

Simulation und Analyse von Geschäftsprozessen

Thomas Schuster
FZI Forschungszentrum Informatik
Haid-und-Neustraße 10-14, 76133 Karlsruhe

Schlüsselworte

Geschäftsprozessmodellierung, Geschäftsprozessanalyse, Simulation, Business Intelligence

Einleitung

Die zunehmende weltweite Verflechtung von Unternehmen und Organisationen führt zu verstärkter Kooperation einerseits, sowie vereinfachter Vergleichbarkeit von Angeboten andererseits und induziert daher am Markt einen erhöhten Konkurrenzdruck. Damit einhergehend wird der Anforderung, auf geänderte Marktsituationen schnell und flexibel reagieren zu können, weiter Nachdruck verliehen [2]. Um diesen Umständen geeignet zu begegnen, ist in den Unternehmen die Umgestaltung und ständige Weiterentwicklung der Geschäftsprozesse notwendig [1,4,5,10]. Die Änderung der Geschäftsprozesse zieht eine Anpassung der eingesetzten IT-Systeme, die zur Unterstützung und Überwachung der definierten Ziele und Arbeitsschritte eingesetzt werden, nach sich [1,20]. Aufgrund des dadurch erhöhten Aufwands für das Management der IT-Systeme konnten sich Systeme, die das Paradigma der serviceorientierten Architektur (SOA) umsetzen, als de-facto Standard etablieren [4,5].

SOA ist ein Paradigma, das neben technischen auch organisatorische Aspekte umfasst und den Gedanken der Dienstleistung in den Mittelpunkt stellt [1]. Bei der Neugestaltung von Geschäftsprozessen ist daher die Identifikation erforderlicher Maßnahmen ebenso notwendig wie die Auswertung von Alternativen. Neben der Konfiguration einer Ausführungsumgebung kann auch die Gestaltung von Geschäftsprozessen oder die geeignete Auswahl von Ressourcen ein entscheidender Faktor sein, der die erzielte Qualität und die Erreichung von Zielparametern beeinflusst [15]. Aufgrund der erforderlichen Änderungen die oftmals kurzfristig umzusetzen sind, bleibt den Unternehmen nicht die Zeit, verschiedene Umgestaltungen real durchzuführen. An dieser Stelle kommt die Simulation als Werkzeug zur Analyse und Auswertung ins Spiel. Simulation eignet sich, um verschiedene Lösungsansätze dennoch zu evaluieren, und ermöglicht daher letztendlich eine Entscheidungsunterstützung für das Management.

Dieser Beitrag ist wie folgt gegliedert: Im nächsten Abschnitt wird zunächst das Konzept der Simulation erläutert; hierzu werden der Einsatzzweck, relevante Begriffe, Simulationsmethoden und die Simulationsverfahren erläutert. Anschließend wird das Werkzeug Horus Business Modeler vorgestellt und die durch das FZI entwickelte Simulationskomponente für das Werkzeug detailliert beschrieben. Abschließend erfolgen noch eine Zusammenfassung und ein Ausblick auf künftige Arbeiten und mögliche Erweiterungen.

Simulation

Der Einsatz einer Simulation empfiehlt sich, wenn Experimente und Messungen in der Realität zu langsam, zu schnell, zu gefährlich, unmöglich oder zu teuer wären oder bei komplexen Prozessen die Grenzen analytischer Methoden und Beschreibungen überschritten werden. Mit Simulationsexperimenten wird das zeitliche Ablaufverhalten von Systemen abgebildet; zusätzlich kann es protokolliert, reproduziert, analysiert und interpretiert werden. In der Folge können, basierend auf den Simulationsergebnissen bestehende Systeme iterativ verbessert werden (beispielsweise durch einen effizienteren Ressourceneinsatz).

Die Simulationsumgebung des Modellierungswerkzeuges Horus ermöglicht die gleichzeitige Simulation mehrerer Geschäftsprozessmodelle auf der Basis von Petri-Netzen. Geschäftsprozessmodelle und Ressourcen aus zentralen Datenbank-Repositories und lokal abgelegte Modelle können hierbei in die Simulation miteinbezogen werden. Im Rahmen des Vortrags werden Modellierung, Parametereinstellungen und Leistungsfähigkeit der Simulation ebenso diskutiert, wie die Analyse und Auswertung der Simulationsergebnisse. Der Vortrag wird durch einen Ausblick auf zukünftige Erweiterungen der vorgestellten Simulationskonzepte abgerundet.

Simulation (von lateinisch simulare: nachbilden, nachahmen, so tun als ob) ist ein Verfahren, das zur Analyse des zeitlichen Ablaufverhaltens von Systemen genutzt werden kann. Simulation ist seit vielen Jahren ein erprobtes Instrument, um die Einsicht über das interne Verhalten von Systemen zu erhöhen. Da die Simulation jedoch in unterschiedlichsten Anwendungsdomänen (zum Beispiel für medizinische Weiterbildung, Wettervorhersage oder Simulation neuronaler Netze) genutzt wird, finden sich in der Literatur ebenso zahlreiche und oftmals leicht variierende Definitionen, zum Beispiel:

- Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden. Mit Hilfe der Simulation kann das zeitliche Ablaufverhalten komplexer Systeme untersucht werden.“ [24]
- „The process of describing a real system and using this model for experimentation, with the goal of understanding the system’s behaviour or to explore alternative strategies for its operation.“ [21]

Ein entscheidender Aspekt, der allen Definitionen gemeinsam zu Grunde liegt, ist die Tatsache, dass die Simulation auf der Basis von Modellen, die die zu simulierenden Systeme beschreiben, durchgeführt wird. Dies bedeutet auch, dass die Simulation immer von der Realität abstrahiert [24]. Der Abstraktionsgrad (auch Detaillierungsgrad) gibt ein Maß für die Abbildungsgenauigkeit bei der Umsetzung des Systems in ein Modell wieder. Je höher der Abstraktionsgrad ist, desto geringer sind Detaillierungsgrad und Aufwand für die Modellierung; andererseits wird dadurch die Interpretation der Simulationsergebnisse erschwert. Unter Umständen können tiefergehende Fragestellungen dann nicht mehr durch die auf dem Modell gewonnenen Simulationsergebnisse beantwortet werden. In Anlehnung an [16] kann es daher sinnvoll sein, schrittweise verfeinerte Modelle oder Teilmodelle (beispielsweise die hierarchische Modellierung von Geschäftsprozessen) zu entwerfen.

Als zweiten bedeutsamen Aspekt ist den Definitionen das Durchführen von Simulationsexperimenten gemeinsam. Die Durchführung von Simulationsexperimenten kann dazu genutzt werden, Erkenntnisse über das reale System zu gewinnen [13, 14, 9]. In den letzten Jahrzehnten hat die computergestützte Durchführung der Simulationsexperimente, nicht zuletzt durch die enorme Steigerung der Rechenkapazitäten [12,18], immer mehr an Bedeutung gewonnen. Simulation wird, über die Grenzen unterschiedlichster Anwendungsdomänen hinweg, oftmals dann zum Einsatz gebracht, wenn reale Durchführungen, Experimente oder Messungen am zu untersuchenden System nicht möglich oder nicht zu rechtfertigen sind. Die Motivation zur Durchführung einer Simulation ist im Einzelnen ebenso vielfältig, wie deren Anwendungsbereiche; in der Praxis handelt es sich häufig um eine Kombination folgender Gründe:

- Eine Beobachtung wäre zeitlich nicht durchführbar, da sich deren Entwicklung zu schnell (zum Beispiel bei Explosionsversuchen oder elektronischen Schaltvorgängen) oder zu langsam (wie bei der Klimaveränderung oder Bevölkerungsentwicklungen) vollzieht.
- Ein Experiment wäre zu gefährlich oder ethisch nicht vertretbar (Crashtest für PKWs mit Dummies anstelle von menschlichen Insassen; Tests von neuen Methoden oder Medikamenten in der Notfallmedizin).

- Ein Experiment ist unmöglich (zum Beispiel die Beobachtung des Urknalls oder mancher anderer physikalischer oder chemischer Prozesse).
- Eine reale Durchführung wäre zu teuer (Planung von Fertigungsanlagen oder Konstruktion moderner Mikroprozessoren).
- Es sind noch nicht hinreichend viele Merkmale über das System bekannt, sodass eine analytische Untersuchung nicht erfolgen kann.
- Es sollen verschiedene Varianten eines noch nicht zur Verfügung stehenden Systems getestet werden (Windkanalexperimente, Untersuchungen der Leistungsfähigkeit von komponentenbasierten Software-Systemen).
- Eine analytische Auswertung einer Fragestellung aufgrund ihrer Komplexität nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand möglich ist (NP-vollständige Probleme, zum Beispiel das Hamiltonkreisproblem).

Gegenüber realen Experimenten oder analytischen Verfahren kann die Simulation, unter Voraussetzung geeigneter Modellierung auch sehr umfangreiche Systeme handhaben [16,9]. Die geschickte Auswertung der Simulationsergebnisse kann dann Aufschluss über Zusammenhänge der einzelnen Systemparameter geben und zur Entwicklung von Handlungsstrategien genutzt werden [9,].

Wie schon durch die obige Aufzählung einiger Gründe für die Durchführung von Simulationsexperimenten impliziert wird, bringt die geeignete Anwendung in praxi, neben einer tieferen Einsicht in die Funktionsweise eines Systems, oftmals nicht unerhebliche Kostenvorteile mit sich und kann dadurch zu einer höheren Investitionssicherheit beitragen [7, 19]. Andererseits kann, wie bereits weiter oben beschrieben, ein zu hoch gewählter Abstraktionsgrad der Simulationsmodelle die Gewinnung valider Erkenntnisse erschweren und somit die Übertragung in die betriebliche Praxis verhindern [3].

Begriffsdefinitionen

Die folgenden Begriffsdefinitionen werden in alphabetischer Reihenfolge wiedergegeben, sie sind unter gewissen Abwandlungen an die VDI-Richtlinie 3633 angelehnt und durch weitere wissenschaftliche Untersuchungen ergänzt oder modifiziert.

- **Abstraktionsgrad:** ist ein Maß für die Abbildungsgenauigkeit eines Modells in Bezug zum realen System. Bezogen auf den Abstraktionsgrad verhalten sich die Aufwände für die Modellierung des Systems und die Auswertung der Simulationsergebnisse entgegengesetzt. Das bedeutet, dass ein geringer Aufwand bei der Modellierung, je nach Fragestellung, einen hohen Aufwand bei der Auswertung der Simulationsergebnisse nach sich ziehen kann und umgekehrt. Ein zu gering betriebener Modellierungsaufwand wird unter Umständen aber auch darin resultieren, dass die entstehenden Simulationsergebnisse gar nicht mehr zur Beantwortung der Fragestellung geeignet sind [14, 3].
- **Aktivität:** Als Aktivität werden - bezogen auf die Simulation - alle zeitbehafteten Vorgänge bezeichnet. Aktivitäten werden damit nach [24,25] durch ein Anfangs- und ein Endereignis begrenzt, das Endereignis hat dann wiederum einen Zustandsübergang zur Folge.
- **Attribut:** ist eine veränderbare Eigenschaft eines Modellelements.
- **Datenbasis:** ist die Summe aller für die Simulation erforderlichen Systemdaten. Die praktische Anwendbarkeit der Erkenntnisse durch die Simulationsexperimente ist unter anderem auch auf die Qualität der Datenbasis zurückzuführen [15].
- **Ereignis:** Ein Ereignis ist eine atomare, nicht weiter zerlegbare Begebenheit, die eine Zustandsänderung nach sich zieht und dabei selbst keine Zeit verbraucht. Ereignisse begrenzen Aktivitäten.

- **Ergebnisauswertung:** Die Auswertung der Simulationsergebnisse umfasst mehrere Schritte:
 - Datenaufbereitung
 - Ergebnisinterpretation
 - Bewertung von Varianten

Ergebnisauswertungen können hinsichtlich eines einzelnen Simulationslaufes als auch über mehrere Simulationsläufe hinweg und für einzelne Modellelemente oder das gesamte Modell erstellt werden.

- **Ergebnisinterpretation:** Die Ergebnisinterpretation stellt die aufbereiteten Ergebnisdaten in Beziehung zu den Einflussgrößen (zum Beispiel bestimmte Ereignisse) dar. Die Ergebnisinterpretation verdeutlicht, dass gleiche Ergebnisse durchaus durch unterschiedliche Gründe zurückgeführt werden können. Wie auch für das Erkennen der Einschwingphase, gibt es im Allgemeinen keine exakte Vorgehensweise zur Interpretation der Ergebnisse. Vielmehr sind die Interpretationen abhängig von der zu untersuchenden Fragestellung und dem betrachteten System, sowie weiteren Rahmenbedingungen.
- **Messzeitpunkt (oder Schrittgröße):** Messzeitpunkte sind Zeitpunkte (bezogen auf die Simulationszeit) zu denen, während der Simulation die Simulationsergebnisdaten ermittelt werden. Zu einem Messzeitpunkt wird dann jeweils der Wert einer Ergebnisgröße beziehungsweise die Änderung dieser Größen oder das Eintreten eines bestimmten Ereignisses aufgezeichnet.
- **Modell:** Ein Modell ist ein abstrahiertes Abbild der Wirklichkeit. Es erfasst daher nicht alle Eigenschaften des Originals, sondern nur diejenigen, die abgebildet werden (als relevant erscheinen).
- **Modellelement:** Modellelemente bilden die Komponenten des realen, abzubildenden Systems ab und können miteinander interagieren. Der Zustand der Modellelemente kann sich über den Verlauf eines Simulationsexperiments hinweg mehrmals ändern.
- **Simulationsexperiment (auch: Experiment):** Ein (Simulations-)Experiment ist die empirische Untersuchung des Systemverhaltens (abstrahiert durch das Simulationsmodell) über einen bestimmten Zeithorizont unter der Vorbedingung eines festgelegten Inputs (Eingabedaten). Der Output (Ausgabe) erlaubt danach im günstigsten Fall Rückschlüsse auf das interne Systemverhalten zu ziehen. Im Verlauf der Simulation werden wiederholt (Simulations-)Experimente mit systematischen Parametervariationen durchgeführt, man spricht dann auch von Simulationsläufen.
- **Simulationsergebnis (auch: Ergebnis):** Das (Simulations-)Ergebnis einer Simulation gibt neben dem Output auch die Differenz und die zeitliche Entwicklung der Änderung von zuvor festgelegten Zustandsgrößen eines Modells wieder.
- **Simulationsdaten:** bildet den Oberbegriff für alle Daten, die für ein Modell vor, nach und während den Simulationsexperimenten von Bedeutung sind. Diese lassen sich untergliedern in:
 - **Eingabedaten (Inputdaten):** Alle Daten, mit denen ein Modell zur Initialisierung von Simulationsexperimenten belegt werden muss. Diese Daten lassen sich aus den Systemdaten und der zu beantwortenden Fragestellung ableiten.
 - **Experimentdaten:** Umfassen alle Daten eines Experiments und der dazugehörigen Simulationsläufe.
 - **Interne Modelldaten:** Daten bezüglich der Modellelemente, also auch deren Attributwerte. Diese Daten müssen nicht nur simulationsbezogen sein.
 - **Simulationsergebnisdaten (Ausgangsdaten):** Diese Daten geben Auskunft über die während der Simulationsexperimente erfolgten Zustandsänderungen. Die Simulationsergebnisdaten werden üblicherweise während der Simulationsexperimente aufgenommen.

- **Simulationssystem (auch Simulationswerkzeug oder –instrument):** ist ein Softwareprogramm, mit dem ein Modell unter Zuhilfenahme von Simulationsexperimenten untersucht werden kann. Ein Überblick über Simulationssoftware kann [23,22,17] entnommen werden.
- **Zustand (oder Modellzustand):** Ein Zustand beschreibt die Wertbelegung der beobachteten Zustandsgrößen und Attribute aller Modell- bzw. Systemelemente zu einem gegebenen Simulationszeitpunkt t . Außerdem unterscheidet man noch den Anfangszustand, der die Initialisierung des Systems vor der Simulationsdurchführung beschreibt und den Endzustand, der die Belegung der Werte nach der durchgeführten Simulation darstellt.

Simulationmethoden

Die Simulationmethode gibt die Art des Voranschreitens der Simulationszeit an und bestimmt die damit verbundenen Zustandsänderungen des Simulationsmodells. Die Simulation lässt sich zunächst in zeit- oder ereignisgesteuerte Simulationmethoden unterteilen.

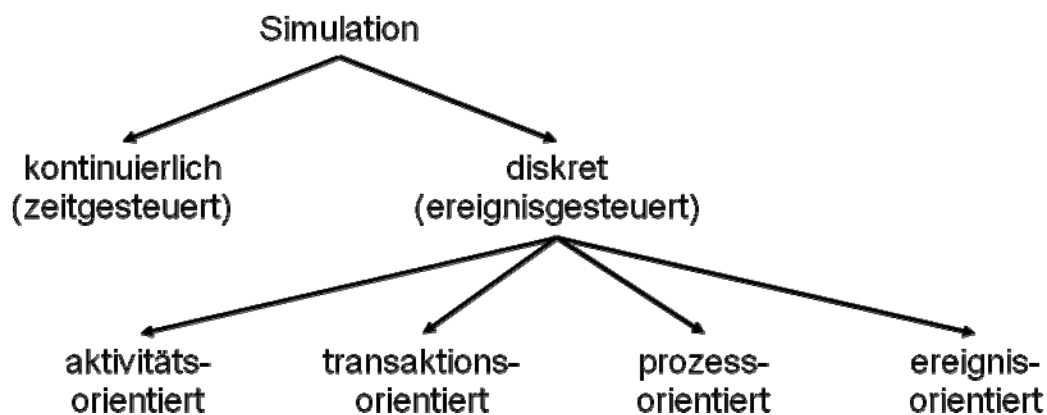


Abbildung 1: Klassifikation der Simulationmethoden (nach [24])

Während bei der kontinuierlichen Simulation davon ausgegangen wird, dass sich Simulationszeit und damit verbundene Zustände stetig ändern (wie zum Beispiel bei chemischen Reaktionsprozessen), geht man bei der diskreten Simulation davon aus, dass sich der Modellzustand nur zu bestimmten Messzeitpunkten, durch das Eintreten von Ereignissen verändert. Die diskret-ereignisgesteuerte Simulation lässt sich wiederum als ereignis-, aktivitäts-, prozess- oder transaktionsorientiert untergliedern. Nachfolgend wird die diskret-ereignisgesteuerte, prozessorientierte Simulation betrachtet.

Simulationsprozess

Wie bereits weiter oben angedeutet, kann die Simulation als iterativer Prozess aufgefasst werden, der sich in folgende Phasen untergliedern lässt:

1. **Analyse:** Festlegung der zu beobachtenden Messgrößen (zum Beispiel Kosten oder Durchsatz) und Modellierung des zu simulierenden Systems.
2. **Durchführung:** Durchführung der Simulation unter Beobachtung der definierten Messgrößen zu zuvor definierten Zeitintervallen.
3. **Kontrolle:** Durch den Vergleich von Ist- und Sollwerten der Messgrößen. Außerdem muss in dieser Phase auch eine Validierung des Simulationsmodells erfolgen (üblicherweise durch den Vergleich der Simulationsergebnisse mit bereits bekannten Trainingsdaten des realen Systems).

4. **Ergebnisinterpretation:** Ziehen von Rückschlüssen und gegebenenfalls Initiierung von Handlungsmaßnahmen oder erneutes Testen weiterer Modellvarianten.

Dieser Ablauf wird in Abbildung 2 nochmals verdeutlicht. Es sei an dieser Stelle noch angemerkt, dass die Phasen nicht immer eindeutig voneinander abgegrenzt werden können.

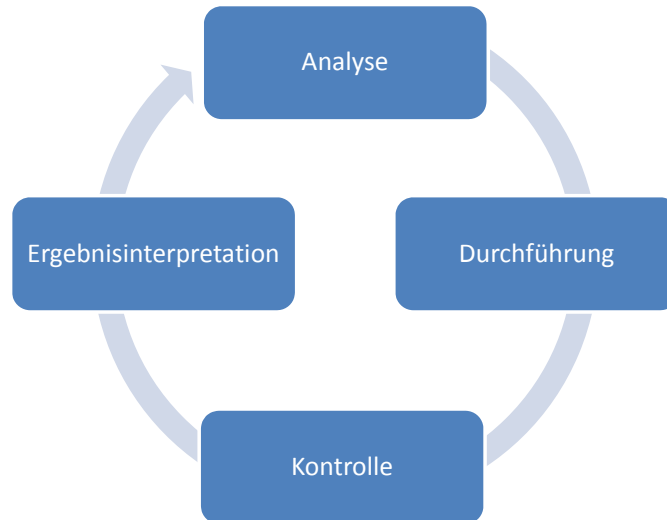


Abbildung 2: Simulationsprozess

Horus Business Modeler

Im Folgenden soll der Horus Business Modeler zur Simulation von Geschäftsprozessen genutzt werden. Hierbei handelt es sich um ein Werkzeug, das innerhalb der Horus-Methode eingesetzt wird, um Geschäftsprozesse zu modellieren. Im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten des FZI wird der Horus Business Modeler um eine Simulationskomponente erweitert.

Zur Modellierung von Geschäftsprozessen werden im Horus Business Modeler Varianten höherer Petri-Netze genutzt. Ergänzt werden diese durch eine Reihe weiterer Modelleditoren, deren Modelle mit den Petri-Netzen verknüpft und die im Rahmen einer Simulation genutzt werden können. Beispielhaft sei die Modellierung von Ressourcen (personell und technisch) genannt (siehe Abbildung 3).

Die mit dem Horus Business Modeler erstellten Modelle werden entweder lokal im Dateisystem oder in einem zentralen Modell-Repository abgelegt. Ein zentrales Modell-Repository birgt den Vorteil, dass Modelle kollaborativ entwickelt, eingesehen und genutzt werden können. Technisch betrachtet wird dies durch den Einsatz einer Oracle Datenbank (auch die kostenlose XE-Version kann eingesetzt werden) realisiert. Ein zentrales Repository ist aus diesem Grund auch für die Simulation von Vorteil, da sowohl die Modelldaten von dort bezogen werden können, als auch die Simulationsergebnisse dorthin zurückgeschrieben und beispielsweise durch die Oracle Business Intelligence Suite ausgewertet werden können.

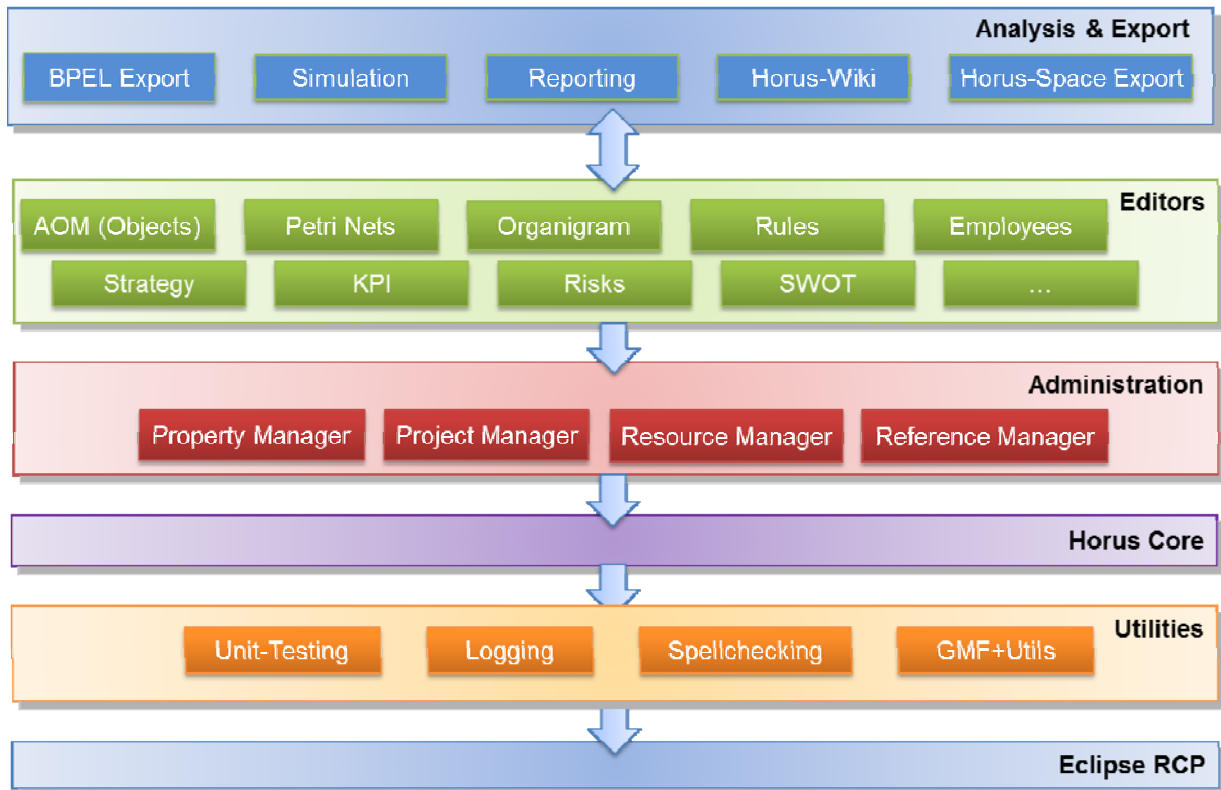


Abbildung 3: Architektur - Horus Business Modeler

Simulation von Geschäftsprozessen

Die entwickelte Simulationsumgebung für Horus ermöglicht die gleichzeitige Simulation mehrerer Geschäftsprozessmodelle sowie deren zugeordneter Ressourcen. Die Einstellung der erforderlichen Simulationsparameter erfolgt über eine Einstellungsmaske, in der auch die zu simulierenden Geschäftsprozessmodelle durch den Benutzer hinzugefügt werden können (siehe Abbildung 4). Zur Simulation werden die Geschäftsprozessmodelle und weitere relevante Modelle in Simulationsmodelle transformiert, diese stellen eine Abstrahierung von den mit dem Horus Business Modeler modellierten Modellen dar. Beispielsweise werden zur Dokumentation in den Modellen hinterlegte Eigenschaften nicht beachtet. Die zur Simulation genutzten Simulationsmodelle berücksichtigen folgende Eigenschaften der modellierten Netze:

- Oder-Transitionen (eingehend, ausgehend, ein- und ausgehend)
- Wahrscheinlichkeiten bei Oder-Entscheidungen
- Verfeinerungen (Sub-Netze)
- Beteiligte Ressourcen
- Benötigte Aufwände (in Abhängigkeit angegebener Verteilungen) für
 - Bearbeitungszeit (pro Transition)
 - Transportzeit (pro Transition)
 - Wertschöpfung (pro Transition)
 - Lagerzeit und Kosten (pro Stelle)
- Initiale Markierungen der Netze

Ein Netz wird dabei solange simuliert, solange es weitere aktive Transitionen beinhaltet. Da die in Horus modellierten Petri-Netze auch ausfahrungsrelevante Ressourcen beinhalten können, ist eine

Transition, im Sinne der Simulation, nicht unbedingt aktiv, wenn die Vor- und Nachbedingung erfüllt ist. Stattdessen ist es zusätzlich notwendig, dass die Schaltbedingung, also die Verfügbarkeit von erforderlichen Ressourcen erfüllt ist.

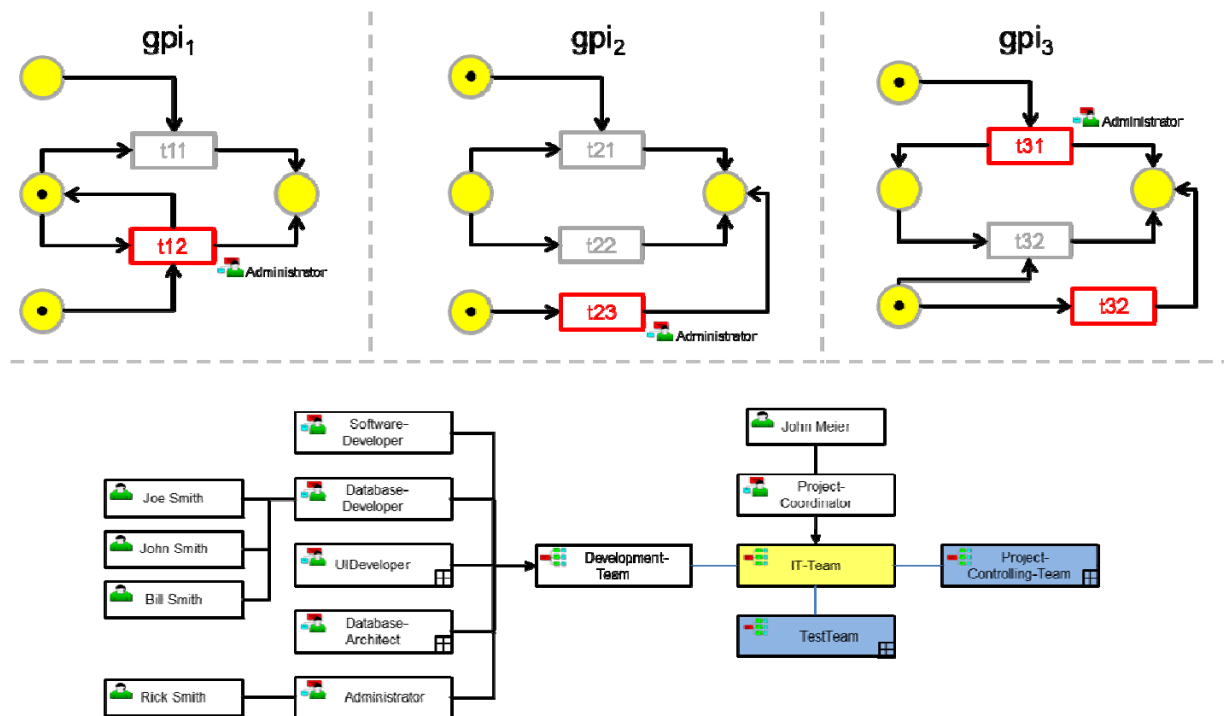


Abbildung 4: Ressourcenkonflikt während der Simulation

Gleichzeitige Simulation mehrerer Geschäftsprozessmodelle bedeutet, dass einerseits mehrere Geschäftsprozessmodelle zur Simulation ausgewählt werden können, andererseits ein Geschäftsprozessmodell in Abhängigkeit der Simulationskonfiguration auch mehrfach instanziiert werden kann. Der Anfangszustand einer solchen Instanz wird durch die Anfangsmarkierung des Geschäftsprozessmodells (also des Petri-Netzes) bestimmt. Während der Simulation ist die Ausführung der Geschäftsprozessinstanzen an die vorhandenen Ressourcen gebunden, das bedeutet, dass Instanzen (eines Modells oder verschiedener Modelle) um gemeinsam genutzte Ressourcen konkurrieren können. Die verwendeten Ressourcen müssen durch die entsprechenden Horus-Editoren modelliert und im Petri-Netz verknüpft werden. Anschließend wird deren Auslastung durch die Ausführung von Transitionen berücksichtigt. Dies kann zu einem entscheidenden Faktor in Bezug auf die Durchlaufzeiten werden, sollten nur wenige Ressourcen vorhanden sein. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 4 verdeutlicht. In diesem Fall wird die in den Geschäftsprozessmodellen zur Ausführung einer Aktivität festgelegte Rolle Administrator zum Zeitpunkt t_1 von mehreren Geschäftsprozessinstanzen (gpi_1 , gpi_2 und gpi_3) angefordert (siehe Transitionen $t12$, $t23$ und $t32$). Da in diesem Fall nur ein Administrator vorhanden ist (siehe Abbildung 4 unterer Teil) und dieser durch die gleichzeitige Ausführung aller Aktivitäten überlastet wäre, wird durch die Simulationsumgebung eine Ausführungsreihenfolge festgelegt. Die Ausführungsreihenfolge, in der Aktivitäten unterschiedlicher Geschäftsprozessinstanzen zum Zug kommen, wird entweder durch verschiedene Parameter bestimmt:

1. Eine zuvor festgelegte Priorisierung der Geschäftsprozessmodelle, falls diese vom Benutzer festgelegt wurde.

- Bei gleicher Priorisierung kommt eine Scheduling-Strategie zur Anwendung (derzeit werden die Strategien Last-In-First-Out, First-In-First-Out und Round-Robin unterstützt).

Die Scheduling-Strategie wird in der Simulationskonfiguration festgelegt. Für jede Ressourcenart (definiert durch die zugehörige Rolle) wird ebenfalls eine Scheduling-Strategie (derzeit ebenfalls Last-In-First-Out, First-In-First-Out und Round-Robin) festgelegt, die im Falle mehrerer gleichartiger Ressourcen die Reihenfolge bestimmt, in der die Ressourcen einer Aktivität als Aufgabenträger oder Betriebsmittel zugeordnet werden.

Simulations-Parametrisierung

Bevor ein Simulationsdurchlauf durchgeführt werden kann, ist es erforderlich, dass der Benutzer das durchzuführende Experiment konfiguriert. Hierzu sind die folgenden Angaben notwendig:

- Simulationsbeschreibung
- Die Dauer der Simulation s [Zeiteinheit] oder Zeitraum in dem die Simulation ausgeführt werden soll (festgelegt durch einen Start- und Endzeitpunkt)
- Im Rahmen der Simulation betrachtete Geschäftsprozessmodelle gp_i
- Instanziierungshäufigkeit der Geschäftsprozessmodelle (auch Ankunftsrate), festgelegt als
 - Konstante c oder durch eine
 - Verteilung v (unterstützt werden Exponentialverteilung, Erlangverteilung, Normalverteilung und Poissonverteilung)
- Zusätzliche Abbruchbedingungen (geplanter Parameter)
 - Vorgegebene Anzahl durchlaufener Instanzen (also beispielsweise eine bestimmte Anzahl von die Aufträgen abgearbeitet wurden) innerhalb der Simulationsdauer erreicht
 - Vorgegebene Anzahl an Aufgaben erledigt
- Protokollierung weiterer zu beobachtender Parameter (geplanter Parameter)
 - Auslastung einzelner Mitarbeiter
 - generell
 - ab einer gewissen Grenze
 - Ausführungsdauer bestimmter Aktivität
 - Generierte Kosten bestimmter Aktivitäten

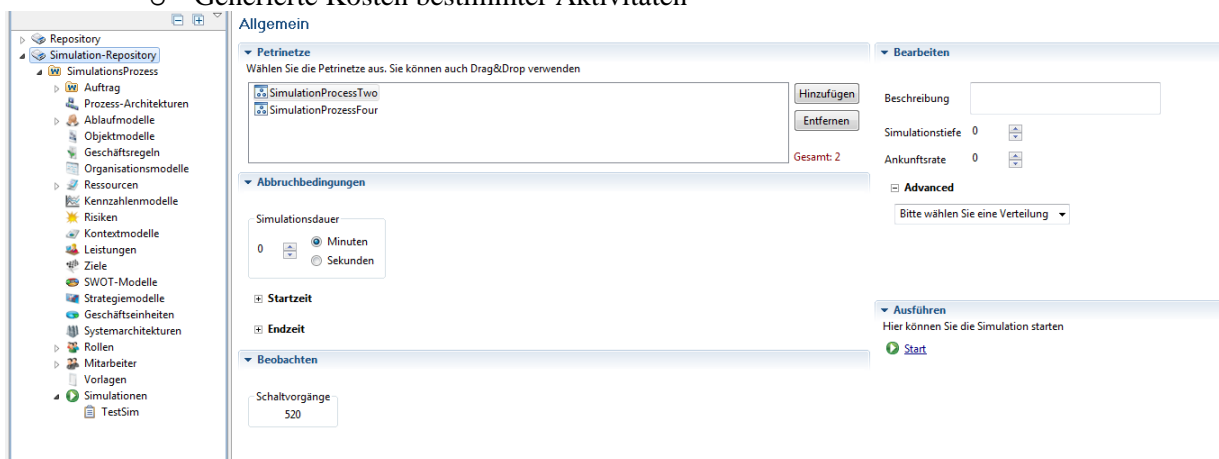


Abbildung 5: Simulationsparametrisierung

Diese Parametrisierung kann durch die in Abbildung 5 dargestellte Maske erfolgen. Eine derart

erstellte Simulationskonfiguration lässt sich speichern und bei Bedarf später erneut ausführen oder auch verändern. Da einige Parameter auf der Basis von Wahrscheinlichkeitsverteilungen festgelegt und während der Simulation berechnet werden (siehe Simulationsmethoden), ergeben sich auch bei gleicher Konfiguration unterschiedliche Ergebnisse. Die wiederholte Ausführung bei gleichbleibender Konfiguration kann daher die Konfidenz über die Genauigkeit der Ergebnisse verbessern [16]. Die Veränderung von Parametern und Modellen ist dennoch erforderlich, um Alternativen (beispielsweise die Hinzunahme weiterer Ressourcen) zu evaluieren.

Simulationsausführung

Die Simulationsdurchführung (auch Simulationsexperiment) basiert auf der zuvor erfolgten Konfiguration, also den ausgewählten Geschäftsprozessmodellen, den modellierten Ressourcen und den festgelegten simulationsspezifischen Einstellungen. In Abbildung 6 wird das Simulationsverfahren skizziert. Zur Auswahl der aktiven Transitionen (also der Aktivitäten des Geschäftsprozesses) wird deren Schaltwahrscheinlichkeit (diese ergibt sich aus dem Petri-Netz) berechnet. Darauf aufbauend werden dann Transitionen zur Ausführung ausgewählt. Die Auswahl berücksichtigt dabei jeweils die Anzahl und dazugehörigen Bedingungen der Marken (Token) in den Vor- und Nachbereichen sowie die relevanten Ressourcen. Da während der Simulation mehrere Instanzen eines Geschäftsprozessmodells erzeugt werden können, wird auch die Aktivität Netzinstanziierung mehrfach, jeweils basierend auf den festgelegten Ankunftsraten der Modelle, ausgeführt. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, erfolgt die Simulation so lange, bis eine Abbruchbedingung eingetreten ist. Danach werden die protokollierten Ausführungsdaten in eine Protokolldatei geschrieben, die anschließend ausgewertet werden kann.

Die simulierten Geschäftsprozessmodelle werden im Simulationsmodell in eine flache Struktur überführt. Das bedeutet, dass Verfeinerungen in das jeweils übergeordnete Modell integriert werden, bevor simuliert wird. Verfeinerungen sind ein Mechanismus, der die Lesbarkeit und Verständlichkeit der Modelle für menschliche Benutzer vereinfacht. Während der Simulation führen solche Referenzen zu einem erheblichen Mehraufwand, verglichen mit der Modelltransformation zu Beginn der Simulation. Um bei der späteren Auswertung der Simulationsergebnisse dennoch beurteilen zu können, ob eine Aktivität zu einem bestimmten Geschäftsprozessmodell gehört, werden zusätzliche Eigenschaften in dem Simulationsmodell gesichert (siehe hierzu auch Ergebnisauswertung).

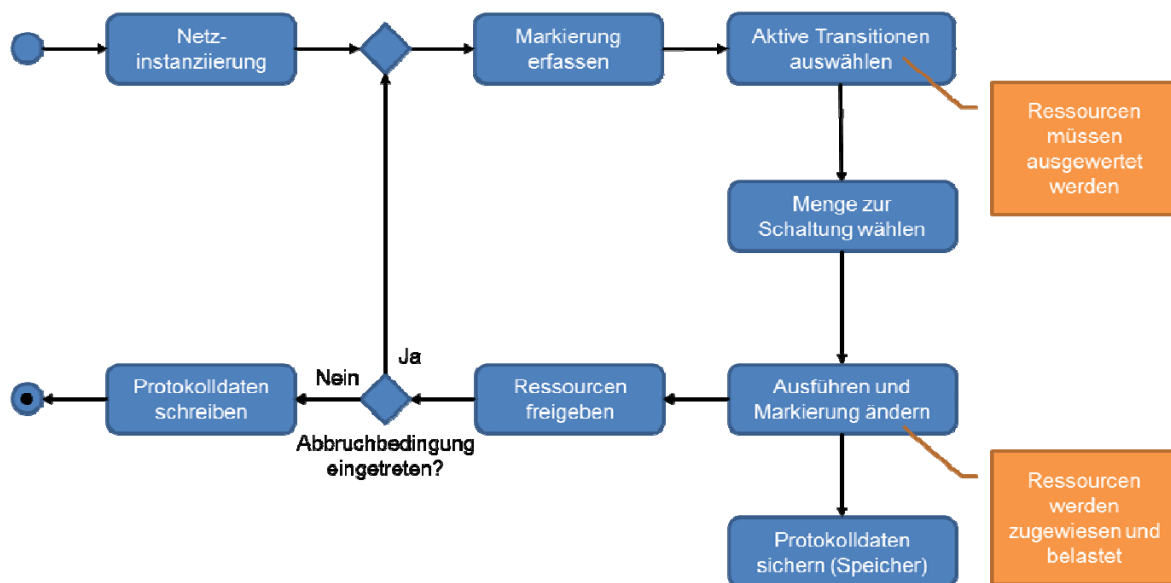


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Simulationsdurchführung

Simulations-Reporting

Die Ausführung von Simulationsexperimenten muss in geeigneter Form protokolliert und die Ergebnisse dargestellt werden können [16,9]. Hierzu wurde ein XML-Schema für die Standard-Protokolldatei (den sogenannten Trace) erstellt, das während der Simulation eintretende Ereignisse und simulierte Modell beinhaltet. Während die eingestellten Simulationsparameter separat in der Simulationskonfiguration abgelegt werden, wird zusätzlich zum Trace noch ein aggregierter Bericht der Simulation erzeugt, der einige aggregierte Werte (beispielsweise die durch durchschnittliche Bearbeitungsdauer eines Geschäftsprozesses) beinhaltet. Der folgende Codeabschnitt illustriert beispielhaft einen solchen Simulationstrace:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<p:trace ...>

  <p:diagrams>
    <p:diagram neturi="uri" name="..." simulationdepth="2" id="10">
      <p:diagram neturi="uri" name="..." id="1"
        supertransitionid="t23396348" />
      <p:diagram neturi="uri" name="..." id="2" />
    </p:diagram>
    <p:diagram netturi="..." name="..." id="3" />
    <p:diagram neturi="..." name="ProzessAusTest" id="4" />
    <p:diagram neturi="..." name="..." simulationdepth="2"
      id="5" />
    <p:diagram neturi="..." name="..." simulationdepth="2" id="6">
      <p:diagram
        neturi="..." name="senden1" id="7"
        supertransitionid="t19017836">
        <p:diagram neturi="..." name="..." id="8"
          supertransitionid="t190178453" />
      </p:diagram>
      <p:diagram
        neturi="..." name="..." id="9"
        supertransitionid="t11750355" />
    </p:diagram>
    ...
  </p:diagrams>

  <p:resources>
    <p:generalresource xmiid="TestResource"
      resourceuri="uri\Test.shm"
      shortname="Test" id="1" dbid="2147483647" />
    <p:humanresource name="Meier" resourcedbid="4351"
      resourceuri="uri\meier.employee_def"
      roleuri="uri\administrator.role_def"
      roledbid="2147483647" id="2" />
    <p:humanresource name="Meier" resourcedbid="265"
      resourceuri="uri\meier.employee_def"
      roleuri="uri\developer.role_def"
      roledbid="2147483647" id="3" />
    <p:humanresource name="Müller" resourcedbid="300"
      resourceuri="uri\mueller.employee_def"
      roleuri="uri\developer.role_def"
      roledbid="2147483647" id="3" />
    ...
  </p:resources>
```

```

<p:firingEvent processInstance="0" transitionId="t23396348"
  valueAdded="1" diagramid="1" processingTime="2" arrivalTime="1"
  costs="1.0">
  <p:humanresource workload="0" processrole="owner" id="0" />
  <p:preplace tokens="0" placeid="p28490615" tchange="1" />
  <p:postplace tokens="1" placeid="p22980255" tchange="2" />
</p:firingEvent>

<p:firingEvent processInstance="0" transitionId="t11672852"
  valueAdded="1" diagramid="1" processingTime="1" arrivalTime="3"
  costs="1.0">
  <p:humanresource workload="0" processrole="assistant"
    id="2" />
  <p:preplace tokens="0" placeid="p22980255" tchange="1" />
  <p:preplace tokens="1" placeid="p22980235" tchange="2" />
  <p:postplace tokens="1" placeid="p6407574" tchange="1" />
</p:firingEvent>

<p:firingEvent processInstance="1" transitionId="t32175877"
  valueAdded="1" diagramid="1" processingTime="3" arrivalTime="4"
  costs="1.0">
  <p:preplace tokens="0" placeid="p6407574" tchange="1" />
  <p:postplace tokens="1" placeid="p22980255" tchange="1" />
  <p:postplace tokens="3" placeid="p6407574" tchange="2" />
</p:firingEvent>
...
</p:trace>

```

Listing 1: Beispiel für einen Simulationstrace

Das Trace listet zunächst, unterhalb des Elements `diagrams` die in der Konfiguration ausgewählten Geschäftsprozessmodelle. Wie zu erkennen ist, sind die `diagram`-Elemente teilweise verschachtelt. Diese Verschachtelung bildet die ursprünglich modellierte Hierarchie der Geschäftsprozessmodelle ab. Das Attribut `id` ist für jedes `diagram`-Element eindeutig und dient der Zuordnung durchgeführter Aktivitäten (`firingEvent`) zum jeweiligen Modelldiagramm. Hierdurch ist eine eindeutige Zuordnung der Aktivitäten zu den Modellen möglich.

Ähnlich den Diagrammen werden anschließend die Ressourcen aufgelistet (`resources`-Element). Bei den Ressourcen wird zwischen technischen (`generalresource`-Element) und menschlichen (`humanresource`-Element) Ressourcen unterschieden. Alle mit Horus modellierten Ressourcen werden hier aufgelistet, auch diejenigen, die nicht in den Geschäftsprozessmodellen verknüpft wurden. Das Attribut `id` ist ebenfalls für jedes Element eindeutig und dient der Zuordnung von genutzten Ressourcen zu durchgeführter Aktivitäten (`firingEvent`).

Das `firingEvent`-Element beschreibt die während der Simulation ausgeführten Aktivitäten (diese werden im Geschäftsprozessmodell durch Transitionen beschrieben). Es beinhaltet neben den zuvor genannten Zuordnungen auch Zeiten, Kosten und Zustandsbeschreibungen. Die Beschreibung des nach der Ausführung der Ausführung Aktivität gültigen Zustands wird durch die Veränderungen der Markierung des zugrunde liegenden Petri-Netzes beschrieben. Hierfür sind die Elemente `preplace` und `postplace` vorhanden. Aus der Anfangsmarkierung des Netzes und den sich durch diese beiden Elementtypen gegebenen Veränderungen kann die zu einem Zeitpunkt jeweils gültige Markierung iterativ berechnet werden.

Ergebnisauswertung

Der Auswertung von Simulationsergebnissen kommt eine besondere Bedeutung zu, da nicht nur die Qualität der Simulationsergebnisse, sondern auch ihre Interpretation die Qualität der Rückschlüsse und der abgeleiteten Maßnahmen bestimmt (vgl. [16]). Simulationsergebnisse sind Rückmeldungen über das Verhalten des simulierten Systems, z.B. analog zu Fertigungsrückmeldungen eines Betriebsdatenerfassungssystems. Sie werden an definierten Messzeitpunkten des Modells erzeugt und müssen während und nach Abschluss der Simulationsexperimente in geeigneter Form aufbereitet werden (siehe Simulations-Reporting und Listing 1), um eine Ergebnisinterpretation zu ermöglichen.

Zur Auswertung können Metriken [11,8] aufgestellt und anhand des Protokolldateien ausgewertet werden. Beispielhaft seien hier einige solcher möglichen Metriken genannt:

- Gesamtdurchlaufzeit
- Gesamtkostenbedarf
- Gesamtwertschöpfung
- Anzahl gefeuerter Transitionen (pro Netz und Gesamt)
- Ressourcenbedarf für das Ausführen von Aktionen (Transitionen)

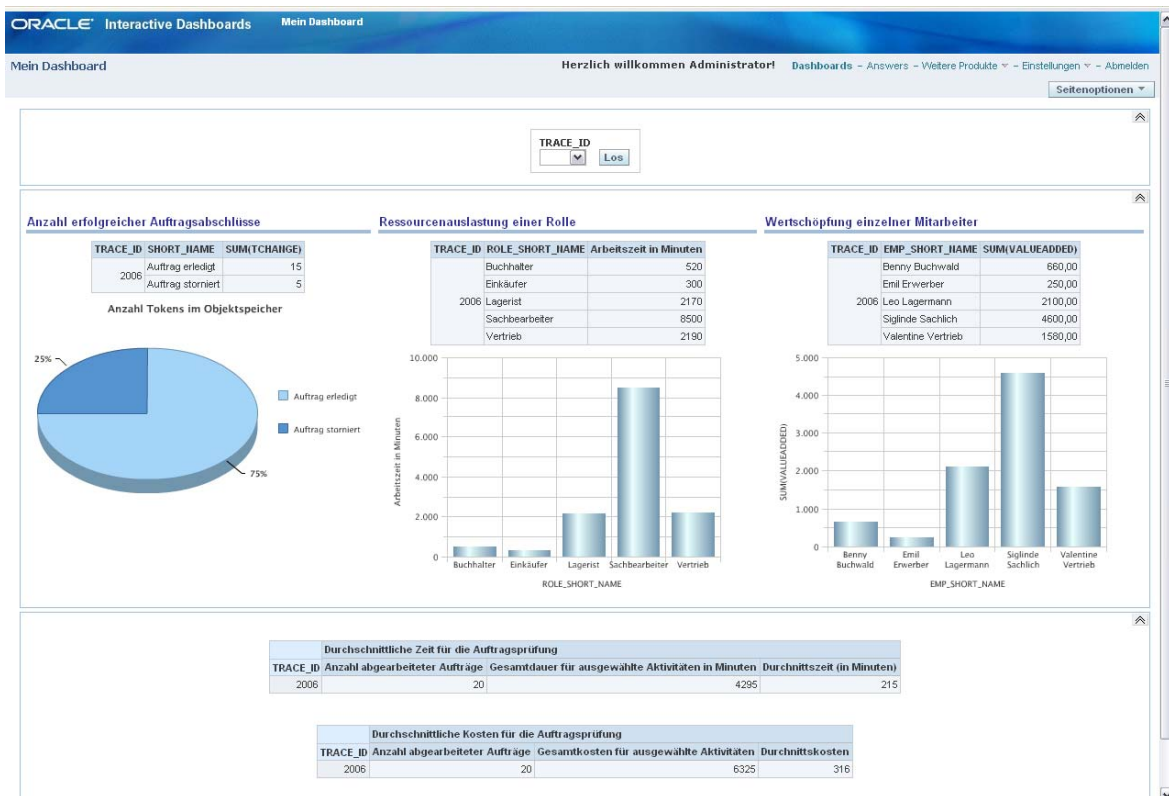


Abbildung 7: Auswertungsbeispiel eines Simulationstraces

Eine geeignete Auswertungskomponente zur abschließenden Bewertung befindet sich derzeit noch in der Entwicklung. Hierbei können verschiedene Frameworks, angefangen von Standardsoftware im Bereich der auswertenden Statistik (wie SPSS, R, etc.) bis hin zu kompletten Business Intelligence Komponenten, wie der Oracle BI Suite eingesetzt werden. Im Rahmen einer Studienarbeit, die bei einem Projektpartner des FZI durchgeführt wurde, wurden erste Auswertungen mit Hilfe der Oracle BI Suite erstellt. Hierbei wurden folgende Metriken auf der Basis eines Geschäftsprozesses zur

Auftragsabwicklung (zugrunde lag ein Geschäftsprozessmodell mit mehreren Verfeinerungen und hinterlegten personellen Ressourcen) ermittelt:

1. Mit wie vielen erfolgreichen Auftragsabschlüssen kann gerechnet werden?
2. Wie hoch sind die durchschnittlichen Gesamtkosten für die Auftragsprüfung?
3. Kann ein Engpass bei der Ressource Sachbearbeiter entstehen?
4. Wie lange ist die durchschnittliche Gesamtprozesszeit?

In Abbildung 7 ist eine solche Auswertung beispielhaft dargestellt.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz einer Simulation empfiehlt sich, wenn Experimente und Messungen in der Realität zu langsam, zu schnell, zu gefährlich, unmöglich oder zu teuer wären sowie, wenn bei komplexen Prozessen die Grenzen analytischer Methoden zur Bewertung überschritten werden. Auf der Basis von Simulationsexperimenten wird das zeitliche Ablaufverhalten von Systemen abgebildet, protokolliert, analysiert und interpretiert. In der Folge können, basierend auf den Simulationsergebnissen bestehende Geschäftsprozessmodelle iterativ verbessert werden; beispielsweise durch einen effizienteren Ressourceneinsatz oder Kontrollflussveränderungen.

Im Rahmen diverser Forschungsarbeiten mit dem Schwerpunkt Simulation von Geschäftsprozessen wurde daher eine Simulationsumgebung für das Modellierungswerkzeug Horus konzipiert. Die resultierende Simulationskomponente ermöglicht die gleichzeitige Simulation mehrerer Geschäftsprozessmodelle auf der Basis von Petri-Netzen sowie die Beobachtung ausführung relevanter Ressourcen. Die Analyse und Auswertung der Simulationsergebnisse kann auf Basis der erzeugten Protokolldateien erfolgen.

Als Erweiterung der bestehenden Simulationskomponente ist künftig die Integration und Entwicklung (siehe [6]) weiterer Scheduling-Verfahren geplant. Weiterhin könnten im Rahmen der Simulation zusätzliche Attribute in den Geschäftsprozessmodellen berücksichtigt werden, beispielsweise könnten neben Rollen auch Kompetenzen zur Zuweisung geeigneter Ressourcen genutzt werden [15]. Schließlich ist die Entwicklung und Integration einer Auswertungskomponente (wie im Abschnitt Ergebnisauswertung skizziert) geplant, insbesondere sollte diese möglichst leicht für Endanwender konfiguriert werden können. Letzteres stellt insbesondere bei komplizierteren Metriken ein Problem dar. Aus diesem Grund könnte ein möglicher Lösungsansatz in der festen Integration einer Menge von Metriken, die eine Konfiguration bestimmter Parameter durch den Endanwender erlaubt, bestehen.

Literatur

1. Arsanjani, A.: Service-oriented modeling and architecture, IBM DeveloperWorks, <http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-soa-design1/>, 2004.
2. Bieberstein, N., Bose, S., Walker, L., Lynch, A.: Impact of service-oriented architecture on enterprise systems, organizational structures, and individuals. IBM Syst. J., 44(4):691-708, 2005.
3. Bossel, H.: Modellbildung und Simulation – Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme, Vieweg-Verlag, Braunschweig–Wiesbaden, 1992.
4. Dostal W., Jeckle M., Melzer I., Zengler B.: Service-orientierte Architekturen mit Web Services – Konzepte, Standards, Praxis, Spektrum Akademischer Verlag, München, 2005.
5. Doubrovski V, Grundler J., Hogg K., Zimmermann O.: Service-Oriented Architecture and Business Process Choreography in an Order Management Scenario: Rationale, Concepts, Lessons Learned, OOPSLA 05, San Diego, 2005.

6. Drescher, A., Oberweis, A. und Schuster, T.: Selektionsalgorithmus zur effizienten, kompetenzorientierten Ressourcenallokation in Geschäftsprozessen, EMISA 2010 - Entwicklungsmethoden für Informationssysteme und deren Anwendung, 2010.
7. Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Simulation>, letzter Abruf am 06. September 2009.
8. Fenton, N.E., Pfleeger, S.L.: Software Metrics. A Rigorous and Practical Approach, 2nd edn. PWS, Boston (1997).
9. Fujimoto, R.M: Parallel and distributed discrete event simulation: algorithms and applications; Proceedings of the 25th conference on Winter simulation, Los Angeles, California, United States: ACM, S. 106-114, 1993.
10. Lenz K., Oberweis A.: Interorganizational Business Process Management with XML Nets, in: H. Ehrig, W. Reisig, G. Rozenberg, H. Weber (Hrsg.): Petri Net Technology for Communication Based Systems. LNCS 2472, Springer-Verlag, 2003.
11. Mendling, J.: Metrics for Process Models: Empirical Foundations of Verification, Error Prediction, and Guidelines for Correctness; Springer, Berlin, 2008.
12. Moore, G. E.: Cramming more components onto integrated circuits, Electronics, Volume 38, Number 8, April 19, 1965.
13. Nance, R.E.: A history of discrete event simulation programming languages; The second ACM SIGPLAN conference on History of programming languages, Cambridge, Massachusetts, United States: ACM, S. 149-175, 1993.
14. Nance, R.E.: A history of discrete event simulation programming languages; History of programming languages, Cambridge, Massachusetts, United States: ACM, S. 149–175, 1993.
15. Oberweis, A. und Schuster, T.: A meta-model based approach to the description of resources and skills. In 16th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2010 Proceedings, 2010.
16. Page, B. und Kreutzer, W.: The Java Simulation Handbook: Simulating Discrete Event Systems with UML and Java, Shaker Verlag, 2005.
17. Petri Net Steering Committee (Petri, C.; van der Aalst, W.; illington, J.; Desel, J.; Reisig, W.; Rozenberg, G. et al): Petri Nets World, <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets>, letzter Abruf am 06.09.2009.
18. Pressemitteilungen und Informationen zum 40. Geburtstag von „Moore's Law“ http://www.intel.com/pressroom/kits/events/moores_law_40th/, letzter Abruf am 6. September, 2009 .
19. Robert D. Smith: Simulation Article (1998) <http://www.modelbenders.com/encyclopedia/encyclopedia.html>, letzter Abruf am 06. September 2009.
20. Schuster, Thomas: Modellgetriebene Entwicklung grafischer Benutzer-schnittstellen, MDA im Einsatz; VDM Verlag Dr. Müller, ISBN-10: 3836452596, Dezember 2007.
21. Shannon, E.: Systems Simulation – The Art and Science. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1975.
22. Überblick über Simulationssoftware: <http://www.idsia.ch/~andrea/sim/simtools.html>, letzter Abruf am 6. September 2009.
23. Überblick über Simulationssoftware: <http://www.softguide.de/software/simulation.htm>, letzter Abruf am 6. September 2009.
24. VDI-Richtlinien 3633, Begriffsdefinitionen: Simulation von Logis-tik-, Materialfluß- und Produktionssystemen; VDI-Handbuch Materialfluß und Fördertechnik, Band 8 Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf, 1996, AC-Code DE18991576

25. VDI-Richtlinien 3633, Blatt 11: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Simulation und Visualisierung; VDI-Handbuch Materialfluß und Fördertechnik, Band 8 Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf, 2003, AC-Code DE45707568.

Kontaktadresse

Thomas Schuster

FZI Forschungszentrum Informatik
Haid-und-Neustraße 10-14
D-76133 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721-9654 642
Fax: +49 (0) 721-9654 643
E-Mail: schuster@fzi.de
Internet: www.fzi.de