

# Simulation eines Bediensystems mit Ereignistabellen

Dr. Henry Herper

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg  
Fakultät Informatik, AG Lehramtsausbildung

Universitätsplatz Magdeburg  
39106 Magdeburg  
henry.herper@lehramt.cs.uni-magdeburg.de

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Workshops wird die Simulation eines Bediensystems mit Ereignistabellen vorgestellt. Als Bediensystem wurde eine einfache Tankstelle ausgewählt. In Form eines Rollenspiels werden die Abläufe im Simulationsmodell an einem physischen Modell einer Tankstelle visualisiert. Mit dieser Form der Simulation wird das Prozessverständnis erleichtert und die grundlegende Vorgehensweise bei der diskreten Simulation vermittelt. Die Schülerinnen und Schüler können durch das Rollenspiel am physischen Modell erkennen, ob das erarbeitete Modell die Prozesse bezüglich der Aufgabenstellung geeignet abbildet.

Die in diesem Workshop demonstrierte Methode der Modellbildung und Simulation ist im Informatikunterricht für Schülerinnen und Schüler der Schuljahrgangsstufen 8-10 und für die Sekundarstufe 2 einsetzbar. Die vorgestellten Arbeitstechniken wurden im Rahmen der Lehramtsausbildung „Informatik“ und in verschiedenen Schülerprojekten erprobt.

## Einführung

Mit dem Lernbereich „Modellbildung und Simulation“ befinden wir uns in einem Themengebiet, in dem die Entwicklung von Modellen, die Bewertung der Resultate und das Experimentieren mit Modellen im Vordergrund stehen. Modellieren und Implementieren sowie Begründen und Bewerten sind nach den Bildungsstandards der GI für das Fach Informatik /GI2007/ Prozessbereiche und damit durchgängig für den Informatikunterricht gültig. Arbeitstechniken, die in diesem Lernbereich besonders gut vermittelt werden können, sind die Abstraktion und die Reduktion.

Ein geeignetes Applikationsgebiet für die Ausbildung ist die Simulation von Bedienungssystemen. Es können Systeme modelliert werden, die aus der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler kommen. Ein einfaches Beispiel ist das Modell eines Verkehrssystems (Ampel, Fußgängerüberweg, usw.). An diesem Beispiel können alle Phasen des informatischen Modellierens von der Systemanalyse über die Codierung bis zur Resultatbewertung durchgeführt werden. Für die Phasen der Systemdatenerfassung und -aufbereitung ist eine enge Verknüpfung mit dem Gebiet der Datenverwaltung und -verarbeitung möglich. Für alle Systeme, die zeitdynamische Abläufe nachbilden, sind multimediale Beschreibungen besonders geeignet. Die Schülerinnen und Schüler lernen ein System zu analysieren und durch ein Modell abzubilden. Grundfertigkeiten in der Abstraktion können herausgebildet werden. Für das zu simulierende System können Objekte klassifiziert und beschrieben werden. Die Beschreibung der beteiligten Objekte und Abläufe wird unter Verwendung der UML-Notation realisiert.

Die einzelnen Phasen des Modellbildungsprozesses sind in Tabelle 1 dargestellt.

Im Rahmen des Workshops liegt der Schwerpunkt auf den Phasen 1, 2 und 5. Am Beispiel einer Tankstelle wird das reale System analysiert und ein abstraktes Modell entwickelt. Das vorgestellte Rollenspiel, die Simulation mit Ereignistabellen, dient gleichzeitig zur Schaffung eines einheitlichen Prozessverständnisses und zur Verifikation und Validierung des abstrakten Modells.

Tabelle 1: Phasen einer Simulationsstudie

Phase	Ausgewählte Informatikinhalte	Teilschritte des Modellierens aus informatischer Sicht nach /GI2007/
1: Auswahl und Beschreibung des Bediensystems	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erarbeitung des System- und Modellbegriffs</li> <li>• Erfassung und Aufbereitung empirischer Daten</li> </ul>	<b>„Problemanalyse</b> Untersuchung von Sachverhalten und Abläufen unter informatischer Perspektive mit Blick auf verallgemeinerbare und typische Bestandteile.“
2: Entwicklung des abstrakten Modells	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlernen der Methoden von Abstraktion und Reduktion</li> <li>• Arbeit mit formalen Beschreibungsmöglichkeiten von Systemen</li> </ul>	<b>„Modellbildung</b> Entwicklung von Ideen zur Problemlösung in einem zweckmäßigen Modell, das formal darstellbar ist und eine Realisierung mit einem Informatiksystem ermöglicht.“
3: Implementierung des Computermodells	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlernen einer Simulationssprache bzw. Anwendung einer bekannten Programmiersprache auf ein komplexes System</li> <li>• Erlernen grundlegender Validierungstechniken</li> </ul>	<b>„Implementierung</b> Umsetzung des Modells und Verarbeitung der entsprechenden Daten.“
4: Durchführung von Modellexperimenten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erarbeiten von Experimentierstrategien</li> <li>• Bewerten der Ergebnisse und Ableiten von Eingabedaten für weitere Experimente</li> </ul>	
5: Aufbereitung und Präsentation der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlernen von Visualisierungs- und Präsentationstechniken</li> <li>• kritische Betrachtung der Ergebnisse von Berechnungen</li> <li>• Erkenntnisgewinn durch Simulationsstudien</li> </ul>	<b>„Modellkritik</b> Überprüfung der Angemessenheit der Lösung und Bewertung der erreichten Resultate.“

### Modellierung des Beispielsystem Tankstelle

Im Abschnitt „Modellieren und Implementieren“ der Bildungsstandards wird gefordert, dass die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 8 bis 10 u.a. über folgende Kompetenzen verfügen:

„Die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 8 bis 10

- analysieren Sachverhalte und erarbeiten angemessene Modelle
- entwickeln für einfache Sachverhalte objektorientierte Modelle und stellen diese mit Klassendiagrammen dar
- ...

Die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 8 bis 10

- beeinflussen das Modellverhalten durch zielgerichtete Änderungen
- beurteilen das Modell, die Implementierung und die verwendeten Werkzeuge kritisch“

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung einer Simulationsstudie ist die Auswahl eines Bediensystems aus dem Erfahrungshorizont der Schülerinnen und Schüler. Für die diskrete, ereignisorientierte Simulation sind Bediensysteme besonders geeignet. Das kann zum Beispiel ein Dienstleistungsbetrieb, ein Supermarkt, eine Schwimmhalle oder eine Tankstelle sein. Bei der Komplexität des Systems ist zu beachten, dass die Bearbeitung in der zur Verfügung stehenden Zeit mit den zur Verfügung stehenden Mitteln möglich sein muss.

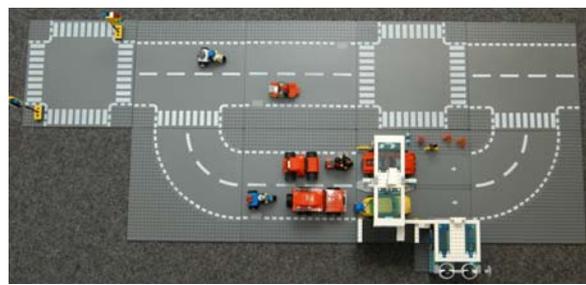
Wurde ein reales System ausgewählt, so muss als nächstes eine geeignete Problemstellung gefunden werden, die mit Hilfe des Simulationsmodells beantwortet werden kann. Besonders wichtig ist dabei, dass die Schülerinnen und Schüler die Simulationsresultate aus ihrer Erfahrungswelt validieren können.

Im gewählten Beispiel „Tankstelle“ sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie viele Zapfsäulen sind notwendig, damit die Wartezeit der Fahrzeuge in 90% der Fälle kleiner als 10 Minuten ist?
- Welche Kapazität muss der Wartebereich für Fahrzeuge haben?
- Ist es zweckmäßig, gesonderte Stellplätze für Kunden zu haben, die nur im Tankstellenshop einkaufen möchten?
- Wie viele Kassen sind notwendig?

Im Rahmen der Abstraktion werden die Eigenschaften und Funktionalitäten des realen Systems erarbeitet. Es besteht die Möglichkeit ein reales System Tankstelle abzubilden, oder ein physisches Modell als Grundlage zu verwenden. Im vorgestellten Beispiel wird ein physisches Modell als Grundlage verwendet.

Tabelle 2: System Tankstelle

Reales System	Physisches Modell
	

Besonders die Verwendung von Simulationsmodellen im Unterricht macht deutlich, dass reale Systeme nicht losgelöst von ihrer Umwelt existieren. Mit den Schülerinnen und Schülern werden die Umweltschnittstellen erarbeitet. Es muss die Frage beantwortet werden: „Wo liegen die Grenzen des betrachteten Systems und wie kommuniziert das System mit der Umwelt?“



Bild 1: Festlegung der Systemgrenzen / Umweltschnittstellen

Für ein einfaches Modell ist es zweckmäßig, die Schnittstellen an die Tankstelleneinfahrt und -ausfahrt zu legen. Damit ist es nicht notwendig, den fließenden Verkehr auf der Straße mit abzubilden. Auch das Einfahren in den Tankstellenbereich und das Ausfahren aus dem Tankstellenbereich kann vernachlässigt werden. Bei einer Modellerweiterung können die Systemgrenzen so gelegt werden, dass der Straßenabschnitt mit einbezogen wird. Die Komplexität des Modells erhöht sich damit wesentlich.

Im nächsten Schritt wird analysiert, welche Elemente und Prozesse des realen Systems im Modell abgebildet werden müssen. Für das in diesem Workshop vorgestellte System sind zum Beispiel folgende Hauptprozesse möglich:

- Fahrt zur Zapfsäule bzw. zum Parkplatz für den Shop
- Tanken
- Einkaufen im Shop
- Bezahlen
- Reinigen der Scheiben
- Waschen des Autos
- Fahrt von der Zapfsäule, Parkplatz oder Waschanlage zum Ausgang

Die Prozesse können im Unterrichtsgespräch erarbeitet werden. Es können weitere Prozesse hinzukommen, Prozesse weiter detailliert werden oder Prozesse zusammengefasst werden. Für den Unterricht ist zu beachten, dass mit der Anzahl der Prozesse auch die Komplexität des Modells zunimmt. Weiterhin muss bei jedem vorgeschlagenen Prozess untersucht werden, ob er bezüglich der Fragestellung unseres Simulationsprojektes relevant ist.

Im nächsten Schritt wird untersucht, wie die Prozesse nacheinander ablaufen können. Mögliche Abfolgen der Prozesse sind im Bild 2 dargestellt.

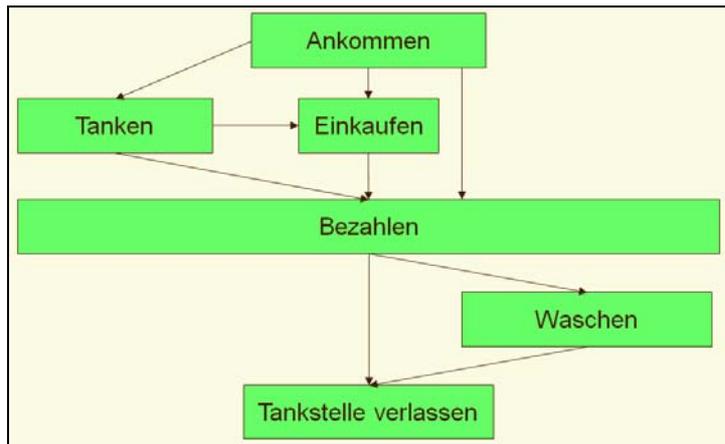


Bild 2: Handlungsfolgen im System

Anschließend müssen die Prozesse weiter zerlegt und beschrieben werden. Dabei können verbale oder formale Beschreibungsformen genutzt werden. Formal können zur Beschreibung zum Beispiel Programmablaufpläne verwendet werden. Diese haben aber den Nachteil, dass die Zeit als Größe nur sehr schwer abgebildet werden kann. Ein in diesem Workshop vorgestelltes Werkzeug zur Beschreibung der Prozesse ist das Anwendungsfalldiagramm der Modellbeschreibungssprache UML. Das folgende Beispiel zeigt ein Anwendungsfalldiagramm für den Prozess „Tanken“.

## Anwendungsfall Tanken

### Ziel:

*Was ist das Ziel des Anwendungsfalls?*

Fahrzeug mit Treibstoff zu betanken

### Anwendungskontext:

*In welchem Kontext tritt der Anwendungsfall auf?*

Betanken eines Fahrzeuges an einer Tankstelle durch Kraftfahrer

### Bereich:

*Was gehört/gehört nicht zum System?*

Zum System gehört die Zapfsäule und der Eimer mit Waschwasser, nicht zum System gehören Shop, Kasse, Waschanlage, Straße

### Niveau:

*Welchen Detaillierungsgrad hat der Anwendungsfall?*

Funktionsniveau(3)

### Primärer Akteur:

*Wer ist primärer Akteur (Rollename)?*

Kraftfahrer

### Sekundärer Akteur:

*Welche weiteren Akteure werden vom System zur Ausführung des Anwendungsfalls benötigt?*

Bediener der Tankstellenanlage

### Betroffene (Stakeholder):

*Beschreiben Sie, wer neben den direkten Anwendern durch den Anwendungsfall betroffen ist. Welche Interessen hat der Betroffene am Anwendungsfall?*

andere Tankkunden

### Vorbedingungen:

*Welchen Ausgangszustand der Umgebung benötigt der Anwendungsfall?*

Fahrzeug benötigt Kraftstoff, benötigter Kraftstoff ist vorhanden

**Nachbedingung im Erfolgsfall:**

Welcher Zustand der Umgebung wird bei erfolgreicher Abarbeitung des Anwendungsfalls garantiert?  
 Fahrzeug bekommt benötigten Kraftstoff

**Nachbedingung in Fehlerfällen:**

Welche Zustände werden in Fehlerfällen garantiert?

Wenn kein Treibstoff vorhanden, dann Tanken nicht möglich.

Wenn sich der Tankdeckel nicht öffnen lässt, dann Tanken nicht möglich.

**Auslöser:**

Was ist der Auslöser (Trigger) für den Anwendungsfall?

Fahrzeug erreicht Zapfsäule

**Interaktionsfolge:**

Wie sieht die Interaktionsschrittfolge im Erfolgsfall aus?

Schritt 1: Fahrer verlässt das Fahrzeug,

Schritt 2: Fahrer öffnet den Tankverschluss,

Schritt 3: Fahrer wählt die Zapfpistole aus, steckt sie in den Tankstutzen und betätigt den Starthebel, System liefert Treibstoff bis Tank voll oder Tanken abgebrochen wird und startet die Anzeige

Schritt 4: Fahrer entnimmt die Zapfpistole und hängt sie ein

Schritt 5: Fahrer verschließt den Tank.

**Ausnahmen und Fehlerfälle (Extensions):**

Welche Ausnahmen sind möglich?

2: Wenn der Tankverschluss sich nicht öffnen lässt, dann Störungsbeseitigung

3: Wenn Pumpe und Zählwerk nicht starten, dann Mitteilung an Bedienpersonal

4: Wenn Treibstoff verschüttet wird, dann Aufnahme und Beseitigung des Treibstoffes

**Enthaltene (Included) Anwendungsfälle:**

Reinigung der Scheiben möglich

**Zusätzliche optionale Informationen:****Ausführungszeit:**

Wie lange kann die Ausführung des Anwendungsfalls dauern?

1 bis 3 Minuten

**Übergeordnete Anwendungsfälle:**

In welchen Anwendungsfällen ist der Anwendungsfall enthalten?

Tankstellennutzung

Die zur Erstellung des Anwendungsfalldiagrammes verwendete Gliederung wurde aus /Fo2007/ übernommen. Für die Schule sind anwendungsabhängige Vereinfachungen oder Änderungen möglich.

Tabelle 3: Zeitdauer der Prozesse und ggf. zurückgelegte Wege

Prozess	Dauer in s	Strecke in m
Zwischenankunftszeit der Fahrzeuge	220 ± 100	
Fahrt von Eingang bis Zapfsäule	2,5 ± 0,5	18 ... 24
Tanken	120 ± 60	
Gehen von Zapfsäule zum Shop	15 ± 5	10 ... 13
Einkaufen (40% der Kunden)	110 ± 100	
Bezahlen	60 ± 30	
Gehen von der Kasse zum Fahrzeug	20 ± 5	15 ... 19
Fahrt von Zapfsäule bis Ausgang	1,5 ± 0,5	5 ... 11

Für die einzelnen Prozesse wird festgelegt, wie lange sie dauern. Dazu können Aufträge vergeben werden, die entsprechenden Zeiten zu messen. Aus den Rohdaten werden durch Aufbereiten die in Tabelle 3 dargestellten Zeiten. Wege wurden auch mit aufgenommen, da diese wichtig sind, wenn das Modell auch zur Animation verwendet werden soll.

Zur Beschreibung der im Modell abzubildenden Komponenten sind die Klassendiagramme von UML geeignet. Es ist herauszuarbeiten, welche Komponenten für die Erstellung des Modells notwendig sind, welche Eigenschaften erfasst werden müssen und welche Fähigkeiten die Komponenten haben müssen. Auch hier eignen sich wieder UML-Diagramme zur Abbildung. Für die Fahrzeuge werden UML-Klassendiagramme verwendet. Am Beispiel der Klasse Fahrzeug wird gezeigt, welche Eigenschaften ein Fahrzeug haben kann und welche bezüglich des Ziels der Simulationsstudie im Modell berücksichtigt werden müssen.

Tabelle 4: Darstellungsformen für Fahrzeugmodelle

	<table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Fahrzeug</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>           + Typkennzeichen : int            - Nummer : int            + Tankinhalt : int            - Streckenfahrzeit : float            - Handlungsplan : byte         </td> </tr> <tr> <td>           + setTypkennzeichen(TK : int) : void            + getTypkennzeichen() : int            + setNummer(NR : int) : void            + getNummer() : int            + setTank(Volumen : int) : void            + getTank() : int            + setZeit(Fahrzeit : float) : void            + getZeit() : float            + setHandlungsplan(aktion : byte) : void            + getHandlungsplan() : byte         </td> </tr> </tbody> </table>	Fahrzeug	+ Typkennzeichen : int - Nummer : int + Tankinhalt : int - Streckenfahrzeit : float - Handlungsplan : byte	+ setTypkennzeichen(TK : int) : void + getTypkennzeichen() : int + setNummer(NR : int) : void + getNummer() : int + setTank(Volumen : int) : void + getTank() : int + setZeit(Fahrzeit : float) : void + getZeit() : float + setHandlungsplan(aktion : byte) : void + getHandlungsplan() : byte
Fahrzeug				
+ Typkennzeichen : int - Nummer : int + Tankinhalt : int - Streckenfahrzeit : float - Handlungsplan : byte				
+ setTypkennzeichen(TK : int) : void + getTypkennzeichen() : int + setNummer(NR : int) : void + getNummer() : int + setTank(Volumen : int) : void + getTank() : int + setZeit(Fahrzeit : float) : void + getZeit() : float + setHandlungsplan(aktion : byte) : void + getHandlungsplan() : byte				

### Simulation mit Ereignistabellen

Die Simulation mit Ereignistabellen ermöglicht die schrittweise Abarbeitung des Simulationsmodells. Der Verlauf der Simulation kann an einem physischen Modell visualisiert werden. Die Schülerinnen und Schüler verstehen damit das Grundprinzip der ereignisorientierten Simulation. Weiterhin kann mit dieser Methode das Modell verifiziert und validiert werden. Es wird deutlich, welchen Einfluss stochastische Größen auf die Resultate haben und wie die Simulationsresultate errechnet werden.

Im abstrakten Modell wurden die Prozesse analysiert und beschrieben. Aus diesen Prozessen werden die für die Simulationsstudie relevanten Ereignisse abgeleitet, die Ereignisfolge wird festgelegt. Weiterhin werden die Prozesszeiten integriert. Für die Simulation ist es wichtig festzulegen, welche Zeitdauer eine Zeiteinheit abbildet. Für dieses Modell legen wir fest, dass eine Simulationszeiteinheit einer Sekunde entspricht.

„Unter einem Prozess (lat. *procedere* = voranschreiten; PPP: *processus*) versteht man eine definierte oder wahrscheinliche Aufeinanderfolge von Zuständen eines Systems in Abhängigkeit von den Vorbedingungen und den äußeren Einflüssen. Der Ablauf eines Prozesses kann vorgegeben sein, meist aber auch eigenständig gestaltet werden.“ [/www.wikipedia.de/](http://www.wikipedia.de/)

Die Prozesszeit ist damit die Zeit, zu der der nächste Ereigniszeitpunkt erreicht wird. Da die abgebildeten Prozesse stochastischen Einflüssen unterliegen, werden Zufallszahlen integriert. Im vorgestellten Workshop wird für die Bestimmung des nächsten Ereigniszeitpunktes eine Zufallszahl zwischen 0 und 99 gewürfelt (zwei Dezimalwürfel) und diese in das Intervall 0 – 1 transformiert. Wir gehen dabei von einer Gleichverteilung aus. Andere Verteilungen oder empirisch ermittelte Größen können aber ebenfalls verwendet werden.

- E1: Erreichen Tankstelle (  $ZAZ = 120 + 200 * RN1$  )
- E2: Erreichen Zapfsäule bzw. Warteschlange (  $Zeit = 2 + RN1$  )
- E3: Beginn Tanken
- E4: Ende Tanken (  $Zeit = 60 + 120 * RN1$  )
- E5: Erreichen Shop/ Beginn Einkaufen (  $Zeit = 10 + 10 * RN1$  )
- E6: Ende Einkaufen (E5 bzw.  $Zeit = 10 + 200 * RN1$  )
- E7: Erreichen Kasse bzw. Warteschlange
- E8: Beginn Bezahlen
- E9: Ende Bezahlen (  $Zeit = 30 + 60 * RN1$  )
- E10: Erreichen Fahrzeug (  $Zeit = 15 + 10 * RN1$  )
- E11: Verlassen Tankstelle (  $Zeit = 1 + RN1$  )

Bild 3: Ereignisse und deren Anordnung

Bei der Durchführung des Simulationsexperimentes wird zuerst der Ankunftszeitpunkt des ersten Fahrzeuges bestimmt. Die Zeit berechnet sich entsprechend der Gleichung  $ZAZ = 120 + 200 * RN1$ . Für dieses Beispiel ergibt sich der Zeitpunkt 142. Die Uhr wird auf diesen Zeitpunkt vorgestellt. Zum Zeitpunkt 142 gibt es zwei zu berechnende Folgeereignisse. Es muss der Zeitpunkt festgelegt werden, zu dem das nächste Fahrzeug erzeugt wird und der Zeitpunkt an dem das Fahrzeug 1 den Ereigniszeitpunkt 2, die Zapfsäule erreicht. Entsprechend der vorgegebenen Formeln stellen wir fest, dass das Fahrzeug 2 zum Zeitpunkt 288 erzeugt werden wird und Fahrzeug 1 die Zapfsäule zum Zeitpunkt 144,6 erreichen wird. Damit ist der nächste Ereigniszeitpunkt 144,6. Die Simulationsuhr wird auf den Zeitpunkt 144,6 vorgestellt. Da sich kein Fahrzeug in der Warteschlange befindet kann Fahrzeug 1 mit dem Tanken beginnen. Es wird der Ereigniszeitpunkt für das Ende des Tankens für Fahrzeug 1 auf den Zeitpunkt 227,4 festgelegt. Die Fahrzeuge im physischen Modell der Tankstelle werden analog zur Ereignistabelle bewegt.

Das Grundprinzip besteht darin, in der Tabelle den nächsten Ereigniszeitpunkt zu suchen. Zu diesem Zeitpunkt wird für das entsprechende Fahrzeug der nächste Ereigniszeitpunkt berechnet. Es muss aber auch kontrolliert werden, ob ein blockiertes Fahrzeug bewegt werden kann. Ein Fahrzeug kann zum Beispiel in einer Warteschlange blockiert sein. Verlässt ein Fahrzeug die Tankstelle, so kann ein nächstes Fahrzeug nachrücken.

Tabelle 5: Ereignistabelle für das Modell Tankstelle

Nr.	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
1	142	144,6	144,6	227,4	239,7		244,7	244,7	261,5	281,5	283,1
2	288	289,7	289,7								
3	422										

Aus dieser Ereignistabelle lassen sich auch sehr gut Resultate berechnen. Die Differenz aus den Ereigniszeitpunkten E3 und E2 ermöglicht mir die Berechnung der Wartezeiten der Fahrzeuge. Es kann ermittelt werden, wie viele Fahrzeuge gewartet haben, wie lange sie durchschnittlich gewartet haben und was die längste Wartezeit war. Die Schülerinnen und Schüler können die Berechnung der Resultatwerte nachvollziehen.

## Literatur

- /Fo2007/ Peter Forbrig; Objektorientierte Softwareentwicklung mit UML; Carl-Hanser-Verlag, München, 2007, ISBN-10: 3-446-40572-0
- /GI2007/ Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule – Bildungsstandards Informatik; Entwurfsfassung für Empfehlungen der Gesellschaft für Informatik e.V.; (Stand 10/2007)