

# Simulation in der Planung des öffentlichen Verkehrs

Balázs Horváth

Széchenyi István Universität Győr, Lehrstuhl für Verkehrswesen

*HU ISSN 1418-7108: HEJ Manuscript no.: TAR-020110-A*

## Zusammenfassung

Dieser Artikel ist ein Resultat des wissenschaftlichen Arbeit, was ich über neue Möglichkeiten der Verkehrsumlegung auf öffentlichem Verkehrssystemen verfertige. In diesem Artikel geht es um eine neue Methode, nämlich die Simulation. Ich habe ein dynamisches Simulationsmodell aufgebaut, womit die Verkehrsumlegung auf ÖPNV Netze aus einem neuen Sicht kalkulieren werden kann. Im ersten Teil kann man über den Begriff, die Bedingungen und die Möglichkeiten der Simulation lesen. Im weiteren Teil geht es um die Schritte des Aufbau des Simulationsmodell. Im letzten Teil handelt sich um die Verwendbarkeit des gefertigten Modells. Der Hauptteil des Artikels ist aber die als zweite genannte Teil, wo man über dem Aufbau des Modells lesen kann.

## Einleitung

In unseren Tage begegnen wir immer häufiger Problemen in den Bereich des Verkehrswesens (Übererfüllungen, Staus). Die Lösung dieser Probleme ist die Aufgabe der Verkehrsplaner, Verkehrsorganisatoren. Neu, noch nicht verbreitete Methode dazu ist die Simulation. Die Simulationen geben große Hilfe nicht nur bei der operativen Steuerung, sondern bei der langfristigen Planung des Verkehrs. In der Planung des Individualverkehrs gibt es schon genügend gut funktionierende analytische Methode um die Aufgabe zu lösen. Bei dem öffentlichen Verkehr gibt es noch keine ausreichende Methode die zukünftigen Fahrgastströme vorherzusagen. Problemen im Verkehr sind folgende:

- wachsende Überfüllung
- immer häufigere Staus
- Luftverschmutzung
- Lärm,

die nur mit großen Investitionen lösbar sind. Solche Investition kann ein neuer Weg, oder neue Fußgänger Zone sein. Diese Maßnahmen brauchen viel Geld, haben viele Betroffenen, deswegen ist es sehr wichtig, dass diese Investitionen auf einen starken Grund mit genügenden Wirkungsanalysen legen. Solche Wirkungsanalyse kann man manuell nur sehr schwer, sehr langsam mit sehr großen Erfahrungsbasis durchführen. Manchmal ist es unmöglich eine korrekte

Abbildung 1:

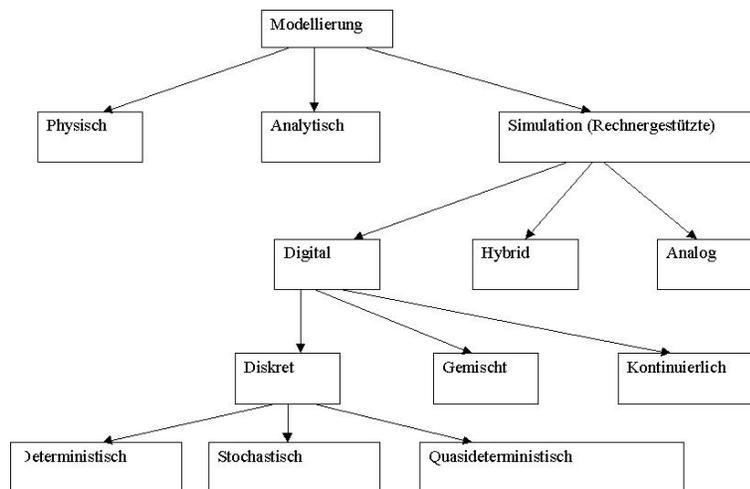


Abbildung 1. Gliederung der Modellierung [1]

Wirkungsanalyse nur manuell ohne der Hilfe des Rechnertechniks verwirklichen. Bei diesen Fällen kann man die Zukunft mit Simulation vorhersagen. Diese Simulationenmethoden geben schneller, einfacher Ergebnisse, als die herkömmlichen Methoden.

## 1 Über die Simulation

Die Simulation ist ein immer häufiger vorkommende Begriff. Um deren Bedeutung gibt es dennoch viele Missverständnisse. Unter Simulation versteht man solche Abbildung eines realen Systems, mit der man Experimente vorführen kann um den Betrieb des Systems besser kennenlernen zu können.

### 1.1 Verteilung der Modellierung

Die Modellierung ist ein Sammelbegriff, die unter anderen auch Simulation in sich enthält (siehe Abbildung 1).

Unter physische Modellierung versteht man Modellierung eines realen Systems mit der (gewöhnlich verkleinerten) Kopie des wirklichen Systems, z.B. Windkanal Versuche in der Autoindustrie. Die analytische Modellierung bedeutet eine Abbildung nur mit mathematischen Formeln, z.B. Formeln in Statik und in Festigkeitlehre. Dritte Gruppe der Modellierung ist die Simulation. Hier läuft die Abbildung mit der Hilfe des modernen Rechnertechniks. Man baut in Simulation eine virtuelle Welt. In dieser Welt kann man alles ausprobieren", das bedeutet man kann sehen die Antwort auf viele "Was wäre wenn...Frage.

Die Simulationenmethoden kann weiter verteilt werden. Um die Simulation eines Verkehrssystems scheint der besten Wahl unter die breite Möglichkeit der Simulationenmethoden die quasi-deterministische, diskrete, digitale Simulation. Digitale Simulation heißt die ganze Prozess läuft auf einen digitalen Rechner. Es bedeutet weitere Präzisierung das Attribut: diskret. Es zeigt, daß in dieser Simulation alle Elemente diskrete Elemente sind, sogar die Zeit ist eine Reihe von diskreten Zeitpunkten. Unter quasi-deterministisches System versteht man solche System, wobei

die Elemente nicht nach einem vorgegebenen Schema funktionieren, sondern nach bestimmten Regeln. Diese Regeln kann man mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschreiben.

Beim Analysis der Probleme des Verkehrs verwendet man verschiedene von dem Problem abhängige Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Bei den Untersuchungen des öffentlichen Verkehrs kommt sehr oft die Verteilung Poisson, Normal und Erlang vor. Bei einem Systemanalyse mit Simulation muß man zuerst das reale System abbilden. Diese Abbildung heißt Modell. Nächster Schritt ist die Prüfung der Modellfunktionen (Verifikation), danach muß man die Gültigkeit des Modells überprüfen (Validation), ob das Modell wirklich das reale System abbildet.

Mit dem Modell kann man unter bestimmten Umständen Durchführungen machen, es heißt ein Versuch. Nach den nötigen Versuche sind durchgeführt worden, kann man Vergleichen und statistischen Auswertungen machen. Mit der Hilfe diesen Auswertungen kann man über dem System oder über den Maßnahmen eine Meinung bilden.

## 1.2 Verwendungsbereich der Simulation

Wir haben hier eine breite Auswahl von Möglichkeiten gesehen. Es kommt die Frage, welche diese Möglichkeiten soll ich bei meinem Problem verwenden? Es hängt davon ab...

Wenn das System kann mit geschlossener, mathematischer Form umgeschrieben werden, braucht man keine Simulationstechnik zu verwenden. Dabei reicht nur ein analytisches Modell aufzubauen. Die Verwendung einer Simulationstechnik kann nur dann erfolgreich sein, wenn das untersuchte System hat viele Elementen, die auch Einfluss aufeinander haben, und die Funktion der Elemente hat etwas stochastizität. Der Verkehr ist ein komplizierte, offene, dynamische, komplexe System, deshalb kann man sagen, dass alle der genannten Bedingungen erfüllt sind. Es gibt aber auch in der Verkehrsplanung solche Teilprobleme, die auch ohne Simulation, nur mit der Hilfe von analytischen Modelle lösen kann.

## 1.3 Simulation mit Rechnertechnik

Die Entwicklung der Simulationstechnik hat die Entwicklung der Rechnertechnik möglich gemacht. Heutzutage sind die Rechnerkapazitäten schon gut genug um komplizierte Simulation durchführen zu können. Parallel mit der Rechnertechnik hat auch die Softwaretechnik viel gewachst. Es gibt schon viele Softwares mit dem man Simulationsmodelle entwickeln kann (siehe Abbildung 2).

Die verfügbaren Softwares können grundsätzlich in zwei Gruppen verteilt werden. Die sind die Programmiersprachen und die Simulators. Die Verwendung eines Simulators macht möglich eine schnelle und bequeme Entwicklung, aber das Ergebnis ist nicht immer genügend flexibel außerdem braucht es manchmal zu viel Rechnerkapazität. Die Verwendung eine Programmiersprache verursacht oft einen langsamen, umständlichen Modellaufbau. Das Ergebnis ist aber genauer, flexibler und kann die Ansprüche besser erfüllen als das Modell gebaut mit einem Simulator. Die verfügbaren Kapazitäten und die Komplexität des Problems bestimmen immer welche der verfügbaren Software man wählen soll.

Bisher wurde noch keine Simulationssoftware für die Probleme der ÖPNV entwickelt. Dabei verwendet man in allgemeine für den Individualverkehr entwickelte Methoden (manchmal mit einige Modifizierungen). Es bedeutet aber nicht, daß die allgemeinen Simulationssoftwares (z.B.: Witness) sind nicht fähig solche Probleme zu lösen. Wegen der Allgemeinheit deren Softwares kann man die nur begrenzt verwenden Verkehrsprobleme zu lösen, weil die keine verkehrsspezifischen Elemente haben. Deshalb scheint es besser bei den Probleme des Verkehrs

Abbildung 2:

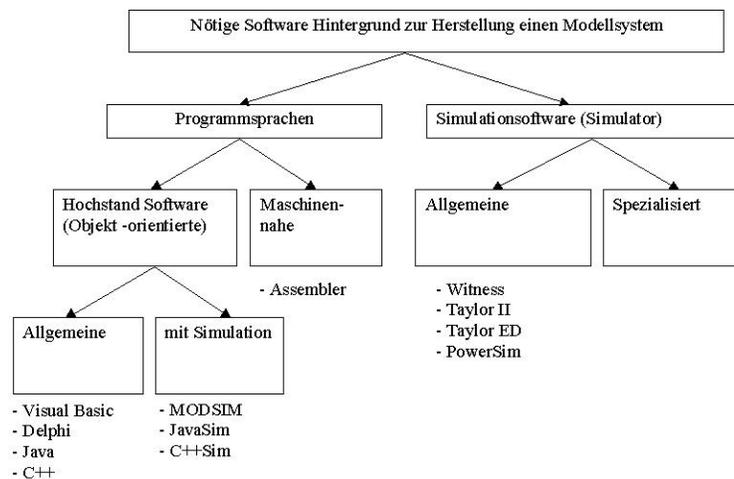


Abbildung 2. Die Verteilung der verfügbare Softwarehintergrund

statt Simulator eine Programmiersprache zu verwenden. Nach den Ergebnisse der früheren Versuche scheint die beste Lösung für die Simulation des öffentlichen Verkehrs die Programmiersprache MODSIM oder das systemunabhängige Java Programmiersprache. Ein weiterer Vorteil der Java Sprache, daß es frei verwendbar, und es gibt immer mehr erweiterte "Klassenbibliothek"(JavaSim), die den Modellaufbau erleichtert sind.

## 2 Simulation eines öffentlichen Verkehrssystems

Zur Ausbildung eines Rechnerprogrammes des öffentlichen Verkehrs zu simulieren scheint die beste Lösung zu sein eine objektorientierte Programmiersprache zu verwenden. Die objektorientierten Programmiersprachen gehören zu neuesten und wirksamsten Sprachen des Rechner-techniks.

Unter objektorientiertes Rechnerprogramm versteht man eine Software, die aus Objekte aufgebaut ist. Objekt heißt ein Element (Entität), der nicht nur seine Attribute (Variable), sondern seine Fähigkeiten (Methode) mitbringt. Als Beispiel sehen wir einen Wagen. Jeder Wagen hat seine eigenen Attribute (Farbe, Länge, maximal Geschwindigkeit...), außerdem hat er einige Funktionen (Beschleunigen, Bremsen...), als letzte er kann andere Objekte einnehmen (Wenn wir z.B. ein Mensch auch als ein Objekt ansehen).

Die objektorientierte Programmentwicklung [2] hat folgende Schritte:

- Analysis
- Systemplanung
- Klassenplanung (Objektplanung)
- Implementation

Das entwickelte Modell wird durch diese Schritte vorgestellt:

## 2.1 Analysis (Was ist die Aufgabe?)

Die Aufgabe ist die Simulation des Verkehrs auf einem öffentlichen Verkehrsnetz aus der Sicht der Dienstleistung. Der Startpunkt des Systems ist die Erscheinung des Fahrgastes in der Haltestelle, und der Endpunkt ist das Verlassen der Haltestelle nach der Fahrt zum Zielpunkt. Das Ziel ist die Simulation des Prozesses zwischen diesen beiden Punkte mit der Bewegung der Fahrzeuge und mit dem Routen- und Fahrzeugwahl der Fahrgäste.

Zweite Schritt in der Analysis ist die Richtungslinie der groben Lösung zu bestimmen, es heißt die Umschreibung der nötigen Elemente (Objekte) und deren Zusammenhänge.

Die nötigen Objekte kann man mit der Auswahl der Substantive aus dem Text des Problems bestimmen. Die verschiedenen Aufgaben in die Probleme kann man um die Substantive herum gruppieren, deshalb sind die fähig mögliche Objekte zu werden. Solche Substantive sind bei der Simulation eines öffentlichen Verkehrsnetzes:

- Fahrgast
- Haltestelle
- Straße
- Route
- Fahrzeug
- Linie
- Fahrplan

Ein öffentliches Verkehrsnetz zu simulieren braucht man aber soviel Objekte nicht. Die folgenden Elemente scheinen wichtig zu sein:

- Fahrzeug
- Fahrgast
- Haltestelle

Sichtbar ist, daß Fahrplan, Linie, Netz völlig aus dieser Liste fehlt. Es ist so, weil dafür eine Datenbank reicht, die die Fahrgäste und die Fahrzeuge verwenden können.

Nach dem Bestimmen der nötigen Objekte soll man die Aufgabe diese Objekte präzisieren.

- Fahrzeug: bewegender Speicher mit bestimmtem Fahrplan und Kapazität
- Fahrgast: Eine Person mit Anspruch auf Bewegung
- Haltestelle: Speicher mit "unbegrenzter" Kapazität

Den Zusammenhang unter diese Objekte kann man folgende bestimmen:

- Fahrgast erreicht Haltestelle, tritt ins System hinein (Fahrgast-Haltestelle)
- Die Haltestelle speichert den Fahrgast (Fahrgast-Haltestelle)

Tabelle 1: Die Objekte des Modells, und deren Aufgaben

<b>Fahrzeug</b>	<b>Fahrgast</b>	<b>Haltestelle</b>	<b>Generator</b>
Init	Init	Init	Generierung
Start	Einsteigen	Statistik	
Fahren	Aussteigen		
Haltestelle	Statistik		
Statistik			

- Das Fahrzeug verbindet die Haltestelle nach einem bestimmten Fahrplan (Haltestelle-Fahrzeug)
- Fahrzeug und Haltestelle machen einen Fahrgastwechsel nach dem Anspruch der Fahrgäste (Fahrgast-Haltestelle, Haltestelle-Fahrzeug, Fahrzeug-Fahrgast)
- Fahrgast verlässt die Haltestelle, und das System (Fahrgast-Haltestelle)

Eine weite Verbindung kann sein das Umsteigen, aber es ist unnötig das Umsteigen getrennt zu definieren. Es kann man aus den definierten Verbindungen zusammenstellen:

$$\text{Umsteigen} = \text{Aussteigen} + \text{Warten} + \text{Einsteigen}$$

Um die Erscheinung der Fahrgäste es ist nötig ein neues Element aufzubauen. Diese vierte Element heißt Generator. Das Modell besteht dann aus vier Objekte:

- Fahrzeug
- Fahrgast
- Haltestelle
- Generator

Die Objekte sind die Gesamtheit von Funktionen und Aufgaben. Diese Aufgabe sind die folgende: Das Fahrzeug soll fahren, wenn er eine Haltestelle erreicht, soll er Fahrgastwechsel machen. Der Fahrgast muß entscheiden, ob er einsteigen will, oder weiter wartet, oder wenn er schon auf dem Fahrzeug sitzt, muß er zwischen Fahren und Aussteigen wählen. Die Haltestelle speichert "nur" die Fahrgäste. Der Generator erzeugt die Fahrgäste nach einer bestimmten Regel, und legt die in die nötige Haltestelle. Neben diese alle Elemente soll sich an dem Start seines "Lebens" mit Grunddaten aufladen, um statistische Auswertung machen zu können. Diese Aufgabe zeigt die Tabelle 1.:

## 2.2 Systemplanung (Hochstandplanung)

Zu diesem Schritt gehört das Zerlegen der Lösung in Untersysteme. Das Modell braucht jetzt kein Zerlegen. Falls es nötig wäre, kann man es noch später zusätzlich nachmachen. Die andere wichtige Aufgabe dieser Schritt ist die Auswahl der nötigen Programmsteuerermethode. Es gibt

Abbildung 3:

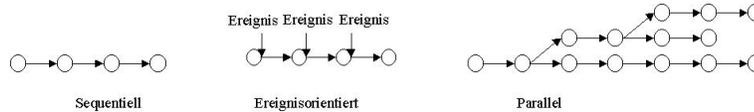


Abbildung 3. Programmsteuerungsmethode

Abbildung 4:

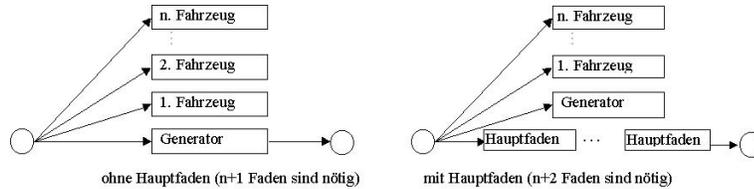


Abbildung 4. Die geplanten Faden

grundsätzlich drei Methode, die hier verwendbar sind. Die sind: Sequenziell, Ereignisorientiert und Parallel.

Unter sequenzielle Programmsteuerung versteht man solche Rechnerprogramm, wo die Anweisungen wird nacheinander wie die Kettenglieder durchgeführt. Bei einem ereignisorientierten Software wird eine Anweisung nur nach einem bestimmten Ereignis durchgeführt (z.B. der Anwender schlägt eine Taste an). Diese Methode wird allgemeine bei dem grafischen Software verwendet. Auf die Lösung der Probleme in der Simulation ist die parallele Methode geeignet. Bei dieser Methode funktionieren die Teile des Programmes unabhängig und quasi-parallel. Diese, parallel funktionierende, Teile nennt man Faden (siehe Abbildung 3).

Bei der Simulation des öffentlichen Verkehrs wird die dritte Methode (Parallel) verwendet. Nächste Aufgabe ist die Identifizierung der nötigen Faden, und deren Aufgabe. Die Objekte nacheinander überprüfen, kommt raus, daß nur das Fahrzeug und der Generator eigene Faden brauchen. Der Generator arbeitet unabhängig in dem Hintergrund parallel zu der andere Funktionen der Simulation. Ganz ähnlich, unabhängig, arbeiten die Fahrzeuge, das heißt, daß bei einer Zahl der Fahrzeuge  $N$  man braucht  $N + 1$  Faden um die ganze Prozess zu simulieren (siehe Abbildung 4).

Es gibt dabei eine andere Annäherung, wo auch eine Hauptfaden existiert. Diese Hauptfaden macht alle nötige Vorbereitungen vor der Simulation, und die erzeugt auch die andere Faden. Durch die Simulation arbeitet die Hauptfaden nicht. Nach der Simulation existiert nur noch die Hauptfaden, und macht alle nötige Zählungen und statistische Auswertungen. Der Wahl zwischen die beide Möglichkeiten sind durch die verwendete Programmiersprache und der verfügbare Rechnerkapazität beeinflusst. Solches Kriterium kann sein, wenn bei der verwendeten Programmiersprache die Hauptfaden wird durch die Simulation blockiert, dann kann man nur die zweite Variante nutzen.

Tabelle 2: Die Grunddaten

Netz		Linie	Fahrzeug	Dienstplan	Q – Z Matrix
Kanten	Haltestelle				
Identifizierung	Identifizierung	Identifizierung	Identifizierung	Identifizierung	Fahrten zwischen der Haltestelle
Startpunkt	Name	Name	Name	Ausführen	
Endpunkt	Lage (X, Y)	Haltestelle	Kennzeichen	Linien und deren Abfahrtszeiten	
Länge		Abfahrtszeiten	Kapazität		
- Distanz					
- Zeit					

Abbildung 5:

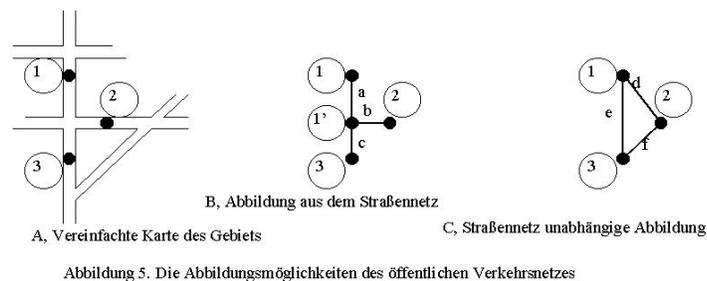


Abbildung 5. Die Abbildungsmöglichkeiten des öffentlichen Verkehrsnetzes

## 2.3 Klassenplanung (Wie wird es gemacht)

In dem vorigen Schritt wurde alle nötige Objekte und deren Aufgabe identifiziert. In dieser Phase wird alle Algorithmus, die die Aufgabe der Objekte erfüllen, und alle nötige Datenstruktur detailliert.

### 2.3.1 Grunddaten

Zu dem Betrieb der Objekte sind verschiedene Daten nötig. Solche Daten sind der Fahrplan oder die Datei das Netz beschreiben. Diese Daten sind in der Tabelle 2. gelistet.

Mit der Hilfe dieser Daten ist es schon möglich das Netz des öffentlichen Verkehrs (nicht das Strassennetz!) aufzubauen. Dabei kommt die Frage vor, vielleicht ist es nötig solche "blinde" Haltestelle ohne Fahrgäste zu nützen. Das zeigt die Abbildung 5. Die erste Möglichkeit ist die Haltestelle als Ausgangspunkte zu verwenden. In diesem Fall besteht das Verkehrsnetz im Rechner aus Haltestelle und "virtuelle" Kanten zwischen die Haltestelle. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Haltestelle. Die Aufgabe des öffentlichen Verkehrsnetzes ist die verschiedenen Ansprüche, die kommen in verschiedenen Punkte (Haltestelle) vor, zu erfüllen. Bei dieser Annäherung sind die Route zwischen diese Punkte nur sekundär.

Bei den verschiedenen Abbildungen sind die Wirkungen der Effekten unterschiedlich. Nehmen wir an, es gibt einen Stau auf dem Abschnitt 1-1'. Bei Methode "B" ist es nötig nur den Widerstand der Kante 1-1' zu verändern, also der Wert der Variante a soll verändert werden.

Dagegen bei Methode "C", wo zwei Werte man verändern soll. Die sind e und d. Annehmend, daß öffentlicher Verkehr nur zwischen 1-3 und 1-2 gibt, brauchen wir die Kante 2-3 (f) nicht. Es heißt in diesem Fall bei Methode "B" man braucht 4 Punkte und 3 (oder 6 abhängig davon, ob der Verkehr auf dem Kante in eine oder zwei Richtungen fährt) Kanten, bei Methode "C" 3 Punkte und 2 (oder 4) Kanten. Klar ist, mehr Punkt und mehr Kante macht das Netz komplizierter und verlangsamt das ganze Modell.

### 2.3.2 Fahrzeug

Mit der Hilfe des Dienstplanes werden die Fahrzeuge aus dem Fahrzeugliste herausgenommen. Aus dieser Liste werden auch die Daten der Fahrzeuge bestimmt (Identifizierung, Kennzeichen, Kapazität).

#### A, Init

Das neu erzeugte Fahrzeug bekommt die genannten Daten, und aus dem Dienstplan die ausführenden Linien und deren Abfahrtszeiten.

#### B, Start

Alles wird auf dem erste Abfahrt fertiggemacht (z.B. erste Abfahrtszeit wird bestimmt).

#### C, Fahren

Die Fahrtzeit der nächsten Kante (Verbindung zwischen zwei Haltestelle) wird bestimmt. Es kann auf zwei Wege passieren. In dem ersten Fall wird die Zeit nach dem Fahrplan kalkuliert, in dem zweiten Fall wird die Zeit aus den Daten des Netzes herausgenommen. Diese Zeit symbolisiert die Fahrt zwischen zwei Haltestelle. Nach dem Prinzip des Modells ein Fahrzeug erreicht die nächste Haltestelle, wenn diese Zeit vorbei ist, deshalb die Faden, die dem Fahrzeug im Modell ersetzt, ist für diesen Zeitraum gesperrt, es heißt die funktioniert wieder, wenn die Zeit der Kante vorbei ist. Nur dann können die Ereignisse in Verbindung mit dem Fahrzeug weiter passieren.

#### D, Haltestelle

Falls das Fahrzeug eine Haltestelle erreicht (die Zeit der Kante ist vorbei), fängt an die Fahrgastwechsel. Alle Fahrgäste im Fahrzeug werden gefragt, ob er aussteigen will. Falls er aussteigt und diese Haltestelle ist sein Zielpunkt, verläßt der Fahrgast das System, falls es ist nur ein Umsteigepunkt für ihm, wartet er weiter in der Haltestelle. Danach werden alle Fahrgäste in der Haltestelle gefragt, ob er einsteigen will. Falls er will einsteigen, und der Kapazität des Fahrzeuges ist noch nicht voll ausgenützt, kann der Fahrgast einsteigen. (Über Routenwahl der Fahrgäste sieh 2.3.3. Fahrgast)

#### E, Statistik

Wenn den Dienstplan ist erfüllt, beendet das Fahrzeug seine Fahrt. Er gibt einige statistischen Daten aus und wird vernichtet. Solche Daten können sein: durchschnittliche Auslastung, maximale Auslastung, Daten über Betriebszeit usw.

### 2.3.3 Fahrgast

#### A, Init

In diesem Teil wird dem Fahrgast generiert durch den Generator, eine Startzeit zugewiesen (mit der Hilfe diese Zeit kann man z.B. die Reisezeit ausrechnen). Nachdem wird das Start- und Zielpunkt des Fahrgastes bestimmt. Dazu ist der Grund das  $Q - Z$  Matrix.

In dem ersten Schritt wird das  $Q - Z$  Matrix in eine Folge umformatiert. Es passiert mit der folgenden Formel (es gibt  $k$  Stück Haltestelle):

$$a[(i-1) \cdot k + j] = \sum_{a=1}^i \sum_{b=1}^j f[a, b] \quad i = 1 \dots k; j = 1 \dots k$$

wo  $a[]$  ein Element der Folge  $f[i, j]$  das Element der  $Q - Z$  Matrix aus der Reihe  $i$ . und Spalte  $j$ .

Der nächste Schritt ist eine Zufallszahl zwischen 0 und  $a[k * k]$  zu generieren. Dann wird aus der Folge  $a$  das kleinste Element, welches schon größer, als der Zufallszahl ist, herausgenommen. Der Index ( $n$ ) dieses Elementes zeigt den Start- und den Zielpunkt. Dazu wird die folgende Formel verwendet:

$$\text{Zielhaltestelle} = \begin{cases} n \text{ MOD } k & \text{wenn } n \text{ MOD } k <> 0 \\ k & \text{wenn } n \text{ MOD } k = 0 \end{cases}$$

$$\text{Starthaltestelle} = ((n - \text{Zielhaltestelle}) \text{ DIV } k) + 1$$

wo  $\text{MOD}$  ist die Division mit Rest  $10 \text{ MOD } 6 = 4$   $\text{DIV}$  ist die Division mit Ganzen  $10 \text{ DIV } 6 = 1$

Danach wird der Fahrgast im Startpunkt hineingelegt.

### Prinzip des Ein- und Aussteigens

Die Funktionen Ein- und Aussteigen sind die Repräsentationen der Routenwahl der Fahrgäste. Die Fahrgäste verwirklichen ihre Willen durch dem Ein- und Aussteigen. Es wird durch viele Faktoren beeinflusst, die man bei dem Ausarbeiten der Methoden Ein- und Aussteigen berücksichtigen soll. Es gibt eine Voraussetzung, die Fahrgäste kennen unter gewissen Bedingungen ihren kürzesten Weg und deren Alternativen. "Unter gewissen Bedingungen" heißt, der kürzeste Weg, die der einzelne Fahrgast kennt, ist nicht immer der wahre, kürzeste Weg. Es ist so, weil die Kenntnis des kürzesten Weges hängt davon ab, ob der Fahrgast den Fahrplan kennt, oder welche Linie bevorzugt der Fahrgast. Es gibt solche Fahrgäste die nur mit gebundenem Verkehr fahren will, oder andere bevorzugen die frequentierten Linien. Es gibt dann solche Gruppe der Fahrgäste, die sogar mit Umwege das Umsteigen vermeiden. Nach der Routenwahl im Modell kennen die Fahrgäste die Entfernungen der Haltestelle von dem Zielpunkt, und nutzen alle Linie, die die zum Zielpunkt näher bringt. Wenn diese Annahme und dann auch das Modell richtig ist, ist das nächste Problem die Bestimmung die Distanz von dem Zielpunkt. Diese Bestimmung kann von der Betrachtung abhängen. Nach der ersten Annäherung soll man alles, wie Fußweg zum Haltestelle, Wartezeit, Fahrtzeit, als Grunddatei beachten. Diese Annäherung zumutet, daß alle Fahrgäste den Fahrplan und die aktuelle Verkehrssituation genau kennt, was nur sehr selten wahr ist, deswegen soll man die Verwendung dieser Betrachtung sehr gut bedenken. Es scheint besser eine andere Annäherung zu verwenden. Dabei handelte es sich um einen kürzesten Weg Methode, wo nur eine grobe Bestimmung des kürzesten Weges kalkuliert ist. Die genaue Route wird während der Reise bestimmt. Bei dieser Methode haben die Haltestelle "nur" ein Potential,

was die "Entfernung" von dem Zielpunkt zeigt. Die Aufgabe der Fahrgast ist sein Potential so lange zu sinken, bis er den Zielpunkt erreicht. Das Modell läuft nach diese zweite Theorie.

### B, Einsteigen

Vorher ging es um die Aufgaben der Fahrzeuge, wo man sehen konnte, was passiert, wenn ein Fahrzeug eine Haltestelle erreicht. Dabei kam vor, daß der Fahrgast soll entscheiden, ob er einsteigt. Diese Frage zu beantworten hat der Fahrgast drei Daten. Die sind: aktuelle Haltestelle, Zielpunkt, nächste Haltestelle des Fahrzeugs. Der Fahrgast vergleicht die Distanzen zwischen die aktuelle Haltestelle und Zielpunkt, und nächste Haltestelle des Fahrzeugs und Zielpunkt. Der Fahrgast steigt ein, wenn:

$$\begin{aligned}DISTANZ(aktuelleHaltestelle, Zielpunkt) &\geq \\DISTANZ(nächsteHaltestelledesFahrzeugs, Zielpunkt)\end{aligned}$$

Widrigensfalls bleibt der Fahrgast in der Haltestelle wartend.

### C, Aussteigen

Das Aussteigen läuft ähnlich zum Einsteigen. Der Fahrgast prüft zuerst, ob er den Zielpunkt schon erreicht hat. Falls ja, es gibt keine andere Prüfung, der Fahrgast steigt aus. Falls er sein Zielpunkt noch nicht erreicht hat, wird die vorige Ungleichung noch mal ausgewertet.

$$\begin{aligned}DISTANZ(aktuelleHaltestelle, Zielpunkt) &\geq \\DISTANZ(nächsteHaltestelledesFahrzeugs, Zielpunkt)\end{aligned}$$

Widrigensfalls steigt der Fahrgast aus.

Bemerkung: Die darlegte Methode (Einsteigen, Aussteigen) stecken in sich an mehrere Punkte die Möglichkeit, daß der Fahrgast für unendliche Zeit warten soll, weil kein entsprechendes Fahrzeug kommt. Aber die Methode funktioniert ausreichend, wenn das Netz mit einige Bedingungen beschränkt ist. Deswegen ist die Methode fähig die Ausarbeitung des Modells zu helfen. Das ganze Modell wird Objektorientiert entwickelt, deshalb ist es möglich einzelne Teil (z.B.: Einsteigen, Aussteigen) unabhängig von die andere Teile einfach umzutauschen.

### D, Statistik

Als der Fahrgast sein Zielpunkt erreicht, vernichtet er sich selbst. Technisch bedeutet das, daß die gespeicherten Daten über dem Fahrgast werden gelöscht.

## 2.3.4 Haltestelle

### A, Init

In diesem Teil wird zu der Haltestelle einige Grunddatei zugewiesen. Solche Datei sind: Identifizierung, Name, Lage  $(x, y)$ . (Diese Letzte ist nur bei grafischer Darstellung nötig.)

B, Statistik

Diese Methode erneuert die statistischen Daten über der gegebenen Haltestelle nach jeder Ankunft in der Haltestelle. Solche Datei kann sein die Nummer der "angekommenen" Fahrgäste, durchschnittliche Reisezeit von oder zu der Haltestelle oder die durchschnittliche Wartezeit in der Haltestelle.

### 2.3.5 Generator

A, Generierung

Bei dem Objekt Fahrgast konnte man sehen, daß die Fahrgäste wurden durch den Generator zustande gebracht. Wichtige Frage ist dabei die Dichte des Ankommen der Fahrgäste. Das  $Q-Z$  Matrix ist bekannt. Wenn man alle Zahlen im  $Q-Z$  Matrix zusammengibt, bekommt man die gesamte Zahl der Fahrten. Außerdem ist der Länge der Zeitperiod bekannt. Der Quotient diese beide Zahl ergibt die durchschnittliche Zeit zwischen zwei neue Fahrgast.

$$\text{durchschnittlichen Ankunftszeit der Fahrgäste} = \frac{\text{LängederZeitperiod}}{\text{gesamteZahlderFahrten}}$$

Diesen durchschnittlichen Wert als Durchschnitt eine Verteilung zu verwenden kann man die Fahrgäste auf quasideterministisch (siehe 1.1.) Erzeugen. Das Modell funktioniert jetzt mit einer Normal Verteilung.

## 2.4 Implementation

Letzter Punkt der Programmentwicklung ist die Implementation. Unter Implementation versteht man das Kodieren der vorher gezeigten Methoden und Funktionen. Das Modell wurde in der Computersprache MODSIM III [3] implementiert. MODSIM ist eine Hochstand Sprache mit Objektorientierung und Unterstützung zum Simulation. Die Sprache wurde auf C++ Steine gebaut, deswegen ist es sehr schnell. Es ist auch möglich das Modell in der Sprache Java zu implementieren. Es wäre vorteilhaft, weil die Sprache Java ist Systemfrei.

## 3 Verwendbarkeit des Simulationsmodells

Das oben gezeigte Computerprogramm ist fähig den Verkehr mit einigen Grunddaten (Fahrplan, Netz, Dienstplan) auf ein öffentliches Verkehrsnetz abzuspielen und statistische Zahlen über dem geprüften System zu geben.

Wenn man die nötigen Daten verändert, ist die Software fähig die Wirkungen deren Veränderungen zu messen. Solche Änderung kann sein Netz oder Fahrplanänderung, oder neue Fahrzeuge zu verwenden. In diesen Fälle kann man die Wirkungen der Änderungen mit der Hilfe des Simulationsmodells überprüfen. Diese Wirkungen können in der Form der Änderungen der Wartezeit oder Auslastung erscheinen.

Das Modell ist neben genügende Rechnerkapazität auch in der operativen Steuerung verwendbar, bei plötzlich auftauchende Probleme (z.B. ein Unfall) unter verschiedene Lösungsmöglichkeiten die Optimale zu finden.

Ein Simulationsmodell, wie das dargelegte System gibt verschiedene Daten, um den Vergleich zwischen zwei Maßnahme möglich zu machen:

- Durchschnittliche Reisezeit
- Durchschnittliche Auslastung
- Überfüllte Fahrzeuge
- Das Verhältnis der überfüllten Fahrzeuge
- Unausgenützte Fahrzeuge
- Gesamte Fahrzeug Kilometer
- Gesamte Fahrgast Kilometer
- Gesamte Platz Kilometer
- Durchschnittliche Wartezeit (Gesamt, pro Haltestelle)
- Die Zahl der nötigen Fahrzeuge
- Die Zahl der Umsteige
- Die Auslastung der Arbeitszeit der Fahrzeuge
- usw.

Bis es gab keine solche Hilfsmittel in der Planung, die Fachleute konnten nur mit der Hilfe ihre Erfahrungen und Kenntnisse die öffentlichen Verkehrsnetze modifizieren. Auf der Wirklichkeit kann man nicht experimentieren, deshalb soll man alle Änderungen gut überlegen. Mit der Hilfe der Simulation kann man die Wirkungen der Maßnahmen exakt vorhersagen. Es ist möglich verschiedene Alternative zu vergleichen, und die passende Variante auf Verwirklichung zu wählen. Es kommt in der Steigung des Niveaus der Dienstleistung vor, daß man nicht eine, sondern die passende Maßnahme verwirklicht, und das ergibt ein besseres Verkehrssystem, das die Ansprüche besser erfüllen kann.

## Zusammenfassung

Die Verwendung der Simulation gibt neue Möglichkeiten für den Verkehrsplaner. Eine entsprechend ausarbeitete Simulationsmodell kann nicht nur bei der operativen Steuerung, sondern bei der langfristigen Planung des Verkehrs helfen.

## Literatur

- [1] Balázs Horváth: Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs und dessen Wirkungsanalyse Vortrag "Frühlingsakademie" München 2-7. Mai 2000.
- [2] Nyékyné G. Judit (szerk.) et al: JAVA 1.1 útikalauz programozóknak ELTE TTK Hallgatói Alapítvány Budapest, 1997.
- [3] MODSIM III: Version 2 Reference Manual CACI Products Co. 1999.

- [4] Kövesné dr. Gilicze Éva-Dr. Füzy Ferenc: Tömegközlekedési hálózat- és viszonylattervezési számítógépi modell Városi Közlekedés 1986/4
- [5] Wilfried Grossman-Werner Schimanovich-Hannes Werther: Bewerten von Verbesserungsstrategien für den öffentlichen Verkehrsmittels Computer-Simulation Verkehrs Annalen 1983/4
- [6] G. Gottlob: Ein SIMULA-Programm zur Simulation des öffentlichen Verkehrs Diplomarbeit Institut für Statistik und Informatik der Universität Wien 1979
- [7] Jan Owen Jansson: A simple bus line model for optimisation of service frequency and bus size Journal of transport economics and policy Januar 1980
- [8] F. Le Clerq: A public transport assignment method Traffic Engineering Control 14. 1972