

Informatikunterricht in Hamburg
2. Fachtagung 2005

Modellbildung und Simulation mit
WinGPSS

Dr. Henry Herper

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Simulation und Graphik

Hamburg, 29.10.2005

Informatisches Modellieren

„Im Informatikunterricht bedeutet „Modellierung“ im wesentlichen die **Abgrenzung eines für den jeweiligen Zweck relevanten Ausschnittes der Erfahrungswelt**, die Herausarbeitung seiner **wichtigen Merkmale unter Vernachlässigung der unwichtigen** sowie seiner Beschreibung und Strukturierung mithilfe spezieller Techniken aus der Informatik.“

/GI2000/

Simulationsdefinition in der VDI-Richtlinie 3633

Simulation:

„Simulation ist ein Verfahren zur **Nachbildung eines Systems** mit seinen dynamischen Prozessen **in einem experimentierbaren Modell**, um zu **Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind**.

Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit dem Simulationsmodell verstanden.

Mit der Simulation kann das zeitliche Ablaufverhalten komplexer Systeme untersucht werden.“

/VDI3633-Blatt 0, Seite 14/

Anwendungsgebiete und Ziele der Simulation

Prognosemodelle

Berechnung von Wetterlagen
und Wasserständen

Emulatoren

Chip-Entwicklung,
hardwareentwicklungsbegleitende
Softwareentwicklung

Produktion und Logistik

Planungsbewertung,
Entscheidungsunterstützung

Materialtest

Crashtests bei Autos,
Flugzeugen bzw.
Baugruppen

Trainingssimulatoren

Ausbildung von Piloten, auch
unter kritischen Bedingungen

Computerspiele

Unterhaltung, Training?

Unfallsimulation

Rekonstruktion von Unfällen

Erkenntnisgewinn durch Simulation

Der Erkenntnisgewinn durch Simulation ist immer ein **Analogieschluss**.

Er gehört in den Bereich der **induktiven Schlüsse**.

Man kann nur **hoffen**, dass die gewonnenen Erkenntnisse richtig sind. Die Hoffnung stützt sich auf die Erwartung, dass die Ähnlichkeit zwischen Modell und Original weiter reicht, als man es mit Sicherheit weiß.

Für die Bewertung der Simulationsresultate ist umfangreiches Fachwissen auf dem Anwendungsgebiet erforderlich!

Simulationswerkzeuge /-modelle

Computer- spiele

Beispiele:

- SIMCITY
- ANNO 1602
- CATAN

kontinuierliche Simulatoren

Beispiele:

- DYNASIS
- STELLA
- MODUS

funktionale Simulatoren

Beispiele:

- TRYSIM (SPS-Modelle)
- LEGO-Dacta

diskrete Simulatoren

Beispiele:

- WinGPSS / WebGPSS
- GPSS/World
- GPSS/H

bausteinorientierte Simulatoren

Beispiele:

- WITNESS
- eMplant
- Taylor

Diskrete und stetige Modelle?

Stetig oder **kontinuierlich** nennt man Modelle, deren Modellvariablen stetige Funktionen der Simulations- oder Modellzeit sind. Treten sprunghafte Wertänderungen dieser Variablen auf, so heißt das Modell **diskret**. Modelle mit nichtlinearen stetigen und unstetigen Zustandsvariablen nennt man **kombiniert**.

Schwerpunkt der (zeit)diskreten – ereignisorientierten Simulation sind Modelle von Bediensystemen.

Zeit als Modellvariable

Simulationsmodelle bilden die **reale Zeit** auf eine **Simulations- oder Modellzeit** ab.

Die Simulationszeit ist eine Variable, die wie die reale Zeit **steigende Werte** annimmt. Diese Variable wird auch als Simulationsuhr bezeichnet.

Während die reale Zeit stetig wächst, kann die auf einem Computer dargestellte Zeit **nur sprunghaft wachsen**. Dies wird auch durch die endliche Menge der Zahlen begründet. Diese Sprünge können von gleicher Länge sein und zu äquidistanten Zeitpunkten führen, oder sie können sich an den Zeitpunkten orientieren, wo sprunghafte Wert- oder Zustandsänderungen stattfinden, die man als *Ereignisse (Events)* bezeichnet.

Modellfindung für den Unterricht

Auswahl und Beschreibung eines Bediensystems

- Auswahl eines **Bediensystems** aus dem **Erfahrungshorizont der Schüler**, zum Beispiel Dienstleistungsbetrieb, Supermarkt, Tankstelle
- verbale Beschreibung des realen Systems
- Auftrag zur Datenerhebung
- Definition des **Ziels der Simulationsstudie**, zum Beispiel zur Untersuchung von Strategien

Erfassen und Aufbereiten empirischer Daten

Erfassen und Aufbereiten empirischer Daten

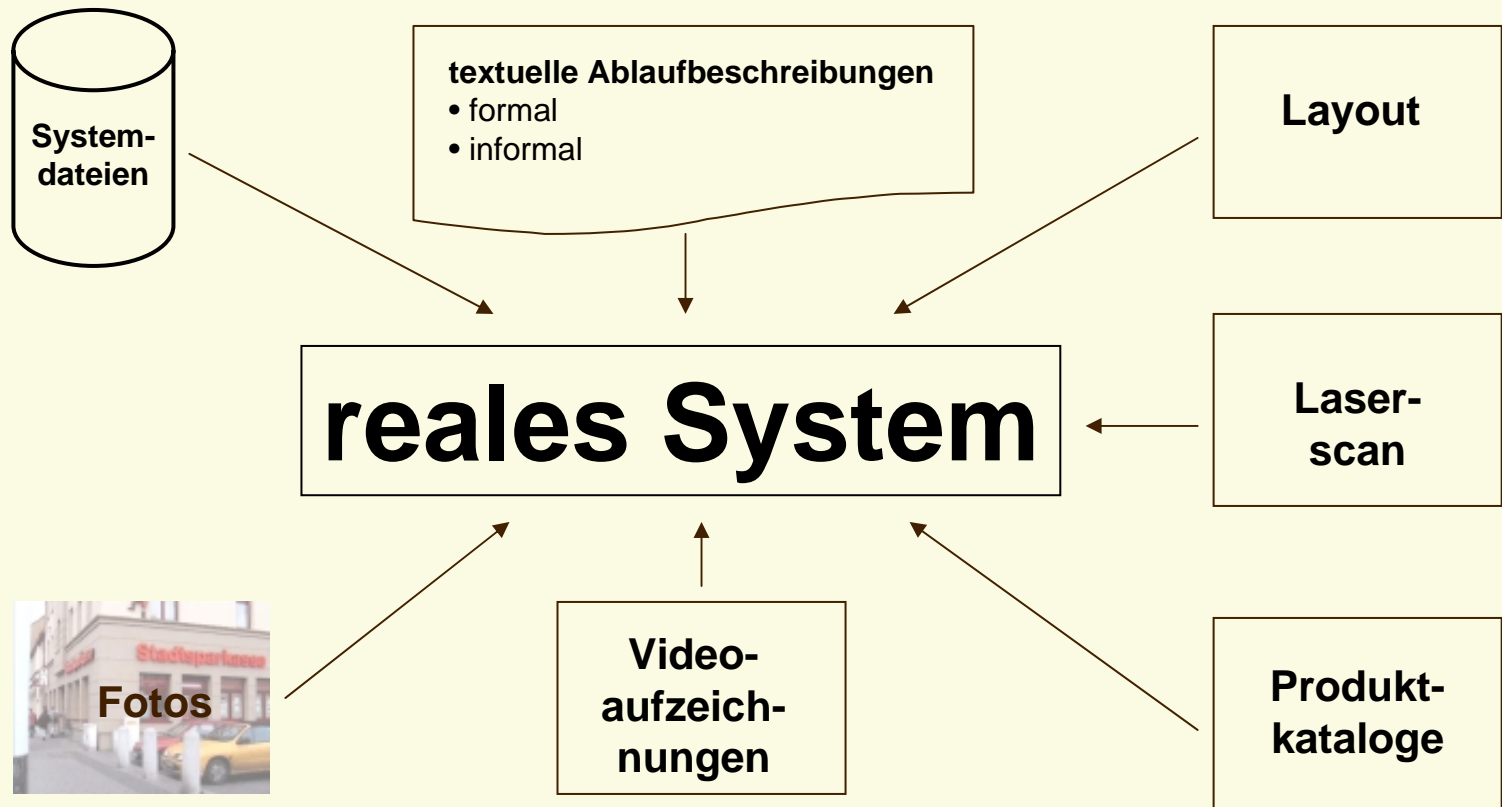
Für die Nachbildung von Prozessen ist es wichtig, die **Prozessdauer zu erfassen**.

Den Schülern wird vermittelt, dass viele **Prozesse nur durch den Ablauf einer bestimmten Zeit beschrieben werden**.

Geometrische Informationen können aus Zeichnungen bzw. Bildern entnommen werden.

Die aufwendigste Form der Datenerfassung besteht in der **Analyse der im System ablaufenden Strategien und ihrer Beschreibung**.

Multimediale Systembeschreibung in der Simulationsausbildung



Simulationsmodell - Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler

- analysieren das reale System entsprechend der Zielstellung der Simulationsstudie
- ordnen den Komponenten des realen Systems Modellelemente und Elemente der Simulationssprache zu
- erfassen und bewerten die Eingabeparameter für das Simulationsmodell
- codieren das Modell mit einer Simulationssprache und validieren dieses
- experimentieren mit dem Simulationsmodell

Simulation einer Straßenbahn-Baustelle

Aufgrund von Bauarbeiten ist ein Abschnitt einer Straßenbahnlinie nur einspurig befahrbar.

Es ist eine Strategie zur Verkehrsregelung zu finden, die möglichst minimale Wartezeiten verursacht.

Simulation einer Straßenbahn-Baustelle



Simulation einer Straßenbahn-Baustelle – empirische Daten

Richtung O->N			Richtung N->O		
Ankunftszeitpunkt	Abst.-NF in min	Abstand NF in s	Ankunftszeitpunkt	Abst.-NF in min	Abstand NF in s
12:50:10	00:02:03	123			
12:52:13	00:00:55	55			
12:53:08	00:02:39	159			
12:55:47	00:02:17	137	12:56:36	00:00:45	45
12:58:04	00:03:21	201	12:57:21	00:00:56	56
13:01:25	00:01:39	99	12:58:17	00:00:49	49
13:03:04	00:00:15	15	12:59:06	00:03:07	187
13:03:19	00:00:24	24	13:02:13	00:01:28	88
13:03:43	00:01:54	114	13:03:41	00:04:34	274
13:05:37	00:04:47	287	13:08:15	00:00:42	42
13:10:24	00:01:36	96	13:08:57	00:00:47	47
13:12:00	00:01:17	77	13:09:44	00:02:53	173
13:13:17	00:02:25	145	13:12:37	00:00:38	38
13:15:42	00:03:21	201	13:13:15	00:04:22	262
13:19:03	00:01:28	88	13:17:37	00:00:53	53
13:20:31	00:01:02	62	13:18:30	00:00:41	41
13:21:33	00:02:36	156	13:19:11	00:00:11	11
13:24:09	00:00:45	45	13:19:22	00:02:03	123
13:24:54	00:05:43	343	13:21:25	00:06:56	416
13:30:37			13:28:21	00:02:12	132
			13:30:33		
Maximum		343,00			416,00
Minimum		15,00			11,00
Mittelwert		127,74			119,06
Standardabweichung		85,22			114,11

Simulation einer Straßenbahn-Baustelle – empirische Daten

Für das Durchfahren der Baustelle wurden folgende empirische Daten ermittelt:

- Ost-Nord-Richtung 35 ± 4 Sekunden
- Nord-Ost-Richtung 34 ± 4 Sekunden

Mindestabstand der Bahnen:

- 10 Sekunden zwischen 2 Bahnköpfen

Erstellen einer formalen Ablaufbeschreibung

In der formalen Systembeschreibung erfolgt eine **Zuordnung** der abstrahierten **Komponenten des realen Systems** zu den **Modellelementen des abstrakten Modells**.

Die formale Systembeschreibung erfolgt in der Regel schon unter Einfluss der Werkzeugeigenschaften, die für die Implementierung des Computermodells ausgewählt wurden. Für Bedienungsmodelle stehen z.B. die Elemente Quelle, Bedieneinrichtung, Speicher, Verzweigung und Senke zur Verfügung. Für die dynamischen Systemkomponenten werden Forderungen verwendet.

Die Zuordnung der Systemkomponenten zu den Modellelementen **erfordert Erfahrung** und sollte daher unter Anleitung des Lehrenden erfolgen. **Anschließend werden für die Modellelemente die Parameter festgelegt**.

Erstellen einer formalen Ablaufbeschreibung

Erstellen einer formalen Ablaufbeschreibung

Eine weitere Komponente des abstrakten Modells ist die Beschreibung der Prozesse im System. Herkömmliche Algorithmenbeschreibungsmittel, wie z.B. Struktogramme oder Programmablaufpläne sind zur formalen Beschreibung der Systemdynamik wenig geeignet, da diese keine Elemente zur Beschreibung von Verzögerungen enthalten.

Zur **formalen Beschreibung des abstrakten Modells ist die Modellierungssprache UML geeignet**. Mit den verschiedenen Diagrammen lassen sich zum Beispiel Klassen, Sequenzen, Zustände und Interaktionen darstellen. Für die Darstellung der Interaktion zwischen verschiedenen Objekten eignen sich besonders die Sequenzdiagramme.

Modellimplementierung

Die Phase der Modellerstellung wird auch als **Modellimplementierung** bezeichnet.

Das zu erstellende Simulationsmodell (Computermodell) soll das **System mit einer für die Zielstellung ausreichenden Genauigkeit nachbilden**. Dazu wird das abstrakte Modell in ein lauffähiges Computerprogramm überführt.

Der erste Schritt besteht in der Wahl eines geeigneten Simulators oder einer Simulationssprache. Neben dem Einsatzgebiet ist die verfügbare Hard- und Software für die Wahl des Simulators mit entscheidend. Vielfach wird ein Simulator gewählt, der schon Basisalgorithmen für die gewünschte Problemstellung enthält.

Simulationssprache WinGPSS

- Simulator aus der GPSS-Sprachfamilie
- GPSS (General Purpose Simulation System) war das erste universelle Simulationssystem und wurde 1960 von Geoffrey Gordon bei IBM entwickelt
- diskretes – ereignisorientiertes Simulationssystem, welches besonders zur Nachbildung von Warteschlangen- und Bediensystemen geeignet ist
- mit einer graphisch-interaktiven Entwicklungsumgebung ausgestattet
- verfügt über Schnittstellen zu einem Animationssystem

Bezugsquellen für GPSS-Simulatoren

WinGPSS	<ul style="list-style-type: none">• deutsches GUI• Ausbildungsversion frei verfügbar	lehramt.cs.uni-magdeburg.de
WEBGPSS	<ul style="list-style-type: none">• engl./schwed. GUI• Ausbildungsversion frei verfügbar	www.webgpss.com
GPSS/H	<ul style="list-style-type: none">• kommerzielles Entwicklungssystem (engl.)• Studentenv. frei verfügbar	www.wolverinesoftware.com
GPSS-World	<ul style="list-style-type: none">• kommerzielles Entwicklungssystem (engl.)• Studentenv. frei verfügbar	www.minutemansoftware.com
proof	<ul style="list-style-type: none">• kommerzielles Animationssystem (engl.)• Studentenv. frei verfügbar	www.wolverinesoftware.com

Grundelemente eines GPSS-Modells

Die Grundidee der Sprache GPSS basiert auf der Nachbildung von Bediensystemen.

Die **Kunden** (allgemein auch als Forderungen bezeichnet) sind **temporäre Modellelemente** - sie kommen bei der Bedieneinrichtung an und verlassen nach der Bedienung das System.

Die **Bedieneinrichtung** (oder auch Einrichtung), ist ein **permanentes (statisches) Modellelement**. Es ist während der gesamten Simulation im System vorhanden.

Zwischenankunftszeit

Mit der Zwischenankunftszeit (ZAZ) (Inter Arrival Time - IAT) wird die Zeit beschrieben, die zwischen der Ankunft eines Kunden und der Ankunft des nächsten Kunden vergeht.

Wir müssen die Zwischenankunftszeiten $IAT(1)$, $IAT(2)$ u.s.w. festlegen. Dabei ist $IAT(2)$ die Zeit, die zwischen der Ankunft des zweiten und des ersten Kunden vergangen ist.

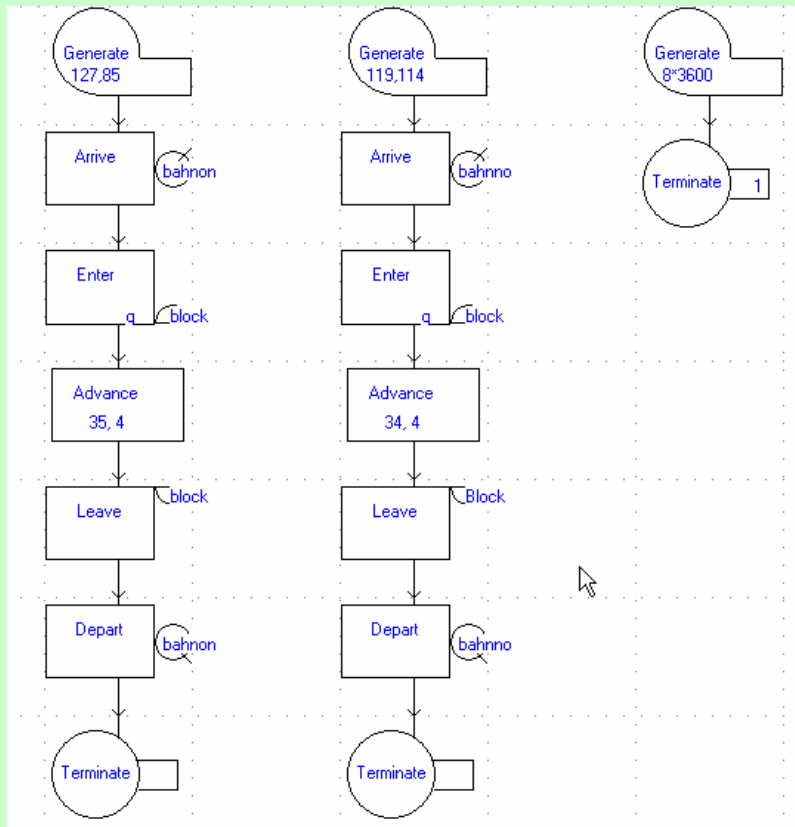
Mit der Zwischenankunftszeit der Kunden wird eine Umweltschnittstelle nachgebildet.

Abbildung der Elemente

reales System	abstraktes Modell	WINGPSS-Modell
Straßenbahn ON	Forderung	Transaktion GENERATE TERMINATE
Straßenbahn NO	Forderung	Transaktion GENERATE TERMINATE
Blockstrecke	Speicher	ENTER ADVANCE LEAVE
Zeitmessung	Datenerfassung	ARRIVE DEPART

Simulation einer Straßenbahn-Baustelle – empirische Daten

Blocksymbole



Quelltext

```

simulate 10
block capacity 1
generate 127,85
arrive bahnon
enter block,q
advance 35,4
leave block
depart bahnon
terminate
generate 119,114
arrive bahnon
enter block,q
advance 34,4
leave Block
depart bahnon
terminate
generate 8*3600
terminate 1
start 1
end
    
```

WinGPSS

Modellverifikation

"Verifikation 1: Nachweis der Korrektheit der Übertragung der formalen Modellbeschreibung in ein ComputermodeLL, insbesondere also die Algorithmierung und korrekte Anwendung."

"Verifikation 2: Prüfung der in der formalen Modellbeschreibung enthaltenen Annahmen im Hinblick auf die Frage, ob die formale Beschreibung eine zufriedenstellende Wiedergabe der wahrgenommenen Systemeigenschaften darstellt."

Modellvalidierung

Ist ein Modell für einen abgegrenzten Bereich verifiziert, so kann die Validierung dieses Modells durchgeführt werden.

Validierung ist bei Bohn definiert als "**Vergleich der Ergebnisse eines verifizierten Modells, mit verfügbaren Informationen, die sich auf das korrespondierende Verhalten des simulierten Systems beziehen.**"

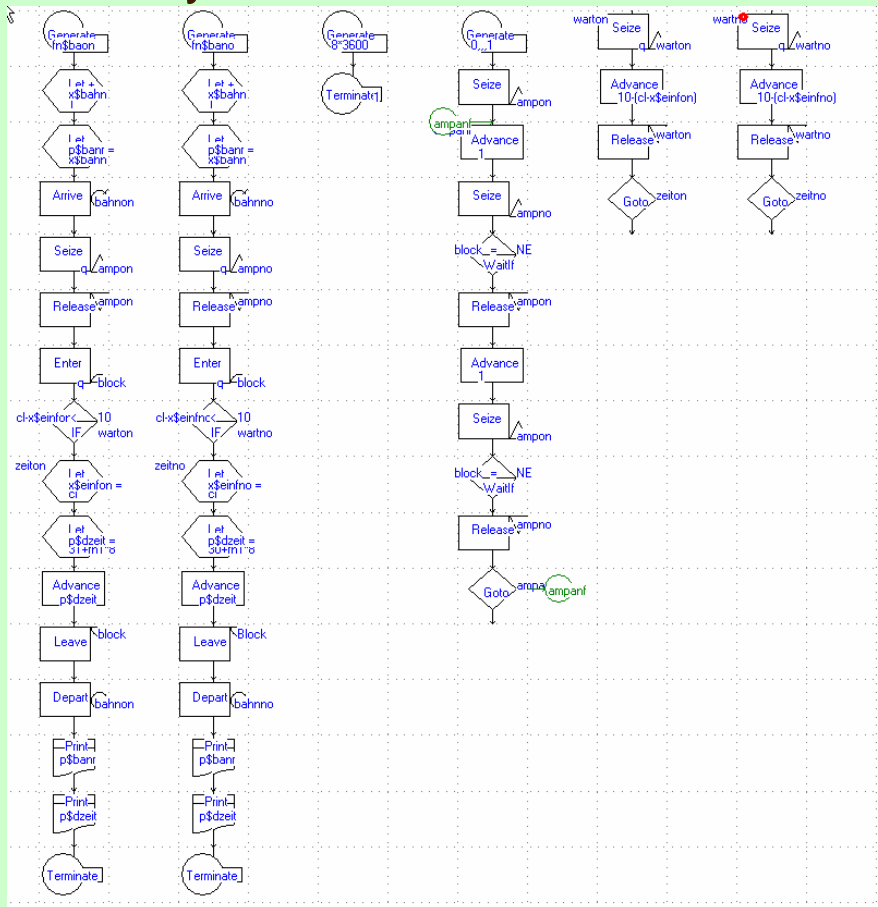
Experimentplanung

Varianten der Simulationsexperimente werden in der Regel durch **Variation der Eingabedaten** erreicht. Daraus entstehen Experimentserien.

Auch **Variationen des Simulationszeitraumes** sollten untersucht werden. Es ist dabei günstig nur jeweils einen Parameter zu verändern, um die Zuordnung Ursache - Wirkung realisieren zu können.

Simulation einer Straßenbahn-Baustelle – empirische Daten

Blocksymbole

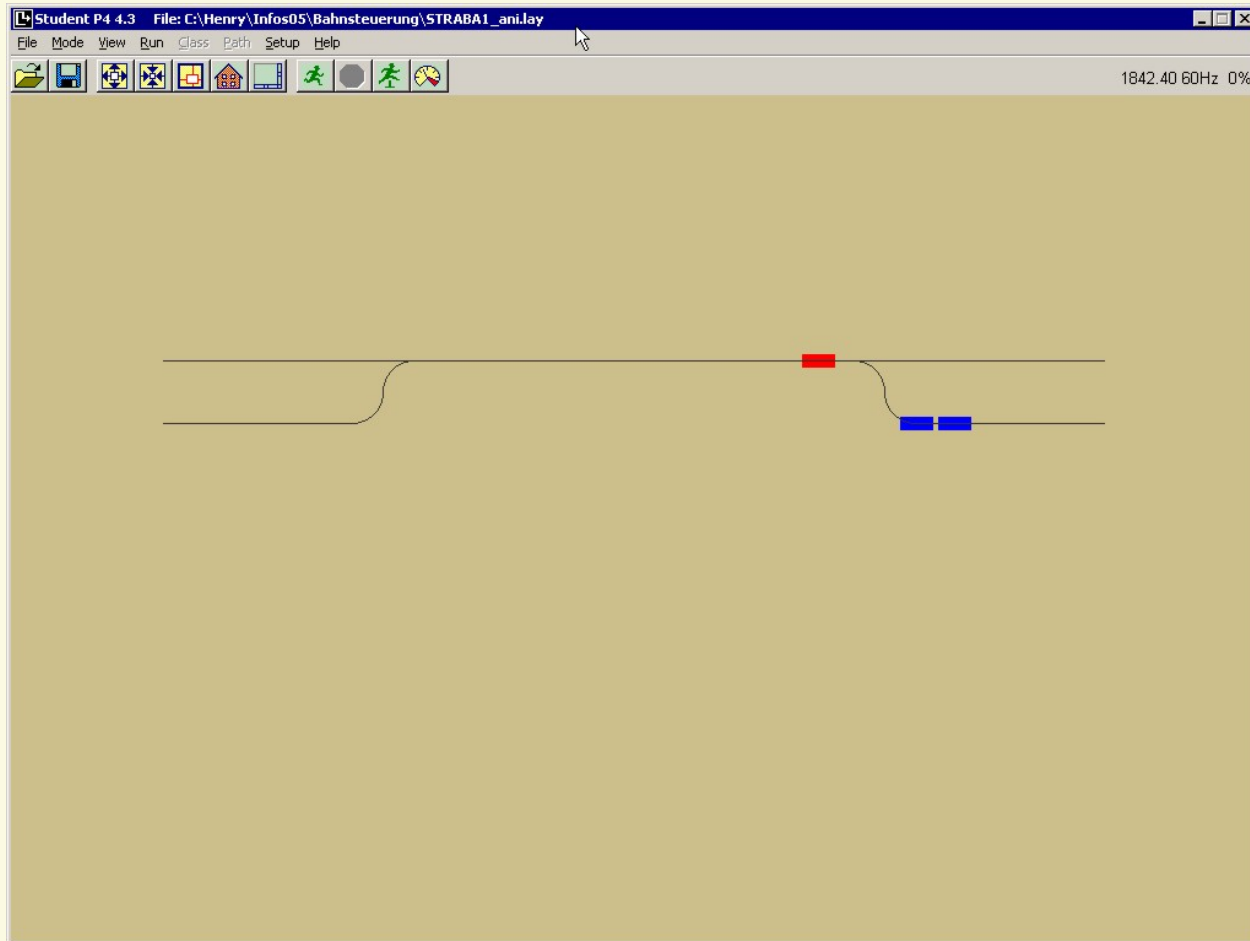


Resultatvisualisierung durch Animation

reales System	WINGPSS-Modell	Proof-Modell
Straßenbahn ON	Transaktion GENERATE TERMINATE	Objekt: STRAB1
Straßenbahn NO	Transaktion GENERATE TERMINATE	Objekt: STRAB2
Blockstrecke	SEIZE ADVANCE RELEASE	Pfad: BLOST1 BLOST2
Wege	ADVANCE	PFAD: P_ON1, P_ON2 P_NO1, P_NO2

Problem: benötigter Realitätsausschnitt wird größer

Result visualization through Animation



proof

Ergebnispräsentation

Die **Auswertung** der Simulationsstudie erfolgt immer **im Bezug auf die gegebene Aufgabenstellung**. Dazu sind die entsprechenden Beurteilungskriterien zu formulieren.

Ein Vergleich aller ermittelten Ergebnisse ermöglicht Rückschlüsse über die Einflüsse der regelbaren Variablen auf die Zielvariablen.

Die Ergebnisse müssen so aufbereitet werden, dass sie für die Zielgruppe verständlich und überzeugend sind. Es erweist sich als günstig, wenn die Resultate in Euro präsentiert werden.

Ergebnispräsentation

Bei der Präsentation der Simulationsstudie sollten keine unerwarteten Resultate vorgestellt werden, da die Durchführung der Simulationsstudie immer in Zusammenarbeit zwischen Entwickler und Kunde realisiert werden sollte. Folgende Schwerpunkte sollten präsentiert werden:

- Welche Eingabegrößen wurden verwendet?
- Welche Problemstellungen wurden gelöst?
- Welche Methodik wurde zur Problemlösung verwendet?
- Worin bestehen die Vorteile (und ggf. Nachteile) der präsentierten Lösung?
- Welche Alternativen bestehen zur gefundenen Lösung?

Phasen einer Simulationsstudie

Phase	ausgewählte Informatikinhalt
Auswahl und Beschreibung des Bediensystems	<ul style="list-style-type: none">• Erarbeitung des System und Modellbegriffs• Erfassung und Aufbereitung empirischer Daten
Entwicklung des abstrakten Modells	<ul style="list-style-type: none">• Erlernen der Methoden von Abstraktion und Reduktion• Arbeit mit formalen Beschreibungsmöglichkeiten von Systemen
Implementierung des Computermodells	<ul style="list-style-type: none">• Erlernen einer Simulationssprache bzw. Anwendung einer bekannten Programmiersprache auf ein komplexes System• Erlernen grundlegender Validierungstechniken
Aufbereitung und Präsentation der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none">• Erlernen von Visualisierungs- und Präsentationstechniken• kritische Betrachtung der Ergebnisse von Berechnungen Erkenntnisgewinn durch Simulationsstudien

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

Getränkeautomat

Es ist das Simulationsmodell eines Getränkeautomaten zu erstellen. Aus diesem werden über den gesamten Tag gleichverteilt Getränke entnommen. Die Kunden kommen in einem Abstand von 0... 4 Minuten. Für das Kaufen eines Getränkes werden 30...120 Sekunden benötigt. Der Getränkeautomat verfügt über einen Vorrat von 700 Dosen. Einmal täglich, alle 20...28 Stunden, werden die fehlenden Dosen im Getränkeautomat nachgefüllt. Das Nachfüllen dauert 8...12 Minuten. Betrachten Sie das Modell über einen Monat (30 Tage).

Folgende Fragen sind mit dem Modell zu beantworten:
Ist der Getränkevorrat im Automaten ausreichend?
Wie lang wird die Warteschlange maximal?
Wie viele Dosen werden insgesamt verkauft?

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

- a) Nehmen Sie entsprechend der Zielstellung für dieses Modell eine Zuordnung von Elementen des realen Systems zu Modellelementen und WinGPSS-Sprachelementen vor.
- b) Welche Ereignisse können im Modell auftreten?
- c) Nehmen Sie eine zweckmäßige Zuordnung von Modellzeit zur Realzeit vor.
- d) Ordnen Sie die einzelnen Phasen der Simulationsstudie dem Softwarelebenszyklus zu.
- e) Beschreiben Sie Experimentiermöglichkeiten mit dem Modell mit dem Ziel, möglichst wenige Kunden abzuweisen und dennoch einen geringen Lagerbestand zu haben.
- f) Wie können mit einem Simulationsmodell Erkenntnisse gewonnen werden, die auf die reale Welt übertragbar sind?

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

Unterrichtliche Voraussetzungen (entsprechend den gültigen RRL Sachsen-Anhalt):

- der in den RRL vorgegebene Wahlkurs Simulation wurde belegt,
- das Projekt in Klasse 12/2 wurde zum Thema Simulation angefertigt

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

- a) Nehmen Sie entsprechend der Zielstellung für dieses Modell eine Zuordnung von Elementen des realen Systems zu Modellelementen und WinGPSS-Sprachelementen vor.

reales System	abstraktes Modell	WINGPSS-Modell
Kunde	Forderung	Transaktion GENERATE TERMINATE
Automat	Bedieneinrichtung	SEIZE ADVANCE RELEASE
Getränkervorrat	Speicher	ENTER LEAVE
Lieferant	Forderung	Transaktion GENERATE TERMINATE

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

b) Welche Ereignisse können im Modell auftreten?

Mögliche Modellereignisse:

- Ankunft eines Kunden
- Eintreffen eines Kunden am Getränkeautomaten
- Beginn der Bedienung
- Ende der Bedienung
- Entnahme eines Getränks
- Ankunft des Lieferanten
- Beginn der Belieferung
- Ende der Belieferung
- Eintreffen der Schlusstransaktion
- Ende des Simulationsexperiments

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

- c) Nehmen Sie eine zweckmäßige Zuordnung von Modellzeit zur Realzeit vor.

Für das Modell ist es zweckmäßig, 1 Minute Realzeit als 1 Simulationszeiteinheit zu wählen, da alle Prozesse auf diese Zeiteinheit geeignet abgebildet werden können.

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

- d) Ordnen Sie die einzelnen Phasen der Simulationsstudie dem Softwarelebenszyklus zu.

Analyse : Abstraktion, festlegen, welche Elemente benötigt werden und welche Parameter diese besitzen

Entwurf : Entwicklung des abstrakten Modells

Programmierung : Erstellen des WinGPSS-Modells, Testen, Validieren

Einsatz: Durchführung von Experimenten und Ableiten von Schlussfolgerungen, Übertragen der Erkenntnisse auf die Realität

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

- e) Beschreiben Sie Experimentiermöglichkeiten mit dem Modell mit dem Ziel, möglichst wenige Kunden abzuweisen und dennoch einen geringen Lagerbestand zu haben.

Folgende Experimente können mit dem Modell durchgeführt werden:

- Veränderung der Kapazität des Automaten
- Veränderung der Bedienzeiten
- Verkürzung des Zeitintervalls zum Befüllen des Automaten
- Verringerung der Streuung der Zeit zwischen 2 Lieferungen

Prüfungsaufgabe: Simulationsstudie

- f) Wie können mit einem Simulationsmodell Erkenntnisse gewonnen werden, die auf die reale Welt übertragbar sind?

Die Übertragung der Erkenntnisse erfolgt mittels Analogieschluss. Es müssen Experimentserien durchgeführt werden, um zu zuverlässigen Ergebnissen zu kommen.