

# IGMO Skript SoSe 2017

Gohannes Jöbel – Modellierung und Simulation organisatorischer Systeme  
von Spokey 4buczko

*Das 5. Kapitel fehlt in diesem Skript!*

## 1. Kapitel: Motivation – Eingrenzung

### **1.1 Warum Modellierung und Simulation?**

*Man sollte sich nicht die Frage stellen, ob man sich die Simulationstechnik leisten kann, sondern wie lange man es sich noch leisten kann auf die Simulation zu verzichten.*

In der Simulation eingesetzte Methoden der Informatik sind

- Programmiersprachen
- Entwurfsmethoden (Petrietze, UML, BPMN)
- UIs
- Datenbanktechnologien
- Parallelrechner
- Verteilte Systeme

### **Anwendungsfelder**

- Wirtschaft/IT Management: Planung von Betriebsabläufen, Personaleinsatz, Logistiksysteme, Controlling...
- Informatik: Konfiguration von Rechenanlagen, Analyse von Rechnernetzen, Datenbankentwurf, Rechnersicherheit...
- Verkehr und Transport: Planung von Hafenanlagen, Personennahverkehr, Ampelsteuerung...
- öffentliche Einrichtungen: Krankenhäuser, Feuerwehr...
- Umweltschutz: Verkehrsflusssimulation, Wirkung von Abwassereinigungsanlagen...
- Technik: Analyse der Ausfallsicherheit von Kommunikationssystemen...
- Militär:...

### **Warum experimentiert man mit Modellen und nicht am realen System?**

1. Unzumutbare Störung z.B. Notfallpraxis, Reaktorunfall
2. Untersuchungen zu aufwendig/teuer z.B. Fertigungssystem
3. Systemabläufe zu schnell/langsam z.B: chem. Reaktionen, Kontinentaldrift
4. Unzugänglichkeit, praktische Undurchführbarkeit z.B. andere Galaxy
5. Fehlen eines realen Systems

### **Beispiel: Wie verhält sich eine Fischpopulation in einem See bei Verschmutzung?**

- Welche Umweltsysteme sind betroffen?
- Aus welchen Komponenten bestehen die Teilsysteme und wie sind sie vernetzt?
- Wie reagiert das System auf Verschmutzung?
- Experiment am realen System nicht möglich siehe 3. ---> **Simulation**

### **Beispiel: Was ist die optimale Bearbeitungsreihenfolge für die Produkte in einem Fertigungssystem?**

- Wie hoch ist der Durchsatz?
- Wie ist die durchschnittliche Verweilzeit?
- Experiment am realen System nicht möglich siehe 1. und 2. ---> **Simulation**

## **1.2 Einführung in die Grundbegriffe**

### **System**

- Ausschnitt aus einer Gesamtmenge von Objekten und Beziehungen
- häufig komplex
- Eigenschaften und Attribute: Werte der Zustandsvariablen
- Systemzustand: Menge der Werte zu einem Zeitpunkt
- Systemverhalten: Dynamische Zustandsfolgen (Werteverlauf über die Zeit)
- Systemkomplexität: Verflechtungsgrad der Beziehungen
- offenes System: mind. eine Interaktionsbeziehung mit Systemumgebung - Systemgrenzen durchlässig z.B. eine Fabrik mit Systemeingängen Rohstoffe, Aufträge und Ausgängen Produkte und Abfälle
- geschlossenes System: keine Interaktion mit Systemumgebung z.B. ein Aquarium
- statische und dynamische Systeme: ohne Zeitbezug oder Berücksichtigung des Verhaltens der Systeme über die Zeit
- kybernetische und nicht-kybernetische Systeme: Berücksichtigung von Rückkopplungen zwischen Systemelementen

### **Systemanalyse**

- Ganzheitsbetrachtung vom Systemverhalten über die Zeit und Systemverhalten gegenüber menschlichen Eingriffen und Gestaltungswünschen
- Bereitstellung von relevanter Info für Entscheidungsträger
- Untersuchung am Modell

### **Systemtheorie**

- Theoretische Grundlage der Systemanalyse
- Ziel ist die Verallgemeinerung der Prinzipien für alle möglichen Systeme

## **Modellbildung**

- Modellierung beginnt mit Betrachtung und Abstraktionsprozess des Systems
- Subjektivität der Sicht des Betrachters: Analyseziele, persönliche Erfahrungen, Fachbezug
- Modelle dienen nicht zum Selbstzweck sondern zur Gewinnung von Verständnis
- "More an Art than a Science"
- um wissenschaftliche Hypothesen zu testen
- ihr Einsatz reduziert den gesamten Zeitaufwand von Projekten
- 

## **Modellbildung bedeutet Reduktion von Komplexität durch**

- Abstraktion: Verallgemeinerung, Unterscheidung des Wesentlichen vom Zufälligen z.B. Identifikation der gängigen Kundentypen gegenüber Zufallskunden
- Idealisierung: außerachtlassen von Unerwünschtem und Irrationalem, Anpassung von Unregelmäßigem, einige Störeinflüsse und Tatsachen werden nicht berücksichtigt z.B. Annahme eines rationalen Bestellverhaltens in der Lagerhaltung, Abschätzung jahreszeitlicher Schwankungen des Wetters

## **Modell**

Materielle oder immaterielle Systeme, die Elemente und Relationen des Ursprungssystems in vereinfachter Weise darstellen, so dass eine experimentelle Manipulation der abgebildeten Strukturen und Zustände möglich ist

## **Beispiele für Modelltypen**

- Materielles Modell: Schiffmodell
- Verbales Modell: umgangsprachl. Modellbeschreibung
- grafisches Modell: Kausaldiagramm, BPMN
- mathematisches Modell: Petri-Netz

## **Modellklassifikationen**

- Erklärungsmodelle
- Prognosemodelle
- Gestaltungsmodelle
- Optimierungmodelle

## **Simulation**

- Entwicklung der dynamischen Prozesse eines Systems an einem Modell auf Basis von realen Daten und der Durchführung von Experimenten an diesem Modell

## **Unterscheidung zwischen analytischen Modellen und Simulationsmodellen:**

### **analytisches Modell:**

- Mathematisches Gleichungssystem zur Berechnung einer geschlossenen Lösung für gesuchten Systemendzustand, z.B. Warteschlangenmodelle, Optimierungsmodelle mit Maximum
- sind einfacher als Simulationsmodelle,
- kein Ausprobieren nötig, wird mit Algorithmus berechnet

### **Simulationsmodelle:**

- Schritt für Schritt-Lösung mit Zwischenzuständen, die dem realen System nachgebildet werden z.B. Verteilungsannahmen, komplexe Interaktionen
- wird benutzt wenn analytisches Modell nicht reicht (aus Aufwandsgründen)
- verallgemeinert nicht, sondern bildet alles nach

### **Vorteile der Simulationsmodelle gegenüber den analytischen**

- ohne Vereinfachte Annahmen höheren Grad an Realitätsnähe
- Modellierung auf unterschiedlichen Detaillierungsgraden möglich
- erlaubt Sensitivitätsuntersuchungen der angenommenen statistischen Verteilungen z.B. Kunden kommen mit der Bahn in Schüben (5min Takt) - was hat eine das für Auswirkungen auf Simulation
- mathematisch weniger komplex
- alternative Systemstrukturen können untersucht werden
- sind anschaulicher, da zeitliche Entwicklung der Systemzustände nachvollziehbarer ist (Wegen Schritt für Schritt)

### **Nachteile der Simulationsmodelle gegenüber den analytischen**

- höherer Entwicklungsaufwand, Rechenaufwand, Datenbedarf
- Notwendigkeit der Wiederholung von Simulationsabläufen
- die optimale Lösung ist nicht garantiert, man findet meist nur eine gute Lösung

## **Unterscheidung zwischen diskreten und kontinuierlichen Simulationsarten:**


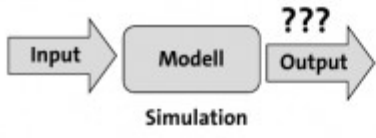

### **(Zeit-)diskrete Simulationsmodelle**

- Systemzustandsänderungen zu diskret verteilten Zeitpunkten z.B. Änderung der Warteschlangenlänge in Wartesystem zu versch. Zeitpunkten
- logisch-algorithmisch-mathematische Modellpräsentation

## Kontinuierliche Simulationsmodelle

- Beschreibung kontinuierlicher Systemveränderungen über die Zeit aufgrund physikalischer bzw. biologischer Gesetze
- Modellpräsentation für kontinuierliche Zustandsvariablen z.B. Differentialgleichungen

## Abgrenzung zwischen Modellierung, Optimierung und Simulation

 <p>Modellierung</p>	<p>Das Umsetzen eines Originalsystems mit den bestimmenden Eigenschaften in ein experimentierbares Modell, das die erwarteten Systemeigenschaften abbildet.</p> <p><b>Frage: WIE FUNKTIONIERT ES?</b></p>
 <p>Simulation</p>	<p>Gezielte Simulationsexperimente mit dem Ziel, die Systemabhängigkeiten untereinander abzuklären und das Ziel der Untersuchung zu erreichen.</p> <p><b>Frage: WAS IST DAS ERGEBNIS?</b></p>
 <p>Optimierung</p>	<p>Suche der Systemkonfiguration und der Systemparameter, bei denen für die Zielfunktion ein mathematisches Maximum oder Minimum erreicht wird.</p> <p><b>Frage: WIE WIRD ES ERREICHT?</b></p>

## Unterschiedliche Zielgruppen der Simulationsarten

### Zielgruppen diskreter Modelle

- BWL: Produktionssysteme, Logistik, techn. Zuverlässigkeit
- Inf, WiInf

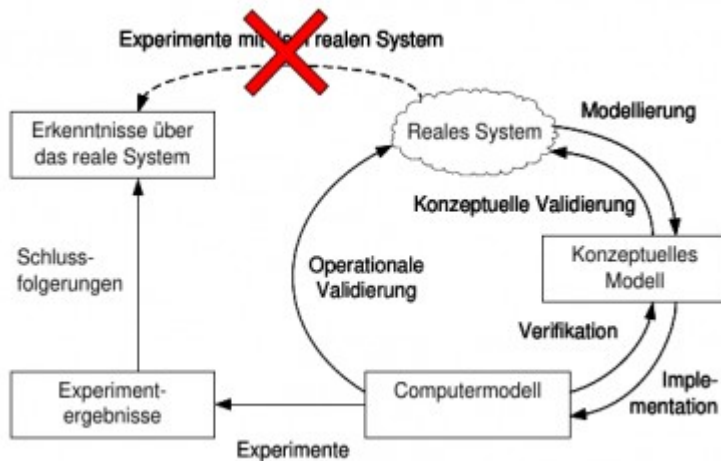
### Zielgruppen kontinuierlicher Modelle

- Biologie, Chemie, Physik
- Elektrotechnik, Maschinenbau
- Bauwesen, Verkehrsplanung

## 1.2.5 Modellbildungszyklus

**Konzeptuelles Modell:** Rechnerunabhängiges, gedankliches Modell als Ergebnis des Abstraktionsprozesses (reine Logik aus Anwendungssicht abstrahieren)

**Computer-Modell:** Implementiertes Modell, mit dem man Simulationsexperimente durchführen kann



Es gibt ein reales System und am besten wäre es wenn man mit ihm experimentieren könnte (ist aber oft nicht möglich). Sofern bleibt nur der Umweg über Modellierung durch Abstraktion und Idealisierung und kommen zu einem Konzeptionellen Modell. Verifikation prüft ob das Computermodell mit unserem Konzeptionellem Modell übereinstimmt.

### Phasen des Modellbildungsprozesses

1. Problemdefinition und Systemidentifikation
- 2.a.) Modellentwurf: Konzeptuelles Modell
- 2.b.) Datenerhebung: Parallel zur Entwurfsphase
3. Modellimplementation: (Teil-)Automatisierung auf Basis des formalen konzeptuellen Modells
4. Modellvalidierung: Prüfung der Gültigkeit (Plausibilität und Transparenz) eines Modells vor Anwendung --> kein Beweis der Modellkorrektheit
5. Simulationsexperimente: statistische Experimentalplanung (Parametervariation)
6. Ergebnisanalyse: statistische Auswertungsverfahren und Interpretation der Ergebnisse unter Berücksichtigung der Modelleinschränkungen
7. Dokumentation: Parallel zu allen Phasen für Modelltransparenz
8. Modelleinsatz in der Praxis: Benutzerfreundlichkeit wichtig für Modellakzeptanz

### Simulation und Computerspiele

#### Computerspiele als "Reaktionssimulation"

- Darstellung bzw. Auswertung der Einflüssen eines Spielers auf die Welt
- Strategische Planung: Abbildung komplexer Zsmhänge z.B. Städteaufbau
- Immersion: visuelle/akustische/haptische Abbildung der Realität z.B. Auto steuern

Merkmal	Simulation	Computerspiel
Daten	Möglich nah an Realität/Planung	Variiert, je nach Spielkonzept
Validierung	Zwingend, anhand der Eingabedaten	„Faire“ Bedingungen als Hauptanliegen: Spielziel muss erreichbar sein
Interaktivität	Normalerweise nicht erforderlich, ggf. in Lernumgebungen	Zwingend
Zweck	Aus Anfangsbedingungen und Eingabeparametern werden Ergebnisse vorhergesagt	Erlebnis der Interaktion, möglichst mit Erreichung der vorgegeben Ziele
Simulations-ansatz	Ereignisdiskrete (oder ggf. kontinuierliche) Simulation, Verwaltung künftiger Ereignisse in der Ereignisliste, korrektes Zeitmanagement...	
Software	I.d.R. spezielle Simulationssoftware, mehr in Kapitel 4	I.d.R. allgemeine Programmiersprache, häufig C++
Animation	Optional, unterstützt Kommunikation, mehr in Kapitel 4	Zwingend (zumindest heutzutage), wesentlicher Teil des Erlebnisses und Kontrolle der Interaktion

Quelle: Rikv. Fendelmann, Mein Mensch: Simulation und Computerspiele

## 2. Kapitel: Grundkonzepte der diskreten Ereignis-Simulation

### 2.1 Modellkomponenten (Entitäten bzw. Simulationsobjekte)

- Zu modellierendes Realsystem mit Struktur aus Komponenten
- Abbildung des Realsystems im Simulationsmodell in Form von Entitäten
- „Entität als Objekt, dessen Verhalten über die Simulationszeit definiert ist“
- „Eine Entität ist ein Objekt, welches in der Lage ist, sich (aktiv) in der Simulationszeit fortzubewegen“
- Modell bildet Wechselwirkungen der Entitäten über die Simulationszeit ab
- werden durch Zustände und Transformationsregeln (mit Zeitparametern für z.B. Nachrichten an Entitäten oder Zustandstransformationen) beschrieben

### **Beispiel: Verkehrssimulation**

#### **Entitätstypen:**

##### **Fahrzeug**

- Zustand
  - Geschwindigkeit: 0
  - Position...
- Transformationsregel: Fahren (jede Sek. Position und Geschw. verändern)

##### **Straße**

- Zustand:
  - Spuren: 1
  - Länge: 1000
  - MaxGeschw: 60
- Transformationsregel: -

##### **Ampel**

- Zustand: rot
- Transformationsregel: Phasenwechsel (alle 30sek)

### 2.2 Beziehungen zwischen Modellzustand und Zeitfortschritt

- In der Simulation erfolgt Modellierung der Dynamik des Systemzustandes über die Zeit
- (fiktive) Modellzeit ist unabhängig von Real- oder Rechenzeit (kann schneller oder langsamer laufen)
- Zustandsänderung einer Entität ist diskret oder kontinuierlich im Zeitverlauf



## Diskrete Simulation und diskrete Zustandsänderungen

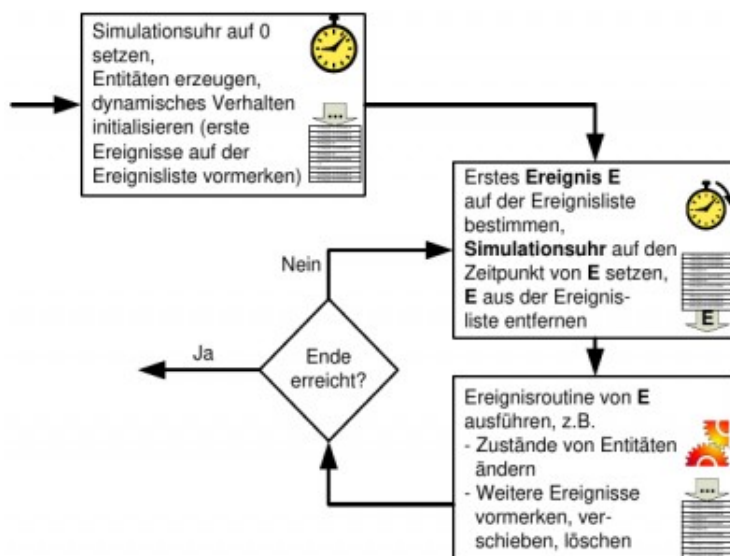
- Sprunghaft zu diskreten Zeitpunkten (=Ereignisse)
- konstante Zwischenzustände für i.d.R zufällige Zeitabschnitte (werden übersprungen da nichts Modellrelevantes passiert)
- für betrieblich-organisatorische Systeme (Wirtschaftsinformatik)

## Kontinuierliche Simulation und kontinuierliche Zustandsänderungen

- Veränderungen des Modellzustandes über Zeitspannen (stetig)
- mit freien Zeitvariablen
- Lösung mit numerischen Integrationsverfahren
- für Untersuchung komplexer physikalischer/biologischer Systeme z.B. Strömungslehre, Wettervorhersage, Ökosystemanalyse

## Zeitdiskrete Ereignis-Simulation

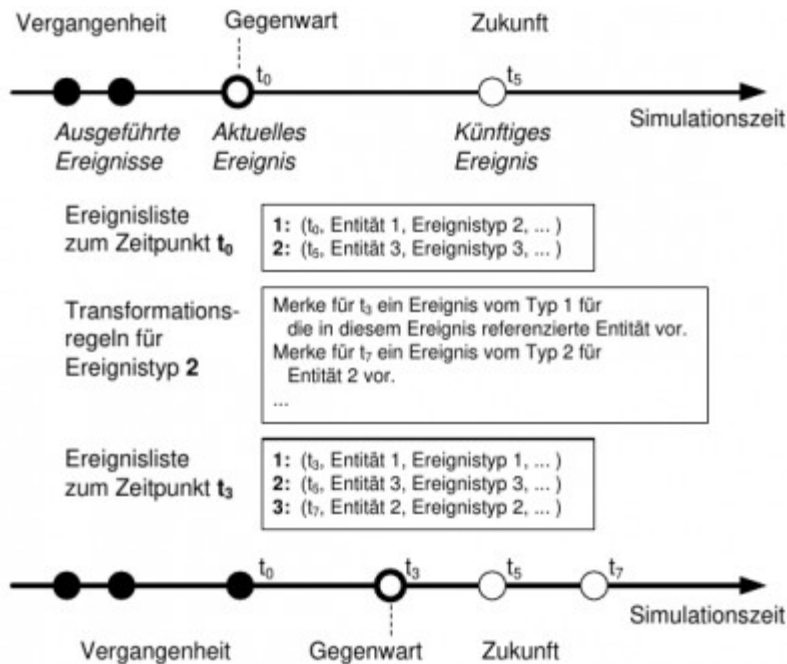
- Simulationszeit springt von Ereignis zu Ereignis
  - zwischen zwei Ereignissen passiert nichts und Zustand aller Entitäten bleibt unverändert
- Ereignisse haben einen Eintrittszeitpunkt (Simulationszeit, für die das Ereignis vorgemerkt ist)
- Ausführung eines Ereignisses
  - Setzen Simulationszeit auf Eintrittszeitpunkt aktuelles Ereignis
  - Zustandstransformation der vom aktuellen Ereignis betroffenen Entitäten, ggf. Auslösung von Folgeereignissen
  - Iterative Fortsetzung: Nach Abarbeitung des Ereignisses Bestimmung des nächsten Ereignisses (frühester Eintrittspunkt) und Setzen der Simulationszeit auf diesen Punkt



# Ereignisliste

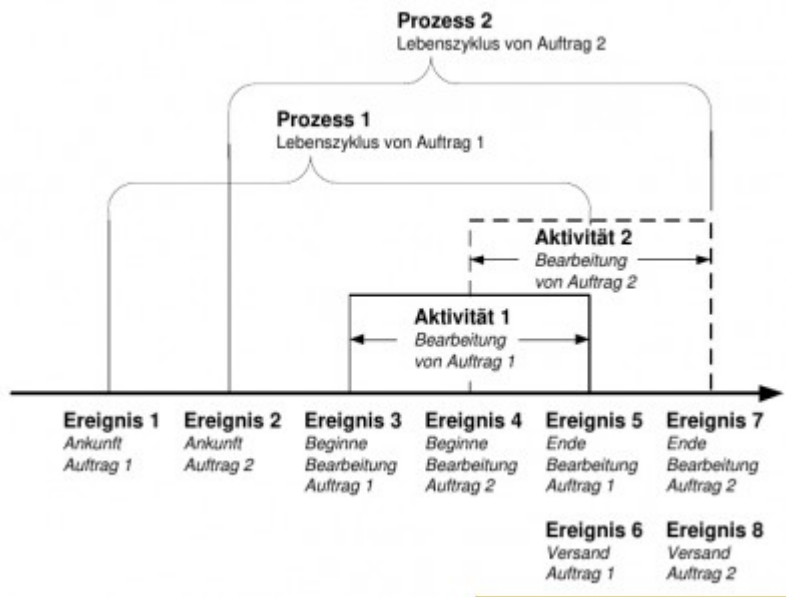
## Eintragung der zukünftigen Ereignisse in Ereignisliste

- in zeitlicher Reihenfolge
- Typische Operationen: Einfügen, Zugriff, Suchen, Löschen, Verschieben
- Simultane Ereignisse mit gleichem Eintrittszeitpunkt
  - Einordnung z.B. in der Reihenfolge des Eintrages oder nach vordefinierten Prioritäten



## Verknüpfungsarten zwischen Modellzustand und Zeitfortschritt

- **1.Ereignis:** Veränderung der Zustände einer oder mehrerer Entitäten zu einem bestimmten Zeitpunkt
  - Endogenes (internes) Ereignis: Ereigniszeitpunkt als Folge von internen Zustandsänderungen
  - Exogenes (externes) Ereignis: Ereigniszeitpunkt extern aus der Modellumgebung vorgegeben ohne interne Systemabhängigkeit
- **2.Aktivität:** Mengen von Operationen, die während eines Zeitintervalls ausgeführt werden
  - Modellzustandsänderung zum Endzeitpunkt des Intervalls, d.h. Wirkung der Aktivität erst an ihrem Ende
- **3.Prozess:** Folge von Aktivitäten einer Entität über eine Zeitspanne
  - Zsmfassung in Lebenszyklus einer Entität



## 2.3 Modellierungsstile der diskreten Simulation

### **Typische Komponenten diskreter Simulationen**

- alle Entitäten
- Simulationsuhr
- Ereignisliste
- Statistische Zähler: Variablen zur Sammlung der statistischen Ergebnisse des Simulationsablaufs
- Initialisierungsmethode
  - Routine zur Initialisierung des Simulationsmodells zum Simulationsbeginn ( $t=0$ )
  - Anfangszustand erzeugen
- Ereignis-/Prozessmethoden
  - Routinen zur Beschreibung der Modellzustandsänderungen in Abhängigkeit des Ereignis-/Prozessstyps
  - Eine Ereignismethode je Ereignistyp bzw. eine Prozessmethode (Lebenszyklus) je Prozesstyp
- Hauptroutine/-prozess
  - Benutzerdefinierte Methode zur Kontrolle des Simulationsablaufs
  - Insbesondere Beginn und Beendigung der Simulation
- Auswertungs-/Reportmethode
  - Berechnung der Ereignisse am Ende
- Interne Simulationssteuerungs-Methode (Scheduler)
  - Entnehmen des nächsten Ereignis/Prozess aus der Ereignisliste
  - Vorstellen der Simulationsuhr auf dieses Ereignis/Prozess (Zeitführung)
  - Ausführung der zugehörigen Routinen

## Implementation

Sollte bei nicht-modellspezifischen Komponenten modellunabhängig erfolgen

## Modellierungsstile der zeitdiskreten Simulation

- Unterschiedliche Darstellung der Dynamik des Systemverhaltens
  - versch. Umsetzungen des zeitfortschritt in Entitäten
  - Aufruf einer Methode und Rückkehr aus diesem Aufruf mit oder ohne Simulationszeitverbrauch

## Aktivitätsorientierte Simulation

- Entitäten als passive Objekte. "Stationen" versuchen die Durchführung von "Aktiviäten", wann immer möglich z.B: bei Verfügbarkeit aller als Eingangsstoffe benötigten Entitäten

## Transaktionsorientierte Simulation

- Entitäten durchlaufen das System, indem sie "Transaktionen" von Anbietern der Transaktionen anfordern (was im Fall von Nicht-Verfügbarkeit des Anbieters vorläufig nicht möglich ist)
- führt zum häufig auch in der prozessorientierten Simulation übernommenen Ressourcen Ansatz

## 2.4 Ereignisorientierter Modellierungsstil

- ist ein Modellierungsstil der diskreten Simulation
- traditioneller Simulationsansatz
- Systemdynamik als Abfolge von Ereignissen beschrieben
- sinnvoll bei
  - wenigen zeitkonsumierenden Aktivitäten. Beispiel Lagerhaltungsmodell: nur zeitverzugslose Bestandsänderungen
  - wenig im Zeitverlauf aktiven Objekten (vergleichbar zu Bedienern im Bedienungssystem). Beispiel Lagerhaltungsmodell: Für ein prozessbasiertes Modell müsste man sich einen fiktiven Prozess Lagerverwalter o.ä. vorstellen, der Kunden die nachgefragten Güter zuweist und Bestellungen aufgibt
- Beschreibung von Zustandsänderungen betroffener Entitäten zu diskreten Ereigniszeitpunkten
  - diese sind zeitverzugslos (Rechenzeitverbrauch, aber keine Simulationszeit)
- Beispiel: Ende der Bedienung eines Kunden zieht sofort den Beginn der Bedienung des nächsten wartenden Kunden nach sich
  - keine Pause vorgesehen im Standardfall
  - Zsmfassung in Modellereignis "Bedienungsende"
- Abbildung des dynamischen Systemverhaltens durch Folge von Ereignissen

- Zeitlich ausgedehnte Vorgänge (Aktivitäten) werden übersprungen z.B. Entladungsaktivität als Ereignisse Beginn und Ende der Entladung
- klare Trennung zwischen statischen (Abbildung der Struktur des simulierten Systems und dynamischen (Ereignisse und temporäre Entitäten) Modellkomponenten

## **konzeptuelle Modellierung**

1. Identifikation der relevanten Systemobjekte mit Attributen (statische und dynamische)
2. Beschreibung der Zustände/Zustandsübergänge durch UML-Zustandsdiagramme
3. Zuordnung der relevanten Systemzustandsänderungen zu den Entitäten
  - Einnahme einer Vogelperspektive, Überblick über alles notwendig
  - Zsmfassung der elementare Zustandsänderungen zu einem Ereigniszeitpunkt in Ereignissen eines Typs
4. (Semi-)Formale Beschreibung der Modelldynamik
  - Definition der Ereignistypen
  - Priorisierung der Ereignistypen bei Gleichzeitigkeit

## **Softwaretechnische Implementierung: Computer-Modell**

- **Ereignismethoden für alle Ereignistypen**
  - Beschreibung der modellspezifischen Zustandsänderungen
  - Änderung der Attributwerte von Entitäten
  - Generierung/Löschung von temporären Entitäten
  - Ansetzen neuer Ereignisse in der Ereignisliste
  - Verschieben/Löschen vorgemerakter Ereignisse in der Ereignisliste
- **Ablaufkontrolle durch Simulations-Scheduler**
  - Sequentielle Abarbeitung der Ereignisliste
  - Überspringen der ereignislosen Zeitintervalle, also Fortschalten der Simulationsuhr auf nächsten Ereigniszeitpunkt
  - Ausführung der Ereignismethoden in zeitlicher Ordnung

## 2.5 Prozessorientierter Modellierungsstil

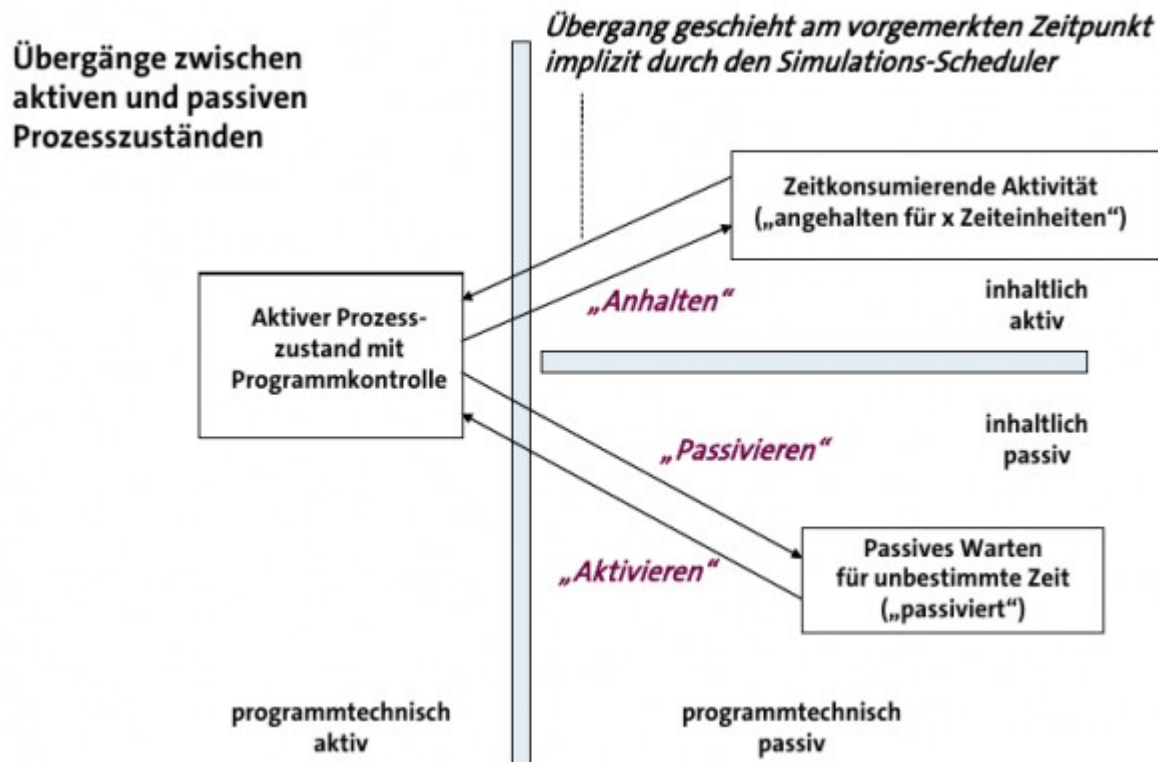
- wichtigster Modellierungsstil der zeitdiskreten Simulation
- Modellierung von Lebensläufen von Entitäten und deren Interaktion als quasi parallele Prozesse auf externer Ebene
- Abbildung auf interne Ereignisse in Ereignisliste
- Verwandtschaft beider Ansätze aus interner Sicht
  - Eintrag der Prozessentitäten selbst in Ereignisliste mit Reaktivierungszeitpunkten
  - Eintrag von Ereignisnotizen mit Eintrittszeitpunkten und Verweisen auf betroffene Entitäten

- Beschreibung der Lebenszyklen der Simulationsentitäten in Prozessen in Form von Simulationszeit konsumierenden Tätigkeiten
- Beschreibung des Systemverhaltens durch Folgen von Übergängen der Prozesse in aktive und passive Phasen
- Prozesse als logische Verknüpfungen von Zustandsänderungen der einzelnen Entitäten über Zeitspannen
  - Ausgangspunkt: Systemobjekte und ihre Aktivitäten
  - Lebenszyklus von Entitäten
  - Interaktion zwischen den Entitäten
  - Modellierung aus Sicht der einzelnen Entität (Froschperspektive)

## Modellierung

- Identifikation
  - der relevanten Systemobjekte
  - der zugehörigen Objektattribute
  - der Objektaktivitäten
- Beschreibung der Lebenszyklen der Modellentitäten
- Interaktion der Entitätstypen, sofern vorhanden
- Zuordnung der Überschneidungsbereiche
  - gemeinsame Aktivitäten
  - Beispiel: Bearbeitung eines Fertigungsauftrages durch eine Maschine
- Das Fortschreiten der Simulationszeit während des Lebenszyklus eines Prozesses muss möglich sein
  - Prozesse als spezielle Entitäten mit über die Zeit definiertem Verhalten
  - Prozesse müssen auf Reaktivierung (also ein Ereignis) warten können
- zwei Typen von Prozessen:
  - aktiv (zeitverzuglose Zustandsänderungen an einem Zeitpunkt, Programmkontrolle bis sie durch Übergang an eine der beiden Arten passiver Prozesse freiwillig abgegeben wird)
  - passiv
  - Passives warten: "Prozess ist passiviert" Zeitlich unbestimmte Abgabe der Programmkontrolle, Prozess bleibt deaktiviert (nicht in Ereignisliste vorgemerkt) solange er nicht aktiviert wird
  - Zeitkonsumierende Tätigkeit: "Prozess ist angehalten" aktiv aber auf bestimmte Zeit begrenzte Abgabe der Programmkontrolle, Prozess wird nach einer Verzögerung automatisch wieder aktiv (Eintrag eines Ereignisses zur Reaktivierung für den Zeitpunkt, an dem die zeitkonsumierende Aktivität abgeschlossen ist), auch ohne Aktivierung durch einen anderen Prozess

- Während der Durchführung der Simulation ist stets nur ein Prozess aktiv aber beliebig viele passivierte und angehalte zulässig. Solche pseudoparallelen Prozesse ermöglichen die Abbildung konzeptuell gleichzeitiger Aktivitäten



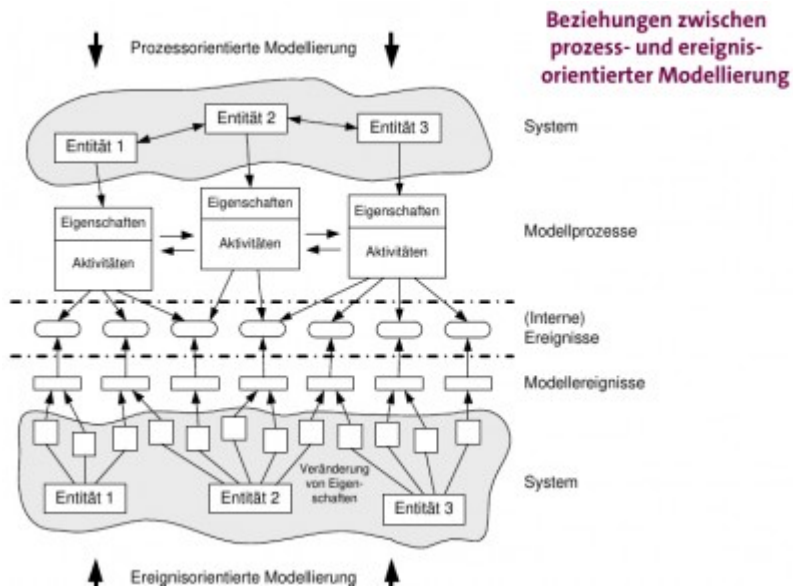
## Simulationsablaufsteuerung

- Simulationskontrolle jeweils bei Prozess in aktiver Phase (bzw. Scheduler) mit Möglichkeiten zur
  - Generierung neuer Prozesse
  - Reaktivierung passivierter Prozesse
  - Verschiebung des Beginns aktiver Phasen anderer Prozesse
  - Unterbrechung der eigenen Aktivphase
  - Modifikation von Objektattributen
  - Terminierung von Prozessen
- zu aktivierende Prozesse in interner Ereignisliste
  - Ereignisliste ist in diesem Fall eine Liste der vorgemerkten Prozesse
  - Sortierung nach (Re-)Aktivierungszeitpunkten der Prozesse
- Ablaufsteuerung durch internen Simulations-Scheduler
  - Aktivierung der eingetragenen Prozesse
  - Hauptprozess übernimmt Initialisierung, Übergabe an Scheduler und Simulationsabschluss
  - Fortsetzung des Ablaufs eines vormals aktiven Prozesses an Deaktivierungsstelle

- Abspeicherung des Entitätszustandes zum Deaktivierungszeitpunkt
- Alle Daten zur Fortführung des später reaktivierten Prozesses (Register-, Stackinhalte)

## 2.6 Gegenüberstellung der beiden Hauptmodellierungsstile

### Beziehungen zwischen Ereignis- und Prozessorientierter Modellierung



## 2.7 Vergleich und Bewertung der Modellierungsstile der diskreten Simulation

### Ereignisorientierte Modellierung

Modellierungsansatz akzeptabel bei einfachen Systemen mit geringen Interaktionen zwischen Modellobjekten

#### Vorteile

- typische Systemzustandsänderungen häufig besser mit Ereignissen zu beschreiben (z.B. externe Ereignisse)
- Blick hinter die Kulissen
  - Interne und externe Repräsentation der Modelle gleich
  - Interne Abläufe der zeitdiskreten Simulation immer über Ereignisse gesteuert
  - Förderung des Verständnisses des internen Abläufe
- einfache Realisierung der Ablaufsteuerung
- relativ effiziente Simulationsprogramme

#### Nachteile

- Verteilung logisch zusammenhängender Abläufe (z.B: einzelner Entitäten) auf versch. Ereignisroutinen



- bzw. Zusammenfassung sachlich getrennter Abläufe in der gleichen Ereignisroutine
- mangelnde Übersichtlichkeit
- Ansatz fehleranfällig bei komplexeren Systemen mit größeren Interaktionen zwischen Modellentitäten
  - begrenzte Eignung für komplexere Realsysteme

## **Prozessorientierte Modellierung**

Jedes prozessorientierte Modell in ereignisorientiertes überführbar.

### **Vorteile**

- Natürlichere Modellierung: Direkte und damit natürlichere Repräsentation der Systemobjekte auf Modellebene
- Vorgehensweise bei der Modellierung strukturierter
- größere Übersichtlichkeit der Systemstruktur: höhere Anschaulichkeit insbesondere bei komplexen und überwiegend parallelen Handlungen
- Besonders gut geeignet für typische Bedienungssysteme: Beschreibung der Tätigkeiten und Ressourcenanforderungen
- Verwandtschaft zur Objektorientierung

### **Nachteile**

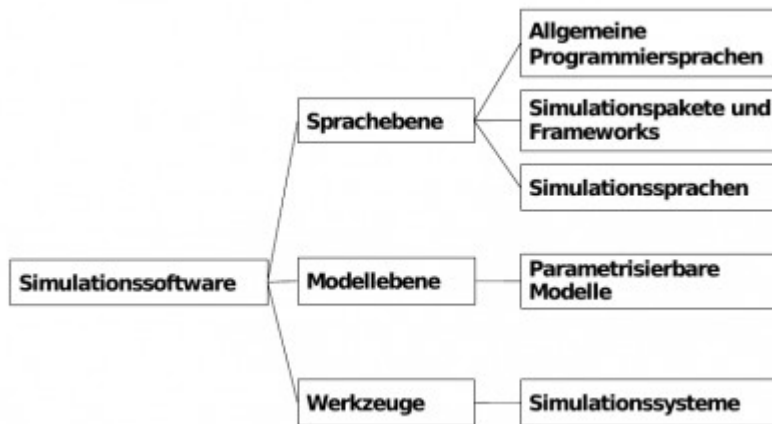
- Zum Teil umständliche Modellierung bei anderen Modelltypen
  - Lagerhaltungssysteme oder ausfallanfällige Systeme: Vorrangig Beschreibung von Bestandsänderungen, nicht Aktivitäten, also Identifikation aktiver Systemobjekte schwierig
- interne Modelle komplexer als im ereignisorientierten Ansatz, höhere Laufzeiten

## **Schlussfolgerungen**

- Prozessorientierte Simulationsmodellierung vorziehen
  - sofern anwendbar (Bedienungssysteme)
  - andere Modellklassen ggf. mit ereignisorientierten Ansatz
- Ereignisorientierter Ansatz grundlegend für Verständnis der internen Simulationsabläufe
  - Abbildung von Abläufen auf Ereignisse auf interner Ebene im prozessorientierten Ansatz
- Kopplung jeweils geeigneter Modellierungsstile für Teilaspekte eines Modells wünschenswert
  - BPMN-Prozessmodellierung ermöglicht insbesondere sich wiederholende Startereignisse sowie Nachrichtenaustausch, Signale und Unterbrechungen auf Basis von Zwischenereignissen

## 3. Kapitel: Simulationssoftware

### 3.1 Typisierung der Simulationssoftware



### **Entwicklungsphasen der Simulationssoftware**

Gene-ration	Zeit-periode	Typische Eigenschaften	Software-beispiele
Erste	Sechziger	Nutzung allgemeiner, höherer Programmiersprachen für Simulationszwecke	Fortran, Algol
Zweite	Siebziger	Erste Simulationspakete und -sprachen; Prozessorientierte Simulationsmodellierung; Kombinierte diskret-kontinuierliche Sim.	GASP, GPSS, Simscript; Simula; ACSL
Dritte	Achtziger	Domainspezifische Simulatoren; erste Komponentenbibliotheken. Erste graphische Modellierungstools; Integrierte Animationstools	SEE WHY, SIMFACTORY, WITNESS
Vierte	Neunziger	Integrierte Simulationsumgebungen; Objektorientierte Simulation; Umfassende Unterstützung für 2-D und 3-D Visualisierung und Animation	CREATE!, Extend; Plant Simulation; Arena; SIMPLEX III
Fünfte	Seit 2000	Komponentenbasierte Simulationsbibliotheken; Integration von Optimierung; Kollaborative, web-basierte Modellierung und Simulation; Agentenbasierte Simulation; VR Simulation (Games)	AnyLogic; DISMO; IYOPRO; MILAN; Simio; Simulation 123

### **Animation**

- Visualisierung der Änderungen der Modellzustandsgrößen während (Online-Animation) oder nach einem Simulationsablauf (Offline-Animation)
- Leistungsfähige Grafik wichtiger Faktor für wachsende Bedeutung der Simulationstechnik
- Unterstützung der Modellvalidierung: Anschauliches Debugging des Simulationsmodells, Fehlererkennung und -lokalisierung
- verbesserte Vermittlung der Funktionen und Logik des Simulationsmodells für die Modellanwender
- Anschauliche Präsentation von Simulationszuständen z.B. Visualisierung von Engpässen

- Vorteile der Animation
  - Verbesserte Test- und Validierungsmöglichkeiten
  - höhere Anschaulichkeit
  - bessere Kommunikationsmöglichkeiten mit Modellanwendern und Entscheidungsträgern
- Nachteile und Grenzen der Animation
  - Leichte Fehlinterpretationsmöglichkeiten "Schnellschüsse von Entscheidungsträgern"
  - Vernachlässigung der Zufallsaspekte von Simulationsmodellen
  - Oberflächliche Betrachtung der Modellstruktur

### 3.2 Auswahlkriterien für Simulationssoftware in der Praxis

#### **Fachliche Angemessenheit vor allem Simulationsfunktionalität**

- Modellierungskonzept
  - diskret/kontinuierlich
  - unterstützte Modellierungsstile
  - Simulationssprache (Programmiersprache)
  - Modellstrukturierungs- und Hierarchisierungsmechanismen, Bausteinkonzept (Modellbausteine)
  - Abbildungsgenauigkeit, Flexibilität und Verfügbarkeit benötigter stochastischer Verteilungen
  - Anschaulichkeit, vor allem grafische Modellierung
- Anwendungsdomäne
  - Fertigung, Materialfluss, Logistik, Warehousing, Hafenbetrieb, Informationsfluss...
- Experimentdurchführung
  - Batch-Experimentierung
  - Debugging, Fehlersuche
  - Optimierung
- Ergebnisse und ihre Darstellung
  - Statistiken, Grafiken
  - Benutzerdefinierte Ausgabe-/Exportmöglichkeiten
- Animation
  - On/Offline, 2D, 3D
- Anforderungen an die Nutzer
  - Erforderliche Simulationserfahrungen
  - Spezielle Programmier-/Softwarekenntnisse, Einarbeitungszeit

## **technische Anforderungen: Performance, Integrationsfähigkeit mit anderen IT-Systemen**

- Hardware-/Softwareanforderungen
  - Rechnerplattform, Betriebssystem, Bildschirmauflösung, GUIs
  - Performance
- Integration/Schnittstellen
  - Integration in bestehende IT-Landschaft
  - Schnittstellen z.B. CAD, ASCII, SQL, Tabellenkalkulation, C++, Java
- Benutzerschnittstelle
  - GUI, kontextsensitive Hilfefunktion

## **Anbietermerkmale und Kosten**

- Verbreitungsgrad, Referenzen, Dienstleistungen
  - Markstellung und Zukunftsfähigkeit des Herstellers
  - Dokumentation, Wartung, Installationsanzahl (typischerweise zwischen 10-100)
  - Benutzerschulung und -unterstützung, Lernmaterialien, Beratung
  - Referenzen von anderen Anwendern
  - Verfügbarkeit von Testinstallationen und Demos
- Weiterentwicklung
  - Updates und Ankündigung neuer Releases
- Beschaffungs- und Betriebskosten
  - Lizenz: Kostenspanne für Simulationssoftware von unter 1000€ bis über 75000€
  - oder zeitbegrenzte Lizenzen
  - höhere Kosten für leistungsfähigere Versionen
  - ggf. Zusatzkosten für Support-Dienstleistungen
  - eingeschränkte Ausbildungsversionen oft wesentlich preisgünstiger
  - Betriebskosten vor allem qualifizierte Personalkosten (i.d.R. wichtiger als Beschaffungskosten)

## **3.3 Übersicht über marktgängige Softwareprodukte für die diskrete Simulation**

Simulationswerkzeuge am Markt vorrangig für Simulation von Produktionssystemen: Bsp. IYOPRO

### **Vergleichskriterien für 55 Simulationsprodukte von 29 kommerziellen Herstellern:**

Hersteller, Anwendungsdomänen, grafische Modellierung, Schätzfunktionen für Eingabeverteilungen, Wiederverwendbarkeit von Submodellen, Unterstützung für die statistische Analyse der Ausgabedaten, interaktiver Debug-Modus, typische Anwendungsbereiche, Speicherbedarf, Betriebssysteme, Benutzerschulungen, Kosten...

### 3.4 Vorstellung des Modellierungs- und Simulationswerkzeugs IYOPRO

**Typisierung:** Simulationssoftware > Werkzeuge > Simulationssysteme

Simulationskern von IYOPRO ist DESMO-J

#### **Ansatz von IYOPRO**

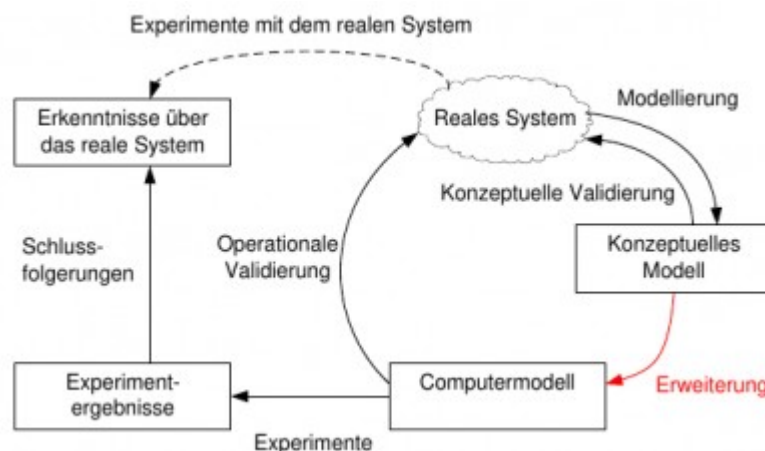
**Integriertes Werkzeug: Erfassung, Modellierung, Simulation, Analyse von Geschäftsprozessen mit dem selben Tool**

- Konzeptuelle Modellierung von Prozessen auf Basis von BPMN (Drag & Drop)
- Simulationsfunktionalität untrennbar verknüpft mit BPMN-Modellierung, Ausführung der Simulation via Play-Button
- Ausführbarkeit der Simulation erfordert nur die explizite Angabe aller hierfür benötigten Daten z.B.
  - explizite Angabe der Verteilungen der Dauer der Aktivitäten (Tasks)
  - frei formulierbare Fallunterscheidungen via Python Skripte
  - aber insbesondere kein verlust-/fehlerfreier Austausch der Modelle zwischen verschiedenen Tools

**Traditionelle Erkenntnisgewinnung durch Simulation** Siehe Kapitel 1.5 Trennung von konzeptuellem Modell und Computermodell

#### **Computermodell als Obermenge des konzeptuellen Modells in IYOPRO**

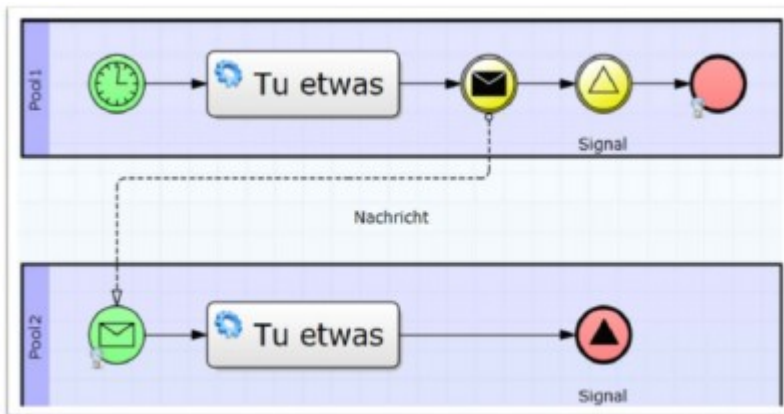
- Computermodell als Ergänzung des konzeptuellen Modells um Verteilungen, formale Logik für Fallunterscheidungen



#### **Modellierung und Simulation mit IYOPRO**

- Properties-Editor: Hinterlegung von Zeitdauern einer Aktivität über ihre Simulation-Properties
- Korrektheit der BPMN Modelle

- GUI verhindert einfache Modellierungsfehler, z.B gibt es nur ein Werkzeug zum Erstellen von Kanten
- Konformitätsprüfung: Erkennung von fehlenden oder falsch konfigurierten Modellbestandteilen
- Prozesse ohne Anfangs- oder Endereignisse
- Fehlende Verteilung für die Dauer eines Tasks oder der Länge einer Zwischenankunftszeit (zeitgesteuertes Startereignis)
- Empfangsereignisse für Nachrichten, Signale oder Unterbrechungen, die von keinem Prozess versandt werden
- Nachrichten, Signale, Unterbrechungen
  - Identifikation zusammengehöriger Sender und Empfänger über das Einzeichnen von Nachrichtenflusskanten (Bsp: Nachricht) oder die Verwendung identischer Namen (Bsp: Signal)



## Variablen

- numerischer Wertebereich: nicht numerische Prozesseigenschaften müssen als Zahl codiert werden
- Definition via Properties
  - Expressions können logische und mathematische Funktionen enthalten (Python Skripte)
  - Variablen können auch zufällige Werte aus stochastischen Verteilungen zugewiesen bekommen
  - Wahlweise unabhängige Belegung für jede Prozessinstanz (Instanzvariablen) oder globale Gültigkeit eines Variablenwertes
- Verwendung z.B. für Fallunterscheidungen in XOR-Gateways
  - boolesche Ausdrücke in ausgehenden Sequenzkanten hinterlegen
  - für default-Kanten sonst nicht nötig/möglich
  - Alternativ können XOR-Gateways mit festen Wahrscheinlichkeiten je ausgehender Kante definiert werden

- jedoch nicht beides zugleich, d.h wenn entweder das Feld Expression oder Probability ausgefüllt wird, verschwindet das jeweils andere ( und erscheint wieder, wenn der Eintrag im zuerst ausgefüllten Feld gelöscht wird)

## **Ressourcen basierte Synchro**

- Ressourcen müssen vor Ihrer erstmaligen Verwendung definiert werden
  - insbesondere auch Festlegung der Rollen, die eine Ressource einnehmen kann, Aktivitäten oder Lanes benötigen stets Rollen, keine konkreten Ressourcen
  - Bsp: ein konkreter Mitarbeiter im Einzelhandel (=Ressource) könnte in der Rolle Verkäufer oder Lagerarbeiter an einem Prozess teilnehmen, ein anderer nur als Verkäufer
- Organisationsdiagramme beschreiben verfügbare Ressourcen und ihre Rollen
  - Bsp für Ressourcen: Mitarbeiter, Maschinen, Platz
- In Kollaborationsdiagrammen erfolgt dann die Festlegung eventuellen Ressourcen-Bedarfs von Aktivitäten oder ganzen Lanes über die Definition von Participants (=benötigte Rollen)
- IYOPRO unterscheidet u.a. folgende Zustände einer Ressource bezüglich ihrer Verfügbarkeit für eine Rolle
  - Idle: Ressource ist für Anforderungen verfügbar
  - In use: Ressource wird von einem Prozess, der sie für die benötigte Rolle angefordert hat, verwendet (nur möglich wenn die Ressource mehrere Rollen einnehmen kann)
  - Waiting: Ressource wurde von einem Prozess angefordert, wird aber noch nicht verwendet, weil der Prozess noch auf andere angeforderte Ressourcen wartet
  - Post processing/setup: Vor- bzw. Nachbereitung einer Nutzung
- Schichtpläne können die (tages)zeitliche Verfügbarkeit der Ressourcen begrenzen
- Die Verhinderung von Deadlocks ist Sache des Modellierers, insbesondere kann die Zuordnung der Ressourcen zu Prozessen über Prioritäten kontrolliert werden

## **weitere Möglichkeiten (Auswahl)**

- Subprozesse und Unterbrechung von Aktivitäten
- Mehrfachaktivitäten
  - welche die wiederholt durchlaufen müssen (z.B. festen Zahl von Iterationen oder einer Schleife mit Definition einer Abbruchbedingung)
  - Die Ausführung von einer festen Zahl von Iterationen einer Aktivität kann auch parallel geschehen (d.h. es wird auf die am längsten dauernde Einzelaktivität gewartet)
- Zeitkonsumierende Sequenz/Nachrichten-Kanten (Schaltzeiten)
  - Ermöglicht extrem kompakte Modellierung: zeitverbrauch kann versteckt werden
  - Warnung: eventuell fehleranfällig

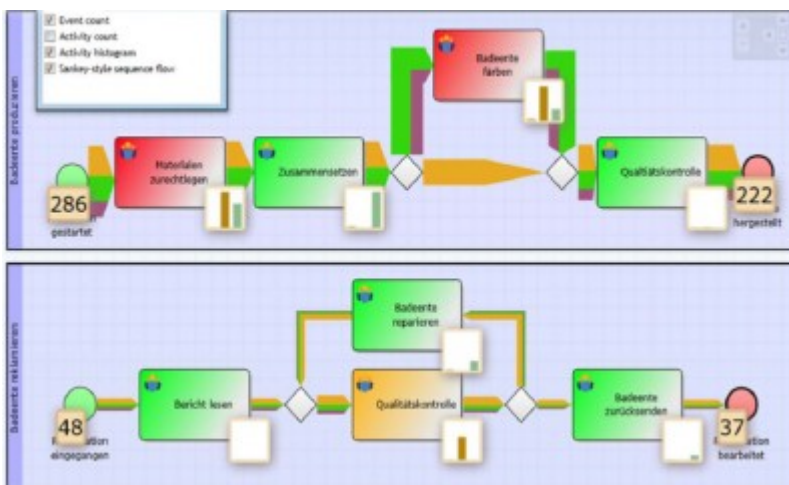
## Simulation

- Wechsel zur Simulationsansicht via Ribbon Schaltfläche
- Definition von Experiment-Dauer und Seeds
  - Zufallszahlen-Seed wird verwendet, um einzelne Zufallszahlen-Seeds für jede einzelne verwendete Verteilung (z.B. in zeitkonsumierende Aktivitäten) zu generieren
  - soweit Verteilungen nicht explizit fixe Seeds zugewiesen wurden
- Start des Experiments via Play Diagram-Button
  - nach Aufruf des Experiments erscheint ein neuer Reiter "Simulationsreport"

## Report

- numerische und visuelle Darstellung der wesentlichen Ergebnisse eines Simulationsexperiments z.B. Auszug
  - Prozesse: Anzahl der Instanzen je Prozess insgesamt, Anzahl parallel existierender Instanzen, Dauer der Prozessausführung
  - Aktivitäten: Häufigkeit der Ausführung einer Aktivität insgesamt, Anzahl paralleler Ausführungen der Aktivität, Dauer der Aktivität
  - Ressourcen: Zeitanteile(s), Verfügbarkeit/Benutzung/Warten/Blockade
  - Warteschlangen (werden implizit erzeugt z.B. bei Prozessinstanzen, die auf eine Nachricht oder die Verfügbarkeit einer Ressource warten) : Wartedauer, Warteschlangenlänge
  - Experimentdauer, Zufallszahlenseeds

Optische Anreicherung der Kollaborationsdiagramme: Experiment results-Perpektive Sankey-Darstellung mit Häufigkeiten der Aktivitäten und Transitionen mit optionaler Färbung (z.B. nach Wartezeiten) und Mini-Diagrammen der Verteilungen





## Fazit

### Was bietet IYOPRO zur Prozessmodellierung?

- Komfortable Modellerstellung
  - Drag & Drop
  - Erlernbarkeit: Programmierkenntnisse nicht zwingend
  - Konformitätsprüfung
- Abdeckung vieler typischer Anwendungsfälle der betrieblichen Praxis
  - Insbesondere Ressourcen-Synchro erlaubt kompakte Modellierung komplexer Simulationsprozesse
- Interaktive Simulationsexperimente
- ausführliche Simulationsreports

### Was fehlt IYOPRO?

- Ereignisbasierte Modellierung
  - Warten auf Ereignisse (Zwischenereignisse) ist möglich, jedoch keine weiteren Operationen z.B. verschieben/löschen
- Zugriff auf und ggf. Anpassung der Simulationsinfrastruktur
  - z.B. Erweiterung der Reports, Austausch der Zufallszahlengeneratoren, Definition eigener stochastischer Verteilungstypen, Debugging innerhalb der Simulationsinfrastruktur
- Flexibilität einer allgemeinen Programmiersprache
  - z.B. Definition eigener Modellierungskonstrukte

Konsequenz: ggf. Simulation auf Sprachebene

## 3.5 Vorstellung Simulationsframework DESMO-J

**Typisierung:** Simulationssoftware > Sprachebene > Simulationspakete und Frameworks

### Was muss ein Simulationsframework wie DESMO-J leisten?

#### Simulationssoftware auf Sprachebene

- Unterstützt nicht den kompletten Modellbildungszyklus
- Schwerpunkt liegt auf Implementierung und Ausführung des Computermodells
- Komponenten für diskrete Simulation
  - Entitäten (Eigenschaften, Verhalten, Beziehungen)
  - Stochastische Verteilungen (zufälliges Verhalten)
  - Datensammler (statistische Ereignisse und Prozessaktivierungen)
  - Simulationsuhr (Modellzeit)
  - Scheduler (Kontrolle der Ausführung, sorgt für konzeptuelle Nebenläufigkeit der interagierenden Entitäten)

# Was ist ein Framework?

## Framework

- Sammlung von Softwarekomponenten, die zur Erledigung einer gemeinsamen Aufgabe zusammenarbeiten
- Kooperationsverhalten ist vorgegeben
- Komponenten können je nach Anwendungsbereich wiederverwendet, ausgetauscht und erweitert werden
- Framework gibt Architektur einer Anwendung vor

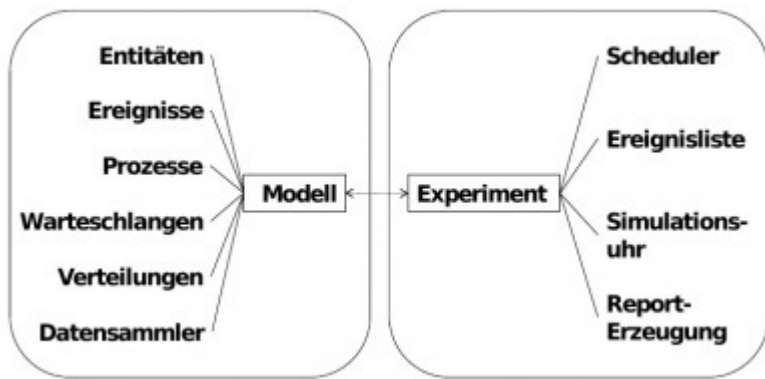
## Konzepte für Anpassung der Komponenten

- Black-Box-Framework: fertige Komponenten, aus denen der Anwender ausgewählt und neu zusammenstellt
- White-Box-Framework: Abstrakte Klassen, die durch abzuleitende Klassen oder zu implementierende Interfaces zu ergänzen sind (Hot Spots), insbesondere detailliertere Kenntnis der Architektur des Frameworks nötig

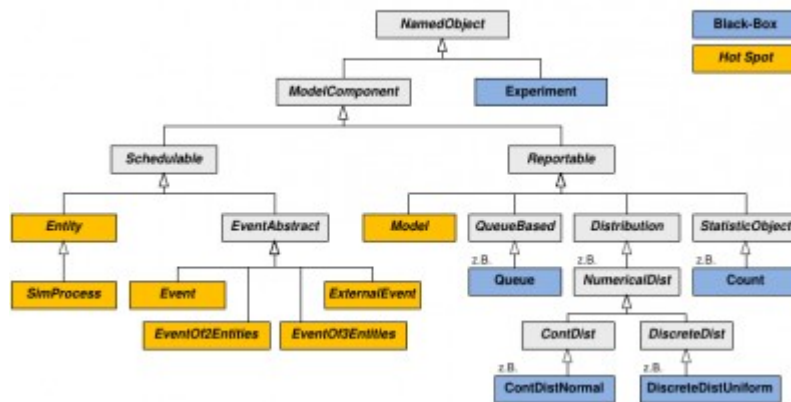
## Was bietet DESMO-J?

- Framework Konzeption: DESMO-J ist eine Mischung aus Blackbox und Whitebox Framework
- Blackbox Anteile: Modellunabhängige Komponenten
  - Simulationsinfrastruktur einschließlich Erzeugung von Ergebnis- und Protokolldateien
  - Bsp: Ereignisliste, Simulationsuhr, Scheduler, Ausgabekanäle (Report, Trace, Debug, Error)
  - Für den Anwender nicht direkt zugreifbar durch Kapselung in Experiment-Klasse
  - Allgemein verwendbare statistische Modellkomponenten
  - Bsp: Warteschlangen, stochastische Verteilungen, Zufallszahlenerzeugung, statistischer Datensammler
- Whitebox Anteile: modellspezifische Komponenten
  - Abstrakte Klassen für das Modell und die dynamischen Modellkomponenten
  - Bsp: Modell, Entität/Ereignis bzw. Simulationsprozess
  - Anwender müssen diese HotSpots um ihre Modelldetails erweitern, also modellspezifische Klassen ableiten - die konkreten Implementationen hängen also ab von:
    - Welche Typen aktiver Entitäten gibt es im Modell?
    - Welche Attribute und welches Verhalten besitzen die Entitäten?
    - Welche modellspezifischen (nicht als Blackbox verfügbaren) statistischen Komponenten werden benötigt?
    - Welcher Modellierungsstil wird verwendet?
  - Fazit: jedes Simulationsmodell ist eine spezielle Anpassung des Frameworks

## Trennung von Modell und Experiment



## Ausschnitt aus der Klassenhierarchie



## Typen von Modellkomponenten

- Vormerkbare Objekte
  - gemeinsame Oberklasse **Schedulable**
  - Entitäten, Ereignisse, Prozesse als dynamische Modellobjekte
  - kooperieren mit dem Scheduler, um zu bestimmten Simulationszeitpunkten den Modellzustand zu verändern
  - Klassen
- Reportfähige Objekte
  - Gemeinsame Oberklasse **Reportable** für statische Objekte
  - Automatische Erzeugung eines Ergebnisreports mit statistischen Standarddaten
  - Klassen

## Modellierung mit DESMO-J

DESMO-J unterstützt mehrere Modellierungsstile

- Ereignisorientierung

- Prozessorientierung
- Kombination aus beiden
- höhere Modellierungskonstrukte
  - Auf höherer Abstraktionsebene über Prozessen/Ereignissen z.B. Ressourcen

#### Ablauf der Modellerstellung

- Implementierung der dynamischen Modellkomponenten durch Spezialisierung der entsprechenden Hot Spots
  - Prozesse, Entitäten, Ereignisklassen mit unterschiedlicher Zahl referenzierter Entitäten
- Auswahl der benötigten statischen Modellkomponenten, soweit in Form von Blackbox Klassen vorhanden
  - statistische Zufallsverteilungen
  - Warteschlangen
  - Statistische Datensammler
  - ggf. Implementation statischer Modellkomponenten, die nicht als Blackbox vorhanden sind
- Implementation der Modellklasse durch Spezialisierung des Hot Spots
  - Erzeugung und Initialisierung aller Modellkomponenten und Initialisierung der Modelldynamik

## 4. Kapitel: Simulationsanwendung und -praxis

### **Motivation**

- Was sind wichtige Anwendungsfelder der diskreten Simulation in der Praxis? - Simulation in der Logistik (z.B. Hafenlogistik)
- Welche Anforderungen sind an eine erfolgreiche Simulationsstudie in der Praxis zu stellen?
  - Welche Art von Planungsproblemen sind für die Simulation geeignet?
  - Wie hoch ist der ungefähre Zeitaufwand für eine Simulationsstudie?
  - Welche Kosten entstehen?
  - Ist es sinnvoll, in spezielle Simulationssoftware zu investieren?
  - Was sind die kritischen Erfolgsfaktoren für eine Simulationsstudie?
  - Wann sollte man die Simulationstechnik nicht anwenden?

### 4.1 Simulation in der Logistik

#### **Begriff der Logistik**

- Planung, Ausführung und Steuerung von
  - Bewegungen und Positionen von Gütern (seltener Menschen oder Dienstleistungen)
  - Unterstützungsstrategien für diese Aktivitäten
- Erreichung bestimmter Zielvorgaben, vor allem
  - richtiger Ort und richtige Zeit ("Überwindung von Raum und Zeit")
  - in der richtigen Qualität
  - in der richtigen Menge
  - zu den richtigen Kosten
  - unter den richtigen ökologischen Bedingungen
- Koordination des Entwurfs effizienter Materialflüsse
- Managementkonzept zur Entwicklung von Objektflüssen in Prozessketten und wertschöpfenden Netzwerken

#### **Logistische Prozesse**

- Materialflussprozesse
  - Aktivitätsketten zur Beschaffung, Verarbeitung oder Verteilung von Gütern (Material oder Produkte)
  - Decken alle Transport- und Lagerprozesse ab, d.h. Belade- und Entladeoperationen, Lagerung und Lieferung. Kommissionierung
- Infoflussprozesse
  - Beschaffung, Übertragung, Verarbeitung, Speicherung und Bereitstellung von Info

- Info zur Einleitung, Ankündigung, Begleitung und Abschluss von Materialflüssen
- Die enge Verzahnung von Materialflussprozess und Infoflussprozess bildet den logistischen Prozess

## **Kennzahlen zur logistischen Leistungsfähigkeit**

- "Logistics Key Performance Indicators", KPIs
- Quantitative KPIs: Harte Maße, insbesondere exakte Zahlen
  - Lieferzeiten, Reaktionszeiten
  - Lieferkosten
  - Verfügbare Ressourcen, Auslastung, Umschlag bzw. Durchsatz
  - Lager- und Lieferquoten, Servicelevel
  - Reklamationsquote
- Qualitative KPIs: Weiche Maße (Soft Benchmarks)
  - Einhaltung von Absprachen
  - Ruf und Kundenzufriedenheit
  - Erreichbarkeit
  - Freundlichkeit

## **Planung logistischer Prozesse**

- Strategische Ebene
  - Optimaler Entwurf eines logistischen Systems auf langfristiger Ebene und mit Langfristinvestitionen
- Operationale Ebene
  - Logistische Operationen
  - Operation logistischer Prozesse auf die effizienteste Weise unter kurzfristigem Zeithorizont

## **Modellierung Logistischer Systeme**

- Hohe Komplexität und Verknüpfung logistischer Systeme und Prozesse
  - mathematische Systemmodelle geeignet zur Analyse
- Ereignis-diskrete Simulation
  - Analyse und Evaluationen von nicht existierenden Logistiksystemen bzgl. ihrer Funktions- und Leistungsfähigkeit
  - und von bereits existierenden logistischen Systemen und Prozessen bzgl. wechselnder Auslastungen, Nutzungsszenarien, Steuerungsstrategien/Algorithmen
  - Chronologische Reproduktion von Realprozessen und -systemen
  - Wählbarer Grad an Genauigkeit und Detailtreue
  - Reproduzierbare und variable Modellexperimente

## **Ziele der Modellierung und Simulation in der Logistik**

- Verbesserung der logistischen Systemleistung in Richtung kostengünstigerer und effizienterer Lösungen
- Unterstützung der Entscheidungsfindung im Systementwurf und der Auswahl angemessener Alternativlösungen
- Prüfung von Hypothesen
- Bestätigung von Planungsergebnissen
- Illustration der logistischen Systemkomplexität
- Unterstützung logistischer Lernprozesse

### 4.2 Simulation in der Logistik von Hafensystemen

#### **Gründe für die Simulation in der Hafenlogistik**

- Containerumschlag muss schnell, kostengünstig und effizient abgewickelt werden
  - Häfen müssen konkurrenzfähig gegenüber anderen Häfen sein (Hoher Wettbewerbsdruck)
  - Stetige Überprüfung der Prozessabläufe erforderlich
  - Hohe Investitionskosten
  - Hohe Planungsanforderungen, zum Teil mittels Simulationstechnik
- Änderungen von Abläufen und Strategien
  - Simulation als Unterstützung und Entscheidungshilfe für die Terminal-Manager: Änderungen und Alternativen lassen sich in der Praxis kaum ohne Eingriffe in die betrieblichen Abläufe mit entsprechenden negativen Auswirkungen verwirklichen
- Typische Untersuchungsgegenstände
  - Leistungsgröße: z.B. Durchsatz von Containern, Liegezeiten von Schiffen, Auslastung und Verfügbarkeit der Transportmittel
  - Wartungs- und Ausfallstrategien
  - Steuerung der Transport- und Lademittel z.B. Containerbrücken
  - Dispositionsstrategien für Personal und Transportmittel
  - Alternative Schichtsysteme
  - Einsatzplanung der Transport- und Lademittel: feste vs. auftragsbezogene Zuordnung von Van Carriern zu Containerbrücken
  - (Zwischen-) Lagerstrategien für Container
  - Verkehrssteuerung auf einem Containerterminal

#### **Simulationsmodelle von Containerterminals**

- Terminal-Layout
  - Lagergröße/Stellplätze: Anzahl, Import, Export
  - Liegeplätze: Anzahl, Größe

- Bahnstation: Anzahl, Länge von Gleisen
- Gates, Holding Area für LKWs
- Technische Auslastung
  - Kräne: Typ Lager-, Kaikräne, Anzahl, Be- und Entladungszeiten
  - Interne Transportmittel: Typ, Anzahl, Transportzeiten (beladen und leer)
- Aufträge/Last
  - Anzahl von Containern (Export, Import)
  - etwa abhängig von Schiff, LKW- und Bahnankünften, ggf nach Fahrplan plus stochastische Verspätungen
- mögliche Modellausgaben
  - Auslastung, Verfügbarkeit der Ressourcen
  - Liegeplätze, Kräne, Transport- und Ladefahrzeuge
  - Warteschlangenstatistik der Ressourcen

## **Fallstudie zur Simulation: Analyse eines neuartigen Horizontalkrankonzepts für Containerterminals**

### **Motivation**

- hohe Kosten der Transporttechnologien
  - große Einsparpotentiale
- hohe Effizienzanforderungen bei Containerterminals
  - Effiziente Be- und Entladevorgänge
  - Liegezeiten bestimmen Kosten
- Zunehmende Neu- und Ausbauten von Terminals weltweit
  - neue Transporttechnologien
- Ziel: Untersuchung des neuartigen Horizontalkrankonzepts bzgl. seiner Anwendbarkeit in Containerterminals
- Komplexe Abläufe und komplexe Steuerungen -> Simulation

### **Horizontaltransport-Konzept von ZPMC**

- mehrere Transportspuren unterhalb der Containerbrücken parallel zur Kaimauer
- Auf den Spuren bewegen sich Schlitten, die Flat-Trolleys und mobile Kräne, die Lifting Trolleys
- Die Flat-Trolleys werden von Containerbrücken, bzw. Lifting-Trolleys be- und entladen
- Ablauf des Containertransports
  - Flat-Trolleys transportieren Container zwischen den Brücken und Zielblock in Stacking Area
  - Lifting-Trolleys realisieren Containerübergabe zwischen Flat-Trolley und Chassis, der Gantry-Kräne im Lagerblock anfährt
- Ziel der Studie: Überprüfung des neuartigen Transportkonzepts
  - auf einem möglichen effizienten Einsatz



- bei realistischen Terminal-Parametern
- unter versch. Architekturvarianten
- Simulationswerkzeug DESMO-J: deckt die Anforderungen vollständig ab
- Animationswerkzeuge GOLEM 3D und Verdigo für graf Modellierung und Animation

## **Modellentwicklung**

### **Systemabgrenzung und -vereinfachungen/Abstraktionen**

- Identifikation relevanter Betriebsmittel eines Containerterminals mit Horizontalkonzept
  - Low-Frame-Bridge mit Flat- und Lifting-Trolleys
  - Terminal-Chassis
  - Portalkräne
  - Containerschiffe, LKWs
- Simulation einer Menge von Transportaufträgen
  - Land- und Wasserseite
  - Ein-, Aus- und Umlageraufträge
- Modellierung von Kränen, Schlitten und Chassis
- Abstraktion von einzelnen Containern, keine Stau- und Lagerplanung
- Transportaufträge beginnen und enden an fixem Punkt innerhalb des Containerschiffes (in der Mitte)
- Laschung (=Vertäuung) der Container nicht explizit modelliert: Zusätzlicher Zeitverbrauch bei Ladung
- Keine Beschleunigungen der Transportmittel
- Keine Bahnverladung an Gates: Analoger Ablauf zur LKW-Verladung
- Systemgrenzen = Start und Endpunkte von Transportaufträgen
  - LKWs an den Gates und Schiffe als Übergabepunkte der Brücken
  - Innerhalb des Terminals Übergabepunkte in den Blöcken der Stacking-Area

### **Hauptmodellierungsaspekt ist Interaktion zwischen Betriebs-/Transportmitteln**

- Erzeugung der Leistungskennziffern des Terminalsystems
  - Gesamt- und Durchschnittswerte des Be- und Entladens von Container- und Feederschiffen

### **Modellkomponenten**

- Containertransportaufträge als transiente Entitäten
  - seeseitige Aufträge: Containertransporte zwischen Stack und Schiff am Kai (Import/Export)
  - Landseitige Aufträge: Containertransporte zwischen Stack und LKW am Gate (Import/Export)
  - Umstapelaufträge von Containern: Zur Vorbereitung der anderen Transportaufträge

- Betriebsmittel als permanente Entitäten
  - Kräne, Trolleys, Lagerblöcke

### **Zufallsprozesse für nicht deterministisches Systemverhalten**

- Zuordnung von Containerbrücken
- Zuordnung von Stacks und Containerstellplätzen
- Modellierung von LKW- und Schiffsverspätungen

### **Modellkomponenten zur Kapselung konkreter räumlicher Positionen und Bewegungen**

- Schnittstelle zwischen Simulationsprozessen und Animationsausgaben
- Abstrakte Methode der Komponente zu spezifizieren
  - Geschwindigkeiten, Sichtbarkeit der Container
  - Bestimmung der Entfernung zu anderen Komponenten

### **Implementierung mit Java/DESMO-J**

- Erstellung des Simulationsmodells mit DESMO-J
  - Trennung von Steuerung und physischem Zustand der Komponenten
  - Abbildung der persistenten Modellkomponenten als Simulationsprozesse
  - Ankunft von Aufträgen als Ereignis
- Durchführung eines Experiments
  - Erweiterung des Modells um Zeitpunkte und Ereignisse des Simulationsablaufs für Visualisierung/Animation
- Einlesen der Parameter und Ausgabe der Ergebnisse als XML-Datei
- Prozesse
  - Abbildung jeder Terminal-Entität als Prozess
  - bei Erzeugung der Prozesse Übergabe der Komponenten-ID im Konstruktor
  - Attributobjekt zur Kapselung von Position und Bewegung der Komponente
  - Nutzung höherer DESMO-J Simulationskonstrukte
  - Synchro bei der Containerübergabe durch Master Slave Kooperation
  - Conditional Queues zur Bestimmung der Ausführungsfähigkeit eines Transportauftrages

### **Modellexperimente**

- Parametrisierung des Modells
  - Anzahl der Horizontalspuren der Low-Frame-Bridge
  - Für jede Anzahl FLat- und Lifting Trolleys
  - Technische Merkmale der Geräte: Fahr-, Hub- und Übergabegeschwindigkeiten
- Parametrisierung der Transportaufträge
  - Als Gruppe von Aufträgen
  - Definition der Start- und Zielpunkte
  - Startzeitpunkt, Zeitabstände

- Schiffankünfte und -abfahrten
- Schiffsgebundene Aufträge (seeseitiger Im und Export)
- Ungebundene Aufträge (landseitiger Transport, Umstapelungen)

## **Statistische Auswertungsfunktionen des Modells**

- Kennzahlen erforderlich für Vergleich des Horizontalkrankonzepts mit bestehendem Containerterminal
- Automatische DESMO-J Standardstatistiken: Warteschlangenstatistiken
- Speziell abgeleitete Kennzahlen
  - Mittelwerte für Bearbeitungs- und Wartezeit je Auftragsstyp
  - Kenngrößen für ein Containerschiff
  - Abweichungen der Ladezeiten gegenüber Schiffsplan
  - Containerumschlag pro Stunde je Schiffstyp
  - Containerumschlag pro Stunde je Containerbrücke und Schiffstyp

## **Simulationsergebnisse**

- **Vergleich mit einem Referenzmodell eines konventionellen Containerterminals**
  - Erstellt am ISL mit traditioneller Van-Carrier-Architektur
  - Schiffsankünfte für jeden Schiffstyp
  - Bestimmte Anzahl Import- und Exportaufträge während Liegezeit
  - Durchschnittliche Schiffankunftsrate pro Woche
  - Rüstzeit der Schiffe vor Be-/Entladung von 2 Stunden
  - Anzahl der Restacking-Aufträge je Wochentag
  - Simulation eines Wochenplans
  - 29 Schiffe
  - 8700 LKW Transporte
  - Zuordnung der Stacks zufällig über alle Containerblöcke
  - Alternativ: Vorstau von zu transportierenden Containern eines Schiffes in bestimmten Blöcken der Stacking Area
- **Standardszenario des Horizontalkranmodells**
  - Ladezeiten einzelner Schiffe ca. 100% erhöht
  - Durchschnittliche Gesamtladedauer im Wochenplan = 1000%
  - Durch Verzögerungen bei einzelnen Schiffen verlängert sich Wartezeit (=Teil der Ladezeit) der Folgeschiffe
- **Zusätzliche Annahme von Tandem-Lifts**
  - Containerbrücken/Lifting-Trolleys heben 2 Container gleichzeitig
  - Durchschnittliche Gesamtladedauer weiterhin erhöht um 280%
- **Fest zugewiesene Lagerblöcke**
  - Vorstau von Containern in benachbarten Stacks
  - Längere Ladedauer von noch 80%

## **Horizontalkrankkonzept ist keine realistische Alternative**

### **4.3 Anforderungen an eine erfolgreiche Simulationsanwendung**

#### **4.3.1 Voraussetzungen**

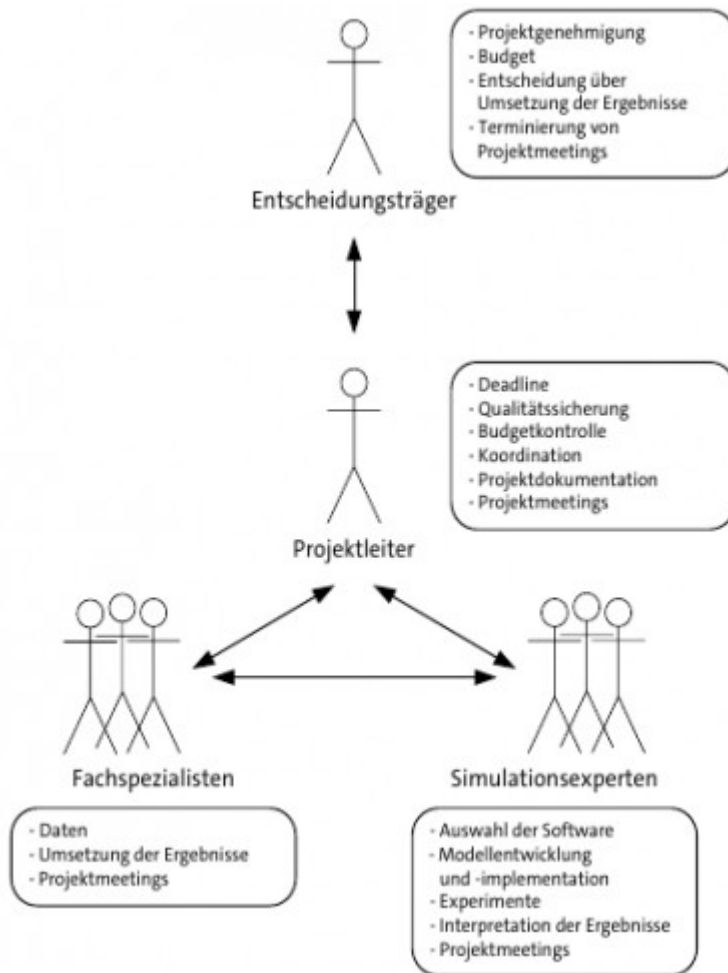
**Erfolgreiche Anwendung der Simulationstechnik hängt von versch Voraussetzungen ab:**

- Richtiger Zeitpunkt für Simulationseinsatz
  - Rechtzeitig zu Beginn der Planungsphase
  - Frühzeitige Vorlage von Simulationsergebnissen
  - Eingriffsmöglichkeiten in der Planung noch vorhanden
- Realistische Einschätzung des Aufwandes
  - Dauer, Ressourcen, Kosten
  - Geschätzter Aufwand im Produktionsbereich
  - Unter 0,5% der durch Simulation beeinflussbaren Investitionssumme
  - unter 10% der gesamten Planungskosten
- gute Fachkenntnisse in der Simulation und alternativer Techniken
  - Möglichkeiten und Grenzen der Simulation, Methodische Simulationskenntnisse (einschließlich Statistik)
  - Kenntnisse über alternative Lösungsansätze
  - Tabellenkalkulation, Optimierungsmethoden
  - Warteschlangentheorie, statistische Analysemethoden
  - Guter Einblick und solide Erfahrung bzgl. des modellierten Realsystems
  - Produktionsabläufe, Transporte, Infofluss
  - Erforderlichenfalls Unterstützung durch externe Beratung
  - insbesondere aus der Simulationstechnik
  - Übersicht über verfügbare Ressourcen: Simulationssoftware, Hardware, Fachspezialisten
- Prüfung der Simulationswürdigkeit
  - Sammlung und Prüfung alternativer Lösungsansätze
  - Anwendung analytischer Modelle aus Statistik und Operations Research
  - Zeitlicher und monetärer Aufwand der Simulation höher
- Effektive Kommunikation
  - Überwindung der "Kommunikationsbarriere" zwischen Simulationsexperten (Modellentwicklern) und Fachspezialisten (Modellanwendern)
  - Akzeptanzgewinnung über Vermittlung des Nutzens der Simulationstechnik
  - Einbeziehung des Managements bei wichtigen Projektentscheidungen
- Detaillierungsgrad angemessen
  - Abbildungsgenauigkeit abhängig von Zielsetzung
  - So ausführlich wie nötig, aber so vereinfacht wie möglich

- Flucht in unnötige Details aufwändig, fehleranfällig und teuer
- Umfang, Qualität, Form der Daten angemessen
  - Simulation als datengetriebenes Analyseverfahren
  - Sehr detaillierte Datenanforderungen: mit dem Detaillierungsgrad der Modelle steigt der Datenbedarf
  - Starke Abhängigkeit der Ergebnisse von Datenqualität
- Wahl eines geeigneten Simulationswerkzeugs
  - Kriterien (vgl. Kapitel 3) z.B.
  - Modellierungsfunktionalität
  - Flexibilität
  - Kapazität
  - Aufwand der Modellerstellung und Simulationsexperimente
  - Benutzungsfreundlichkeit
  - Einarbeitungs- und Lernaufwand
- Sorgfältige Modellvalidierung
  - Plausibilität der Simulationsmodelle als Voraussetzung für ihre Anwendung
- Korrekte statistische Planung und Auswertung der (stochastischen) Simulationsexperimente
  - Simulationslänge, Stichprobenumfang, Versuchsplanung
  - Schätzverfahren (Schwankungen, Genauigkeit)
- Richtige Interpretation der Simulationsergebnisse
  - Interpretation der Simulationsergebnisse als statistische Werte einer Stichprobe
  - Berücksichtigung aller Randbedingungen und Vereinfachungen
  - Inhaltliche Interpretation vor dem Hintergrund der Kenntnisse über das modellierte Realsystem und in enger Abstimmung mit den Anwendern
- Gute Doku der Simulationsstudie
  - Ausführliche Dokumentation der Einzelschritte der Modellbildung
  - Siehe Modellbildungszyklus Kapitel 1.2.5
  - Rahmenbedingungen und Ausgangssituation
  - Modellannahmen
  - Modellaufbau und Implementierung
  - Simulationsexperimente
  - Ergebnisse
  - Ergebnisinterpretation
  - Angemessene Darstellung und Vermittlung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die unterschiedlichen Interessenten (Anwender, Management)
  -

## 4.3.2 Projektorganisation in der Simulation

Rollen in einem Simulationsprojekt



## 4.3.3 Simulation als Dienstleistung

**Unternehmensentscheidung:** Selber simulieren oder Beauftragung externer Dienstleister?

### Voraussetzungen für eine eigenständige Durchführung von Simulationsstudien

- Genügend Personalkapazität und Simulations-Know-How sowie ggf. geeignete Mitarbeiter für ein Schulungsprogramm innerbetrieblich verfügbar
- nötige Datenbasis vorhanden bzw. deren Beschaffung klar
- geeignete Simulationssoftware für den Anwendungsbereich
- genügend freie Rechnerkapazität
- realistische Abschätzung der Kosten einer Eigenentwicklung
- Fähigkeit, Simulationsergebnisse zu prüfen und zu interpretieren

### Vorteile einer Zusammenarbeit mit externem Simulationsdienstleister

- Neutralere und objektivere Problembetrachtung

- Eifachere Vermeidung interner Interessenkonflikte
- Nutzung der Erfahrung aus vergleichbaren Simulationsprojekte
  - Effizienteres Projektmanagement und Projektausführung
- Realistischere Einschätzung von Funktionalität und Eignung der Simulationssoftware
- Erfolg ist jedoch stark abhängig von enger Kooperation und Kommunikation
  - möglicherweise ausbleibender Transfer von Simulations-Know-How

### **Leistungsumfang einer Simulationsberatung**

- Grundleistungen
  - Analyse der vom Simulationskunden gelieferten Daten
  - Entwicklung und Implementierung des Simulationsmodells
  - Durchführung, Auswertung und Interpretation der Simulationsexperimente
  - Präsentationen der Ergebnisse
- Zusatzleistungen
  - Datenerfassung bzw. -beschaffung
  - Animation der Simulationsergebnisse
  - Aufbereitung des Simulationsmodells für den innerbetrieblichen Einsatz
  - ggf. Entwicklung eines spezialisierten Simulationswerkzeuges
  - Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen für das Unternehmen auf der Basis der Simulationsergebnisse
- Projektdokumentation

### **4.3.4 Kosten und Zeitaufwand**

- Kosten abhängig von Umfang der Studie
  - Größenordnung: 5.000 - 100.000€ Beratungskosten
  - Interne Zusatzkosten
  - Personalkosten interner Projektmitarbeiter
  - Kosten der Sitzungen und Interviews
  - Datenbeschaffungskosten
- Durchschnittliche Dauer von Simulationsstudien auch abhängig vom Umfang
  - 2 - 12 Monate (teilweise auch länger)
- Kosten bei interner Projektdurchführung für
  - Simulationssoftwarelizenz
  - Technik/Hardware
  - Mitarbeiterschulung
  - Qualifizierte Auswahl einer Simulationssoftware
- Kostensenkungspotenziale
  - Reduzierung von Detaillierungsgrad und Datenbedarf
  - Begrenzung der Detailtiefe der Modelle auf das unbedingt notwendige Maß
  - weitgehende Verwendung bereits vorhandener Datenbestände

- Wahl eines geeigneten Simulationswerkzeuges
- Produktionsgewinn
- Verwendung und Weiterentwicklung existierender Modelle, z.B:
- Im Betrieb in früheren Studien erstellte Modelle
- Referenzmodelle (Typenmodelle für Problemklassen)
- Intensive Kommunikation und enge Abstimmung zwischen Beratung und Simulationsanwender

### 4.3.5 Typische Fehlerquellen

#### Fehlerquellen in einer Simulationsstudie

- ungenaue Definition des Simulationsziels
  - unpassende Lösung zu einer Aufgabenstellung
  - Fehlende anerkannte schriftliche Arbeitsgrundlage
  - keine ausreichende Berücksichtigung der Anwender-anforderungen und -erwartungen
- Unzureichende Kommunikation zwischen Simulationsspezialisten und Anwendern/Entscheidungssträgern
  - Mangelhafte Zusammenarbeit im Projektteam
  - Unvollständige Modelldoku
  - Fehlende Verbindlichkeit bei Änderungen der Simulationsziele
  - Fehlende Einbindung der Entscheidungsträger in das Simulationsprojekt
- Unangemessene Modellierung
  - Vernachlässigung der Simulationsziele bei der Modellierung
  - Zu hohe Modellkomplexität und fehlende Modellbeherrschbarkeit
  - Unklare Vorstellungen hinsichtlich der Grenzen des Simulationsmodells
- Verwendete Daten nicht adäquat
  - Mangelnde Datenqualität (keine ausreichende Überprüfung) der verwendeten Daten
  - zu hoher Aufwand bei der Datenbeschaffung, fundierte Schätzungen häufig ausreichend
- Unangemessenes Vertrauen in die Ergebnisse
  - fehlende Validierung des Modells
  - Überschätzung des Gültigkeitsbereichs des Modells
  - Unzureichende Prüfung der Simulationsergebnisse auf stochastische Plausibilität



## 4.3.6 Schlussfolgerungen

### Ausschlusskriterien für erfolgreiche Simulationsstudien

- Kurze Projektdauer, hoher Zeitdruck
- sehr spätes Projektstadium
- unzureichendes Simulations-Know-How
- Umfangreiche und sich stetig verändernde Systeme
  - große Anzahl ständig wechselnder Parameter
  - instabile Systemstrukturen
  - viele sich überlagernde und sehr zufällige Einflüsse und Randbedingungen
- Mangelhafte Datenlage

### Potenzieller Nutzen der Simulationstechnik

- Erprobung eines noch nicht realisierten Systems am Modell
  - Simulationsmodell als Testumgebung
- Steigerung der Entscheidungsqualität und Sicherheit
  - Vermeidung von Planungsfehlern
- Schnellere Entscheidungsfindung
- Verbesserung von Prozesswissen und Datenlage
- Systemverständnissteigernde Technologie
  - Erhöhtes Systemverständnis führt zum Erkennen von Verbesserungspotenzialen

### Entscheidungshilfen für erfolgreichen Simulationseinsatz

- Simulation setzt immer vorherige Zieldefinition und Aufwandsabschätzung voraus
- vor der Simulation erst alle weniger aufwändigen analytischen Methoden ausschöpfen
- Simulation stets vor einer möglichen Investition
- Simulation kein Ersatz für Planung
- Abbildungsgenauigkeit nicht so groß wie möglich, sondern nur so hoch, wie zur Zielfindung nötig
- Simulationsergebnisse wertlos und irreführend, wenn Datenbasis fehlerhaft oder Ergebnisse falsch interpretiert
- Simulationsergebnisse nur so gut wie Zusammenarbeit und Kommunikation innerhalb des Teams der Simulationsstudie

## Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung und Simulation



### 5. Simulationsstatistik und Optimierung

ab hier hatte ich keine Lust mehr ... :D

# Beispiel für Klausurfragen

## 1.Kapitel

- Was ist ein Modell
- Welche typischen Eigenschaften weisen Modelle auf?
- Zu welchen Zwecken werden Modelle gebildet?
- Nennen sie jeweils ein Beispiel für Komplexitätsreduzierung durch Idealisierung und durch Abstraktion
- Worin unterscheiden sich Simulationsmodelle und analytische Modelle?
- Worin unterscheiden sich Simulationen mit wissenschaftlichem Anspruch und Computerspiele des Genres "Simulation"?
- Nenne drei typische Gründe, die dafür sprechen, mit einem Modell anstatt mit einem realen System zu arbeiten.

## 2.Kapitel

- Beschreiben Sie das grundsätzliche Ablaufschema der ereignisdiskreten Simulation
- Wann werden Simulationsabläufe beendet, d.h. welche typischen Abbruchbedingungen gibt es in der ereignisdiskreten Simulation?
- Beschreiben sie das grundsätzliche Vorgehen zum Entwurf eines prozessorientierten Simulationsmodells
- Vergleichen sie ereignis- und prozessorientierte Modellierung. Stellen sie insbesondere wesentliche Unterschiede dar
  - Modellierungspatterns abfragen
- Begründen sie, warum für Lagerhaltungsmodelle typischerweise der ereignisorientierte Modellierungsstile besser geeignet ist als der prozessorientierte Modellierungsstil
- Wie modelliert man wiederholte Ankünfte
  - im ereignisorientierten Ansatz?
  - im prozessorientierten Ansatz?
- Skizzieren sie das BPMN-Prozessdiagramm eines typischen Kunden-Prozesses z.B. Job in einem Produktionssystem
  - Nach elementen fragen: Wie sieht zwischenereignis aus?
- Nennen sie drei typischerweise in der Simulation verwandte Typen von BPMN-Zwischenereignissen und beschreiben sie ihre Semantik
- Warum sind für die BPMN-Prozesssimulation implizit erzeugte Warteschlangen notwendig?
  - Wie funktioniert Wartelogik, Entitäten können warten etc, Wo braucht man Warteschlangen?
- Wie kann man in BPMN-Prozessdiagrammen die begrenzte Wartebereitschaft eines Kunden abbilden?

### 3.Kapitel

- Welche Arten von Simulationssoftware kann man unterscheiden?
- Nennen sie Vor- und Nachteile von Simulationssoftware auf Werkzeugebene.
- Welche simulationsspezifischen Auswahlkriterien für Simulationssoftware kennen sie?
- Beschreiben sie Potential und Grenzen von Animation in der Simulation.
- Beschreiben sie den Zusammenhang zwischen konzeptuellem Modell und ComputermodeLL einer Simulationsstudie mit IYOPRO.
- Inwiefern unterstützt IYOPRO die Modellierung und Simulation von Ressourcen?
  - Gehen sie insbesondere auf die möglichen Zustände einer Ressource ein
- Worin unterscheiden sich Blackbox- und Whitebox- Komponenten in Software-Frameworks? Nennen sie jeweils ein Beispiel in DESMO-J.

### 4.Kapitel

- "Wir müssen unsere Logistik verbessern" - Welche Ziele versteht man hierunter üblicherweise im Unternehmen?
- Was spricht für die Beauftragung externer Simulationsdienstleister, um eine betriebliche Simulationsstudie durchzuführen? Was spricht gegen sie? Nennen sie jeweils zwei Faktoren.
- Welche Rollen kann man bei Durchführung einer Simulationsstudie unterscheiden?
- Nennen sie drei typische Fehlerquellen in einer Simulationsstudie.

### 5.Kapitel

- Warum sollte man Simulationsabläufe mehrfach wiederholen?
- Was ist bei der Interpretation von Simulationsereignissen zu beachten, insbesondere hinsichtlich ihrer Genauigkeit?
- Warum benötigt man Zufallszahlen in der Simulation?
- Wie erzeugt man Pseudozufalsszahlen, die im Intervall  $[0,1)$  näherungsweise stetig gleichverteilt sind?
- Was versteht man unter einem Konfidenzintervall?
- Welche Schritte sind bei Durchführung einer Simulationsoptimierung notwendig, um zu (möglichst) optimalen Ergebnissen zu gelangen?
- In ihrem Unternehmen soll eine Simulationsstudie durchgeführt werden. Nenne jeweils zwei Argumente
  - Was spricht für ein Engagement externer Simulationsdienstleister?
  - Was spricht gegen externe Simulationsdienstleister?
- Welche Rollen kann man in einer Simulationsstudie unterscheiden?
- Nenne drei typische Fehlerquellen in einer Simulationsstudie.