



Fachhochschule Bielefeld
University of Applied Sciences

**Fachbereich Ingenieurwissenschaften
und Mathematik**

Diskrete Simulation

Thema:

DISKRETE SIMULATION EINER OEFFENTLICHEN MENSA UND GRENZLAST- UND ENGPAS-
SANALYSE EINER KLEINMENGENKOMMISSIONIERUNG FÜR HIGH TECH PRODUKTE MIT
DOSIMIS-3

Name: Dipl.-Ing. (FH) Christian Benjamin Ries <Christian_Benjamin.Ries@fh-bielefeld.de>

Datum: 27. Dezember 2009

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Inhaltsverzeichnis | 2 |
| 1 Einleitung | 4 |
| 2 Projekt 1: Analyse des Ablaufes in der Mensa | 5 |
| 2.1 Informationen zum Projekt | 5 |
| 2.1.1 Zielfunktionen des Projektes | 5 |
| 2.2 Glossar | 6 |
| 2.3 Simulationsmodell | 6 |
| 2.3.1 Annahmen | 6 |
| 2.3.2 Systemabgrenzung | 7 |
| 2.3.3 Schematische Darstellung des Modell | 7 |
| 2.3.4 Methoden der Modellvalidierung | 8 |
| 2.3.5 Design der Modellexperimente | 8 |
| 2.3.6 Parametrisierung der Quelle | 9 |
| 2.3.7 Parametrisierung der Bearbeitungsstation, Essensausgaben | 10 |
| 2.4 Ergebnisse | 11 |
| 2.4.1 Typisches Verhalten des Modells | 11 |
| 2.4.2 Tabellierung einer typischen Ergebnisreihe | 11 |
| 2.4.3 Genauigkeit der Ergebnisse | 13 |
| 2.4.4 Vorgehensweise bei der Ergebnisanalyse | 13 |
| 2.4.5 Empfehlungen aufgrund der Ergebnisse | 14 |
| 2.5 Fehler und Sackgassen bei der Entwicklung | 14 |
| 3 Projekt 2: Grenzlast- und Engpassanalyse einer KMK für High Tech Produkte | 16 |
| 3.1 Informationen zum Projekt | 16 |
| 3.1.1 Zielfunktionen des Projektes | 16 |
| 3.2 Glossar | 17 |
| 3.3 Simulationsmodell | 17 |
| 3.3.1 Annahmen | 17 |
| 3.3.2 Parametrisierung des Simulationsmodell | 18 |
| 3.3.3 Parametrisierung der Quelle | 19 |
| 3.3.4 Verteilung der Aufträge | 19 |
| 3.3.5 Systemabgrenzung | 20 |
| 3.3.6 Schematische Darstellung des Modell | 21 |
| 3.3.7 Methoden der Modellvalidierung | 21 |
| 3.3.8 Design der Modellexperimente | 22 |
| 3.3.8.1 Ausgangsmessungen | 22 |
| 3.3.8.2 Varitationsmessung | 23 |
| 3.3.8.3 Heuristische Messung | 23 |
| 3.3.8.4 Durchlaufzeitmessungen für gleichverteilte Auftragsmengen | 24 |
| 3.3.8.5 Ermittlung hoher Durchsatzzahlen | 24 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 3.4 | Ergebnisse | 24 |
| 3.4.1 | Engpässe in der IST Situation | 25 |
| 3.4.2 | Ergebnisse der Varitationsmessung | 32 |
| 3.4.3 | Ergebnisse der heuristischen Messungen | 33 |
| 3.4.4 | Ergebnisse der gleichverteilten Auftragsmengen | 33 |
| 3.4.5 | Ergebnisse zur Maximierung der Durchsatzzahlen | 36 |
| 3.4.6 | Genauigkeit der Ergebnisse | 37 |
| 3.4.7 | Vorgehensweise bei der Ergebnisanalyse | 37 |
| 3.4.8 | Empfehlungen aufgrund der Ergebnisse | 37 |
| 3.5 | Fehler und Sackgassen bei der Entwicklung | 38 |
| Tabellenverzeichnis | | 39 |
| Abbildungsverzeichnis | | 40 |
| Literaturverzeichnis | | 41 |
| A Anhang - Methoden der Modellvalidierung | | 42 |
| A.1 | Messwerte 1 | 42 |
| A.2 | Messwerte 2 | 45 |
| B Anhang - Simulationswerte | | 48 |
| C Anhang - Implementierung der Quellerzeugung für die Analyse der Mensa | | 51 |
| D Anhang - Lastdaten, Kommissionierzonen | | 53 |
| E Anhang - Tabellierung der Messergebnisse von den Varitationsmessungen | | 54 |
| F Anhang - Tabellierung der Messergebnisse von den heuristischen Messungen | | 60 |
| G Anhang - Automatische Erstellung der Quellerzeugung für die Kommissionieranlage | | 62 |

1 Einleitung

Im Masterstudiengang Optimierung und Simulation an der Fachhochschule Bielefeld werden Fächer für die Simulationstechnik angeboten, unter anderem die Veranstaltung Diskrete Simulation von Prof. Dr.-Ing. Barbey. Diese Veranstaltung liefert die nötigen Kenntnisse für die eigenständige Planung und Umsetzung einer Materialfluss-Simulation mit dem Simulationswerkzeug *DOSIMIS-3*¹.

Es wird vom Leser ausgegangen, dass dieser mit den Funktionalitäten und Möglichkeiten von *DOSIMIS-3* vertraut ist. Für weitere Informationen sei hier auf die Hilfe (s. [Dosimis1]) und Veranstaltungsunterlagen von Dr. Barbey (s. [Barbey1]) verwiesen.

Dieser Bericht beinhaltet die Untersuchung von zwei Projekten. Das erste Projekt in Kapitel 2 beinhaltet die Simulierung und Untersuchung der Mensa am Standort Wilhelm-Bertelsmann-Straße der Fachhochschule Bielefeld. Das Kapitel 3 beinhaltet die Untersuchung einer Kleinmengenkommissionierung, indem u.a. auf folgende Dinge eingegangen wird: Engpässe, Blockaden und Auslastung der Mitarbeiter.

¹SDZ GmbH, <http://www.sdz.de>

2 Projekt 1: Analyse des Ablaufes in der Mensa

2.1 Informationen zum Projekt

Der Auftraggeber des Projektes ist Prof. Dr.-Ing. Barbey von der Fachhochschule Bielefeld (FH-BI). Es handelt sich bei diesem Projekt um die Untersuchung der Mensa der FHBI, am Standort Wilhelm-Bertelsmann-Straße. Die Mensa ist täglich von Montag bis Freitag und zusätzlich alle zwei Wochen Samstags zwischen 11:30 und 14:00 Uhr geöffnet. Zielgruppe der Mensa sind hauptsächlich die Mitarbeiter und Studierenden der FHBI, auch Externe können dort die Mittagszeit verbringen, somit ist die Mensa öffentlich für jeden nutzbar.

Den Zutritt zur Mensa ist über einen Eingang möglich, dieser dient auch als Ausgang. Es existieren zur Zeit¹ zwei Essensausgaben. An der Essensausgabe Eins (E1) kann zwischen drei Menüs entschieden werden, die Essensausgabe Zwei (E2) bietet die Möglichkeit sein eigenes Menü aus einer Auswahl zu wählen. E1 ist so aufgebaut, dass am Anfang der Ausgabe das Menü gewählt wird und im weiteren Verlauf die Beilagen hinzugewählt werden können. Zudem können aus zwei Kühlschränken Getränke ausgewählt und optional ein Speiseeis gewählt werden. Die Kunden an E2 können ähnlich handeln und sich auch Getränke und ein Speiseeis wählen.

Nach der Essensausgabe wird an einer von zwei Kassen bezahlt und an den vorhandenen Sitzplätzen das Essen zu sich genommen. Das Geschirr wird nach dem Verzehr an der Geschirrrückgabe zurückgegeben und daraufhin die Mensa verlassen.

Die Mensa wird zu bestimmten Zeitpunkten höher frequentiert und der Besucheransturm legt sich im Verlauf zwischen diesen Zeitpunkten.

Der zuständige Bearbeiter des Projektes ist Christian Benjamin Ries und die Daten der Simulation finden sich als *DOSIMIS-3* Projekt in der Datei *MensaSimulation.mfs*. Diese befindet sich in der aktuellsten Version auf der Webseite <http://ti.fh-bielefeld.de/cries>.

2.1.1 Zielfunktionen des Projektes

Dieses Projekt soll folgende Fragen klären:

Sind lange Wartezeiten vertretbar?

Die Studierenden an der FHBI klagen über eine zu hohe Wartezeit an den Essensausgaben. In dieser Simulation soll der zeitliche Verlauf der Wartezeiten untersucht und gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge gemacht werden.

¹13. November 2009

Können die Kosten für die Nutzung reduziert werden? (Reinigung, Miete, Heizung)

Die Mensa an der FHBI arbeitet nicht mehr kostendeckend und benötigt Informationen über potentielle Einsparungsmöglichkeiten, welche auf einfache Art umgesetzt werden können.

2.2 Glossar

Im folgenden eine Auflistung von Wortdefinitionen in diesem Projekt.

| Bezeichnung | Definition |
|---------------------------|--|
| Projekt, Simulation | Es handelt sich bei beiden um die selbige Umsetzung. Die Ermittlung von Kennzahlen der Mensa der FHBI. |
| Kunde, Gast | Mitarbeiter und Studierende der Fachhochschule Bielefeld sowie Externe die in der Mensa essen. |
| Mensa | Dies ist die Mensa der Fachhochschule Bielefeld am Standort Wilhelm-Bertelsmann-Straße. |
| Modell, Simulationsmodell | Dies bezeichnet das Simulationsmodell der Mensa im Simulationswerkzeug <i>DOSIMIS-3</i> . |
| Menü, Mahlzeit | Das Essen welches an den Essensausgaben gewählt wird. |

Tabelle 2.1: Glossar der in diesem Projekt verwendeten Bezeichnungen

2.3 Simulationsmodell

2.3.1 Annahmen

Folgende Annahmen wurden in diesem Projekt getroffen:

1. Die Essensausgabe (EA) Eins und Zwei werden jeweils als Ganzes betrachtet, d.h. wenn ein Kunde sich an einer der EA das Essen auswählt und zusätzlich ein Getränk wählt, dann wird die Getränkeauswahl der EA hinzugefügt. Der Prozess der Beilagenauswahl fällt komplett der EA zu.
2. Die Mitarbeiter der Mensa haben in den Öffnungszeiten keine Pausen und arbeiten ohne Unterbrechung, so dass Pausenregelungen in der Simulation vernachlässigt werden. Die Notdurft von den Mitarbeitern ist vernachlässigbar klein und wird somit nicht in der Simulation beachtet.
3. Es ist irrelevant welche Menüs der Kunde wählt oder ob dieser ein Getränk/Eis zu seiner Auswahl hinzufügt. Sobald der Kunde in die Bearbeitung kommt, wird der gesamte Prozess bis zur Kasse als Essensausgabe angesehen.
4. Die Aufnahme der Mahlzeit wird ab dem Zeitpunkt der Bezahlung bis zur Abgabe des Geschirrs betrachtet. Ein Kunde besetzt maximal einen Sitzplatz.
5. Das Projekt besitzt zwei globale Konstanten, die die Kunden symbolisieren. *Person* mit dem Wert 1 und *PersonWahl* mit dem Wert 2. Die Konstante *Person* stellt den Kunden dar, der an die E1 geht. *PersonWahl* hingegen bedient sich an der E2.
6. Durch Nachfrage in der Mensa hat sich ergeben, dass in den Öffnungszeiten täglich durchschnittlich 430 Kunden abgearbeitet werden.

7. Messwerte und Rechenergebnisse werden auf ganze Zahlen entsprechend der signifikanten Stelle auf-/abgerundet. Ab einem Wert $n - 1 > n.5$ wird aufgerundet, ansonsten abgerundet.

2.3.2 Systemabgrenzung

Sobald ein Kunde sich im Wartebereich der Mensa befindet, wird dieser als systemzugehörig angesehen. Ab diesem Zeitpunkt befindet sich der Kunde in der Statistik der gemessenen Kennzahlen dieser Simulation (s. Kapitel 2.4.4).

2.3.3 Schematische Darstellung des Modell

In Abbildung 2.1 ist das Schema der Mensa der FHBI, Wilhelm-Bertelsmann-Straße (WB), abgebildet. Die Quelle liefert einen Kunden, der wahlweise an die EA1 oder EA2 geht. Danach an einer der Kassen (Kasse 1, Kasse 2) bezahlt, daraufhin sich an einen der maximal 200 freien Plätze begibt und nach der Essensaufnahme das Geschirr an der Rückgabe zurückbringt. Der Kunde verlässt daraufhin die Mensa.

Die Summe der Sitzplätze ergibt sich aus der Addition aller rechteckigen Felder mit Zahlen in der Mitte. Diese Rechtecke symbolisieren Tische in der Mensa,

$$n_{\text{Sitze}} = \sum_{i=1}^n \text{Tisch}_i, (n_{\text{Sitze}}, i) \in \mathbb{R}, \text{Tisch}_i \in \{8, \dots, 10, \dots, 12, \dots, 16, \dots, 22\} \quad (2.1)$$

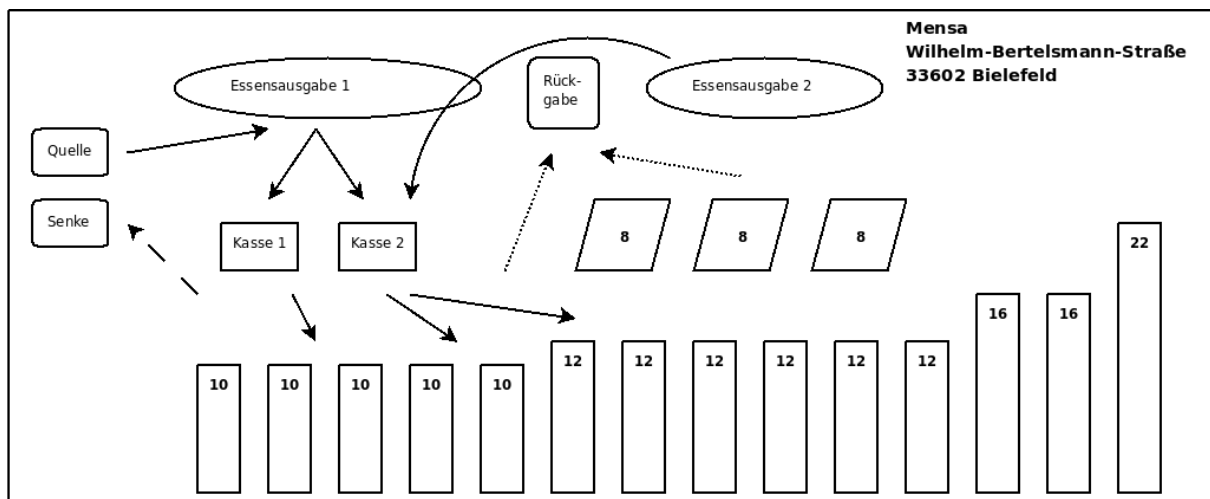


Abbildung 2.1: Sitzplan der Mensa an der Fachhochschule Bielefeld, Wilhelm-Bertelsmann-Straße

Dieser Verlauf findet sich in der Abbildung 2.1 wieder. Die Pfeile symbolisieren dabei die Flussrichtung der Kunden, links mit der Quelle angefangen.

2.3.4 Methoden der Modellvalidierung

Für die Validierung des Modells wurde das Realsystem untersucht. Dazu wurden mehrere Messungen vorgenommen die im Anhang A.1 und A.2 zu finden sind. Das Modell wird mit den Werten dieser Messungen aufgebaut, so dass sich an die Realitätsnähe angenähert wird und auf dieser Basis eine Optimierungsanalyse durchgeführt werden kann.

2.3.5 Design der Modellexperimente

Die Abbildung 2.2 veranschaulicht den Aufbau des Modells, wie es in dieser Simulation verwendet wird. In der Tabelle 2.2 werden die einzelnen Bauteile aufgezählt und deren Parametrisierung erläutert. Die Parameter wurden entsprechend der Mittelwerte von den Messungen aus Anhang A.1 übernommen. Parameter die hier nicht erwähnt werden, besitzen den Standardwert der *DOSIMIS-3* Anwendung. Diese Einstellungen werden als Initialwerte angenommen, die versucht werden zu optimieren und um die Fragen aus Abschnitt 2.1.1 zu beantworten.

| Nummer | Typ | Name | Parameter |
|--------|-------------------------|--------------------|--|
| 1 | Quelle | Eingang | Die Quelle besitzt eine gesonderte Parametrisierung, die nicht mit den Standardalgorithmen aus <i>DOSIMIS-3</i> einstellbar ist. Auf die Umsetzung dieser Parametrisierung wird in Abschnitt 2.3.6 eingegangen. |
| 8 | Verteilknoten | VEL_8 | Förderweg:=1m, Geschwindigkeit:=100m/s, Verteilstrategie:=zielgerichtet nach Objekttyp (Person→WartenAusgabe1, PersonWahl→WartenAusgabe2), automatische Wegfindung für Transportsysteme, <i>Kap</i> selektiert (dadurch werden volle Bausteine nicht berücksichtigt und automatisch der Zweitweg gewählt), Zweitstrategie:=minimale relative Belegung (<i>Kap</i> selektiert) |
| 3, 4 | Staustrücke | WartenAusgabe[1,2] | Segmentlänge:=1m, Fördergeschwindigkeit:=100m/s, [für 3] Anzahl der Segment:=100, [für 4] Anzahl der Segmente:=5 |
| 12, 13 | Bearbeitungsstation | Essensausgabe[1,2] | Länge:=1m, Geschwindigkeit:=0.5m/s, [für 12] Arbeitszeitverteilung:=(Person, normalverteilt, Taktzeit:=20s, Varianz:=4s), [für 13] Arbeitszeitverteilung:=(PersonWahl, normalverteilt, Taktzeit:=20, Varianz:=4), siehe auch 2.3.7. |
| 16 | Komplex-Knoten | KKN_16 | Förderweg:=1m, Geschwindigkeit:=100m/s, Liste der möglichen Wege:=(1→ 1 [1m], 1→ 2 [1m], 2→ 1 [1m], 2→ 2 [1m]), <i>Objekte dürfen anhalten</i> selektiert, Strategie:=FIFO, minimale absolute Belegung, <i>Kap</i> selektiert |
| 17, 18 | Staustrücke | SST_Kasse[1,2] | Segmentlänge:=1m, Fördergeschwindigkeit:=1m/s, Anzahl der Segmente:=5 |
| 6,14 | Bearbeitungsstation | Kasse[1,2] | Länge:=1m, Geschwindigkeit:=1m/s, Arbeitszeitverteilung:=(Person, normalverteilt, Taktzeit:=19s, Varianz:=7s) |
| 5 | Lager | Sitzplaetze | Bereichsparameter:=normalverteilt, [für Bereich 1] Einzelspiel:=(Erw.wert:=20s, Abweichung=5s) Doppelspiel:=(Erw.wert:=20s, Abweichung=5s) <i>Kap</i> :180, [für Bereich 2] Einzelspiel:=(Erw.wert:=20s, Abweichung=5s) Doppelspiel:=(Erw.wert:=20s, Abweichung=5s) <i>Kap</i> :20, Verweilzeit:=(Person, normalverteilt, Taktzeit:=1600s, Varianz:=1200s) |
| 19 | Zusammenführungselement | AbgabeAlle | Förderweg:=1m, Geschwindigkeit:=1m/s, Strategie:=FIFO |
| 10 | Staustrücke | WartenGeschirr | Segmentlänge:=1m, Fördergeschwindigkeit:=1m/s, Anzahl der Segment:=3 |
| 9 | Bearbeitungsstation | Geschirrrueckgabe | Länge:=1m, Geschwindigkeit:=1m/s, Arbeitszeitverteilung:=(Person, normalverteilt, Taktzeit:=10s, Varianz:=5s) |

| | | | |
|----|-------|---------|---------------------------------------|
| 11 | Senke | Ausgang | Annahmezeit:=(getaktet, Taktzeit:=1s) |
|----|-------|---------|---------------------------------------|

Tabelle 2.2: Simulationsbauteile der Mensa Simulation

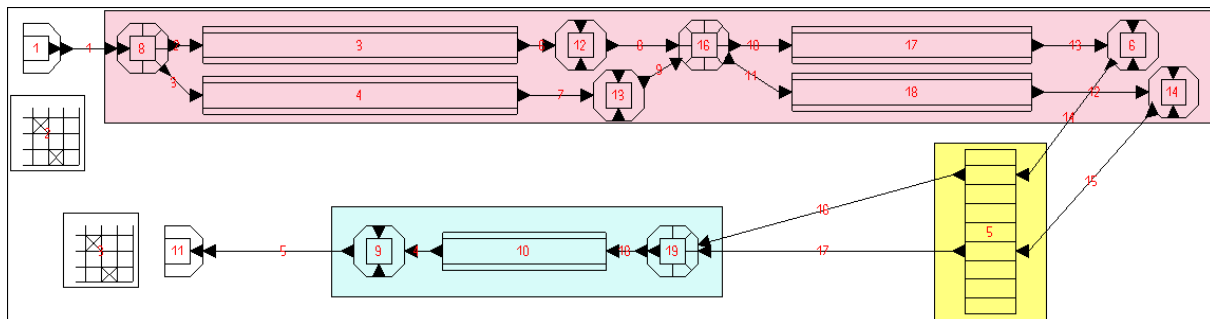


Abbildung 2.2: DOSIMIS-3 Simulationsmodell in der Designfassung

Abbildung 2.3 illustriert wie das Modell im Simulationsmodus aussieht. Es ist zu erkennen, dass in der Staustrecke „WartenAusgabe“, 29 Kunden auf die Verarbeitung warten und dass ein Kunde zur selbigen Zeit abgearbeitet wird. In der Staustrecke „Kasse“ wartet eine Person um zu bezahlen und im Moment der Abbildungsaufnahme sind 20 Personen am essen.

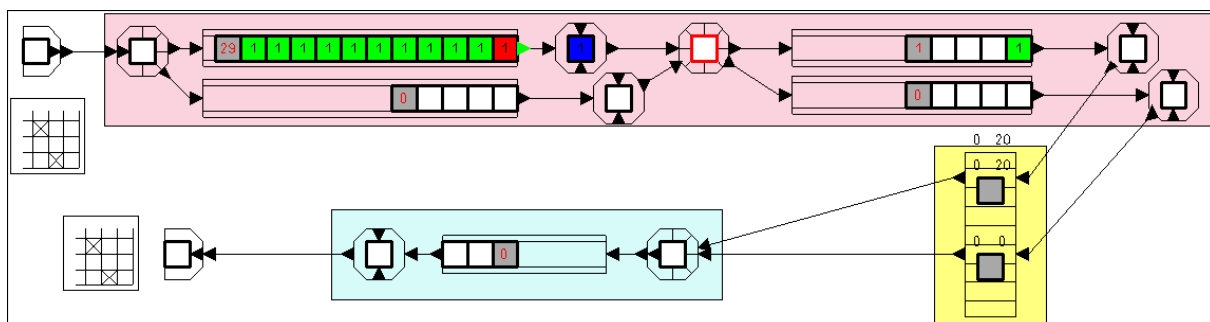


Abbildung 2.3: DOSIMIS-3 Simulationsmodell im aktiven Modus, das Modell des Systems wird durchsimuliert

2.3.6 Parametrisierung der Quelle

Es hat sich gezeigt, dass die Messwerte der Quelle nicht durch die Algorithmen, die standardmässig bei DOSIMIS-3 implementiert sind, nachempfunden werden kann. DOSIMIS-3 bietet allerdings die Möglichkeit eine eigene Verteilung zu implementieren. Für diesen Zweck muss eine Datei erstellt werden, die die Erzeugung der Kunden beschreibt.

In der Realität kommen nicht kontinuierlich neue Kunden in die Mensa, sondern zu Stoßzeiten. Zwischen der Anzahl der Besucher und den Stoßzeiten besteht ein logischer kausaler Zusammenhang der in Korrelation zueinander steht. Zu Zeiten wenn die Vorlesungen enden, ist die Anzahl der Kunden die gleichzeitig essen wollen höher. In DOSIMIS-3 sind Verteilungen möglich,

die sich nach der Anzahl der Kunden auf einen bestimmten Zeitraum richtet oder nach Prioritäten der Kunden. Es kann die Anzahl der Kunden als Ganzes bestimmt werden und die Kapazität eingestellt werden. Stoßzeiten werden dabei nicht berücksichtigt.

Die Datei, die zur Implementierung von Stoßzeiten verwendet wird, ist in Anhang C, Tabelle C.1, publiziert.

Für die Erstellung dieser Datei wurden die Personen zu Beginn der Messung um 11:32 Uhr gezählt. Daraufhin wurde die Messung alle 10 Minuten bis 12:30 Uhr wiederholt. Diese Messreihe (s. A.1 [Warteschlange (s. EA1)]) ergab interpoliert den Verlauf aus Abbildung 2.4.

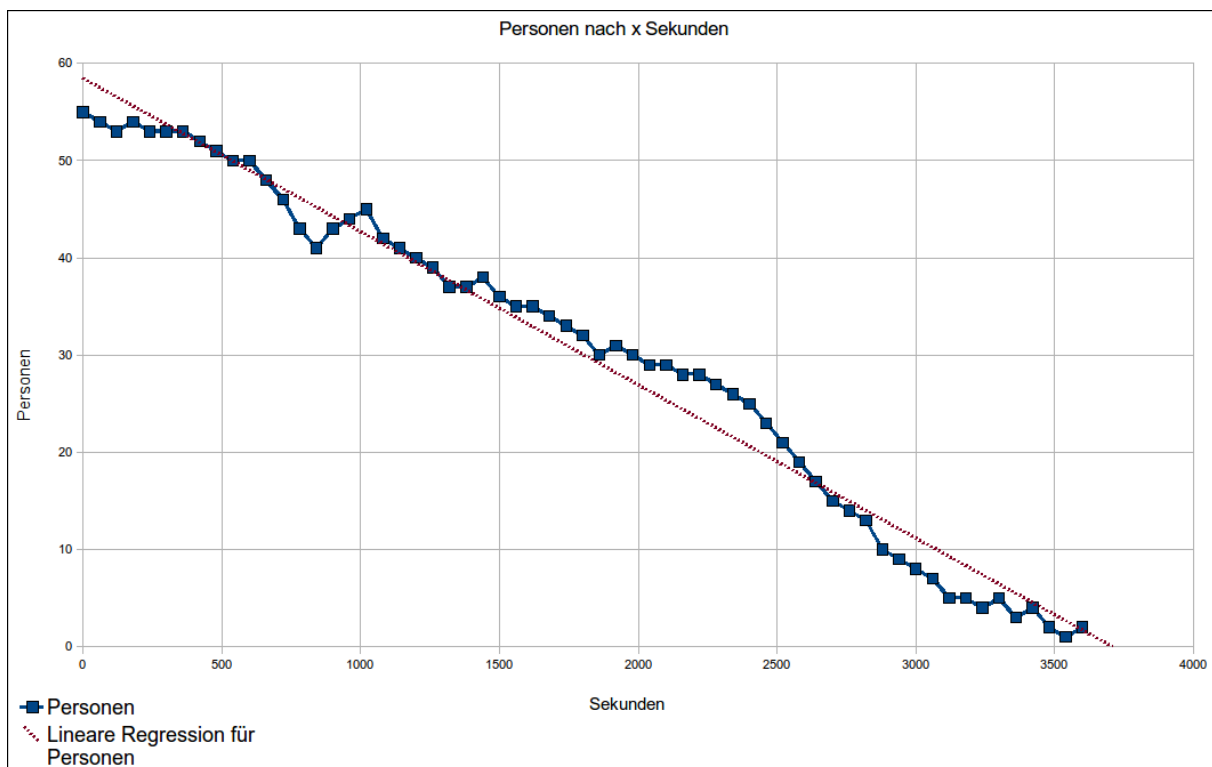


Abbildung 2.4: Verlauf der Erzeugung von Kunden in der Quelle im Zeitraum einer Stunde

Zu Beginn der Simulation werden 55 Objekte vom Typ *Person* und ein Objekt vom Typ *PersonWahl* erstellt. Die Abarbeitung der Kunden ist annähernd linear in der Erstsimulation, dazu in Abschnitt 2.4 mehr.

Die Quelle wird durch eine Entscheidungstabelle gesteuert. Die Steuerung übernimmt das Deaktivieren (hier Störung genannt) der Quelle und ist somit nicht mehr in der Lage Objekt zu erzeugen. Dies wird nach genau 9000 Sekunden (2.5 Stunden) durchgeführt, da die Mensa dann schließt und keine weiteren Kunden mehr eintreten dürfen.

2.3.7 Parametrisierung der Bearbeitungsstation, Essensausgaben

Für die Taktzeit $t_{Taktzeit}$ und die Varianz σ_{Einzel} wurde die Werte der Gleichungen 2.2 und 2.3 verwendet. n beschreibt die Anzahl der Messungen, t_{Kunde} ist die benötigte Zeit eines

Gastes, der seine Essensauswahl trifft, dann seine Beilagen wählt und sich daraufhin an der Kasse anstellt. *KundenGleichzeitig* ist die Anzahl der Kunden die sich zum selben Zeitpunkt in der Essensausgabe befinden. Wenn ein Kunde sein Essen gewählt hat und sich dann die Beilagen wählt, kann ein weiterer Kunde sein Essen wählen. Während der Auswahl des Essens und Beilagen können die anderen Kunden überholt werden, dies beeinflusst die Messdaten nicht, da der gesamte Auswahlprozess betrachtet wird (s. Abschnitt 2.3.1).

$$t_{Taktzeit} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n t_{Kunde} * \frac{1}{KundenGleichzeitig} \quad (2.2)$$

$$\sigma_{Einzel} = \sigma_{Gesamt} * \frac{1}{n} \quad (2.3)$$

2.4 Ergebnisse

Dieses Kapitel beschreibt die Ergebnisse, die durch die Simulation geliefert werden. Es wird aufgezeigt, wie das aktuelle System funktioniert, welche Bedingungen vorhanden sein müssen um die Performance des Mensabetriebs zu erhöhen und wie eventuell vorhandene Probleme (Wartezeiten, Kosten) beseitigt werden könnten.

2.4.1 Typisches Verhalten des Modells

Die Ergebnisse mit der für dieses Projekt erstellten Quellendatei sind im Verlauf der Testdurchläufe durchschnittlich identisch und es gibt bei keine Ausreizer.

2.4.2 Tabellierung einer typischen Ergebnisreihe

Es wurden sechs Testreihen für die Untersuchung der Wartezeit für die Kunden durchgeführt. Nachfolgend werden die Bausteine mit den Parameter aufgelistet die variiert worden sind.

Essensausgabe1 Die *Taktzeit* der EA1 wurde zwischen den Werten 10s und 30s in 5s Schritten variiert.

Essensausgabe1 Die *Taktzeit* wird auf 20s gesetzt, die Verteilung wird nach der *minimalen absoluten Belegung* geregelt.

Auf den Abbildungen 2.7 bis 2.12 auf Seite ?? sind die Ergebnisse dieser Testreihen abgebildet.

Es sind Unterschiede des Durchsatzes zu erkennen. Die Abszissen der Diagramme stellen die Anzahl der Kunden in 9000 Sekunden (2, 5 Stunden) dar. Es ist zu erkennen, dass dieser Durchsatz je nach Parametrisierung stark variiert und eine Schwankung von 90 Kunden besitzt, mit einem maximalen Durchsatz von 426 Kunden in den Abbildungen 2.7, 2.8, 2.9 und einem Minimalwert von 336 Kunden in Abbildung 2.11.

Das Maximum der Wartezeit beträgt 3260 Sekunden im Diagramm 2.11, dies entspricht umgerechnet 54 Minuten. Der Mittelwert der Wartezeit schwankt zwischen 1186 Sekunden \approx 20 Minuten (s. Abb. 2.9) und 2286 Sekunden \approx 38 Minuten (s. Abb. 2.11). Im aktuellen System beträgt die durchschnittliche Wartezeit 1344 Sekunden \approx 22 Minuten, die kürzeste Wartezeit ist zu Beginn der Essensausgabe, das Maximum beträgt 2666 Sekunden \approx 44 Minuten.

Die o.g. Messwerte sind in Tabelle 2.3 auf Seite 12 aufgelistet.

In Tabelle 2.6 steht, in Spalte 11 die Auslastung der Sitzplätze der Mensa. Die Auslastung variiert zwischen 46 und 81 Prozent ($\Delta 35$). Die Iteration Eins beschreibt bei den Tabellen die Parametrisierung für die in der Realität gemessenden Werte. Dabei liegt das Simulationsergebnis mit diesen Parametern bei 48 Prozent. Die mittlere Belegung liegt zwischen 23 und 81 Prozent ($\Delta 58$).

| Abbildung | Durchsatz | Mittelwert | Minimum | Maximum |
|-----------|------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 2.7 | 426 Kunden | 1344s \approx 22min | 100s \approx 2min | 2666s \approx 44min |
| 2.8 | 426 Kunden | 1232s \approx 21min | 100s \approx 2min | 2672s \approx 45min |
| 2.9 | 426 Kunden | 1186s \approx 20min | 100s \approx 2min | 2560s \approx 43min |
| 2.10 | 400 Kunden | 1814s \approx 30min | 100s \approx 2min | 2775s \approx 46min |
| 2.11 | 336 Kunden | 2286s \approx 38min | 100s \approx 2min | 3269s \approx 55min |
| 2.12 | 421 Kunden | 1327s \approx 22min | 50s \approx 1min | 3076s \approx 51min |

Tabelle 2.3: Messwerte der Wartezeit an der Essensausgabe 1 und 2

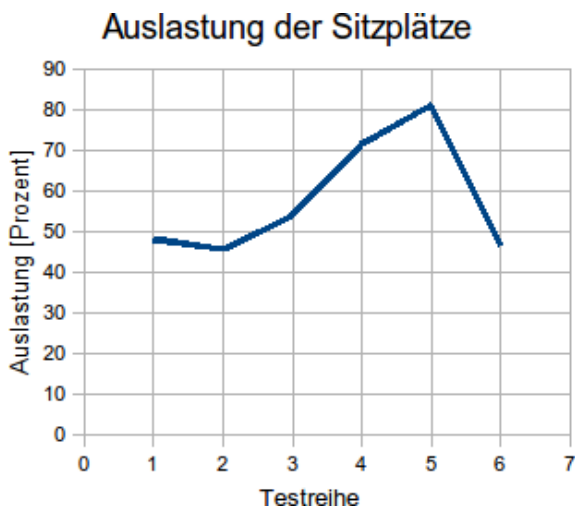


Abbildung 2.5: Auslastung der Sitzplätze nach Tabelle 2.6

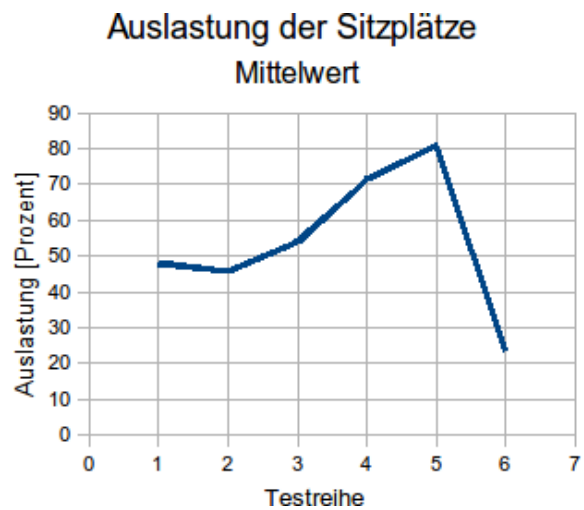


Abbildung 2.6: Mittelwert der Auslastung der Sitzplätze nach Tabelle 2.5

Abkürzungen für die Tabellen 2.4 bis 2.6.

Iteration \equiv IT (Kennzeichnet den Messungsdurchlauf, dies entspricht den oben genannten sechs Testreihen.), **Eingang** \equiv E, **WartenAusgabe1** \equiv WA1, **WartenAusgabe2** \equiv WA2, **Essensausgabe1** \equiv EA1, **Essensausgabe2** \equiv EA2, **SST_Kasse1** \equiv SK1, **SST_Kasse2** \equiv SK2, **Kasse1** \equiv K1, **Kasse2** \equiv K2, **Sitzplätze** \equiv SP

| IT | E | WA1 | WA2 | EA1 | EA2 | SK1 | SK2 | K1 | K2 | SP |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 |
| 2 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 |
| 3 | 426 | 414 | 426 | 414 | 426 | 414 | 426 | 414 | 426 | 414 |
| 4 | 426 | 392 | 426 | 392 | 426 | 392 | 426 | 392 | 426 | 392 |
| 5 | 386 | 331 | 386 | 331 | 386 | 331 | 386 | 331 | 386 | 331 |
| 6 | 426 | 189 | 426 | 189 | 426 | 189 | 426 | 189 | 426 | 189 |

Tabelle 2.4: Durchsatzmessungen aller Bausteine aus Tabelle 2.2

| IT | E | WA1 | WA2 | EA1 | EA2 | SK1 | SK2 | K1 | K2 | SP |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 1 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 |
| 2 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 |
| 3 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 |
| 4 | 2 | 71 | 2 | 71 | 2 | 71 | 2 | 71 | 2 | 71 |
| 5 | 23 | 81 | 23 | 81 | 23 | 81 | 23 | 81 | 23 | 81 |
| 6 | 0 | 23 | 0 | 23 | 0 | 23 | 0 | 23 | 0 | 23 |

Tabelle 2.5: Mittlere Belegung in Prozent aller Bausteine aus Tabelle 2.2

| IT | E | WA1 | WA2 | EA1 | EA2 | SK1 | SK2 | K1 | K2 | SP |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 1 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 |
| 2 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 |
| 3 | 2 | 54 | 2 | 54 | 2 | 54 | 2 | 54 | 2 | 54 |
| 4 | 20 | 71 | 20 | 71 | 20 | 71 | 20 | 71 | 20 | 71 |
| 5 | 60 | 81 | 60 | 81 | 60 | 81 | 60 | 81 | 60 | 81 |
| 6 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 |

Tabelle 2.6: Auslastung in Prozent aller Bausteine aus Tabelle 2.2

2.4.3 Genauigkeit der Ergebnisse

Durch die Messdaten (s. Anhang A.1) wurde versucht ein an die Realität angenähertes Modell zu erstellen. Da der Zulauf von Kunden in einer Mensa nicht kontinuierlich ist und im Verlauf einer Woche stark schwanken kann, sind diese Ergebnisse nur eine mögliche Lösung. Es wird niemals eine hundertprozentig mit der Realität übereinstimmende Simulation erstellt werden können. Für diesen Fall muss das gesamte System vorhersagbar sein.

2.4.4 Vorgehensweise bei der Ergebnisanalyse

Der erste Schritt der Ergebnisanalyse wurde durch heuristische Schritte bestritten. Bei der Aufnahme der Messdaten in der Mensa konnten erste Eingrenzungen bezüglich der späteren Analyse getroffen werden. Es war ersichtlich, dass der Flaschenhals der Verarbeitung bei der EA1 lag. Im Messungszeitraum war ersichtlich, dass die Mensa niemals zu hundert Prozent belegt sein wird.

Dementsprechend wurde das Hauptaugenmerk für die Problemlösung der Zielfunktionen (s. Abschnitt 2.1.1) auf die EA1 gelegt. Für die Kostenersparnis bei z.B. der Reinigung und Mietkosten musste nur untersucht werden, wie hoch das Potential der Einsparungsmöglichkeiten ist.

2.4.5 Empfehlungen aufgrund der Ergebnisse

Als Empfehlung lässt sich sagen, dass das bestehende System der Mensa ein sehr gutes ist. Es hat sich gezeigt, dass es schwierig ist, ein verbessertes Systemverhalten zu ermöglichen. Die fünfte Testreihe zeigt, wie die Auslastung der Sitzplätze im Vergleich zum aktuellen System fast verdoppelt werden könnte, wenn dafür die Taktzeit auf 30s gesetzt wird. Dadurch erhöht sich die Auslastung der K1 von 48 auf 81 Prozent und der K2 von 0 auf 60 Prozent. Dieses würde erfordern, dass die Besetzzeit der K2 höher gesetzt werden muss, was unter Umständen höhere Kosten verursacht.

Durch die Erniedrigung der Taktzeit auf 30s kann der Kundenstrom nicht ordnungsgemäß verarbeitet werden. Es erhöht sich die mittlere Wartezeit von 1344s auf 2286s, zudem ist der Durchsatz vermindert. Selbiges gilt für eine Erniedrigung der Taktzeit auf 25s. Daher wird von einer Erniedrigung der Taktzeit abgeraten.

Es besteht ein Potential für eine Kostenersparnis, wenn beide Essensausgaben das Essen mit studentenfrendlichen Preisen anbieten würden. Die Studierenden würden sich auf zwei Essensausgaben verteilen. Daraus resultiert eine mittlere Auslastung von 23% der Sitzflächen. Dies ergibt ein Einsparpotential von 77 Prozent. Die Kosten für die Beheizung würden dadurch nicht beeinflusst werden, da die Mensa als ein großer Raum konzipiert wurde. Einzig die Absperrung von einem Bereich würde die Reinigungskosten und Inventarkosten erniedrigen. Die genaue Zahl des Einsparvolumens kann hier nicht angegeben werden, da Werte für die Beheizungs-/Reinigungs- und Inventarkosten fehlen.

Die Empfehlung lautet, die Taktzeiten der Essensausgaben nicht zu erniedrigen.

Für eine kürzere Wartezeit muss die Taktzeit der Essensausgabe erhöht werden. Eine Erhöhung von 20s auf 15s verbessert die Wartezeit im Mittel um 158s ($\approx 3Min$). Dies würde zudem die Auslastung der Sitzplätze um etwa 6 Prozent erhöhen, dadurch wäre ein Einsparpotential für die Reinigungs- und Inventarkosten von rund 40% möglich (wenn die Heizungskosten als 6% angenommen würden).

2.5 Fehler und Sackgassen bei der Entwicklung

Als besonders aufwendig hat sich die Erstellung der Quellenerzeugung herausgestellt. Da *DOSIMIS-3* keine Stoßzeitenverteilung bietet, musste diese implementiert werden.

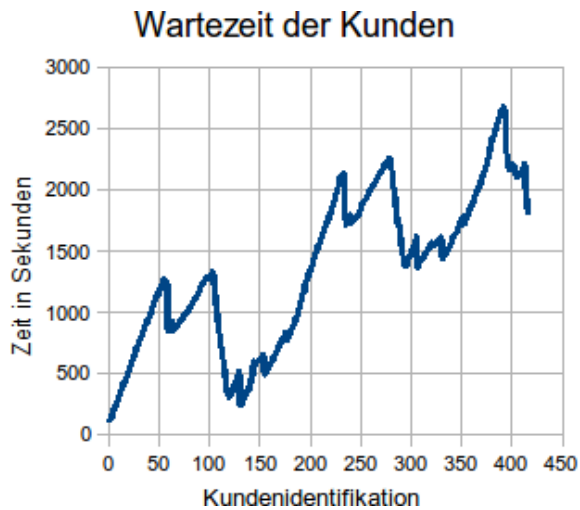


Abbildung 2.7: Simulation mit Messwerten, Taktzeit:=20s, Varianz:=4s

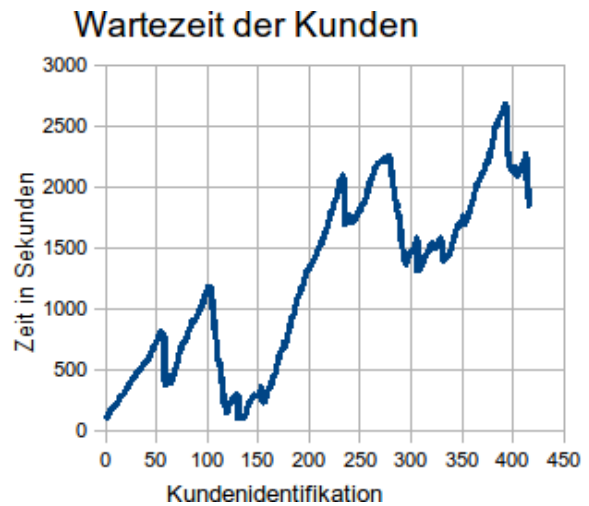


Abbildung 2.8: EA1: Taktzeit:=10s, Varianz:=4s

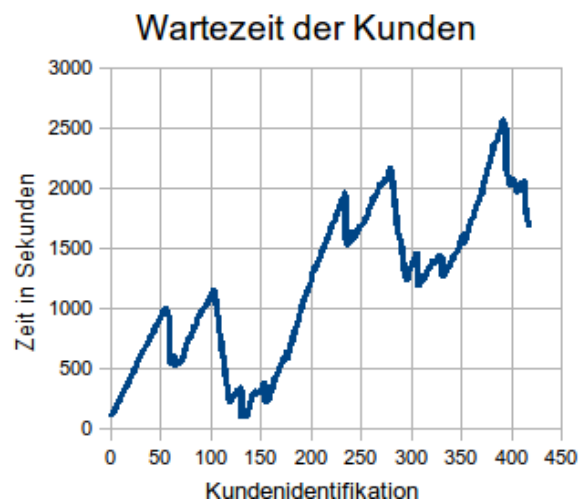


Abbildung 2.9: EA1: Taktzeit:=15s, Varianz:=4s

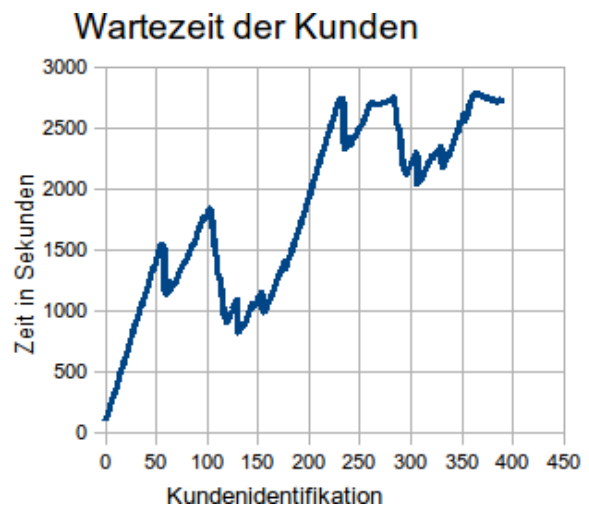


Abbildung 2.10: EA1: Taktzeit:=25s, Varianz:=4s

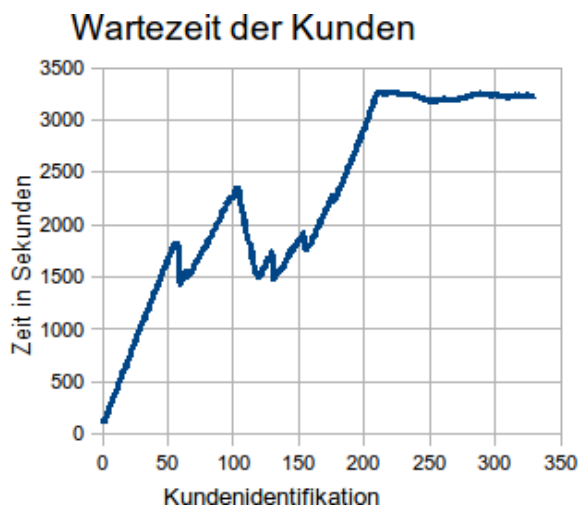


Abbildung 2.11: EA1: Taktzeit:=30s, Varianz:=4s

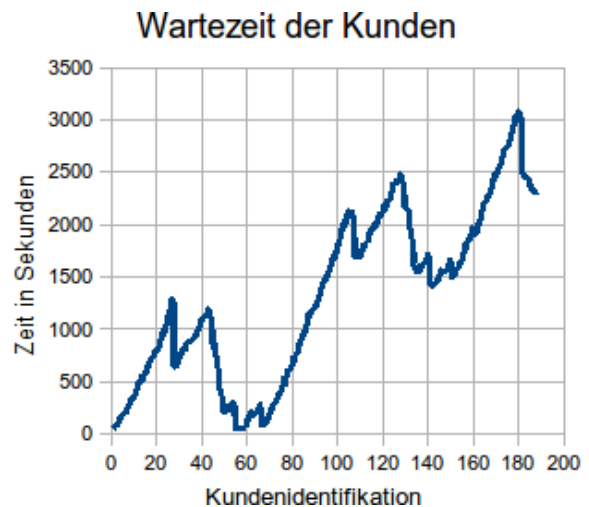


Abbildung 2.12: EA1: Taktzeit:=20s, Varianz:=4s, *minimal absolut Belegung*, Stautrecken mit je. 50 Elementen

3 Projekt 2: Grenzlast- und Engpassanalyse einer KMK für High Tech Produkte

3.1 Informationen zum Projekt

Der Auftraggeber des Projektes ist Prof. Dr.-Ing. Barbey von der Fachhochschule Bielefeld (FHBI) und Rüdiger Pfeiffer von der arvato distribution GmbH aus Harsewinkel.

Der zuständige Bearbeiter des Projektes ist Christian Benjamin Ries und die Daten der Simulation finden sich als *DOSIMIS-3* Projekt in der Datei *Kommissionierung.mfs*. Diese befindet sich in der aktuellsten Version auf der Webseite <http://ti.fh-bielefeld.de/cries>.

Im folgenden eine Zusammenfassung des Projektauftrags (s. [Barbey2]). Das Projekt sieht eine Analyse einer Kleinmengenkommissionierung (KMK) vor, die für Aufträge eines Web-Shop genutzt wird. Die Aufträge werden als Batch in Form eines Druckprozess für die Kommissionierung freigegeben. Pro Auftrag werden alle erforderlichen Dokumente ausgedruckt:

- Kommissionierzettel
- Lieferschein
- Frachtlablel

Diese Dokumente bestimmen den Verwendungszweck seit der Einlieferung in der ersten Kommissionierposition. Die Mitarbeiter/Innen in der Kommissionierung werden somit über das Papier gesteuert und können bis zur Abarbeitung aller Dokumente autark arbeiten.

3.1.1 Zielfunktionen des Projektes

In der Bearbeitung dieses Projektes geht es um die folgenden Fragestellungen, für die eine Analyse und gegebenenfalls Lösungsvorschläge geliefert werden sollen.

1. Identifizierung der Engpässe in der IST Situation.
2. Mit welchen Maßnahmen können die evtl. vorhandenen Engpässe behoben werden?
3. Kann das aktuelle Set-up einen Mengenzuwachs von 20% oder 40% verarbeiten?
4. Wie wirkt sich eine idealisierte gleichmäßige Auftragsverteilung auf folgende Kennzahlen aus?
 - a) Auftragsdurchlaufzeit
 - b) Mitarbeiter
 - c) Auslastung der Mitarbeiter
 - d) Blockaden auf der Fördertechnik
5. Welche maximale Auftragsmenge lässt sich bearbeiten, und wie ist diese zu erreichen?

3.2 Glossar

Im folgenden eine Auflistung von Wortdefinitionen in diesem Projekt.

| Bezeichnung | Definition |
|----------------------|---|
| Projekt, Simulation | Es handelt sich bei beiden um die selbige Umsetzung. Die Untersuchung der KMK. |
| KMK | Beschreibt die simulierte Anlage, das Kürzel steht für Kleinmengenkommissionierung oder Kommissionieranlage. |
| Batch, Batch-Prozess | Zusammenfassung mehrerer Aufträge zu einem Gesamtauftrag. |
| Auftrag, Objekt | Einzelne Aufträge aus einem Batch-Prozess, die nach der Wahrscheinlichkeit aus Tabelle D.1 erstellt werden. Ein Objekt ist eine Beschreibung eines Auftrags aus Abschnitt ??. |

Tabelle 3.1: Glossar der in diesem Projekt verwendeten Bezeichnungen

3.3 Simulationsmodell

3.3.1 Annahmen

Folgende Annahmen sind vorgegeben oder werden zusätzlich in diesem Projekt definiert.

1. Folgende Auftragsmengen je Batch sollen angenommen werden, die Liste enthält zusätzlich die Anzahl an Aufträgen die in den Zielfunktionen (s. 3.1.1) definiert wurden:

| Batch Nr. | Uhrzeit | Aufträge | 20% Zuwachs | 40% Zuwachs |
|-----------|---------|----------|-------------|-------------|
| 1 | 8:00 | 300 | 360 | 420 |
| 2 | 10:00 | 400 | 480 | 560 |
| 3 | 12:00 | 300 | 360 | 420 |
| 4 | 16:00 | 600 | 720 | 840 |

Tabelle 3.2: Batch Auflistung + Mengenzuwachs laut 3.1.1

2. Für die Simulation wird angenommen, dass die Anlage immer leer anläuft. Es soll solange gearbeitet werden, bis alle Aufträge erledigt sind.
3. Für alle 5 Zonen gilt folgende Annahme: *durchschnittliche Auftragsmenge:=1, Verteilung:=erlangverteilt mit K-Faktor 3*
4. Die Auftragsstruktur wird mit den Daten aus der Tabelle D.1 beschrieben. Diese Tabelle stellt die Häufigkeitsverteilung je Auftrag dar.
5. Die einzelnen Aufträge werden im Simulationsmodell als einzelne Objekte angesehen (vgl. Abschnitt ??).
6. Im IST-Zustand sind drei Mitarbeiter in der Kommissionierung beschäftigt. Diese Zahl kann für die Optimierung der Anlage variiert werden.
7. Es sind keine Angaben bzgl. der Wegezeiten und Mitarbeitersteuerung gegeben oder können am Anfang angegeben werden. Darauf wird in Abschnitt 3.3.5 eingegangen. Für spätere Betrachtungen wird angenommen, dass sich die Mitarbeiter mit einer Geschwindigkeit $v = 1 \frac{m}{s}$ bewegen.

3.3.2 Parametrisierung des Simulationsmodell

Die Parameter der einzelnen Bauteile des Simulationsmodell (vgl. Abb. 3.3 und 3.4) sind in Tabelle 3.3 aufgelistet und entsprechen der Ausgangssituation.

| Nummer | Typ | Name | Parameter |
|------------------------------------|------------------------|--|---|
| 1 | Quelle | Quelle | Erzeugung über Datei |
| 2 | Senke | Ziel | Verteilung der Annahmezeit:=getaktet, Taktzeit:=0sec |
| 30 | Bearbeitungsstation | Start | Länge:=0, Geschwindigkeit:=1m/s, Arbeitsschritte:=AS1 |
| 18, 15, 22, 28 | Bearbeitungsstation | K1, K2, K3, K4 | Länge:=0, Geschwindigkeit:=1m/s, Arbeitsschritte:=AS2, AS3 & AS4 (AS4, wenn das Objekt keine weitere Kommissionierung mehr benötigt) |
| 29 | Bearbeitungsstation | Schnuerung | Länge:=2.2m, Geschwindigkeit:=0.3m/s, Arbeitsschritte:=AS5 |
| 36 | Verteilelement | Verteiler | Förderweg:=0, Geschwindigkeit:=1m/s, Ausgänge:=5 (F1, Einschleuser1, Einschleuser2, Einschleuser3, Einschleuser4), Strategie:=zielgerichtet nach (vgl. Tabelle D.1) |
| 31, 32, 17, 16, 33, 21, 34, 26, 35 | Staustrecke | F1, F2, F3, F4, F5, Stau1, Stau2, Stau3 | Segmentlänge:=0.5m, Förderg.::=0.3m/s, Anzahl der Segmente:=(5, 24, 38) |
| 10, 11, 20, 25 | Ausschleuser | Ausschleuser1, Ausschleuser2, Ausschleuser3, Ausschleuser4 | Durchförderweg:=0, Durchfördergw.::=0.3m/s, Ausschleusew.::=0.75m, Ausschleusegw.::=0.3m/s, Strategie:=zielgerichtet nach (vgl. Tabelle D.1) |
| 19, 12, 23, 27 | Einschleuser | Einschleuser1, Einschleuser2, Einschleuser3, Einschleuser4 | Durchförderweg:=0, Durchfördergw.::=1m/s, Einschleusewg.::=0, Einschleusegw.::=1m/s |
| 9,13 | Blockstrecke | Gurt1, Gurt2 | Liste der Blockstrecken (Länge:=1.7m, Geschw.::=0.3m/s) |
| 1 | Störung | Stoerung | Strategie:=ohne, Parameter:=zufällig, Verfügbarkeit angeklickt, Abstand:=getaktet (98%), Dauer:=erlangverteilt, Erwartungswert:=300sec, k-Parameter:=2 |
| 1 | Arbeitsbereich | Pausenraum | Werkerliste:=Qualifikation=1, Stammplatz=letzter Platz, Anzahl=3, Leistungsfaktor=1, Liste der Tätigkeiten=Objektbearbeitung für alle Bearbeitungsstationen, Arbeitsplatzwechsel nach 10 Sekunden wenn nichts zu tun, Tätigkeitszuordnung (minimaler Weg, maximale Wartezeit, Priorität der Tätigkeit, Qualifikationsstufe) |
| 1 | Globaler Systemzustand | Quelle_Entscheidungen | Dient der Erstellung von Protokollen und Meldungen. |
| 1 | Wegstrecken | Wegstrecken | Für die Entfernungen zwischen den Stationen werden 10 Meter angenommen |

Tabelle 3.3: IST-Zustand Parameter des KMK Simulationsmodell

Im aktuellen Modell existieren 5 Arbeitsschritte (AS) die in der Tabelle 3.4 aufgeführt sind. Nicht alle AS werden von jedem Arbeiter durchgeführt. Der Arbeitsschritt AS1 wird im Vorfeld jedes einzelnen Auftrags und der Zuweisung an die erste Kommissionierzone durchgeführt. Für AS1 ist ein Mitarbeiter nötig. Die Zuweisung und Verteilung der Aufträge richtet sich nach dem Prozedere, welches in Abschnitt 3.3.4 beschrieben wird. AS5 wird im letzten Bereich, vor der Senke im Modell durchgeführt. Für den AS5 ist kein Mitarbeiter nötig, dies wird durch eine Schnürmaschine ausgeführt. Für die Instanthalteung bzw. Behebung der Störung (vgl. Tab. 3.3) ist mindestens ein Mitarbeiter einzuplanen. Der AS2, AS3 und AS4 werden an den jeweiligen Kommissionierzonen von Mitarbeitern durchgeführt. Der AS4 wird in den jeweiligen Zonen nur dann durchgeführt, wenn das Objekt, welches im Moment bearbeitet wird keine weitere Kommissionierzone mehr anfährt.

| Nummer | Beschreibung | Parameter |
|--------|---|---|
| AS1 | Beginn des Kommissionierprozesses. Entnahme der Dokumente aus der Ablage, Aufrichten des vorgegebenen Kartons | Objekttyp:=*, Verteilung:=getaktet, Taktzeit:=10sec, Strategie:=1 Werker (min.=max.=Qual.=1) |
| AS2 | Stück greifen | Objekttyp:=*, Verteilung:=normalverteilt, Taktzeit:=5sec +1sec, Strategie:=1 Werker (min.=max.=Qual.=1) |
| AS3 | Abschieben des Packstücks auf die Fördertechnik | Objekttyp:=*, Verteilung:=getaktet, Taktzeit:=2sec, Strategie:=1 Werker (min.=max.=Qual.=1) |
| AS4 | Lieferschein in den Karton legen, mit Füllmaterial ausfüllen, Karton verschließen, Frachtlable aufbringen | Objekttyp:=* (in der letzten Kommissionierzone des jeweiligen Objektes), Verteilung:=getaktet, Taktzeit:=15sec, Strategie:=1 Werker (min.=max.=Qual.=1) |
| AS5 | Kartonschnürmaschine | Objekttyp:=*, Verteilung:=getaktet, Taktzeit:=3sec, Verfügbarkeit:=98%, MTTR:=5min (erlang verteilt K-Faktor=2) |

Tabelle 3.4: IST-Zustand der Arbeitsschritte des KMK Simulationsmodell

3.3.3 Parametrisierung der Quelle

Es werden 4 Aufträge (Batch-Prozesse) im Verlauf des Tages kreiert. Dies ist mit den Einstellungsmöglichkeiten von *DOSIMIS-3* nicht von Haus aus umsetzbar. Aus diesem Grund wurde zu externen Werkzeugen gegriffen. Es wurde ein OpenOffice.org BASIC Skript (s. Listing G.1) erstellt, welches zur Erstellung einer Quellendatei dient. In einer OpenOffice.org Tabellenkalkulation werden nach Vorgaben (s. Anhang G) die Simulationswerte eingetragen und definiert wie die Anzahl der Objekte ist, die zu einem bestimmten Zeitpunkt erstellt werden sollen, sprich wie ein Auftrag auszusehen hat. Dadurch ist es möglich, spätere Simulationen in relativ kurzen Abständen zu modifizieren und durchzuführen, da nur Zahlenwerte in der Tabellenkalkulation geändert werden müssen und quasi auf Knopfdruck eine Datei für die Quellenerzeugung generiert wird.

In der IST Zustand Analyse, wurde eine Datei für den gesamten Zeitverlauf und für alle 4 Batch-Prozesse erstellt. In späteren Ausführungen wird dies modifiziert (vgl. Abs. 3.3.8, 3.4).

In der Tabelle D.1 wird die Häufigkeitsverteilung je Auftrag dargestellt. Es sind 31 verschiedene Objekte aufgelistet, die jeweils eine andere Wahrscheinlichkeit besitzen. Die akkumulierte Wahrscheinlichkeit alle Objekte beträgt 100%. Jedes Objekt wird als ein Auftrag eines Batch-Prozesses definiert. Daher werden in den Grundkonfigurationen von *DOSIMIS-3* unter dem Menüpunkt „Modell / Standardeinstellungen / Objekttyp“ 31 Objekttyp-Konstanten definiert (vgl. Abb. 3.1).

3.3.4 Verteilung der Aufträge

Bei Verzweigungen und Stellen an denen eine Entscheidung für die Fahrtrichtung eines Objektes nötig ist, wird eine zielgerichtete Entscheidung getroffen. Alle Entscheidungsstellen (Verteiler, Ausschleuser 1–4) enthalten eine Auflistung der Objekte, die diese zur Bearbeitung zuweisen. Dies wird in Abbildung 3.2 dargestellt. Zu sehen ist der Baustein *Ausschleuser1*, der u.a. die Objekte *B02*, *B03* und *B06* zur Bearbeitung an die Bearbeitungsstation *K1* zuweist.

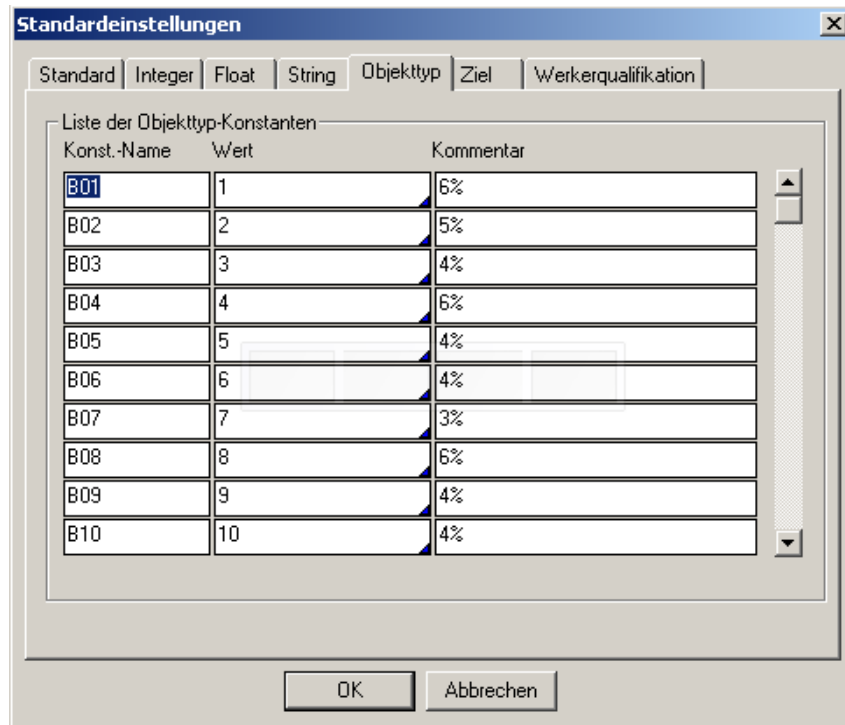


Abbildung 3.1: Objektyp-Konstanten für die KMK Simulation

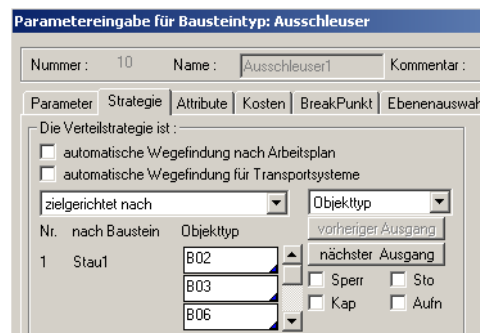


Abbildung 3.2: Definition der Objekte für die *zielgerichtete nach* Wegzuweisung

3.3.5 Systemabgrenzung

In der IST Situation sind keine Angaben bzgl. der Wegezeiten der Mitarbeiter und der Mitarbeitersteuerung gegeben. Diese werden im Abschnitt 3.3.8 untersucht um evtl. eine Optimierung herbeiführen zu können. Um einen Referenzwert zu erhalten wurde in Tabelle 3.3 vorab ein Wert für den Arbeitsplatzwechsel angegeben. Die Messungen mit dieser Annahme gilt es auf mögliche Optimierungen zu untersuchen.

3.3.6 Schematische Darstellung des Modell

In den Abbildungen 3.3 und 3.4 wird das Simulationsmodell gezeigt. In der ersten Abbildung im ruhenden Zustand, die zweite Abbildung zeigt das Modell im simulierenden Modus. Das Modell wurde soweit abstrahiert, so dass nicht an jedem Einschleuser eine Quelle existiert. Es werden in einer Quelle alle Aufträge erstellt und diese nach der Tabelle D.1 an die einzelnen Kommissionierzonen zugewiesen.

Es existieren im Modell 4 Bereiche die für die Kommissionierung der einzelnen Aufträge zuständig sind. Diese bestehen jeweils aus einem Ausschleuser, einer Stausstrecke, einer Bearbeitungsstation und einem Einschleuser, der das Paket zurück auf das umlaufende Laufband bringt.

Alle Bereiche sind durch Stausstrecken miteinander verbunden, da zu jedem Zeitpunkt ein Stau erwartet wird. Die Störung unten links im Bild ist nur für die Schnürmaschine gedacht. Alle weiteren Elemente werden als nicht störanfällig angesehen. Für eine Programmflusssteuerung wurde ein Baustein hinzugefügt („Globaler Systemzustand“) der diese Möglichkeit bietet. Dadurch werden im späteren Verlauf Ausgaben und Protokolle erstellt (vgl. Abs. 3.3.8).

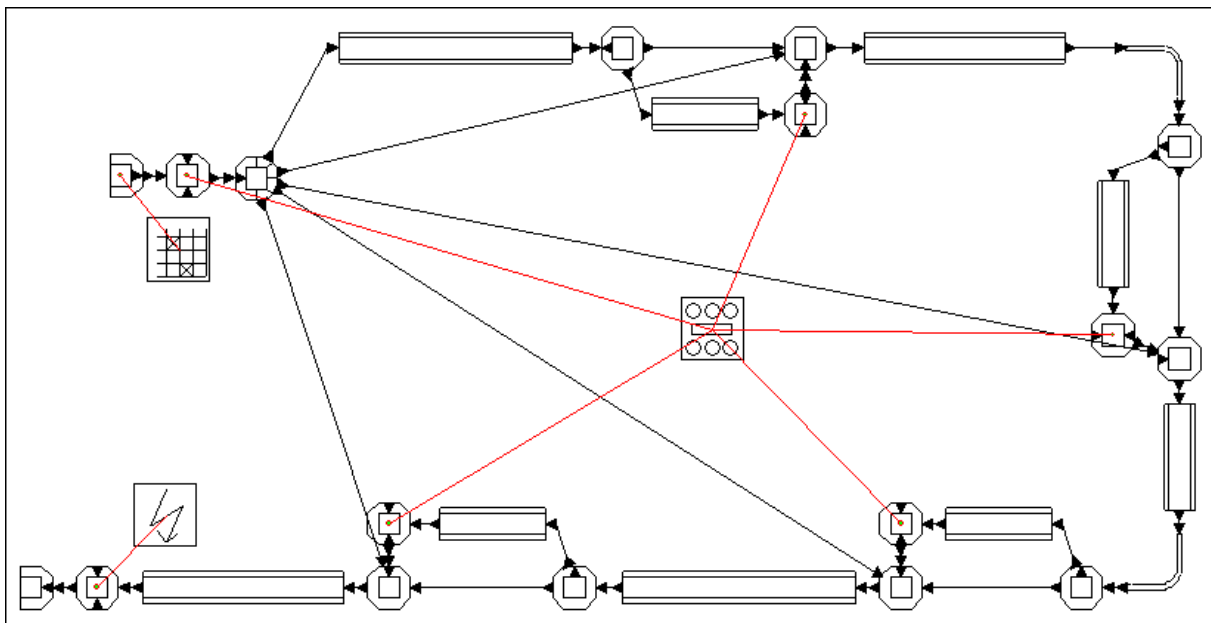


Abbildung 3.3: DOSIMIS-3 Simulationsmodell der KMK in der Designfassung

3.3.7 Methoden der Modellvalidierung

Für die Verifikation der Messergebnisse wird ein Satz an Objekten mit dem Skript für jeden Batch-Prozess (vgl. Listing G.1) erzeugt und für die Messungen immer der selbe Satz verwendet.

Für den Mengenzuwachs um 20%, 40% werden jeweils eigenständige Sätze an Objekten erzeugt. Diese werden für die jeweiligen Messreihen verwendet.

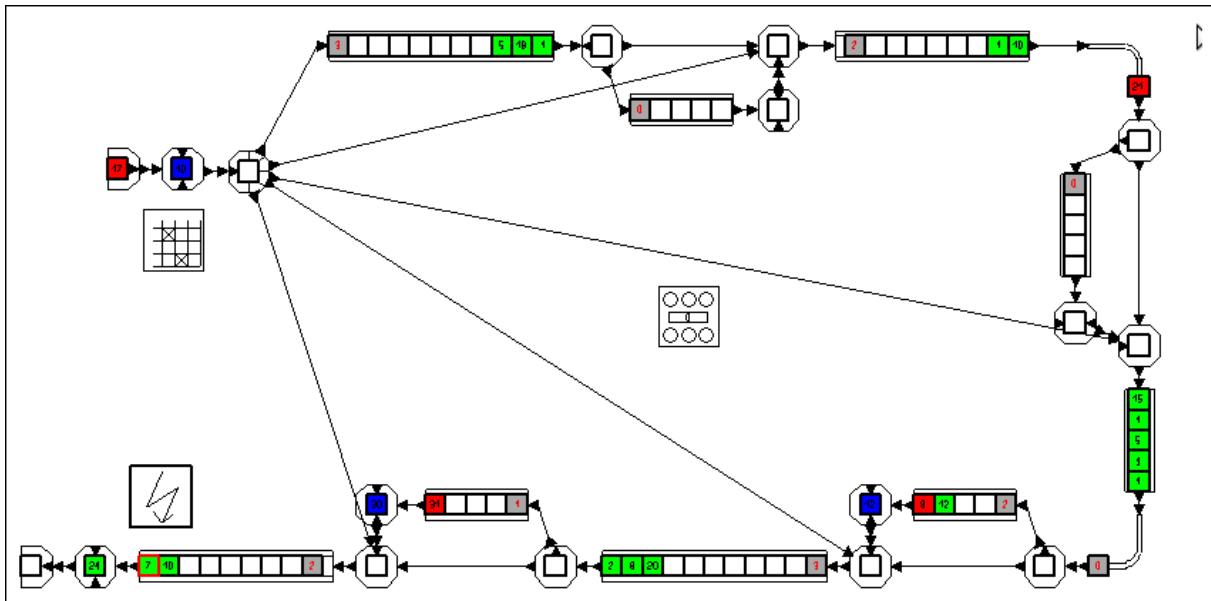


Abbildung 3.4: DOSIMIS-3 Simulationsmodell der KMK im aktiven Modus, das Modell des Systems wird durchsimuliert

Insgesamt existieren somit 3 Sätze an Objekten.

3.3.8 Design der Modellexperimente

In diesen Abschnitt wird beschrieben, welche Messungen durchgeführt werden und welchen Einfluss diese auf weitere Messungen haben.

3.3.8.1 Ausgangsmessungen

In der ersten Messreihe werden Grundlagenmessungen durchgeführt. Es wird jeder Batch-Prozess einzeln in der Quelle erzeugt und geschaut wie das Zeitverhalten der Verarbeitung dieser Prozesse ist. Es wird geprüft, ob das Zeitfenster von jeweils 2 Stunden ausreichend ist (vgl. Tab. G.2). Es wird jeder Prozess einzeln betrachtet, da ein Auftrag in der Anlage immer leer anfahren soll. Für den Fall, dass ein Prozess länger als die Zeit bis zum nächsten Prozess benötigt, wird analysiert wie das System optimiert werden kann.

Nach diesen Messungen wird ein Gesamtdurchlauf durchgeführt und geschaut ob das System für eine kontinuierliche Auslastung ausgelegt ist.

Die Messungen für die Ausgangsmessungen werden in Tabelle 3.5 veranschaulicht.

Diese Ausgangsmessungen dienen zur Identifizierung von Engpässen, die Ergebnisse werden im Abschnitt 3.4.1 erläutert. Die Messungen 1 – 5 beziehen sich auf die Ausgangswerte der vier Batch-Prozesse. Messungen 6 – 10 beinhalten eine Auftragssteigerung von jeweils 20% für jeden Batch-Prozess, bei den Messungen 11 – 15 beträgt die Auftragssteigerung 40%.

| Messung | Name der Quelldatei | Startzeit | Aufträge |
|---------|----------------------|-----------|----------|
| 1 | Quelle1_Batch1.txt | 08:00 Uhr | 300 |
| 2 | Quelle1_Batch2.txt | 10:00 Uhr | 400 |
| 3 | Quelle1_Batch3.txt | 12:00 Uhr | 300 |
| 4 | Quelle1_Batch4.txt | 16:00 Uhr | 600 |
| 5 | Quelle1_BatchAll.txt | 08:00 Uhr | 1600 |
| | | | |
| 6 | Quelle2_Batch1.txt | 08:00 Uhr | 360 |
| 7 | Quelle2_Batch2.txt | 10:00 Uhr | 480 |
| 8 | Quelle2_Batch3.txt | 12:00 Uhr | 360 |
| 9 | Quelle2_Batch4.txt | 16:00 Uhr | 720 |
| 10 | Quelle2_BatchAll.txt | 08:00 Uhr | 1920 |
| | | | |
| 11 | Quelle3_Batch1.txt | 08:00 Uhr | 420 |
| 12 | Quelle3_Batch2.txt | 10:00 Uhr | 560 |
| 13 | Quelle3_Batch3.txt | 12:00 Uhr | 420 |
| 14 | Quelle3_Batch4.txt | 16:00 Uhr | 840 |
| 15 | Quelle3_BatchAll.txt | 08:00 Uhr | 2240 |

Tabelle 3.5: Zusammenfassung der Ausgangsmessungen

3.3.8.2 Varitationsmessung

Es wird im Anschluss an die Ausgangsmessung eine Varitationsmessung durchgeführt. Diese Messung wird die Parameter der maximalen Mitarbeiter im gesamten System zwischen 2 – 4 variieren, weiterhin wird die erlaubte maximale Anzahl an Mitarbeitern in den Bearbeitungsstationen *K3* und *K4* zwischen 1 – 2 variiert.

Im Vorfeld wird ein Abbruchkriterium definiert. Sollte dieses Abbruchkriterium greifen, dann werden die fehlenden Messungen in einer Reihe der aktuellen parametrisierten Messungen nicht mehr zu Ende geführt. Dies bedeutet, dass die Parameter für diese Messreihe nicht legal sind und das Simulationsmodell mit diesen nicht ordnungsgemäß arbeiten kann. Das Abbruchkriterium ist in dieser Untersuchung das Zeitfenster zwischen zwei Batch-Prozessen. In den ersten beiden Batch-Prozessen darf der Prozess nicht länger als zwei Stunden, der dritte darf nicht länger als vier Stunden dauern. Für den vierten Batch-Prozess wird keine zeitliche Grenzbedingung gesetzt.

Die Ergebnisse werden in Abschnitt 3.4.2 erläutert.

3.3.8.3 Heuristische Messung

Eine weitere Messung wird durch Einschätzungen über das Simulationsmodell und mit Erfahrungswerten bestimmt.

In diesen Messreihen werden Parameter gesetzt, die durch die vorherigen Messergebnisse bestimmt werden. Die Parameter, die in diesen Messreihen verändert werden, sind subjektive Annahmen über das System und „freihändig“ gewählt worden.

In diese Messung fließen die besten Messungen aus Abschnitt 3.3.8.2 ein und dazu wird eine zweite Schnürmaschine in die Simulation eingebaut. Die zweite Schnürmaschine hat dieselben Parameter wie die bisher genutzte.

Die Definition der besten Werte sind die Messungen mit den Parametern, bei denen alle Variationen ohne Einbußen durchgeführt werden konnten.

3.3.8.4 Durchlaufzeitmessungen für gleichverteilte Auftragsmengen

Diese Messungen dienen dazu die maximal mögliche Durchlaufzeit des Systems zu ermitteln. Für diesen Zweck werden die besten Parameter aus den vorherigen Messungen gewählt und linear die Auftragsmenge erhöht. Durch Messung dieser Durchlaufzeitwerte, bis an die Grenzwerte einer Zeitfenstergröße, kann bewiesen werden was die Anlage im Stande ist zu leisten. Es wird ein Zeitfenster von 120 Minuten gewählt, da dies am häufigsten vorkommt.

Die Auftragsmenge wird für diesen Zweck gleichverteilt. Die Anzahl der Aufträge wird mit derselben Wahrscheinlichkeit an alle Kommissionierzonen verteilt. Dies entspricht in dieser Simulation, dass 5 Objekte erstellt werden und in jeder Bearbeitungsstation zu 20% der Gesamtobjekte vorkommen.

Die Anzahl dieser Objekte wird schrittweise um 200 erhöht und dadurch ermittelt wann die Simulation nicht mehr im Stande ist die gegebenen Parameter (s. Abs. 3.3.2) einzuhalten.

Die Anzahl der Mitarbeiter wird zwischen 2 – 4 variiert und die soeben erwähnten Messungen für jede Variierung durchgeführt.

3.3.8.5 Ermittlung hoher Durchsatzzahlen

Im folgenden geht es um die Ermittlung der möglichst maximalen Durchsatzzahl des Simulationsmodells.

Diese Ermittlung bezieht sich auf die Batch-Prozesse, die in den vorherigen Messungen schon um 40% erhöht wurden. Die Werte der einzelnen Batch-Prozesse wird jeweils auf ein mögliches Maximum gesetzt. Das Maximum richtet sich nach dem Zeitfenster der Prozesse. Dieses variiert zwischen 2 – 4 Stunden. Die Tabelle 3.5 verdeutlicht dies. Ein Batch-Prozess muss zwischen Startzeiten gestartet und beendet werden und die Anlage muss weiterhin immer leer anfahren (vgl. Abs. 3.3.1). Es werden keine Messreihen erstellt, sondern geschätzt wie hoch die Mengen der einzelnen Aufträge sein muss, um das Ziel zu erreichen.

Für Parameter der Bausteine werden die Werte der Ausgangssituation verwendet.

3.4 Ergebnisse

Dieses Kapitel beschreibt die Messergebnisse aller Messreihen (vgl. Abs. 3.3.8) und geht auf die Möglichkeit der Optimierung ein. Es wird erläutert an welchen Stellen die Simulation an seine Grenzen stößt, wie diese erweitert werden könnten und ob es weitere Möglichkeiten der Verbesserung gibt.

3.4.1 Engpässe in der IST Situation

In der Tabelle 3.6 sind die Ergebnisse für die Messreihen aus Abschnitt 3.3.8.1 aufgelistet. Diese zeigen, dass bei einem Zuwachs von 20% und 40% eine höhere Laufzeit zu erwarten ist. Es beweist zudem, dass die Anlage zu Beginn jedes Auftrages leer anläuft. Je schneller ein Auftrag bearbeitet wird, desto höhere Wartezeiten sind zwischen den Aufträgen zu erwarten, die maximale Wartezeit ist zwischen den Batch-Prozessen 1 → 2 (gleichbedeutet mit den Messungen 1 und 2). Die Wartezeit beträgt ≈ 60 Minuten. Die niedrigste Wartezeit ist ≈ 12 Minuten zwischen den Durchläufen 12 → 13. Die Durchschnittliche Wartezeit zwischen den Aufträgen beträgt ≈ 42 Minuten.

Diese Ausgangsmessung zeigt im Vorfeld, dass die Anlage in der derzeitigen Konfiguration mit einem Zuwachs um 20% und 40% umgehen kann (vgl. Abs. 3.1.1, Pkt. 3).

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 00:59:48 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:18:13 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:00:05 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 01:54:49 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 09:55:13 |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:10:34 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:32:53 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:10:25 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:16:29 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 10:15:39 |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:21:45 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:47:15 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:21:18 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:41:57 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 10:41:24 |

Tabelle 3.6: Ergebnisse der Ausgangsmessungen

Bei den Aufträgen ab 16:00 Uhr ist es nicht kritisch wie lange die Verarbeitung läuft, da keine Begrenzung der Ressourcen vorliegt. Es sollte trotzdem eine Optimierung durchgeführt werden, um die zeitliche Resource zu erhöhen um evtl. weiteren Steigerungen der Auslastung gerecht zu werden.

Die Abbildung 3.9 (s. Seite 30) zeigt die prozentuale Belegung der Staustrecken für alle Messungen in der Grundkonfiguration. Die ersten vier Diagramme, von oben nach unten zeigen den Verlauf der Einzelmessungen, in denen die Anlage leer anläuft. Die fünfte Messung zeigt einen kompletten Durchlauf von 8:00 Uhr bis zum Ende der Bearbeitung aller Batch-Prozesse. Dieses Verhalten ist weiterhin bei Messungen mit einer höheren Auftragsrate (s. Tab. G.2) zu beobachten. Eine Zusammenfassung der Messergebnisse für eine 20% höhere Auftragsmenge liefert Abbildung 3.10 und für eine 40% höhere Auftragsmenge, gibt die Abbildung 3.11 mehr Aufschluss über das Verhalten. Zu sehen ist ein ähnlicher Verlauf, der hier im Vorfeld erläutert wurde.

Es ist zu erkennen, dass sich von hinten → vorn ein Stau bildet. In den Staustrecken *F4*, *F3*, *F2* und *F1* sind die Blockierzeiten minimal. Es ist davon auszugehen, dass sich bei den jeweili-

gen Stautrecken eine Blockierung bildet, da zum Ende der Verarbeitung sich alle Objekte am Ende der Verarbeitung zusammen finden. Die Verteilung der Aufträge (vgl. Tab. D.1) lässt die Schlussfolgerung zu, dass sich dort eine Verklemmung befindet.

Anzumerken ist, dass die prozentualen Werte der Blockierzeiten ab dem zweiten Batch-Prozess höher ausfallen würden, wenn die Skalierung von *DOSIMIS-3* richtig unterstützt werden würde. Es wurde der Zeitbereich mit Vorlaufzeit eingestellt. Beim zweiten Batch-Prozess wurde dementsprechend die Vorlaufzeit auf 2 Stunden gesetzt und das Simulationsende auf 4 Stunden nach Beginn. Diese Vorlaufzeit findet sich bei den Werten wieder. Das heißt, der Bereich der Wartezeit würde geringer und der Wert der Blockierzeit höher ausfallen. Dies ist bei allen drei Abbildungen zu beachten.

Die prozentuale Auslastung der Arbeitsstationen verteilt sich bei einer höheren Belastung auf die vorhandenen Arbeitsstationen. Eine Zählung der Objekte, die jeweils durch die Arbeitsstationen gehen, hat folgende Werte ergeben:

Start 1600 Objekte, dies ist verständlich, da hier alle Objekte durchgehen und nach Arbeitsschritt AS1 verarbeitet werden.

K1 240 Objekte, entspricht 15% der Gesamtaufträge.

K2 368 Objekte, entspricht 23% der Gesamtaufträge

K3 512 Objekte, entspricht 32% der Gesamtaufträge.

K4 585 Objekte, entspricht $\approx 37\%$ der Gesamtaufträge.

Die Addition der Prozentwerte aus der vorherigen Auflistung ergibt einen Wert von 107%, dies kann dadurch erklärt werden, dass Objekte durch mehrere Kommissionierzonen geschleust werden und daher öfter in die Zählung kommen.

Dieses Ergebnis zeigt, dass in *K3* und *K4* höhere Belastungen vorhanden sind, der Vergleich zwischen *K2* und *K3* ergibt in *K3* eine $\approx 29\%$ höhere Verarbeitungsanzahl an Objekten. Ein Vergleich zwischen *K2* und *K4* ergibt einen Unterschied von $\approx 37\%$. Diese Ansätze sind auf die Erhöhung der Gesamtauslastung um 20 – 40% ansetzbar und liefern ähnliche Ergebnisse.

In den Abbildungen 3.5 bis 3.7 sind die prozentualen Zustandszeitanteile der Arbeitsstationen für alle drei Auslastungsmessungen skizziert.

In Abbildung 3.5 muss insgesamt 64.4% der 600 Minuten Simulationszeit auf einen Werker gewartet werden, dies entspricht ≈ 387 Minuten. In Abbildung 3.6 beträgt dieser Wert 62.6% (≈ 413 Minuten) und in der Abbildung 3.7 80.1% (≈ 528.66 Minuten).

Wenn an dieser Stelle die in Deutschland übliche Arbeitszeit von 8 Stunden (480 Minuten) für einen Arbeiter angenommen wird, dann rechtfertigt sich bei allen drei Szenarien die Einstellung eines weiteren Arbeiters. Darauf wird in Abschnitt 3.4.8 tiefer eingegangen.

Die Abbildung 3.8 veranschaulicht wie die Arbeitsstationen im Verlauf der Simulation genutzt werden. Die Stoßzeiten der Batch-Prozesse sind klar zu erkennen, diese sind etwa zu den Zeiten 0 – 1.2, 1.9 – 3.35, 3.4 – 5.4 und 7.9 – 10.5 nach Beginn des ersten Batch-Prozesses. Dazwischen befindet sich das System im Leerlauf und wartet auf weitere Aufträge. An diesen Stellen

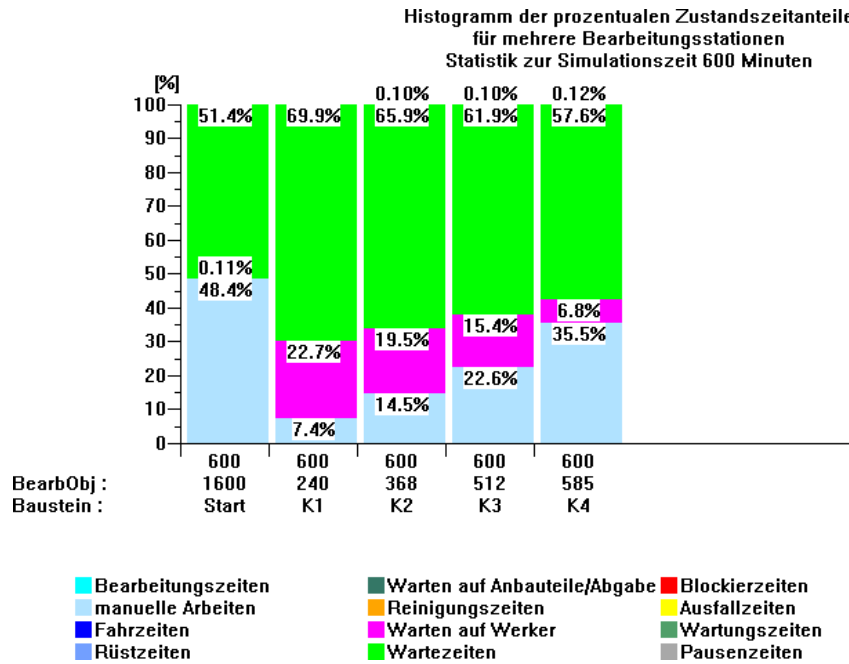


Abbildung 3.5: Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile

befindet sich Potential für eine erhöhte Auftragslage, sprich eine höhere als eine 40% höhere zur Ausgangslage.

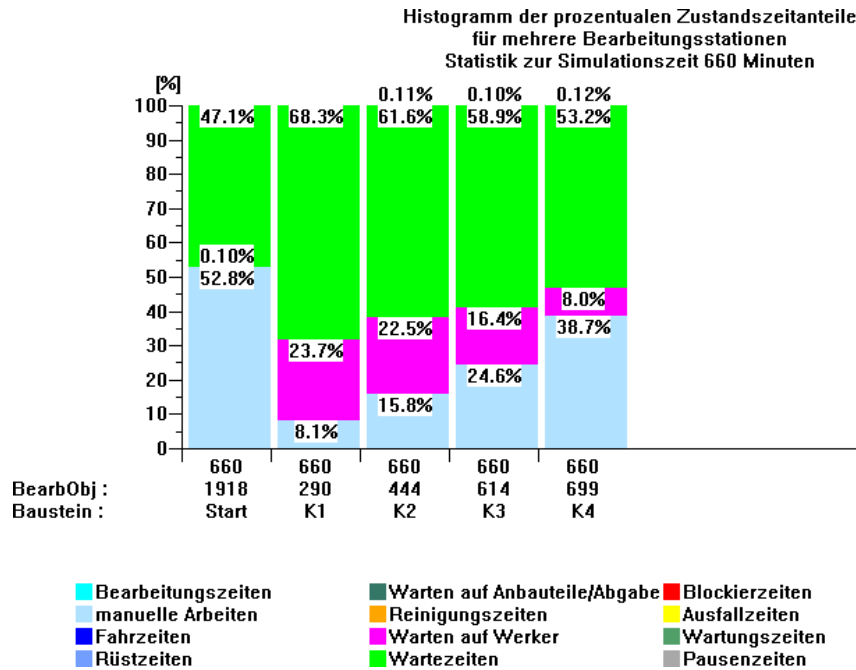


Abbildung 3.6: Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile aller manuellen Arbeitsstationen mit 20% höherer Auslastung

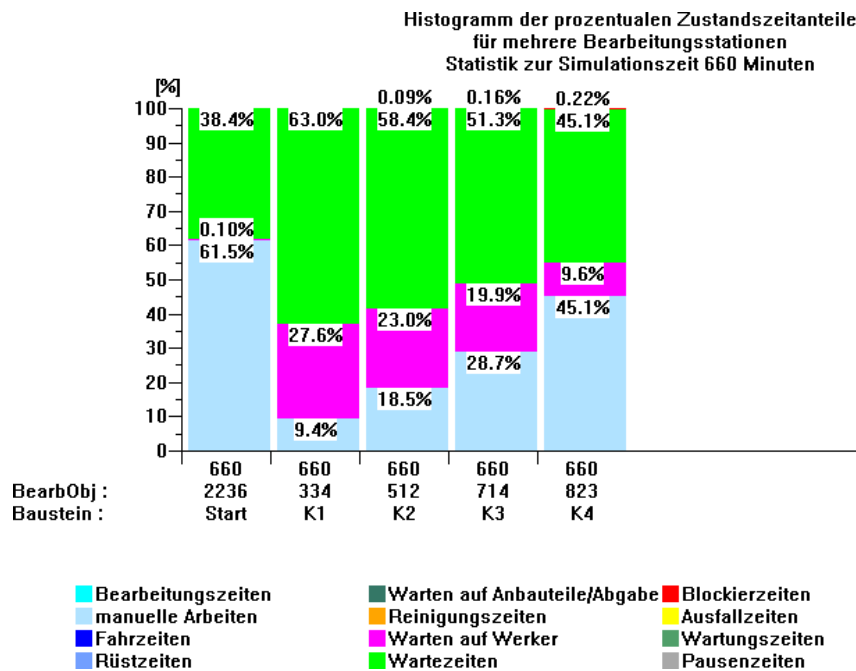


Abbildung 3.7: Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile aller manuellen Arbeitsstationen mit 40% höherer Auslastung

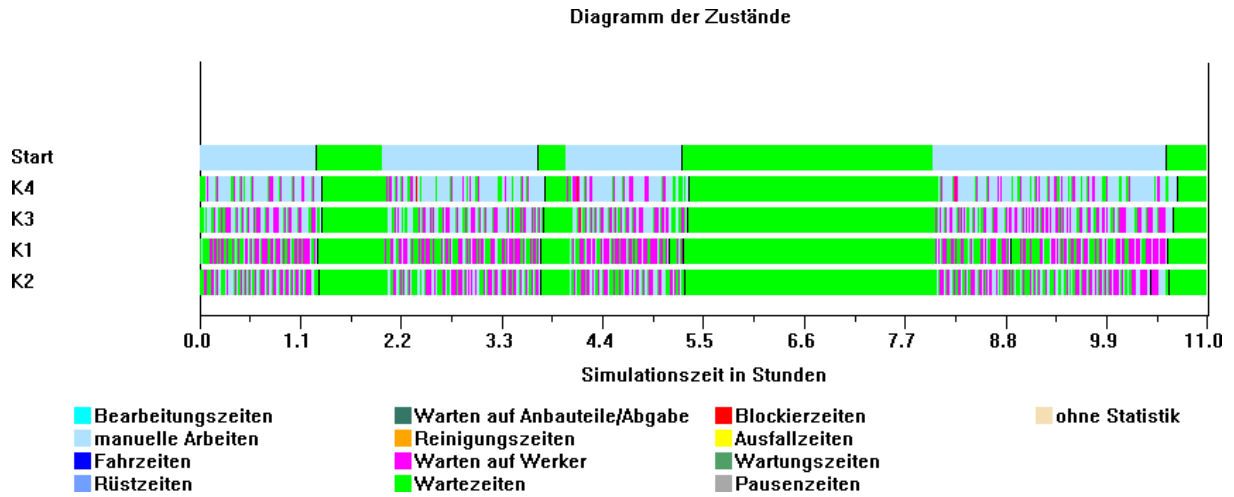


Abbildung 3.8: Produktionsdiagramm der Bearbeitungsstationen mit 40% höherer Auftragslage

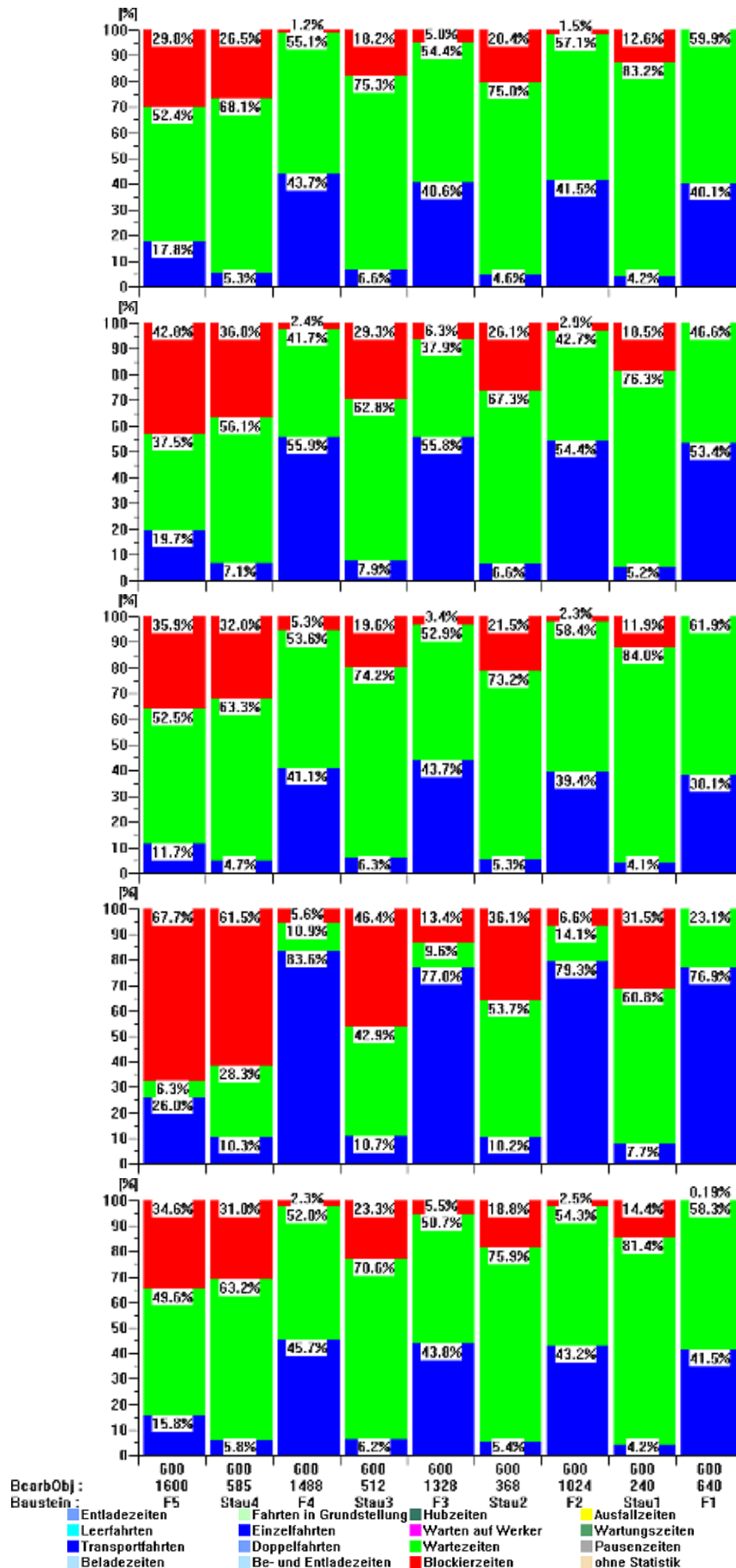


Abbildung 3.9: Prozentuale Belegung der Stautrecken für die Ausgangs-Batch-Prozesse

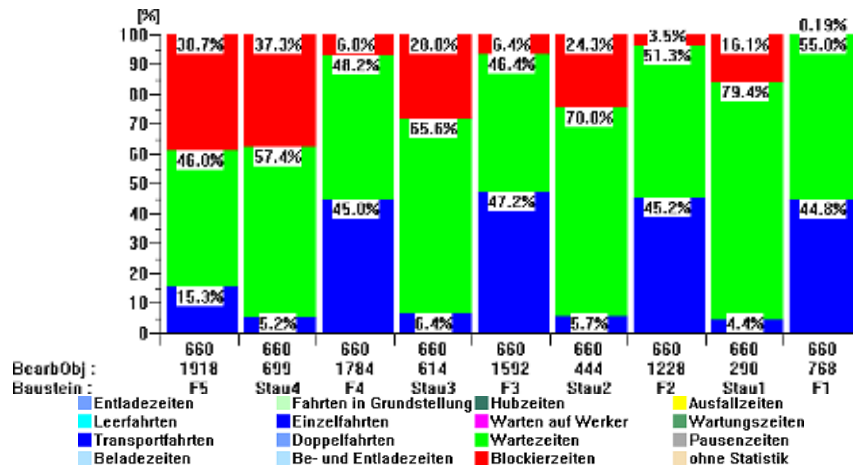


Abbildung 3.10: Prozentuale Belegung der Stautrecken für die Ausgangs-Batch-Prozesse +20%

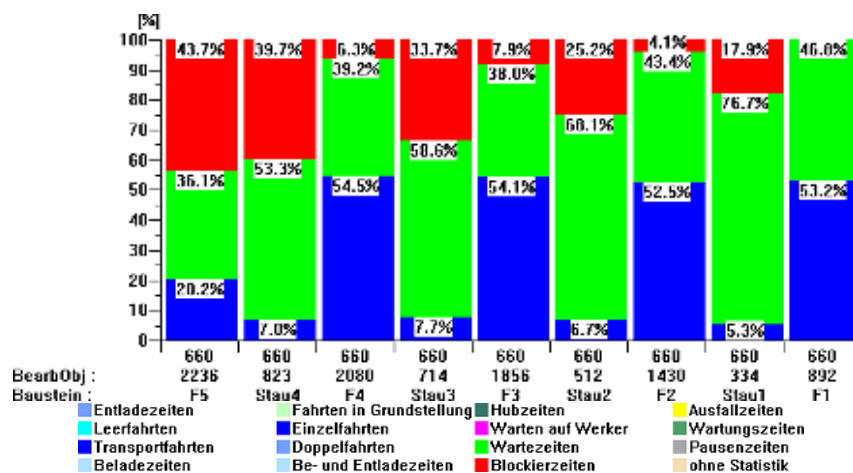


Abbildung 3.11: Prozentuale Belegung der Stautrecken für die Ausgangs-Batch-Prozesse +40%

3.4.2 Ergebnisse der Varitationsmessung

Die Ergebnistabellen der Varitationsmessungen sind in Anhang E aufgelistet.

Die Ergebnisse geben Aufschluss über die möglichen Parameter, die eine vernünftige Verarbeitung der Batch-Prozesse zulassen. Es zeigt sich, dass folgende Einstellungen den Anforderungen aus Abschnitt 3.3.8.2 genügen:

1. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.5
2. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.9
3. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.10
4. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.11

Die Ergebnisse der folgenden Messungen lassen für die Grundkonfiguration, ohne Steigerung der Auftragszahlen eine ordentliche Verarbeitung der Batch-Prozesse zu:

1. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.1
2. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.3
3. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.5
4. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.6
5. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.7
6. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.8
7. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.9
8. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.10
9. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.11
10. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.12

Die Ergebnisse der folgenden Messungen lassen für eine 20% Steigerung der Auftragszahlen eine ordentliche Verarbeitung der Batch-Prozesse zu:

1. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.5
2. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.6
3. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.7
4. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.9
5. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.10
6. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.11
7. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.12

Die Ergebnisse der folgenden Messungen lassen für eine 40% Steigerung der Auftragszahlen eine ordentliche Verarbeitung der Batch-Prozesse zu:

1. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.5
2. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.9
3. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.10
4. Messung mit den Parametern aus Tabelle E.11

Von den 12 durchgeführten Variationen der Parameter, können die nachfolgenden Anteile in Prozent die Steigerungen von 0, 20 und 40% meistern.

00% **Steigerung** \approx 83%

20% **Steigerung** \approx 42%

40% **Steigerung** \approx 17%

3.4.3 Ergebnisse der heuristischen Messungen

Das Hinzufügen einer zweiten Schnürmaschine hat zu keiner relevanten Verbesserung der Durchlaufzeiten geführt. Die Tabellen im Anhang F haben im Vergleich zu den relevanten Tabellen in Anhang E gezeigt, dass sich nur im Sekundenbereich eine Änderung einstellt.

Diese Massnahme zur Optimierung ist nicht hilfreich gewesen.

3.4.4 Ergebnisse der gleichverteilten Auftragsmengen

In Tabelle 3.7 sind die Messwerte für eine gleichverteilte Auftragsverteilung aufgelistet. Es zeigt sich, dass die Werte für die verschiedenen Parameter nicht sehr unterschiedlich sind und sich nur um einige Sekunden unterscheiden.

In Abbildung 3.12 ist zu sehen, wie hoch die Belastungen der Staustrecken für einen Auftrag mit 1500 Objekten ist. Es ist nur eine höhere Blockierzeit in der Staustrecke F5 zu erkennen, dies lässt sich damit begründen, dass dort alle Objekte zusammentreffen und die Schnürmaschine höher getaktet sein müsste. Im gesamten Verlauf der Auslastung überwiegt die Wartezeit. Die Staustrecken haben ausreichend Kapazität um weitere Objekte aufnehmen zu können. Ein höhere Kapazität als 1100 in einem gleichverteilten System ist nicht ratsam, da bei mehr Objekten das maximale Zeitfenster von vier Stunden, zwischen 12 – 16 Uhr nicht mehr ausreichend ist. Für zweistündige Fenster ist eine maximale Auftragsmenge in Höhe von 500 möglich.

Die Abbildung 3.13 zeigt wie unausgelastet die Werker sind, obwohl noch insgesamt durchschnittlich \approx 3.5% der verfügbaren Zeit auf einen Werker gewartet werden muss. Die Wartezeiten sind beträchtlich hoch, mit im Durchschnitt 91%.

| Mitarbeiter | Objektanzahl | Durchlaufzeit |
|-------------|--------------|---------------|
| 2 | 300 | 01:09:35 |
| 2 | 500 | 01:53:12 |
| 2 | 700 | 02:36:05 |
| 2 | 900 | 03:19:48 |
| 2 | 1100 | 04:02:57 |
| 2 | 1300 | 04:46:40 |
| 2 | 1500 | 05:29:29 |
| 3 | 300 | 01:09:04 |
| 3 | 500 | 01:52:47 |
| 3 | 700 | 02:35:45 |
| 3 | 900 | 03:19:48 |
| 3 | 1100 | 04:02:57 |
| 3 | 1300 | 04:46:47 |
| 3 | 1500 | 05:29:07 |
| 4 | 300 | 01:09:04 |
| 4 | 500 | 01:52:47 |
| 4 | 700 | 02:35:43 |
| 4 | 900 | 03:19:38 |
| 4 | 1100 | 04:02:57 |
| 4 | 1300 | 04:46:17 |
| 4 | 1500 | 05:29:07 |

Tabelle 3.7: Messung einer gleichverteilten Auftragslage

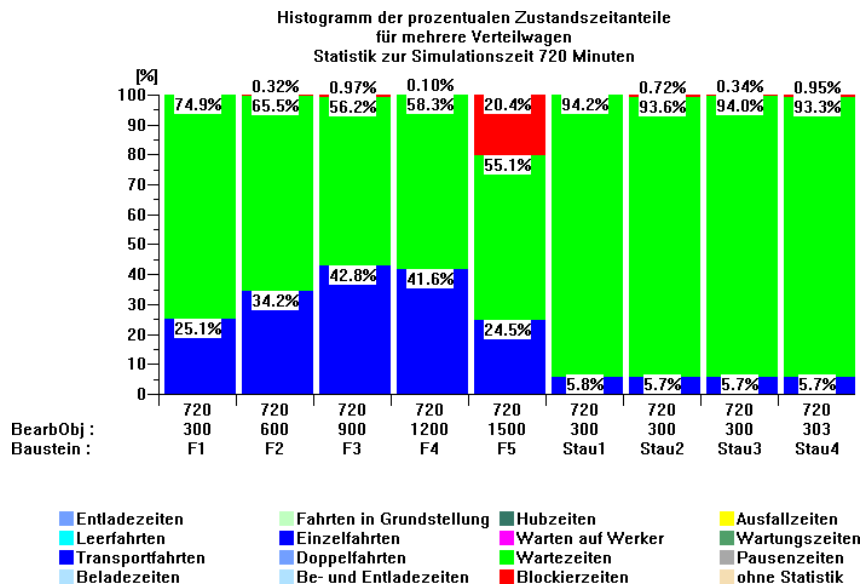


Abbildung 3.12: Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile der Staustrecken bei einer Auftragsmenger:= 1500

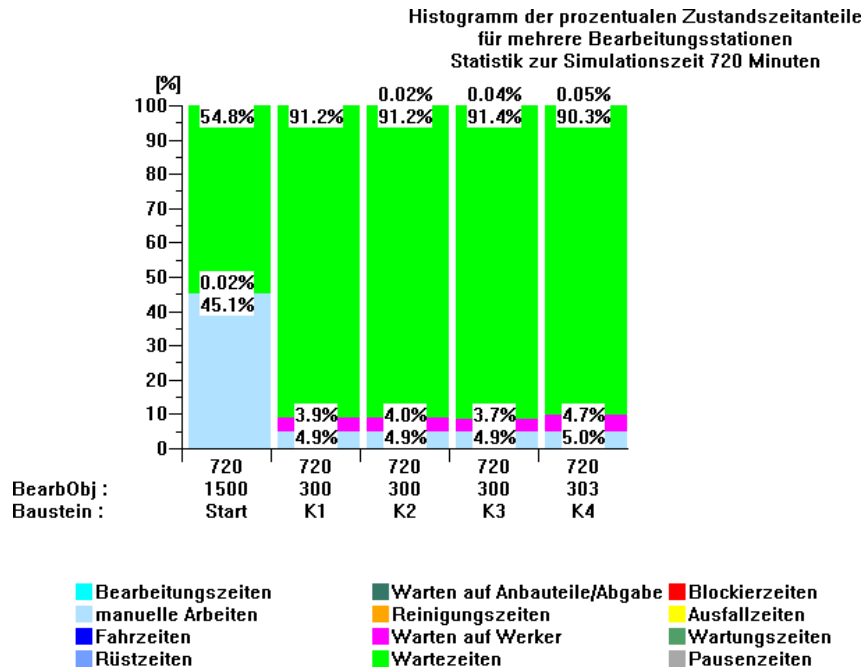


Abbildung 3.13: Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile der Bearbeitungsstationen bei einer Auftragsmenger:= 1500

3.4.5 Ergebnisse zur Maximierung der Durchsatzzahlen

Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Fragestellung in Abschnitt 3.3.8.5.

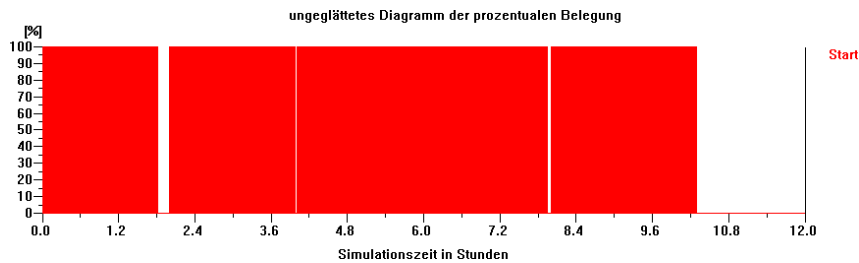


Abbildung 3.14: Histogramm der prozentualen Belegung der ersten Bearbeitungsstation mit einem Durchsatz von 3204 Objekten

In der Abbildung 3.14 ist die Belegung der Eingangsbearbeitungsstation zu erkennen. Im Verlauf der Zeit sind drei Lücken zu sehen. Dies sind Bereiche zwischen den Zeitfenstern, in der die Anlage leer ist. Sobald der nachfolgende Bereich wieder gefüllt ist, werden Objekte bearbeitet. Dies sind die Zeitpunkte an denen die nächsten Batch-Prozesse gestartet werden.

Durch ausprobieren wurden folgende Auftragsmengen für die Batch-Prozesse ermittelt, die sich im Bereich der maximalen Belastung bewegen:

1. **Batch** := 600 Aufträge
2. **Batch** := 650 Aufträge
3. **Batch** := 1300 Aufträge
4. **Batch** := 750 Aufträge

Der erste Batch kann sicherlich weiter modifiziert werden. Diese Werte sollen nur angeben in welchem Bereich sich die Werte bewegen könnten. Die aufgelisteten Werte sind eine prozentuale Änderung um die folgenden Werte:

1. **Batch** 100%
2. **Batch** \approx 61%
3. **Batch** \approx 116%
4. **Batch** \approx -20%

Im vierten Batch-Prozess wurden bewusst Aufträge abgezogen, da eine Angleichung an das zwei Stunden Zeitfenster erfolgen sollte.

Durch diese Konfiguration konnten 3204 Objekte verarbeitet werden.

3.4.6 Genauigkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse haben eine Genauigkeit, wie sich die Wahrscheinlichkeit dazu verhält. Da die Messreihen mit vorher erstellten Verteilungen erstellt wurden (vgl. Tab. D.1), kann davon ausgegangen werden, dass sich bei einer anderen Verteilung auch die Messergebnisse in einem anderen Rahmen bewegen. Die Reihenfolge, wie die Objekte in die Simulation eingeführt werden, ist dem Zufall überlassen worden. Die Messergebnisse dieser Untersuchung beschränken sich auf die Vorlage der Messreihen aus Abschnitt 3.3.8.1.

3.4.7 Vorgehensweise bei der Ergebnisanalyse

Es wurden mehrere Graphen miteinander verglichen. Geschaut wurde wie stark die prozentualen Unterschiede zwischen den Messreihen sind und subjektiv abgelesen wie stark der Zuwachs oder die Verringerung der Auslastungen ist. Zeitmessungen der verschiedenen Messreihen aus Abschnitt 3.3.8.1 ergaben Differenzen zwischen den gewünschten Taktungen. Es wurde sich auf diese Messreihen beschränkt, da Messreihen, die nicht neben diesen Taktungen liegen im gewünschten Rahmen arbeiten. Daraufhin wurden stichprobenartig Messungen der betreffenden Messreihen gemacht und Vergleiche zwischen diesen Werten gezogen. Dadurch ergaben sich die Ergebnisse aus dem Abschnitt 3.4.1.

3.4.8 Empfehlungen aufgrund der Ergebnisse

Empfehlungen aufgrund der Messungen aus den vorherigen Abschnitten und bzgl. der Zielsetzung (s. Abs. 3.1.1) dieser Betrachtung einer KMK. Die Empfehlungen werden in der selbigen Reihenfolge angegeben, wie diese im Abschnitt „*Zielfunktion des Projektes*“ aufgestellt sind.

1. In der IST Situation existieren keine gravierenden Engpässe. Es kommt zu bestimmten Zeitpunkten, zu einem höheren Aufkommen an Objekten auf den Staustrecken. In den Abbildungen 3.9 bis 3.11 ist dieses Manko gut zu erkennen. Dieses fiel bei der Betrachtung der **Durchsatzzahlen nicht** weiter **negativ** auf. An den Bearbeitungsstation kann es zu Wartezeiten kommen, wenn ein Werker fehlt.
2. Bei einer höheren Auslastung (ab 20%) ist es empfehlenswert einen vierten Mitarbeiter einzustellen. Dann fallen die Zeiten weg, bei der die Bearbeitungsstationen still stehen, da kein Werker dort sein kann. Die Zeiten in den Abbildungen 3.6 und 3.7 zeigen, dass die Wartezeiten auf einen Werker prozentual sehr hoch sind.
3. Das System kann ohne Bedenken eine höhere Belastung von Objekten (20 – 40%) pro Auftrag verarbeiten. Dies zeigen die Ergebnisse der Messungen in Abschnitt 3.4.
4. Bei der Gleichverteilung der Auftragsmengen hat sich gezeigt, dass dies keine positive Wirkung auf die Verarbeitung der Batch-Prozesse hat. Die Verarbeitung wurde dadurch verlangsamt und konnte die Aufträge nicht in den definierten Zeitfenstern 2 und 4 Stunden umgesetzt werden. Die Mitarbeiter sind durch die Gleichverteilung nicht ausreichend ausgelastet, sie haben eine durchschnittliche Wartezeit von 90% ihrer Arbeitszeit. Diese Zeit sollte durch Arbeiten gefüllt werden. Die Variation der Mitarbeiterzahlen führt zu

keiner Verbesserung oder Verschlechterung der Situation. Aus Tabelle 3.7 ist abzulesen, dass die Zeiten nur im Bereich von Sekunden variieren. Die Blockaden auf der Fördertechnik sind im Bereich der Schnürmaschine am höchsten (vgl. Abschnitt 3.4.4). **Es wird von der Gleichverteilung der Aufträge abgeraten.**

5. Es konnten durch Modifikationen ein Durchsatz von 3204 Objekte erreicht werden (vgl. Abs. 3.4.5).

3.5 Fehler und Sackgassen bei der Entwicklung

Zu Beginn wurde in die falsche Richtung ein Modell modelliert. Mit diesem falschen Modell wurde Messreihen durchgeführt, die nicht plausibel waren. Daraufhin wurde das Modell untersucht und es wurde festgestellt, dass ein Arbeitsschritt falsch definiert wurde, so dass es eine massive Blockierung an der Schnürmaschine gab. Dieses Verhalten wurde korrigiert und die Messreihen wiederholt.

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Glossar der in diesem Projekt verwendeten Bezeichnungen | 6 |
| 2.2 | Simulationsbauteile der Mensa Simulation | 9 |
| 2.3 | Messwerte der Wartezeit an der Essensausgabe 1 und 2 | 12 |
| 2.4 | Durchsatzmessungen aller Bausteine aus Tabelle 2.2 | 13 |
| 2.5 | Mittlere Belegung in Prozent aller Bausteine aus Tabelle 2.2 | 13 |
| 2.6 | Auslastung in Prozent aller Bausteine aus Tabelle 2.2 | 13 |
| 3.1 | Glossar der in diesem Projekt verwendeten Bezeichnungen | 17 |
| 3.2 | Batch Auflistung + Mengenzuwachs laut 3.1.1 | 17 |
| 3.3 | IST-Zustand Parameter des KMK Simulationsmodell | 18 |
| 3.4 | IST-Zustand der Arbeitsschritte des KMK Simulationsmodell | 19 |
| 3.5 | Zusammenfassung der Ausgangsmessungen | 23 |
| 3.6 | Ergebnisse der Ausgangsmessungen | 25 |
| 3.7 | Messung einer gleichverteilten Auftragslage | 34 |
| C.1 | Implementierung der Quellenerzeugung mit der Datei <i>QuelleErzeugung.txt</i> . . | 52 |
| D.1 | Häufigkeitsverteilung je Auftrag in den Kommissionierzonen | 53 |
| E.1 | Messung:=1, max. Mitarbeiter:=2, max. K3:=1, max. K4:=1 | 54 |
| E.2 | Messung:=2, max. Mitarbeiter:=2, max. K3:=1, max. K4:=2 | 54 |
| E.3 | Messung:=3, max. Mitarbeiter:=2, max. K3:=2, max. K4:=1 | 55 |
| E.4 | Messung:=4, max. Mitarbeiter:=2, max. K3:=2, max. K4:=2 | 55 |
| E.5 | Messung:=5, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=1, max. K4:=1 | 56 |
| E.6 | Messung:=6, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=1, max. K4:=2 | 56 |
| E.7 | Messung:=7, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=2, max. K4:=1 | 57 |
| E.8 | Messung:=8, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=2, max. K4:=2 | 57 |
| E.9 | Messung:=9, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=1, max. K4:=1 | 58 |
| E.10 | Messung:=10, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=1, max. K4:=2 | 58 |
| E.11 | Messung:=11, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=2, max. K4:=1 | 59 |
| E.12 | Messung:=12, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=2, max. K4:=2 | 59 |
| F.1 | Messung:=01, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=1, max. K4:=1 | 60 |
| F.2 | Messung:=02, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=1, max. K4:=1 | 60 |
| F.3 | Messung:=03, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=1, max. K4:=2 | 61 |
| F.4 | Messung:=04, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=2, max. K4:=1 | 61 |
| G.1 | Werte für die Erstellung eines Batch zur Modellierung der Kommissionieranlage | 62 |
| G.2 | Werte die für die Batches erstellt wurden | 63 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Sitzplan der Mensa an der Fachhochschule Bielefeld, Wilhelm-Bertelsmann-Straße | 7 |
| 2.2 | <i>DOSIMIS-3</i> Simulationsmodell in der Designfassung | 9 |
| 2.3 | <i>DOSIMIS-3</i> Simulationsmodell im aktiven Modus, das Modell des Systems wird durchsimuliert | 9 |
| 2.4 | Verlauf der Erzeugung von Kunden in der Quelle im Zeitraum einer Stunde . . | 10 |
| 2.5 | Auslastung der Sitzplätze nach Tabelle 2.6 | 12 |
| 2.6 | Mittelwert der Auslastung der Sitzplätze nach Tabelle 2.5 | 12 |
| 2.7 | Simulation mit Messwerten, Taktzeit:=20s, Varianz:=4s | 15 |
| 2.8 | EA1: Taktzeit:=10s, Varianz:=4s | 15 |
| 2.9 | EA1: Taktzeit:=15s, Varianz:=4s | 15 |
| 2.10 | EA1: Taktzeit:=25s, Varianz:=4s | 15 |
| 2.11 | EA1: Taktzeit:=30s, Varianz:=4s | 15 |
| 2.12 | EA1: Taktzeit:=20s, Varianz:=4s, <i>minimal absolut Belegung</i> , Staustrecken mit je. 50 Elementen | 15 |
| 3.1 | Objekttyp-Konstanten für die KMK Simulation | 20 |
| 3.2 | Definition der Objekte für die <i>zielgerichtete nach Wegzuweisung</i> | 20 |
| 3.3 | <i>DOSIMIS-3</i> Simulationsmodell der KMK in der Designfassung | 21 |
| 3.4 | <i>DOSIMIS-3</i> Simulationsmodell der KMK im aktiven Modus, das Modell des Systems wird durchsimuliert | 22 |
| 3.5 | Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile | 27 |
| 3.6 | Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile aller manuellen Arbeitsstationen mit 20% höherer Auslastung | 28 |
| 3.7 | Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile aller manuellen Arbeitsstationen mit 40% höherer Auslastung | 28 |
| 3.8 | Produktionsdiagramm der Bearbeitungsstationen mit 40% höherer Auftragslage | 29 |
| 3.9 | Prozentuale Belegung der Staustrecken für die Ausgangs-Batch-Prozesse . . . | 30 |
| 3.10 | Prozentuale Belegung der Staustrecken für die Ausgangs-Batch-Prozesse +20% | 31 |
| 3.11 | Prozentuale Belegung der Staustrecken für die Ausgangs-Batch-Prozesse +40% | 31 |
| 3.12 | Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile der Staustrecken bei einer Auftragsmenger:= 1500 | 34 |
| 3.13 | Histogramm der prozentualen Zustandszeitanteile der Bearbeitungsstationen bei einer Auftragsmenger:= 1500 | 35 |
| 3.14 | Histogramm der prozentualen Belegung der ersten Bearbeitungsstation mit einem Durchsatz von 3204 Objekten | 36 |

Literaturverzeichnis

- [Barbey1] Barbey: **Diskrete Simulation - Master Optimierung und Simulation**, Fachhochschule Bielefeld, 2009, <http://www.fh-bielefeld.de/fb3/barbey/downloads>, Passwort auf Anfrage von Dr. Barbey
- [Barbey2] Barbey: **Diskrete Simulation - Projektauftrag - Grenzlast- und Engpassanalyse einer Kleinmengenkommissionierung für High Tech Produkte**, Fachhochschule Bielefeld, Masterstudiengang WS0910
- [Dosimis1] SimulationsDienstleistungsZentrum GmbH: **DOSIMIS-3 für Windows, Tutorial 1 & 2**, Version 5, <http://www.sdz.de/download.0.html>, Version vom 20. November 2009
- [OOBasic] OpenOffice.org Wiki: **OpenOffice.org BASIC Programming Guide**, http://wiki.services.openoffice.org/wiki/Documentation/BASIC_Guide

A Anhang - Methoden der Modellvalidierung

A.1 Messwerte 1

Die folgenden zwei Seiten enthält eine Messung von Christian Benjamin Ries und Matthias Vollmer. Die Messung wurde am Freitag, den 13. November 2009, zwischen 11:32 Uhr und 12:30 Uhr durchgeführt.

Die Seiten wurden aus einer PDF-Datei importiert.

Messungen (Diskrete Simulation, Mensa)

Ort: Wilhelm-Bertelsmann-Straße 10, 33602 Bielefeld

Datum: 2009-13-11

Beginn: 11:32

Ende: 12:30

Startpopulation (Warteschlange): 55

Endpopulation (Warteschlange): 1

Endpopulation (am Essen): 51

Messungsbeteiligte:

Christian Benjamin Ries - Christian_Benjamin.Ries@fh-bielefeld.de

Matthias Vollmer - Matthias.Vollmer@fh-bielefeld.de

Transportwege

| Art | Länge/Meter |
|-----------------------|-------------|
| Essensausgabe 1 (EA1) | 15 |
| Essensausgabe 2 (EA2) | 10 |
| Kasse 1 (K1) | 4 |
| Kasse 2 (K2) | 4 |
| Geschirrrückgabe | 5 |

Notiz (K1): Je länger die Schlange, desto schneller ist die Abfertigung.

Essensausgabe 1 (EA1)

| Iteration | Wert/Sekunden | Normvert. |
|-----------|---------------|-----------|
| 1 | 140 | 0,30 |
| 2 | 210 | 0,78 |
| 3 | 116 | 0,17 |
| 4 | 114 | 0,16 |
| 5 | 140 | 0,30 |
| 6 | 201 | 0,72 |
| 7 | 131 | 0,25 |
| 8 | 144 | 0,33 |
| 9 | 129 | 0,23 |
| 10 | 194 | 0,68 |
| 11 | 110 | 0,14 |
| 12 | 310 | 1,00 |
| 13 | 120 | 0,19 |
| 14 | 195 | 0,69 |
| 15 | 250 | 0,93 |
| 16 | 230 | 0,87 |
| 17 | 145 | 0,33 |
| 18 | 120 | 0,19 |
| 19 | 155 | 0,40 |
| 20 | 215 | 0,80 |

Minimal: 110
Maximal: 310
Mittelwert: 168,45
Std.abw.: 54,54

Kasse 1 (K1)

| Iteration | Wert/Sekunden | Normvert. |
|-----------|---------------|-----------|
| 1 | 12 | 0,18 |
| 2 | 20 | 0,55 |
| 3 | 33 | 0,96 |
| 4 | 32 | 0,95 |
| 5 | 33 | 0,96 |
| 6 | 25 | 0,77 |
| 7 | 8 | 0,08 |
| 8 | 6 | 0,05 |
| 9 | 16 | 0,35 |
| 10 | 20 | 0,55 |
| 11 | 25 | 0,77 |
| 12 | 15 | 0,30 |
| 13 | 15 | 0,30 |
| 14 | 10 | 0,12 |
| 15 | 20 | 0,55 |
| 16 | 15 | 0,30 |
| 17 | 15 | 0,30 |
| 18 | 25 | 0,77 |
| 19 | 21 | 0,60 |
| 20 | 16 | 0,35 |

Minimal: 6
Maximal: 33
Mittelwert: 19,10
Std.abw.: 7,87

Warteschlange (s. EA1)

| Uhrzeit | Wert/Anzahl Pers. |
|-------------|-------------------|
| 11:32:00 | 55 |
| 11:42:00 | 50 |
| 11:52:00 | 40 |
| 12:02:00 | 32 |
| 12:12:00 | 25 |
| 12:22:00 | 8 |
| Minimal: | 8 |
| Maximal: | 55 |
| Mittelwert: | 35 |

Warteschlange (s. K1)

| Uhrzeit | Wert/Anzahl Pers. |
|-------------|-------------------|
| 11:40 | 3 |
| 11:50 | 1 |
| 12:00 | 2 |
| 12:10 | 4 |
| 12:20 | 3 |
| 12:30 | 1 |
| Minimal: | 1 |
| Maximal: | 4 |
| Mittelwert: | 2,33 |

Platzbelegungen

| Uhrzeit | Anzahl |
|-------------|--------|
| 11:40 | 30 |
| 11:50 | 40 |
| 12:00 | 49 |
| 12:10 | 50 |
| 12:20 | 60 |
| 12:30 | 55 |
| Minimal: | 30 |
| Maximal: | 60 |
| Mittelwert: | 47,33 |

Verweilzeit (am Essen)

| Stichprobe | Wert/Sekunden |
|-------------|---------------|
| 1 | 720 |
| 2 | 900 |
| 3 | 1200 |
| 4 | 600 |
| 5 | 660 |
| Minimal: | 600 |
| Maximal: | 1200 |
| Mittelwert: | 816 |

Essensausgabe 2 (EA2)

| Iteration | Wert/Sekunden |
|-----------|---------------------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | Es sind in der Zeit |
| 5 | der Messung keine |
| 6 | Personen an der |
| 7 | EA2 gewesen. |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |

Kasse 2 (K2)

| Iteration | Wert/Sekunden |
|-----------|-----------------------------------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | Es sind in der Zeit |
| 5 | der Messung keine Personen an |
| 6 | der K2 gewesen, da nicht geöffnet |
| 7 | war. |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |

A.2 Messwerte 2

Die Messergebnisse auf den nachfolgenden zwei Seiten wurde von einer externen Gruppe durchgeführt und wurden freundlicherweise für diese Simulation zur Verfügung gestellt. Diese Gruppe besteht aus den folgenden vier Personen, Anja Webel, Kristof Kleiner, Kai-Fabian Henning und Lilija Nabiewa. Allesamt Studenten des Masterstudiengangs der Optimierung und Simulation an der Fachhochschule Bielefeld. Die Messung wurde am Dienstag, den 10. November 2009, zwischen 12:00 Uhr und 13:30 Uhr durchgeführt.

Die Seiten wurden aus einer PDF-Datei importiert.

Istdatenerfassung am Dienstag, 10. November 2009 von 12:00 bis 13:30 Uhr

Speiseplan:

| | | |
|----------|---|--|
| Dienstag | Menü 1 mit Fleisch/Fisch Preise | Hausgemachte Frikadelle mit Pfeffersoße + Beilagen |
| | Menü 1 vegetarisch Preise | Gärtnerintasche mit Gemüsefüllung und Kräutersoße + Beilagen |
| | Menü 2 Preise | Lasagne mit Lachsfüllung + Beilagen |
| | Suppe Preise | Zwiebelsuppe |
| | Salat Preise | Täglich wechselnde Salate |

Erforderliche Daten:

1. **Kapazität Speisesaal:** 182 Sitzplätze
2. **Personal Essensausgabe:**
 - 2.1. Ausgabe 1 1 Person + 1 „Handlanger“ (Küchenhilfe)
Hauptgericht
 - 2.2. Ausgabe 2 1 Person + 1 „Handlanger“
Salate, Gemüse, Antipasti
3. **Kassenbereich:**
 - 3.1. Kasse 1 besetzt
 - 3.2. Kasse 2 nicht besetzt
4. **Geschirrrücknahme:**
 - 4.1. besetzt von 1 Person
 - 4.2. Zeit für Geschirrrücknahme zwischen 4 bis 10 Sekunden
5. **Verweildauerdauer Speisesaal:** ca. 10-15 min pro Person für Essen

Mess- und Zählzeiten

Arbeitsstation - Essensausgabe 1 (Ausgabe 2 analog)

| Testperson | Verweildauer in min | Verweildauer in sek |
|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 2,48 | 149 |
| 2 | 2,11 | 127 |
| 3 | 2,18 | 131 |
| 4 | 2,35 | 141 |
| 5 | 2,16 | 130 |
| 6 | 2,06 | 124 |
| 7 | 2,17 | 130 |
| 8 | 2,21 | 133 |
| 9 | 2,10 | 126 |
| 10 | 2,36 | 142 |
| Mittelwert | 2,22 | 133 |

Arbeitsstation - Kasse 1 (*Kasse 2 nicht besetzt*)

| Testperson | Bezahlvorgang in sek |
|------------|----------------------|
| 1 | 12 |
| 2 | 13 |
| 3 | 25 |
| 4 | 17 |
| 5 | 17 |
| 6 | 11 |
| 7 | 28 |
| 8 | 50 |
| 9 | 28 |
| 10 | 9 |
| 11 | 20 |
| 12 | 32 |
| 13 | 8 |
| 14 | 25 |
| 15 | 15 |
| Mittelwert | <u>21</u> |

Arbeitsstation - Geschirrrückgabe

| Testperson | Rückgabe in sek |
|------------|-----------------|
| 1 | 6 |
| 2 | 4 |
| 3 | 6 |
| 4 | 4 |
| Mittelwert | <u>5</u> |

| Zeit | # Personen |
|-------------|------------|
| 12:50-12:55 | 10 |
| 12:55-13:00 | 15 |
| 13:00-13:05 | 5 |
| 13:05-13:10 | 17 |
| 13:10-13:15 | 28 |
| Mittelwert | <u>15</u> |

Durchlauf Essensausgabe 1

(Ausgabe 2 max 10% der „Kunden“)

| von - bis | # Personen |
|---------------|------------|
| 12:00 - 12:05 | 10 |
| 12:05 - 12:10 | 6 |
| 12:10 - 12:15 | 8 |
| 12:15 - 12:20 | 5 |
| 12:20 - 12:25 | 10 |
| 12:25 - 12:30 | 9 |
| 12:30 - 12:35 | 14 |
| 12:35 - 12:40 | 16 |
| 12:40 - 12:45 | 35 |
| 12:45 - 12:50 | 23 |
| 12:50 - 12:55 | 17 |
| 12:55 - 13:00 | 20 |
| 13:00 - 13:05 | 16 |
| Mittelwert | <u>15</u> |

B Anhang - Simulationsergebnisse

Die nachfolgenden Tabellen enthalten Werte über die Simulation. Diese entsprechen den folgenden Metriken:

Durchsatz Der Durchsatz beschreibt die Anzahl an Kunden, die in einem Intervall „abgefertigt“, sprich verarbeitet werden.

Max. Belegung Die maximale Belegung ist das Maximum an Personen, die über den gesamten Simulationsverlauf an einem Baustein vorkommen.

mittl. Belegung Die mittlere Belegung ist der Durchschnittswert der Belegungsanzahl über den Simulationsverlauf.

prozent. Belegung Die durchschnittliche prozentuale Belegung.

Auslastung Die Auslastung ist ein prozentualer Wert der Auslastung über einen Simulationsschritt.

Blockierzeiten Anzahl an Sekunden in der der Baustein nicht arbeiten kann, da in den nachfolgenden Elementen ein Stau aufgekommen ist, oder der aktuelle Baustein arbeitet.

Messwerte die DOSIMIS-3 liefert:

Die Variation der Parameter betrifft die Taktzeit und Verteilstrategie der Essensausgaben.

Essensausgabe1, Taktzeit:=10s, Person an Ausgabe 1

| Nr. | Bausteinname | Durchsatz | Max. Belegung | mittl. Belegung | prozent. Belegung | Auslastung | Blokierzeiten |
|-----|---------------|-----------|---------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
| 1 | Eingang | 426,00 | 2,00 | 0,08 | 0,00 | 0,13 | 0,12 |
| 3 | WartenAusgabe | 417,00 | 100,00 | 48,11 | 48,11 | 48,11 | 92,71 |
| 4 | WartenAusgabe | 9,00 | 2,00 | 0,02 | 0,47 | 0,47 | 1,53 |
| 12 | Essensausgabe | 417,00 | 1,00 | 0,97 | 97,35 | 97,35 | 49,93 |
| 13 | Essensausgabe | 9,00 | 1,00 | 0,03 | 3,23 | 3,23 | 1,00 |
| 17 | SST_Kasse1 | 298,00 | 5,00 | 4,84 | 96,79 | 96,79 | 95,91 |
| 18 | SST_Kasse2 | 120,00 | 5,00 | 4,81 | 96,29 | 96,29 | 97,01 |
| 6 | Kasse1 | 297,00 | 1,00 | 0,99 | 98,91 | 98,91 | 46,77 |
| 14 | Kasse2 | 119,00 | 1,00 | 0,99 | 98,52 | 98,52 | 77,43 |
| 5 | Sitzplätze | 334,00 | 83,00 | 64,85 | 32,42 | 46,47 | 0,00 |

Essensausgabe1, Taktzeit:=15s, Person an Ausgabe 1

| Nr. | Bausteinname | Durchsatz | Max. Belegung | mittl. Belegung | prozent. Belegung | Auslastung | Blokierzeiten |
|-----|---------------|-----------|---------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
| 1 | Eingang | 426,00 | 2,00 | 0,07 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| 3 | WartenAusgabe | 417,00 | 98,00 | 45,77 | 45,77 | 45,77 | 91,29 |
| 4 | WartenAusgabe | 9,00 | 2,00 | 0,02 | 0,31 | 0,31 | 0,89 |
| 12 | Essensausgabe | 417,00 | 1,00 | 0,96 | 95,83 | 96,84 | 29,11 |
| 13 | Essensausgabe | 9,00 | 1,00 | 0,03 | 2,87 | 2,87 | 0,64 |
| 17 | SST_Kasse1 | 296,00 | 5,00 | 4,48 | 89,59 | 89,59 | 92,67 |
| 18 | SST_Kasse2 | 128,00 | 5,00 | 4,46 | 89,20 | 89,20 | 92,39 |
| 6 | Kasse1 | 296,00 | 1,00 | 0,98 | 98,22 | 98,22 | 46,53 |
| 14 | Kasse2 | 127,00 | 1,00 | 0,74 | 73,56 | 73,56 | 73,48 |
| 5 | Sitzplätze | 339,00 | 86,00 | 66,31 | 33,15 | 47,32 | 0,00 |

Grundparameter, siehe Bericht 2.3ff

| Nr. | Bausteinname | Durchsatz | Max. Belegung | mittl. Belegung | prozent. Belegung | Auslastung | Blokierzeiten |
|-----|---------------|-----------|---------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
| 1 | Eingang | 426,00 | 8,00 | 0,16 | 0,00 | 1,92 | 1,78 |
| 3 | WartenAusgabe | 414,00 | 100,00 | 53,92 | 53,92 | 53,92 | 95,23 |
| 4 | WartenAusgabe | 9,00 | 2,00 | 0,03 | 0,59 | 0,59 | 1,95 |
| 12 | Essensausgabe | 413,00 | 1,00 | 0,99 | 99,06 | 99,06 | 13,78 |
| 13 | Essensausgabe | 9,00 | 1,00 | 0,04 | 3,68 | 3,68 | 1,45 |
| 17 | SST_Kasse1 | 301,00 | 5,00 | 4,09 | 81,78 | 81,78 | 89,82 |
| 18 | SST_Kasse2 | 110,00 | 5,00 | 4,01 | 80,20 | 80,20 | 84,09 |
| 6 | Kasse1 | 300,00 | 1,00 | 0,99 | 98,80 | 98,80 | 46,26 |
| 14 | Kasse2 | 109,00 | 1,00 | 0,92 | 91,71 | 91,71 | 72,39 |
| 5 | Sitzplätze | 331,00 | 82,00 | 64,45 | 32,23 | 45,89 | 0,00 |

Essensausgabe1, Taktzeit:=25s, Person an Ausgabe 1

| Nr. | Bausteinname | Durchsatz | Max. Belegung | mittl. Belegung | prozent. Belegung | Auslastung | Blokierzeiten |
|-----|---------------|-----------|---------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
| 1 | Eingang | 426,00 | 29,00 | 2,23 | 0,00 | 20,09 | 18,60 |
| 3 | WartenAusgabe | 392,00 | 100,00 | 71,36 | 71,36 | 71,36 | 95,44 |
| 4 | WartenAusgabe | 9,00 | 2,00 | 0,01 | 0,29 | 0,29 | 0,80 |
| 12 | Essensausgabe | 391,00 | 1,00 | 0,99 | 99,06 | 99,06 | 0,00 |
| 13 | Essensausgabe | 9,00 | 1,00 | 0,02 | 2,24 | 2,24 | 1,00 |
| 17 | SST_Kasse1 | 297,00 | 2,00 | 0,63 | 12,54 | 12,54 | 46,67 |
| 18 | SST_Kasse2 | 102,00 | 2,00 | 0,14 | 2,76 | 2,97 | 0,00 |
| 6 | Kasse1 | 296,00 | 1,00 | 0,97 | 96,55 | 96,55 | 44,57 |
| 14 | Kasse2 | 102,00 | 1,00 | 0,36 | 35,56 | 35,56 | 17,80 |
| 5 | Sitzplätze | 321,00 | 80,00 | 62,04 | 31,02 | 46,56 | 0,00 |

Essensausgabe1, Taktzeit:=30s, Person an Ausgabe 1

| Nr. | Bausteinname | Durchsatz | Max. Belegung | mittl. Belegung | prozent. Belegung | Auslastung | Blokierzeiten |
|-----|---------------|-----------|---------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
| 1 | Eingang | 386,00 | 74,00 | 22,66 | 0,00 | 59,72 | 4991,00 |
| 3 | WartenAusgabe | 331,00 | 100,00 | 80,94 | 80,94 | 80,94 | 96,00 |
| 4 | WartenAusgabe | 8,00 | 3,00 | 0,02 | 0,31 | 0,31 | 0,85 |
| 12 | Essensausgabe | 330,00 | 1,00 | 0,99 | 99,06 | 99,06 | 0,00 |
| 13 | Essensausgabe | 8,00 | 1,00 | 0,02 | 1,98 | 1,98 | 1,00 |
| 17 | SST_Kasse1 | 296,00 | 2,00 | 0,48 | 9,51 | 9,51 | 33,61 |
| 18 | SST_Kasse2 | 42,00 | 1,00 | 0,03 | 0,43 | 0,43 | 0,20 |
| 6 | Kasse1 | 295,00 | 1,00 | 0,94 | 93,86 | 93,86 | 42,05 |
| 14 | Kasse2 | 42,00 | 1,00 | 0,48 | 9,51 | 9,51 | 33,61 |
| 5 | Sitzplätze | 275,00 | 69,00 | 52,46 | 26,23 | 39,39 | 0,00 |

Essensausgabe1, Taktzeit:=20s, minimale absolute Belegung, Staustrecken mit je. 50 Elementen

| Nr. | Bausteinname | Durchsatz | Max. Belegung | mittl. Belegung | prozent. Belegung | Auslastung | Blokierzeiten |
|-----|---------------|-----------|---------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
| 1 | Eingang | 426,00 | 2,00 | 0,08 | 0,00 | 0,27 | 0,25 |
| 3 | WartenAusgabe | 189,00 | 50,00 | 23,22 | 46,44 | 46,44 | 94,33 |
| 4 | WartenAusgabe | 237,00 | 50,00 | 20,85 | 41,71 | 41,71 | 88,44 |
| 12 | Essensausgabe | 189,00 | 1,00 | 0,97 | 97,24 | 97,24 | 58,64 |
| 13 | Essensausgabe | 237,00 | 1,00 | 0,93 | 92,95 | 92,95 | 87,35 |
| 17 | SST_Kasse1 | 305,00 | 5,00 | 4,92 | 98,31 | 98,31 | 96,06 |
| 18 | SST_Kasse2 | 118,00 | 5,00 | 4,94 | 98,90 | 98,90 | 98,30 |
| 6 | Kasse1 | 305,00 | 1,00 | 0,99 | 99,15 | 99,15 | 45,99 |
| 14 | Kasse2 | 117,00 | 1,00 | 0,99 | 99,43 | 99,43 | 78,63 |
| 5 | Sitzplätze | 337,00 | 86,00 | 65,17 | 32,59 | 46,89 | 0,00 |

Durchsatz

| Iteration | Nr.1, Eingang | WartenAusgabe1 | WartenAusgabe2 | Essensausgabe1 | Essensausgabe2 | SST_Kasse1 | SST_Kasse2 | Kasse1 | Kasse2 | Sitzplätze |
|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|--------|--------|------------|
| 1 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 |
| 2 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 | 426 | 417 |
| 3 | 426 | 414 | 426 | 414 | 426 | 414 | 426 | 414 | 426 | 414 |
| 4 | 426 | 392 | 426 | 392 | 426 | 392 | 426 | 392 | 426 | 392 |
| 5 | 386 | 331 | 386 | 331 | 386 | 331 | 386 | 331 | 386 | 331 |
| 6 | 426 | 189 | 426 | 189 | 426 | 189 | 426 | 189 | 426 | 189 |

max. Belegung

| Iteration | Nr.1, Eingang | WartenAusgabe1 | WartenAusgabe2 | Essensausgabe1 | Essensausgabe2 | SST_Kasse1 | SST_Kasse2 | Kasse1 | Kasse2 | Sitzplätze |
|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|--------|--------|------------|
| 1 | 2 | 100 | 2 | 100 | 2 | 100 | 2 | 100 | 2 | 100 |
| 2 | 2 | 98 | 2 | 98 | 2 | 98 | 2 | 98 | 2 | 98 |
| 3 | 8 | 100 | 8 | 100 | 8 | 100 | 8 | 100 | 8 | 100 |
| 4 | 29 | 100 | 29 | 100 | 29 | 100 | 29 | 100 | 29 | 100 |
| 5 | 74 | 100 | 74 | 100 | 74 | 100 | 74 | 100 | 74 | 100 |
| 6 | 2 | 50 | 2 | 50 | 2 | 50 | 2 | 50 | 2 | 50 |

mittl. Belegung

| Iteration | Nr.1, Eingang | WartenAusgabe1 | WartenAusgabe2 | Essensausgabe1 | Essensausgabe2 | SST_Kasse1 | SST_Kasse2 | Kasse1 | Kasse2 | Sitzplätze |
|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|--------|--------|------------|
| 1 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 |
| 2 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 |
| 3 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 |
| 4 | 2 | 71 | 2 | 71 | 2 | 71 | 2 | 71 | 2 | 71 |
| 5 | 23 | 81 | 23 | 81 | 23 | 81 | 23 | 81 | 23 | 81 |
| 6 | 0 | 23 | 0 | 23 | 0 | 23 | 0 | 23 | 0 | 23 |

prozent. Belegung

| Iteration | Nr.1, Eingang | WartenAusgabe1 | WartenAusgabe2 | Essensausgabe1 | Essensausgabe2 | SST_Kasse1 | SST_Kasse2 | Kasse1 | Kasse2 | Sitzplätze |
|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|--------|--------|------------|
| 1 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 |
| 2 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 |
| 3 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 54 |
| 4 | 0 | 71 | 0 | 71 | 0 | 71 | 0 | 71 | 0 | 71 |
| 5 | 0 | 81 | 0 | 81 | 0 | 81 | 0 | 81 | 0 | 81 |
| 6 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 |

Auslastung

| Iteration | Nr.1, Eingang | WartenAusgabe1 | WartenAusgabe2 | Essensausgabe1 | Essensausgabe2 | SST_Kasse1 | SST_Kasse2 | Kasse1 | Kasse2 | Sitzplätze |
|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|--------|--------|------------|
| 1 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 | 0 | 48 |
| 2 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 |
| 3 | 2 | 54 | 2 | 54 | 2 | 54 | 2 | 54 | 2 | 54 |
| 4 | 20 | 71 | 20 | 71 | 20 | 71 | 20 | 71 | 20 | 71 |
| 5 | 60 | 81 | 60 | 81 | 60 | 81 | 60 | 81 | 60 | 81 |
| 6 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 | 0 | 46 |

Blockierzeiten

| Iteration | Nr.1, Eingang | WartenAusgabe1 | WartenAusgabe2 | Essensausgabe1 | Essensausgabe2 | SST_Kasse1 | SST_Kasse2 | Kasse1 | Kasse2 | Sitzplätze |
|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|--------|--------|------------|
| 1 | 0 | 93 | 0 | 93 | 0 | 93 | 0 | 93 | 0 | 93 |
| 2 | 0 | 91 | 0 | 91 | 0 | 91 | 0 | 91 | 0 | 91 |
| 3 | 2 | 95 | 2 | 95 | 2 | 95 | 2 | 95 | 2 | 95 |
| 4 | 19 | 95 | 19 | 95 | 19 | 95 | 19 | 95 | 19 | 95 |
| 5 | 4991 | 96 | 4991 | 96 | 4991 | 96 | 4991 | 96 | 4991 | 96 |
| 6 | 0 | 94 | 0 | 94 | 0 | 94 | 0 | 94 | 0 | 94 |

C Anhang - Implementierung der Quellerzeugung für die Analyse der Mensa

Die Tabelle C.1 enthält die Informationen zur Erstellung der Kunden, aus der Simulation in dem Projekt welches in Kapitel 2 beschrieben wird.

Die Datei ist folgendermaßen aufgebaut: *REF* ist ein Offsetwert in Sekunden, ab wann die Erzeugung beginnen soll, *DAT* ist der Name der Generierungsdatei, mit *COM* werden Kommentare eingeleitet, ab *GEN* werden die nachfolgenden Zeilen als Erzeugungsbefehle für die Objekte angesehen. Die nachfolgenden Zeilen haben als erste Zahl die Sekunden, wann ein Objekt nach dem Offsetwert erstellt werden soll und der zweite Parameter ist der Wert des Objektes. Der Wert beschreibt welches Objekt erzeugt werden soll. In diesem Projekt ist der zweite Wert 1 oder 2 (s. 2.3.1).

C Anhang - Implementierung der Quellerzeugung für die Analyse der Mensa

| Teil 1 | Teil 2 | Teil 3 | Teil 4 |
|-------------------------|--------|--------|---------|
| REF 0 | 120 1 | 2200 1 | 3487 1 |
| DAT QuelleErzeugung.txt | 130 1 | 2300 1 | 3493 1 |
| GEN | 140 1 | 2350 1 | 3499 1 |
| 1 1 | 540 1 | 2400 1 | 3505 1 |
| 2 1 | 600 1 | 2450 1 | 3511 1 |
| 3 1 | 601 1 | 2460 1 | 3517 1 |
| 4 1 | 602 1 | 2470 1 | 10001 1 |
| 5 1 | 603 1 | 2480 1 | |
| 6 1 | 604 1 | 2490 1 | |
| 7 1 | 700 1 | 2500 1 | |
| 8 1 | 701 1 | 2510 1 | |
| 9 1 | 702 1 | 2520 1 | |
| 10 1 | 730 1 | 2530 1 | |
| 11 1 | 740 1 | 2540 1 | |
| 12 1 | 750 1 | 2550 1 | |
| 13 1 | 760 1 | 2840 1 | |
| 14 1 | 770 1 | 2850 1 | |
| 15 1 | 780 1 | 2850 1 | |
| 16 1 | 790 1 | 2850 1 | |
| 17 1 | 800 1 | 2900 1 | |
| 18 1 | 810 1 | 2910 1 | |
| 19 1 | 820 1 | 2920 1 | |
| 20 1 | 830 1 | 2930 1 | |
| 21 1 | 840 1 | 2940 1 | |
| 22 1 | 850 1 | 2950 1 | |
| 23 1 | 855 1 | 2960 1 | |
| 24 1 | 860 1 | 2970 1 | |
| 25 1 | 870 1 | 2980 1 | |
| 26 1 | 880 1 | 2990 1 | |
| 27 1 | 890 1 | 3000 1 | |
| 28 1 | 900 1 | 3050 1 | |
| 29 1 | 910 1 | 3060 1 | |
| 30 1 | 920 1 | 3075 1 | |
| 31 1 | 930 1 | 3100 1 | |
| 32 1 | 940 1 | 3112 1 | |
| 33 1 | 945 1 | 3123 1 | |
| 34 1 | 950 1 | 3134 1 | |
| 35 1 | 960 1 | 3145 1 | |
| 36 1 | 970 1 | 3156 1 | |
| 37 1 | 980 1 | 3321 1 | |
| 38 1 | 990 1 | 3379 1 | |
| 39 1 | 1000 1 | 3385 1 | |
| 40 1 | 1010 1 | 3391 2 | |
| 41 1 | 1050 1 | 3397 2 | |
| 42 1 | 1060 1 | 3403 2 | |
| 43 1 | 1066 1 | 3409 1 | |
| 44 1 | 1070 1 | 3415 1 | |
| 45 1 | 1076 1 | 3421 1 | |
| 46 1 | 1100 1 | 3427 1 | |
| 47 1 | 1200 1 | 3433 1 | |
| 48 1 | 1300 1 | 3439 1 | |
| 49 1 | 1400 1 | 3445 1 | |
| 50 1 | 1500 1 | 3451 1 | |
| 51 1 | 1600 1 | 3457 1 | |
| 52 1 | 1700 1 | 3463 1 | |
| 53 1 | 1800 1 | 3469 1 | |
| 54 1 | 1854 1 | 3475 1 | |
| 55 1 | 1900 1 | 3481 1 | |
| 56 2 | 2000 1 | | |
| | 2100 1 | | |

Tabelle C.1: Implementierung der Quellenerzeugung mit der Datei *QuelleErzeugung.txt*

D Anhang - Lastdaten, Kommissionierzonen

Mit den folgenden Informationen wird die Auftragsstruktur abgebildet.

In der nachstehenden Tabelle ist die Häufigkeitsverteilung je Auftrag dargestellt, mit der ein Packstück die 5 Zonen anfährt.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Wahrscheinlichkeit |
|---|---|---|---|---|--------------------|
| x | | | | | 6% |
| | x | | | | 5% |
| x | x | | | | 4% |
| | | x | | | 6% |
| x | | x | | | 4% |
| | x | x | | | 4% |
| x | x | x | | | 3% |
| | | | x | | 6% |
| x | | | x | | 4% |
| | x | | x | | 4% |
| x | x | | x | | 2% |
| | | x | x | | 4% |
| x | | | x | x | 2% |
| | x | x | x | | 2% |
| x | x | x | x | | 1% |
| | | | | x | 7% |
| x | | | | x | 4% |
| | x | | | x | 4% |
| x | x | | | x | 2% |
| | | x | | x | 5% |
| x | | x | | x | 2% |
| | x | x | | x | 1% |
| x | x | x | | x | 1% |
| | | | x | x | 4% |
| x | | | x | 5 | 2% |
| | x | | x | 5 | 3% |
| x | x | | x | x | 1% |
| | | x | x | x | 4% |
| x | | x | x | x | 1% |
| | x | x | x | x | 1% |
| x | x | x | x | x | 1% |

Tabelle D.1: Häufigkeitsverteilung je Auftrag in den Kommissionierzonen

E Anhang - Tabellierung der Messergebnisse von den Variationsmessungen

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:22:23 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:48:30 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:22:05 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:41:24 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 10:38:19 |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:38:32 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:14:57 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:37:46 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 03:10:58 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:52:32 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:32:00 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:54:33 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 03:44:11 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |

Tabelle E.1: Messung:=1, max. Mitarbeiter:=2, max. K3:=1, max. K4:=1

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:33:10 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:09:03 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:51:44 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:35:02 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 02:13:57 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | xx |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |

Tabelle E.2: Messung:=2, max. Mitarbeiter:=2, max. K3:=1, max. K4:=2

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:28:11 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:54:25 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:27:31 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:55:14 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:41:17 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:19:01 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 02:00:47 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | xx |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |

Tabelle E.3: Messung:=3, max. Mitarbeiter:=2, max. K3:=2, max. K4:=1

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 02:11:45 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | xx |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 02:32:41 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | xx |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 02:58:49 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | xx |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |

Tabelle E.4: Messung:=4, max. Mitarbeiter:=2, max. K3:=2, max. K4:=2

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 00:59:48 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:18:13 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:00:05 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 01:54:49 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 09:55:13 |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:10:34 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:32:53 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:10:25 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:16:29 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 10:15:39 |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:21:45 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:47:15 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:21:18 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:41:57 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 10:41:24 |

Tabelle E.5: Messung:=5, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=1, max. K4:=1

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:10:23 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:39:12 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:08:15 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:15:49 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:23:04 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:52:09 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:23:20 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:41:22 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:42:07 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:09:07 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |

Tabelle E.6: Messung:=6, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=1, max. K4:=2

E Anhang - Tabellierung der Messergebnisse von den Varitationsmessungen

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:12:22 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:42:17 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 02:11:19 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:18:20 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:26:38 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:53:17 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:20:21 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:45:10 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:35:48 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:14:06 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |

Tabelle E.7: Messung:=7, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=2, max. K4:=1

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:27:50 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:55:31 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:31:13 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:57:18 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:44:22 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:18:01 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 02:01:03 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | xx |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |

Tabelle E.8: Messung:=8, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=2, max. K4:=2

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 00:59:23 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:17:56 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 00:59:48 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 01:53:42 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 09:53:37 |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:10:13 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:32:08 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:10:46 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:14:50 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 10:14:40 |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:21:04 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:46:55 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:21:03 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:38:15 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 10:38:10 |

Tabelle E.9: Messung:=9, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=1, max. K4:=1

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:07:32 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:24:22 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:05:47 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:01:43 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:18:54 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:38:56 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:20:16 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:27:23 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:30:18 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:52:17 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:26:55 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:55:22 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |

Tabelle E.10: Messung:=10, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=1, max. K4:=2

E Anhang - Tabellierung der Messergebnisse von den Varitationsmessungen

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:04:19 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:25:58 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:07:37 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:04:36 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:15:51 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:43:00 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:17:35 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:30:18 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:30:35 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:59:10 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:27:19 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:57:11 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |

Tabelle E.11: Messung:=11, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=2, max. K4:=1

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:11:09 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:39:23 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:13:25 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:20:07 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:27:58 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:57:38 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:23:57 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:42:58 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:38:37 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 02:11:35 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | xx |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | xx |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | xx |

Tabelle E.12: Messung:=12, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=2, max. K4:=2

F Anhang - Tabellierung der Messergebnisse von den heuristischen Messungen

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 00:59:48 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:18:13 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:00:05 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 01:54:43 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:10:34 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:23:43 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:10:25 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:15:58 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:21:22 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:47:04 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:21:18 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:41:46 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |

Tabelle F.1: Messung:=01, max. Mitarbeiter:=3, max. K3:=1, max. K4:=1

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 00:59:23 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:17:05 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 00:59:48 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 01:53:52 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:10:13 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:32:08 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:10:46 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:14:50 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:21:04 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:34:55 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:21:03 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:37:59 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |

Tabelle F.2: Messung:=02, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=1, max. K4:=1

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:07:32 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:24:33 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:05:47 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:01:43 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:18:54 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:38:56 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:20:16 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:27:23 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:30:18 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:52:17 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:26:55 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:55:22 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |

Tabelle F.3: Messung:=03, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=1, max. K4:=2

| Messung | Startzeit | rel. Startzeit | Laufzeit |
|---------|-----------|----------------|-------------------------|
| | | | Stunde:Minuten:Sekunden |
| 1 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:04:19 |
| 2 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:25:58 |
| 3 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:07:37 |
| 4 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:05:22 |
| 5 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 6 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:15:51 |
| 7 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:43:00 |
| 8 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:17:35 |
| 9 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:30:18 |
| 10 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |
| 11 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | 01:30:35 |
| 12 | 08:00 Uhr | 10:00 Uhr | 01:59:10 |
| 13 | 08:00 Uhr | 12:00 Uhr | 01:27:19 |
| 14 | 08:00 Uhr | 16:00 Uhr | 02:56:04 |
| 15 | 08:00 Uhr | 08:00 Uhr | ok |

Tabelle F.4: Messung:=04, max. Mitarbeiter:=4, max. K3:=2, max. K4:=1

G Anhang - Automatische Erstellung der Quellerzeugung für die Kommissionieranlage

Das Listing G.1 zeigt ein OpenOffice.org BASIC Skript, welches zur Erzeugung einer Datei genutzt werden kann, die für die Quellerzeugung im *DOSIMIS-3* Model dienen kann. Die Funktion benötigt dafür 4 Datenblätter, diese müssen Tabellen (vgl. Tabelle G.1) beinhalten. Diese Tabellen beschreiben einen Batch Prozess.

Die Anzahl der Aufträge steht in der Spalte rechts neben der Spalte **Aufträge**. Der **Offset** beschreibt die Anzahl an Sekunden nach Simulationsstart, wann die Objekte erstellt werden sollen. Objekte werden durch die **Objekt ID** beschrieben, diese repräsentieren einen eindeutigen Wert, diese Werte müssen im *DOSIMIS-3* Model vorab definiert werden. Die Spalte **Objektnummer** beschreibt den Namen des Objektes, das im *DOSIMIS-3* Model vorab definiert wurde. Für die Erstellung ist diese Spalte, sowie die Spalte mit der **Wahrscheinlichkeit** nicht relevant, diese dienen der Dokumentation und der Möglichkeit den Überblick über die Werte zu behalten. Die letzte Spalte **Anzahl** beschreibt wie viele Objekte erzeugt werden sollen.

| | | | |
|------------------|---------------------|---------------------------|---------------|
| Aufträge: | 300 | Offset: | 0 |
| Objekt ID | Objektnummer | Wahrscheinlichkeit | Anzahl |
| 1 | B01 | 6% | 18 |
| 2 | B02 | 5% | 15 |
| 3 | B03 | 4% | 12 |
| 4 | B04 | 6% | 18 |
| 5 | B05 | 4% | 12 |
| 6 | B06 | 4% | 12 |
| ... | ... | ... | ... |
| 29 | B29 | 1% | 3 |
| 30 | B30 | 1% | 3 |
| 31 | B31 | 1% | 3 |

Tabelle G.1: Werte für die Erstellung eines Batch zur Modellierung der Kommissionieranlage

Das Skript erstellt die Werte die in Tabelle G.2 aufgelistet sind. Die Tabelle wurde gekürzt und die Punkte ... symbolisieren einen Fortsetzung, je nach Anzahl der Objekte die erzeugt werden sollen, kann die Tabelle mehrere hundert Zeilen lang sein. Die Spalten A, C, E, G beinhalten Zufallszahlen, die Spalten B, D, F und H die Objekte die im *DOSIMIS-3* Model erstellt werden sollen. Der erste Wert der Modelspalte beinhaltet den **Offset** in Sekunden und der Wert dahinter die **Objekt ID** (vgl. Tabelle G.1). Die Zufallezahlen wurde hinzugefügt, damit in OpenOffice.org die Spalten aufsteigend sortiert werden können, damit nicht alle Objekte mit demselben Wert hintereinander erstellt werden und dadurch eine Mischung bei der Erstellung in *DOSIMIS-3* realisiert wird.

| A | B | C | D | E | F | G | H |
|------|------|------|---------|------|----------|------|----------|
| 0,23 | 0 13 | 0,64 | 7200 4 | 0,23 | 14400 3 | 0,81 | 28800 14 |
| 0,53 | 0 26 | 0,75 | 7200 3 | 0,41 | 14400 12 | 0,02 | 28800 3 |
| 0,23 | 0 3 | 0,95 | 7200 21 | 0,88 | 14400 9 | 0,13 | 28800 9 |
| 0,71 | 0 16 | 0,6 | 7200 5 | 0,84 | 14400 9 | 0,03 | 28800 8 |
| 0,6 | 0 18 | 0,17 | 7200 10 | 0,04 | 14400 1 | 0,77 | 28800 9 |
| .. | ... | ... | .. | .. | ... | ... | ... |

Tabelle G.2: Werte die für die Batches erstellt wurden

OpenOffice.org liefert für das Verständnis und die Erstellung von Skripten kein gutes Nachschlagewerk mit. Die Programmierung wurde mit Hilfe der Webseite [OOBasic] umgesetzt.

```

'/**
' * Creates a list of batches for defined feasibility distribution.
' * You need a specified OpenOffice calculator file with following format:
' * - 5 sheets
' * - sheet(0).name = "Batch 1" -> id = 0
' * - sheet(1).name = "Batch 2" -> id = 1
' * - sheet(2).name = "Batch 3" -> id = 2
' * - sheet(3).name = "Batch 4" -> id = 3
' *
' * A1: string B1: count of tasks
' * C1: string D1: offset in seconds
' * A2-D2: names of columns
' * A3:AxxyD3:Dxx: values for the batches
' * Example:
' * Auftraege: 300      Offset: 0
' * Wert      Objektnummer   Wahrscheinlichkeit   Anzahl
' * 1         B01              6%                   18
' * 2         B02              5%                   15
' * 3         B03              4%                   12
' * 4         B04              6%                   18
' *
' * Copyright (C) 2009 Christian Benjamin Ries
' * Christian_Benjamin.Ries@fhbielefeld.de
' * Date: 23. December 2009
' */
Sub Main
    Dim d As Object, s(4) As Object
    Dim i as Integer, j as Integer

    d = ThisComponent

    Dim sRemote as object
    sRemote = d.Sheets(4)

    sRemote.getCellRangeByName("A1").String = "REF_0"
    sRemote.getCellRangeByName("A2").String = "DAT_QuelleErzeugung.txt"
    sRemote.getCellRangeByName("A3").String = "GEN"

    Dim iLineCounter as integer
    iLineCounter = 4

    Dim colDigits(4) as string
    Dim colRand(4) as string
    colDigits(0) = "B"
    colDigits(1) = "D"
    colDigits(2) = "F"
    colDigits(3) = "H"

    colRand(0) = "A"
    colRand(1) = "C"

```

```
colRand(2) = "E"
colRand(3) = "G"

for i=0 to 3
    s = d.Sheets(i)

    ' Number of the row in which should insert the value.
    dim colCounter as integer
    colCounter = 4

    ' Value of the offset in seconds when the object should
    ' add to the simulation modell.
    dim strOffset as string
    strOffset = s.getCellRangeByName("D1").String

    ' Remote columns...
    dim colD as string
    colD = colDigits(i)
    dim colR as string
    colR = colRand(i)

    dim localLineCounter as integer
    localLineCounter = 1

    Dim cellNumber As Object
    Dim cellCounter As Object

    for j=3 to 33
        ' Read the object id and count of elements.
        dim strCellAddrB as String
        dim strCellAddrD as String
        strCellAddrB = "A" & j
        strCellAddrD = "D" & j

        cellNumber = s.getCellRangeByName(strCellAddrB)
        cellCounter = s.getCellRangeByName(strCellAddrD)

        ' Creates the object lists
        dim counter as integer
        for counter=1 to cellCounter.Value
            sRemote.getCellRangeByName(colR & localLineCounter)
                .Formula = "=rand()"
            sRemote.getCellRangeByName(colD & localLineCounter)
                .String = strOffset & "_" & cellNumber.String
            localLineCounter = localLineCounter + 1
            iLineCounter = iLineCounter + 1
        next counter
    next j
next i

MsgBox iLineCounter - 4 & "_objects_created!"
End Sub
```

Listing G.1: OpenOffice.org BASIC Skript zur Erstellung der Quellerzeugung in Abhängigkeit der Auftragsmenge