

Einführung Simulation 2024: Simulation der Autovermietung am Flughafen

Mikolaj Luzak, Alexander Burger

26.06.2024

1 Anforderungen an das Simulationsprojekt

Ein Flughafen besteht aus zwei Terminals (für ankommende und abfliegende Passagiere) und einer Mietwagenstation (für Abholung und Rückgabe von Mietwagen). Alle drei Orte haben ihre eigene FIFO-Warteschlange. Ein Shuttlebus verkehrt zwischen diesen Punkten, beginnend an der Mietwagenstation, dann zu Terminal 1, weiter zu Terminal 2 und zurück zur Mietwagenstation. Der Bus kann bis zu 20 Personen gleichzeitig befördern.

Alle an einem Terminal ankommenden Passagiere möchten zur Mietwagenstation, um ein Auto abzuholen und dann den Flughafen zu verlassen. Passagiere, die an der Mietwagenstation ankommen und ein Auto zurückgeben, möchten zu einem der beiden Terminals, um ihren Flug zu erreichen. Wenn der Bus eine Station erreicht, steigen zuerst alle Passagiere für diese Station aus (FIFO-Prinzip). Anschließend steigen wartende Passagiere ein, bis die Kapazität des Busses erreicht ist. Falls der Bus nicht voll ist, hält er maximal 5 Minuten an einer Station. Wenn nach 5 Minuten kein Ein- oder Aussteigen mehr stattfindet, oder der Bus voll ist, fährt er sofort weiter. Die Simulationszeit beträgt 80 Stunden.

1.1 Details der Aufgabenstellung

- Zwei Terminals und eine Vermietstation (insgesamt 3 Stationen).
- Passagiere kommen an einem der Terminals bzw. an der Autovermietstation an.
 - Passagiere am Terminal wollen zur Vermietstation und verlassen diese dann mit einem Mietwagen.
 - Passagiere an der Vermietstation wollen zu einem der Terminals, nachdem sie ihren Mietwagen zurückgegeben haben.
- FIFO-Warteschlange an jeder Station für ankommende und auf den Bus wartende Passagiere.

- Buskapazität: 20 Personen.
- Der Bus verkehrt folgendermaßen: Vermietstation \rightarrow Terminal 1 \rightarrow Terminal 2 \rightarrow Vermietstation \rightarrow ...
- Der Bus verweilt maximal 5 Minuten an einer Station. Findet nach 5 Minuten kein Aus- oder Einsteigen statt, oder ist der Bus voll, fährt er sofort ab.

2 Zu ermittelnde Werte

- Mittlere und maximale Anzahl der Passagiere in jeder Warteschlange.
- Wartezeiten in jeder Warteschlange.
- Anzahl der Passagiere im Bus.
- Minimale, maximale und mittlere Dauer einer Runde des Busses.
- Aufenthaltsdauer an jeder Station.
- Gesamtdauer einer Person im System, gegliedert nach Station der Ankunft im System.

3 Implementierung

Es wurde ein ereignisorientierter Ansatz in der Implementierung verfolgt, da die Implementierung intuitiver und einfacher ist, insbesondere in Systemen mit unregelmäßigen und diskreten Ereignissen. Die Implementierung umfasst folgende Klassen:

3.1 AirportCarRentalModel

Diese Klasse ist das Hauptmodell der Simulation. Sie definiert die Distributionsraten für Ankünfte und Reisezeiten, initialisiert die Stationen und Busse und plant die anfänglichen Ereignisse. Sie enthält Methoden zur Erfassung von Statistiken wie Wartezeiten und Systemzeiten der Passagiere. Die Klasse verwendet verschiedene Verteilungen, um Ankunftsrate an Terminals und Autovermietstationen sowie Reisezeiten zu modellieren. Sie initialisiert Busse und Stationen und plant die ersten Ereignisse in der Simulation. Die Klasse überwacht und sammelt umfassende Statistiken, einschließlich Wartezeiten und Systemzeiten der Passagiere.

3.2 BusEntity

Die BusEntity-Klasse verwaltet die Liste der Passagiere, die aktuellen und die Startstationen sowie den Fahrplan des Busses. Sie verfolgt auch die Zeitpunkte des letzten Rundenbeginns und der letzten Ankunft. Sie enthält Methoden zum Hinzufügen und Entfernen von Passagieren, Aktualisieren des Fahrplans und Verfolgen der Busfahrten.

3.3 BusSchedule

Die BusSchedule-Klasse ermöglicht die Verwaltung und Planung der Routen, die ein Bus nimmt, indem sie die Start- und Zielstationen sowie die Fahrzeiten zwischen ihnen speichert. Die Fahrpläne werden in einer HashMap gespeichert, wobei jede Station einer BusScheduleEntry zugeordnet wird, die die nächste Station und die durchschnittliche Fahrzeit enthält. Methoden wie addScheduleEntry, getNextStationTime und getNextStationId ermöglichen die dynamische Anpassung und Zugriff des Fahrplans.

3.4 StationEntity, TerminalEntity und CarRentalEntity

Die StationEntity-Klasse dient als Basis für spezifischere Stationstypen wie TerminalEntity und CarRentalEntity. Sie verwaltet die Warteschlange der Passagiere, die an der Station ankommen oder abfahren, und erfasst die Wartezeiten der Passagiere für statistische Auswertungen. TerminalEntity und CarRentalEntity erweitern diese Funktionalität für Flughafen terminals und Autovermietstationen und sorgen dafür, dass die Simulation realistische Szenarien für verschiedene Stationstypen nachbildet.

3.5 IdManager

Der IdManager initialisiert eindeutige IDs für Terminals und Autovermietungen, um die einfache Zuordnung und den Zugriff auf Stationsobjekte während der Simulation zu ermöglichen. Er verwendet HashMaps, um die Beziehung zwischen IDs und Stations- bzw. Busobjekten zu speichern und bereitzustellen. Mit Methoden zur zufälligen Auswahl von Terminal- und Autovermietungs-IDs unterstützt der IdManager die Erstellung von Passagieren an verschiedenen Stationen.

3.6 Ereignisklassen

Die folgenden Klassen repräsentieren die wichtigsten Ereignisse in der Simulation:

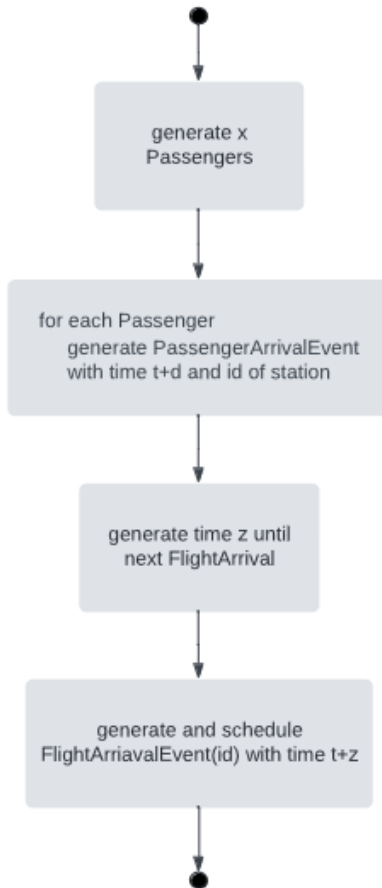


Abbildung 1: FlightArrivalEvent

- **FlightArrivalEvent:** Diese Klasse berechnet die Anzahl der Passagiere, die mit einem Flug am Terminal ankommen, basierend auf einer zufälligen Verteilung. Für jeden ankommenden Passagier wird ein PassengerEntity-Objekt erstellt, das seine Reise im Modell verfolgt. Nachdem die Passagiere erstellt wurden, wird für jeden Passagier ein PassengerArrivalEvent geplant, um deren Ankunft an der Busstation zu simulieren. Zusätzlich plant die Klasse das nächste FlightArrivalEvent basierend auf der festgelegten Ankunftsrate, um die kontinuierliche Ankunft von Flügen zu simulieren und so die Dynamik des Passagierflusses im Modell aufrechtzuerhalten.

- **CarRentalArrivalEvent:** Die Klasse erzeugt einen Passagier, der an der Autovermietstation ankommt, für welchen ein PassengerEntity-Objekt erstellt wird, das die Ankunft an der Busstation simuliert. Ein PassengerArrivalEvent wird geplant, um die tatsächliche Ankunft des Passagiers an der Busstation zu simulieren. Weiterhin plant die Klasse das nächste CarRentalArrivalEvent basierend auf einer zufälligen Verteilung der Ankunftsrate, wodurch eine realistische und kontinuierliche Ankunft von Passagieren an der Autovermietstation sichergestellt wird. Im Unterschied zum FlightArrivalEvent wird hier nur ein einzelner Passagier erstellt, das geschieht aber in einer höheren Frequenz.

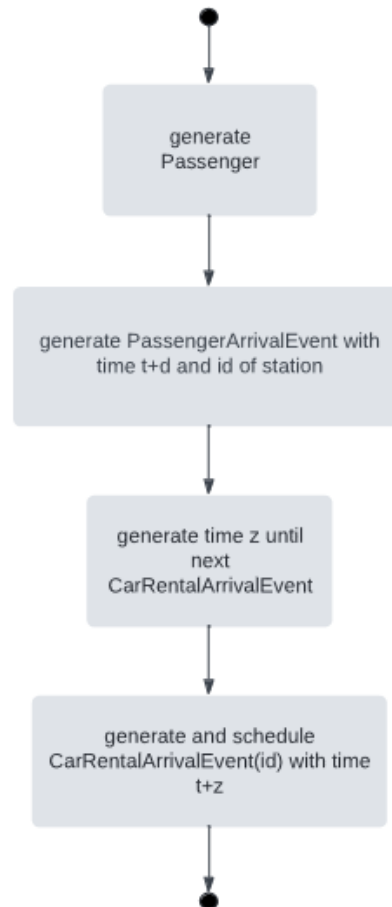


Abbildung 2: CarRentalArrivalEvent

- **PassengerArrivalEvent:** Diese Klasse simuliert die Ankunft von Passagieren an einer Busstation und prüft, ob ein Bus an der Station bereitsteht und ob dieser noch freie Plätze hat. Wenn ein Bus vorhanden ist und Platz hat, steigen die Passagiere sofort ein. Ist kein Bus da oder ist der vorhandene Bus voll, werden die Passagiere in die Warteschlange der Station eingereiht. Diese Klasse verwaltet also die Logik des Passagierflusses und die Interaktion mit dem Bussystem, um sicherzustellen, dass Passagiere effektiv und realistisch an die Busse verteilt werden.

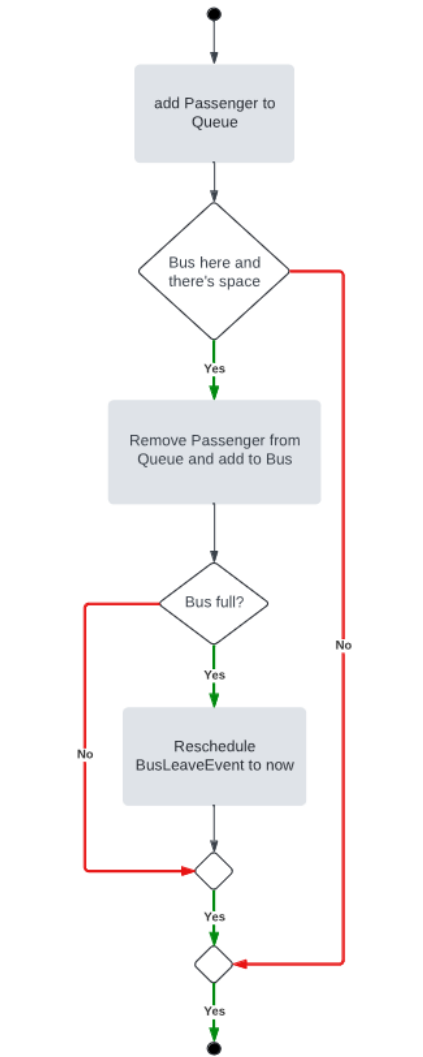


Abbildung 3: PassengerArrivalEvent

- **BusArrivalEvent:** Die Klasse kümmert sich um die Ankunft eines Busses an einer Station. Sie aktualisiert die Stations-ID des Busses, setzt den Status des Busses auf nicht fahrend und entfernt Passagiere, die an der aktuellen Station aussteigen. Wartende Passagiere werden an Bord genommen, sofern Platz vorhanden ist.

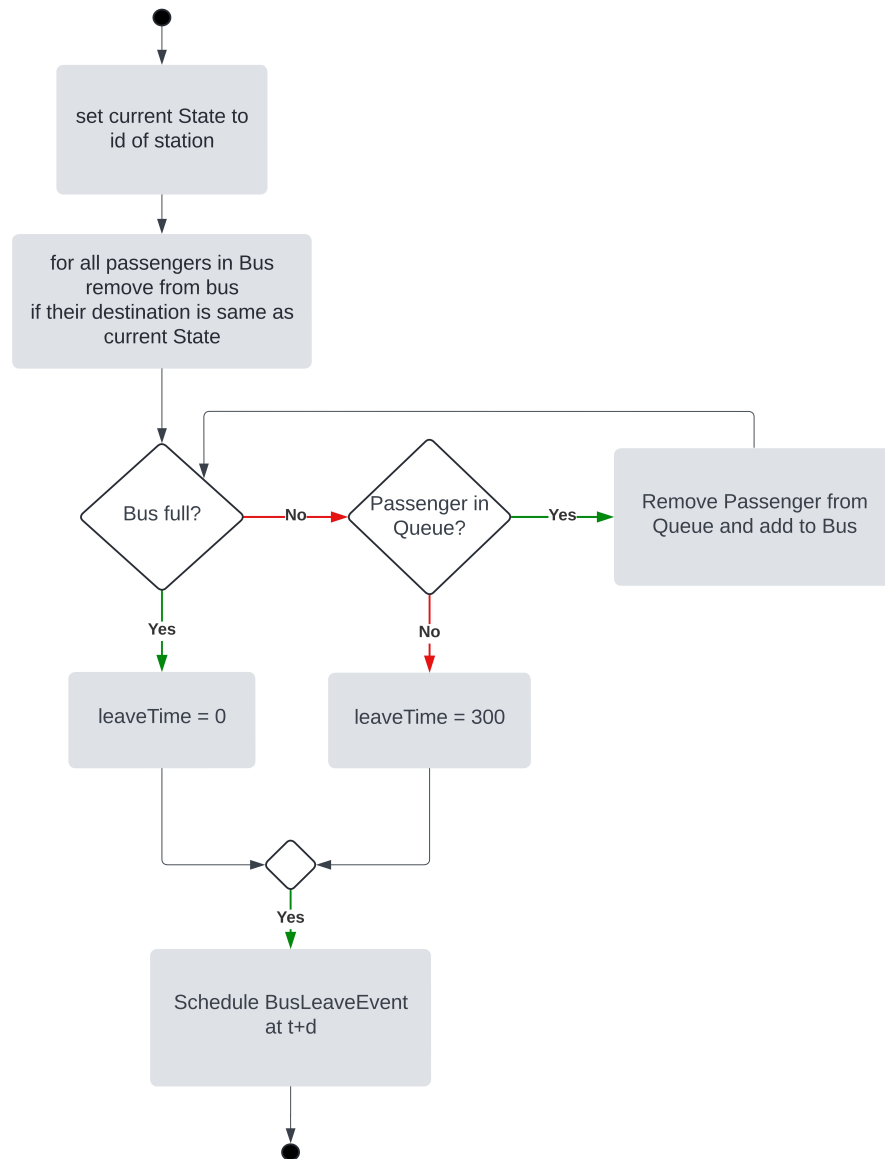


Abbildung 4: BusArrivalEvent

- **BusLeaveEvent:** Handhabt die Abfahrt des Busses von einer Station. Plant das nächste Busankunftsereignis an der nächsten Station und aktualisiert die entsprechenden Statistiken. Diese Klasse plant die Abfahrt eines Busses von einer Station und die Ankunft an der nächsten Station basierend auf dem Fahrplan des Busses. Sie aktualisiert die Statistiken zur Bus-

auslastung und stellt sicher, dass der Bus zur richtigen Zeit abfährt und ankommt.

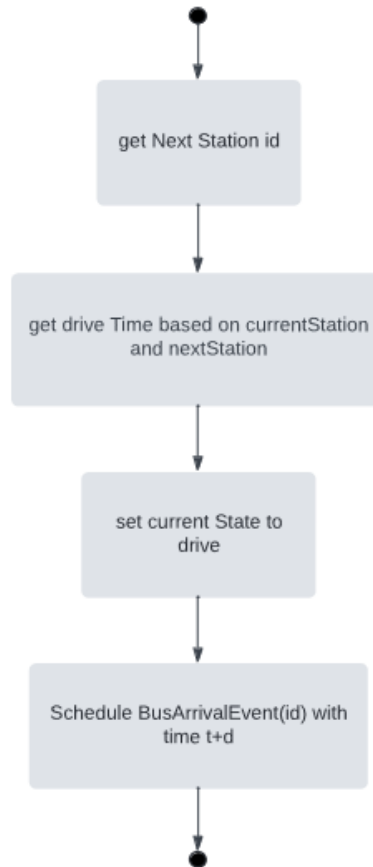


Abbildung 5: BusLeaveEvent

4 Simulationsergebnisse

4.1 Experimentbericht

Sample Single Simulation Report

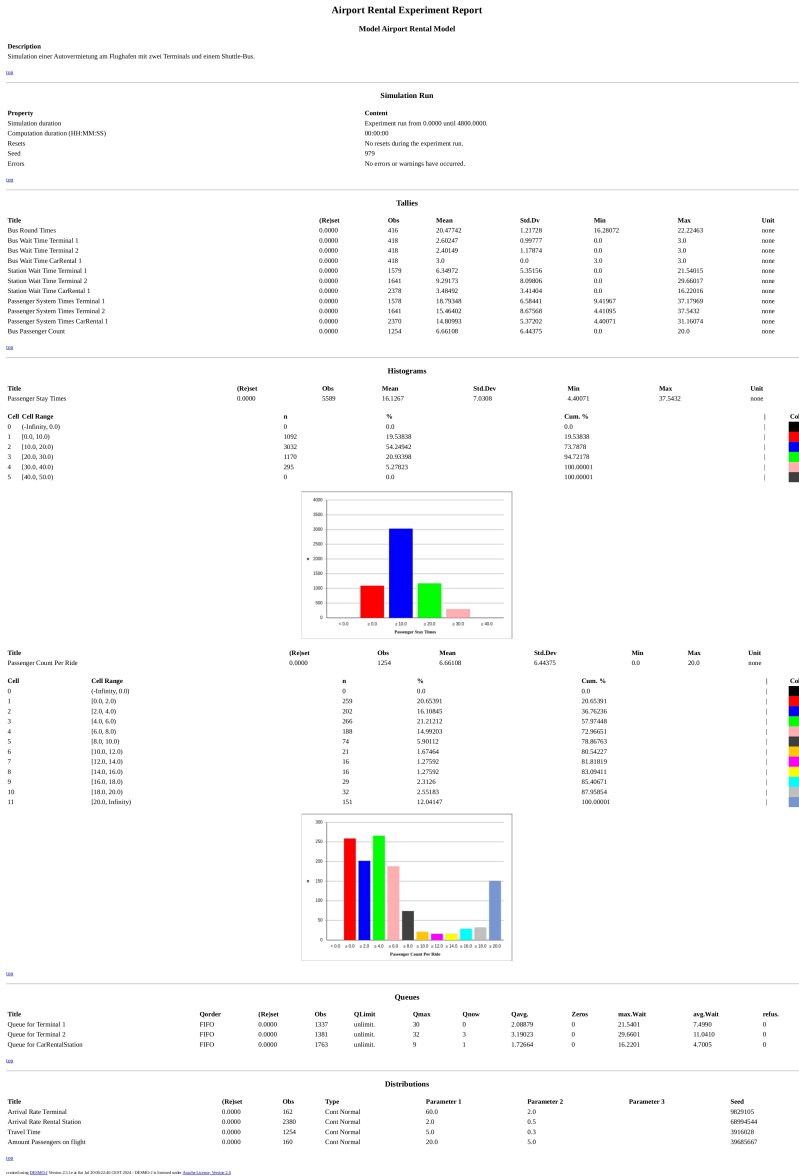


Abbildung 6: Simulation Results from PDF

4.2 Ergebnisse für verschiedene Parameterkombinationen

Die Simulation wurde jeweils 10x für verschiedene Parameterkombinationen durchgeführt, um die Auswirkungen der Anzahl der Busse und der Wartezeit an den Stationen zu untersuchen. Die folgenden Ergebnisse wurden erzielt:

• **1 Bus, 5 Minuten Wartezeit:**

- Durchschnittliche Busrundzeiten: 21.95 Minuten
- Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 1: 3.10 Minuten
- Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 2: 1.94 Minuten
- Durchschnittliche Buswartezeit Autovermietstation: 5.0 Minuten
- Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 1: 17.51 Minuten
- Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 2: 26.61 Minuten
- Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Autovermietstation: 8.31 Minuten
- Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 1: 30.48
- Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 2: 32.84
- Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Autovermietstation: 21.73
- Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere (alle Stationen): 27.32
- Durchschnittliche Anzahl der Passagiere im Bus: 14.49

• **1 Bus, 4 Minuten Wartezeit:**

- Durchschnittliche Busrundzeiten: 20.90 Minuten
- Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 1: 2.62 Minuten
- Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 2: 1.89 Minuten
- Durchschnittliche Buswartezeit Autovermietstation: 4.0 Minuten
- Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 1: 16.93 Minuten
- Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 2: 23.19 Minuten
- Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Autovermietstation: 8.28 Minuten
- Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 1: 29.49
- Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 2: 29.31
- Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Autovermietstation: 20.62
- Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere (alle Stationen): 25.62
- Durchschnittliche Anzahl der Passagiere im Bus: 13.60

• **1 Bus, 3 Minuten Wartezeit:**

- Durchschnittliche Busrundzeiten: 19.61 Minuten
- Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 1: 2.05 Minuten

- Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 2: 1.61 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Autovermietstation: 3.0 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 1: 14.59 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 2: 22.49 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Autovermietstation: 8.17 Minuten
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 1: 26.51
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 2: 28.58
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Autovermietstation: 19.45
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere (alle Stationen): 23.96
 - Durchschnittliche Anzahl der Passagiere im Bus: 12.53
- **2 Busse, 5 Minuten Wartezeit:**
 - Durchschnittliche Busrundzeiten: 24.10 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 1: 4.24 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 2: 3.98 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Autovermietstation: 5.0 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 1: 8.18 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 2: 9.22 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Autovermietstation: 4.51 Minuten
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 1: 22.66
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 2: 15.84
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Autovermietstation: 18.21
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere (alle Stationen): 18.72
 - Durchschnittliche Anzahl der Passagiere im Bus: 8.17
 - **2 Busse, 4 Minuten Wartezeit:**
 - Durchschnittliche Busrundzeiten: 22.24 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 1: 3.36 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 2: 3.12 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Autovermietstation: 4.0 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 1: 7.29 Minuten

- Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 2: 10.38 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Autovermietstation: 3.67 Minuten
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 1: 20.55
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 2: 16.86
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Autovermietstation: 16.11
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere (alle Stationen): 17.64
 - Durchschnittliche Anzahl der Passagiere im Bus: 7.38
- **2 Busse, 3 Minuten Wartezeit:**
 - Durchschnittliche Busrundzeiten: 20.47 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 1: 2.59 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Terminal 2: 2.40 Minuten
 - Durchschnittliche Buswartezeit Autovermietstation: 3.0 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 1: 5.98 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Terminal 2: 8.86 Minuten
 - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Passagiere Autovermietstation: 3.58 Minuten
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 1: 18.46
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Terminal 2: 14.97
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere Autovermietstation: 14.89
 - Durchschnittliche Systemzeit der Passagiere (alle Stationen): 15.96
 - Durchschnittliche Anzahl der Passagiere im Bus: 6.67

5 Fazit

Die Simulationsergebnisse zeigen deutlich, dass die Anzahl der Busse und die Wartezeit an den Stationen einen signifikanten Einfluss auf die Wartezeiten und die Gesamtdauer der Passagiere im System haben.

- **Ein Bus:** Bei einer Wartezeit von 5 Minuten beträgt die durchschnittliche Wartezeit des Busses an den Terminals und der Autovermietstation 3.10, 1.94 und 5.0 Minuten. Man sieht dass ein Bottleneck die Wartezeit des Busses an der Autovermietstation ist, da dort die Passagiere langsamer ankommen und der Bus immer volle 5 Minuten wartet, während an Terminal 2 der Bus im Durchschnitt schon nach 1.94 Minuten voll ist und er weiterfahren muss. Auch sind die Systemzeiten der Passagiere hoch und

breit gefächert. An Terminal 2 müssen Passagiere im Durchschnitt 26.61 Minuten warten, bis sie in den Bus einsteigen können, an der Vermietstation sind es nur 8.31 Minuten. Die Verkürzung der maximalen Buswartezeit an den Stationen verbessert alle gemessenen Metriken um ein paar Minuten.

- **Zwei Busse:** Die Einführung eines zweiten Busses führt zu einer deutlichen Verringerung der durchschnittlichen Wartezeiten an Stationen und Aufenthaltsdauer im System der Passagiere. Beispielsweise beträgt die durchschnittliche Wartezeit der Passagiere bei einer Buswartezeit von 5 Minuten 8.18 Minuten an Terminal 1 und 9.22 Minuten an Terminal 2, was eine starke Verbesserung verglichen mit 17.51 und 26.61 Minuten bei einem Bus und 5 Minute Buswartezeit ist. Auch die durchschnittliche Systemzeit der Passagiere wird dadurch um ungefähr 9 Minuten gesenkt. Auch sind die Metriken verglichen mit einem Bus und 3 Minuten Wartezeit deutlich besser.
- **2 Busse und Wartezeit von 3 Minuten:** Eine kürzere Wartezeit führt zu kürzeren Busrundzeiten und verringerten durchschnittlichen Wartezeiten an den Stationen. Bei 2 Bussen verkürzt sich die Passagierwartezeit an Terminal 1 um 2.2 Minuten. Die Systemzeiten der Passagiere an Terminal 1 und Autovermietung verkürzt sich ebenfalls um circa 4 Minuten. Insgesamt sind Passagierwartezeiten an allen Stationen unter 10 Minuten und gesamte durchschnittliche Systemzeit liegt bei 16 Minuten, was verglichen mit der realen Welt gut ist. Es stellt sich nun die Frage, ob diese so gering sein müssen, denn der Einsatz einer doppelten Anzahl an Bussen erhöht auch deren Kosten deutlich, was aber nicht zu einer Halbierung der Metrikerwerte führt. Auch führt eine Verkürzung der Wartezeiten zu einer längeren durch den Bus zurückgelegten Gesamtstrecke, was zu erhöhten Spritkosten führt. Am Ende ist es eine Frage der Kosten- und Effizienzabschätzung.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die optimale Anzahl der Busse und die Wartezeit an den Stationen abgewogen werden müssen, um ein Gleichgewicht zwischen effizienten Transportzeiten, akzeptablen Wartezeiten für die Passagiere und der entstehenden Kosten zu gewährleisten. Eine Erhöhung der Anzahl der Busse kann die Effizienz verbessern und gleichzeitig die Wartezeiten und die Aufenthaltsdauer der Passagiere reduzieren, aber auch die Kosten erhöhen. Das gilt auch für eine Verkürzung der Buswartezeiten.