten identischen Ereignisses bei der Abarbeitung des gerade aktuellen Ereignisses berechnet:
 - Bei unabhängigen, periodischen Ereignissen wird einfach die Periode zur aktuellen Simulationszeit addiert und das Ergebnis als nächster Ereigniszeitpunkt in den Systemkalender eingetragen.
 - Analog wird bei zufälligen Ereignissen bei der Abarbeitung des gerade ausgelösten Ereignisses durch die Addition eines per Zufallszahlengenerator und Verteilungsfunktion bestimmten Intervalles zur aktuellen Modellzeit das nächste zufällige Ereignis gleichen Typs in den Systemkalender eingetragen.
 - Bereits feststehende Ereignisse wie geplante Betriebsunterbrechungen oder das Simulationende können natürlich bereits zum Simulationsbeginn fest in den Systemkalender eingetragen werden. Die einzelnen Zeitpunkte T_i können auch durch Auswertung des Modells ermittelt werden.



Weitere Aufgaben der Simulationssteuerung

Start und Beendigung der Simulation

Zum definiertem Abbruch der Simulation haben sich folgende Verfahren bewährt:

- auf der Basis einer gewissen Anzahl von Durchläufen dynamischer Objekte, z.B. Simulationseende nach dem Passieren von 1000 Fahrzeugen oder der Bearbeitung von 500 Teilen,
- nach einer Zeitspanne innerhalb der Modellzeit, z.B. nach einer simulierten Zeit von 5 Wochen
- nach einer bestimmten Rechenzeit in der Echtzeit, dies ist besonders beim Test fehlerhafter Modelle günstig, da somit auf jeden Fall abgebrochen wird.

Konfigurationen während der Simulation

- Bei komplexen Modellen mit länger laufenden Simulationen empfiehlt sich die Möglichkeit einer Beeinflussung von
 - Simulationsparametern (Geschwindigkeit, Trace- und Debugoptionen)
 - Modellparametern (Entityattribute, Logistikooptionen etc.)
 - Visualisierungsoptionen (parallel laufende Animation, Ansichten etc.)
- Voraussetzung dafür ist eine zur Simulation parallel laufende GUI.

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 19

Literatur und Links

Quellen und Referenzen

- [Sauer99] Sauerbier, T.: Theorie und Praxis von Simulationssystemen: eine Einführung für Ingenieure und Informatiker. Vieweg Verlag, Braunschweig-Wiesbaden, 1999
- [Span95] Spaniol, O., Hoff S.: Ereignisorientierte Simulation. Konzepte und Systemrealisierung. Verlag Thompson Publishing GmbH, 1995
- [Banks98] Banks, J.: Handbook of Simulation. Principles, Methodology, Advances, and Practice. Verlag John Wiley & Sons, 1998
- [Kilg01] Kilgore, R. A.: Open source simulation modeling language (SML). In Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, ed., B. Peters, J. Smith. Piscataway, NJ: 2001

Links

- Wintersim Simulation Conference : <http://www.wintersim.org/>
(Konferenz vorrangig zur ereignisorientierten Simulation)

Diskrete Simulation (Masterkurs) - Diskrete Simulation - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 20