

# Simulation zur Verbesserung der Logistikprozesse eines Pharmagroßhandels

## *Applying simulation to a pharmaceutical wholesale branch*

Felix Werth, Martin Beckers, Oliver Ullrich, Ewald Speckenmeyer  
Universität zu Köln (Germany)  
werth@informatik.uni-koeln.de, beckers@informatik.uni-koeln.de,  
ullrich@informatik.uni-koeln.de, esp@informatik.uni-koeln.de

**Abstract:** *Gehe Pharma Handel GmbH* is one of Germany's biggest pharmaceutical wholesalers. This paper describes the development and application of a simulation software representing their logistic processes, built in cooperation with *Gehe's* Troisdorf branch. We start with an outline of the *Gehe* facility, describe the process of implementing and validating the software application, and show some sample results.

## 1 Einführung

Die *Gehe Pharma Handel GmbH* ist einer der größten deutschen Pharmagroßhändler mit etwa zwanzig Niederlassungen im Bundesgebiet. Dieser Beitrag beschreibt die im Rahmen einer Kooperation entstandene Simulationsanwendung zur Modellierung und Simulation der Kommissionierungs- und Logistikprozesse der *Gehe*-Niederlassung in Troisdorf bei Bonn.

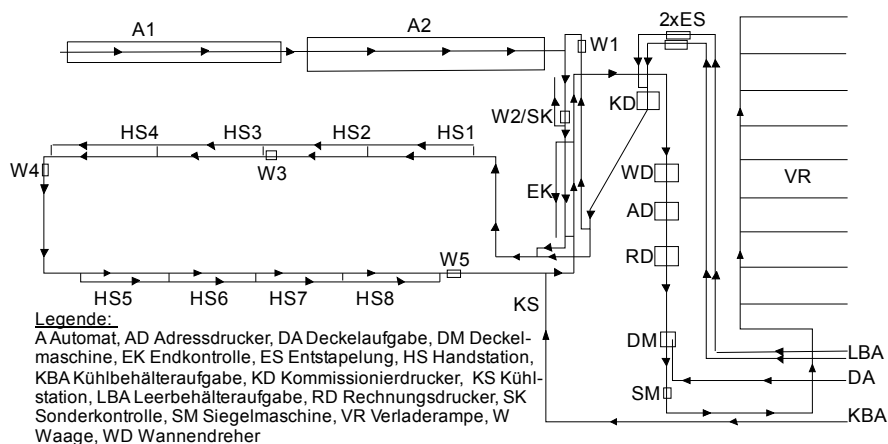
Im Folgenden wird zuerst das reale System der Niederlassung beschrieben und kurz auf Analyse und Modellierung eingegangen. Im Anschluss wird von der Implementierung der Simulationsanwendung berichtet, kurz auf deren Kalibrierung und Validierung eingegangen und einige der analysierten Szenarien besprochen. Zum Schluss wird das Vorgehen kurz zusammen gefasst und ein Ausblick auf die weiteren Pläne gegeben.

## 2 Systembeschreibung und Modellbildung

Dieser Abschnitt enthält eine Zusammenfassung von WERTH u.a. (2010). *Gehe* sammelt die Bestellungen der Apotheken online, die Bearbeitungsreihenfolge wird dann mit einer Heuristik festgelegt. Die Medikamente werden in durch Barcodes

eindeutig gekennzeichneten Transportwannen durch das Kommissionierungssystem geführt; jedem Auftrag wird dabei eine Wanne zugewiesen, größere Aufträge ggf. aufgeteilt.

Sobald ein Auftrag eingelastet wird, startet die entsprechende Wanne ihre Reise durch das System. Nachdem sie am Belegdrucker (siehe Abb. 1, KD) mit einem Kommissionierschein versehen worden ist, wird sie entweder am Kommissionierautomaten vorbei geführt oder unmittelbar zu den Handstationen geleitet. Bei dem Kommissionierautomaten handelt es sich um zwei sequentiell geschaltete Bestückungsroboter (A1 und A2), die ca. 5.000 der am häufigsten nachgefragten Medikamente vorhalten. Etwa 52 % aller Auftragspositionen werden durch die Maschine bedient, wobei allerdings nicht jedes Packungsformat zur maschinellen Bearbeitung geeignet ist.



**Abbildung 1:** Verlauf der Förderbänder

Der nachfolgende manuelle Kommissionierbereich ist in acht Handstationen (HS1 bis HS8) eingeteilt. Diese enthalten jeweils einen bestimmten Satz an Medikamenten, die so in den Regalen angeordnet sind, dass die Laufwege möglichst kurz sind.

Muss ein Auftrag an einer Handstation bearbeitet werden, wird die entsprechende Wanne automatisch ausgeschleust. Jede Station verfügt über einen Puffer, aus dem die dieser Station zugeordneten Mitarbeiter die Wannens abarbeiten. Je nach Bedarf schickt der Lagerleiter Mitarbeiter zwischen den einzelnen Stationen hin und her.

Im Anschluss durchlaufen die bei den im Verlauf des Kommissionierprozesses immer wieder stattfindenden Gewichtskontrollen (W1 bis W5) aufgefallenen Wannens die manuelle Endkontrolle (EK).

Am Ende der Kommissionierung wird automatisch die Rechnung gedruckt (AD und RD) und in die Wanne befördert, bevor diese maschinell verschlossen und versiegelt (SM) wird. Die Auslieferung wird dann zu festgelegten Zeitpunkten durch einen externen Dienstleister vorgenommen.

Die Systemanalyse begann mit Gesprächen mit dem Management zum Festlegen des Rahmens und der Ziele der Simulationsstudie. Der Projektpartner interessierte sich

für die Folgenabschätzung einer Erhöhung der Automatenquote, insb. der Anschaffung eines dritten Kommissionierautomaten. Weiterhin sollten die im operativen Einsatz verwendeten Heuristiken auf ihre Zweckmäßigkeit untersucht und Alternativen vor dem Feldeinsatz evaluiert werden. Besonders interessiert hier der Anteil der Wannens, die für die geplante Auslieferung zu spät oder sehr knapp die Verlade-rampe erreichen.

Zur Verfügung gestellt wurden Personaleinsatz-, Bestands- und Auftragsdaten für den Januar 2010, von *Gehe* erhobene tagesgenaue Kennzahlen wie bearbeitete Auftragspositionen pro Mitarbeiterstunde und Stammdaten wie Bandlaufgeschwindigkeiten, Packungsgrößen und -gewichte. Dazu wurden die Prozesse vor Ort beobachtet und dokumentiert, so ergab sich die Gelegenheit zum Erheben der fehlenden Daten wie z.B. der Bearbeitungszeiten an den einzelnen Stationen.

Auf der Basis dieser Analyseresultate wurde ein prozessbasiertes Simulationsmodell zur Abbildung des Kommissionier- und Logistikprozesses vom Auftragseingang bis zum Versand der fertig verpackten Wannens entwickelt. Das Modell umfasst 58 Serverknoten.

### **3 Implementierung einer prozessbasierten Simulationsanwendung**

Ziel war die Implementierung einer interaktiven Simulationsanwendung zur Unterstützung der strategischen und operativen Planung in der *Gehe*-Niederlassung.

Für die Anwendung vor Ort sollte die Anwendung plattformunabhängig und lizenzkostenfrei bleiben. Darüber hinaus sollte ein Framework entwickelt werden, in das für zukünftige Simulationsstudien sehr einfach andere Modelle eingebettet werden können.

Dazu wurde eine visuelle Simulations- und Auswertungssoftware in Java 6 entwickelt, unter Verwendung der Swing-Bibliotheken für die graphische Bedienoberfläche. Die prozessbasierte Anwendung wurde auf Basis eines ereignisbasierten Kernels realisiert, der in typischen Simulationsläufen ca. 300.000 bis 600.000 Simulationsereignisse erzeugt und verarbeitet. Die logistischen Teilprozesse des entwickelten Modells wurden dabei als Objekte implementiert, die über eine gemeinsame Future Event List kommunizieren. In verschiedenen Laufzeitexperimenten erwies sich ein Minimum Heap für die Verwaltung der Future Event List als gut geeignet, die Laufzeit beträgt auf einem handelsüblichen Notebook etwa fünfzehn bis zwanzig Sekunden. Die Software besteht z.Zt. aus etwa 7.500 Zeilen Quellcode.

Die Anwendung soll von *Gehe*-Mitarbeitern verwendet werden, daher sind Parameter und Eingabedaten über eine graphische Bedienoberfläche anpassbar. Dazu besteht die Möglichkeit, reale Tage anhand von in einer MySQL-Datenbank zur Verfügung stehenden Eingangsdaten oder typische Betriebstage anhand von geschätzten Verteilungen zu simulieren.

Die Simulationsläufe werden sowohl schematisch visualisiert als auch mittels einer vereinfachten Aufsicht auf die Kommissionierhalle (siehe Abb. 2). Eine erste Ergebnisauswertung erfolgt sowohl graphisch als auch in Tabellenform. Darüber hinaus können Werte über die Zwischenablage und automatisch erzeugte Excel-Tabellen

exportiert werden und so in speziellen Auswertungs- und Statistikprogrammen weiter verarbeitet werden.

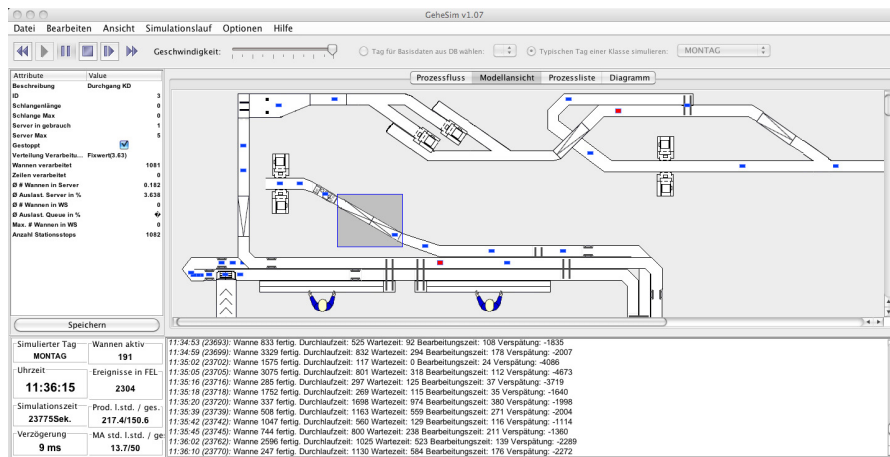


Abbildung 2: Simulationsanwendung – Modellansicht

## 4 Kalibrierung und Validierung mit Realdaten

Wegen der hohen Zuverlässigkeitsansprüche an die Prozesse ist eine hohe Aussagekraft der Simulationsanwendung sehr wichtig. Daher wurde auf die ergebnisbezogene Validierung besonderer Wert gelegt. Um Überanpassungen zu vermeiden wurden die zur Verfügung stehenden Daten in Kalibrierungs- und Testdaten aufgeteilt.

Für die Bedienzeiten der einzelnen Stationen wurden mittels *maximum-likelihood*-Verfahren Verteilungen geschätzt, meist erwiesen sich Lognormal-Verteilungen als passend. Neben der Anzahl bearbeiteter Zeilen pro Mitarbeiterstunde ist für die Projektpartner die Pünktlichkeit, mit der die fertig verarbeiteten Wannen an der Auslieferungsrampe ankommen, eine wichtige Kennzahl. Während dies in der Simulation leicht zu messen ist, wird sie von *Gehe* nur in Ausnahmefällen nachgehalten – nämlich wenn eine Wanne nicht rechtzeitig fertig bearbeitet wird. Die Anwendung berechnet weitere Kennzahlen wie Serverauslastung, Bearbeitungs- und Wartezeiten, die allerdings in der *Gehe*-Niederlassung nicht genutzt werden.

An einem typischen Wochentag bearbeitet die Niederlassung ca. 3.500 bis 4.000 Wannen mit 25.000 bis 35.000 Auftragspositionen.

Die Validierungsschritte ergaben, dass die Anwendung sowohl bestehende Betriebstage nachvollziehen als auch typische Betriebstage simulieren kann.

## 5 Anwendung zur Verbesserung der Logistikprozesse

Die Vorstellung einiger der untersuchten Szenarien beginnt mit der Evaluierung verschiedener Verfahren zur Einlastung der Wannen ins System. Anschließend wer-

den einige Heuristiken zur Wahl der nächsten zu bearbeitenden Wanne an den Handstationen überprüft. Schließlich werden noch die Auswirkungen von Veränderungen der Automatenquote betrachtet.

Als Untersuchungszeitraum wird jeweils der Zeitraum von 10.00 bis 14.00 Uhr an einem typischen Wochentag gewählt, da in diesem Zeitraum der Großteil der Bestellungen eingeht.

## 5.1 Festlegung der Einlastreihenfolge

Bislang werden die Wannens ins System eingelastet, sobald der Auftrag angenommen wird. Ist das System bereits ausgelastet, wird eine *First Come First Serve*-Warteschlange (*FCFS*) gebildet. Ausgangspunkt für die betrachteten Alternativen ist das Bündeln der Aufträge, die während einer bestimmten Zeitperiode angenommen werden. Diese Bündel werden entweder nach dem Auslieferungszeitpunkt sortiert ins System eingelastet (Heuristik *ALZP*), oder zusätzlich noch die voraussichtliche Durchlaufzeit im System beachtet (Heuristik *ALZP-DLZ*, hier wird nach der Differenz aus Auslieferungszeitpunkt und geschätzter Aufenthaltsdauer sortiert). Als Bearbeitungsreihenfolge der Wannens an den Handstationen wird *FCFS* gewählt, da sonst durch die sofortige Neupriorisierung dort die Einlastreihenfolge nicht relevant bleibt.

Obwohl sich schon ab einer Bündelungsperiode von einer Sekunde die Reihenfolge der Wannens ändert, sind die Auswirkungen auf die Kennzahlen nicht signifikant (siehe Abb. 3 und Tab. 1). Auch wenn sich die Wannens wegen der dort verwendeten *FCFS*-Heuristik innerhalb einer Station nicht überholen können, ist dies außerhalb durch das Anfahren verschiedener Stationen möglich. Daher wird offenbar schon frühzeitig die bei der Einlastung vorgesehene Reihenfolge zerstört, so dass auch der positive Effekt auf die Kenngrößen verloren geht.

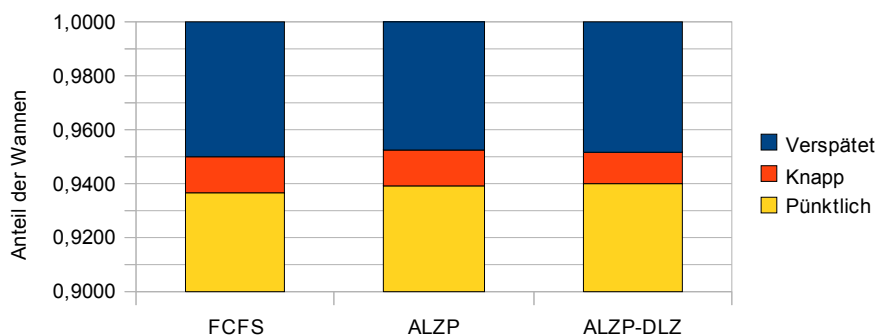


Abbildung 3: Variation der Einlastreihenfolge

Die Automaten, die von der Veränderung der Einlastung direkt betroffen sind, bilden keinen Engpass, so dass sich mögliche Verbesserungen hier kaum auswirken.

Im Folgenden wird daher die Möglichkeit untersucht, alle Aufträge sofort einzulasten und dann mithilfe von geeigneten Heuristiken an den Handstationen knappe Wannens ggf. vorzuziehen.

	<i>FCFS</i>	<i>ALZP</i>	<i>ALZP-DLZ</i>
% verspätet	4,99	4,74	4,78
% knapp	1,30	1,30	1,20
Ø Bedienzeit	132,5	132,8	131,8
Ø Wartezeit	388,4	383,2	374,2

Tabelle 1: Variation der Einlastreihenfolge

## 5.2 Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge

Bislang ist die Bearbeitungsreihenfolge der Wannen an einer Station dem jeweiligen Mitarbeiter überlassen, der sich eine beliebige Wanne aus der Warteschlange seiner Station nehmen kann. Der Mitarbeiter verfügt über lokale Informationen über den Startzeitpunkt der Auslieferungstour, der jeweils auf den Wannen vermerkt ist.

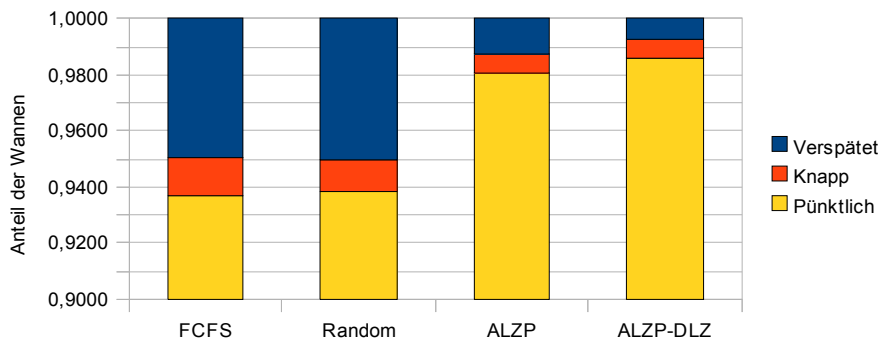


Abbildung 4: Variation der Bearbeitungsreihenfolge

Hier wurde eine Reihe von Heuristiken auf ihre Eignung untersucht: Eine randomisierte Auswahl, das Vorgehen gemäß dem *FCFS*-Prinzip, die Wahl der Wanne mit dem nächstliegenden Auslieferungszeitpunkt (Heuristik *ALZP*) und zuletzt die Berücksichtigung sowohl des Auslieferungszeitpunktes als auch der noch zu erwartenden Bearbeitungs- und Wartezeiten (Heuristik *ALZP-DLZ*).

	<i>FCFS</i>	<i>Random</i>	<i>ALZP</i>	<i>ALZP-DLZ</i>
% verspätet	4,99	4,87	1,24	0,80
% knapp	1,30	1,15	0,07	0,06
Ø Bedienzeit	132,5	132,0	132,4	132,8
Ø Wartezeit	388,4	382,4	385,1	365,3

Tabelle 2: Variation der Bearbeitungsreihenfolge

Offenbar bringt die Bearbeitung in einer randomisierten Reihenfolge im Vergleich zum Standardfall (Bearbeiten per *FCFS*, Einlasten per *FCFS*, Automatenanteil

52 %) kaum Vorteile, während die Beachtung der Auslieferungszeitpunkte einen Rückgang der verspäteten Wannen um ca. 75 % und der knappen Wannen um ca. 95 % mit sich bringt (siehe Abb. 4 und Tab. 2). Die zusätzliche Beachtung der geschätzten Durchlaufzeit verbessert das Ergebnis nochmals, so dass ca. 84 % der im Standardfall verspäteten Wannen die Auslieferungsrampe rechtzeitig erreichen.

Mithilfe der bereits an den Wannen aufgedruckten Abfahrtszeitpunkte kann die *ALZP*-Heuristik vor Ort ohne zusätzliche Kosten angewandt werden. Für die Nutzung von *ALZP-DLZ* ist ein gewisser Aufwand nötig, da ein Onlineinformationssystem für die Mitarbeiter eingerichtet werden müsste.

### 5.3 Erhöhung des Automatenanteils

Weiterhin wurden die Auswirkungen der Erhöhung des Anteils der automatisch kommissionierten Auftragspositionen untersucht. Die große Lösung ist hier die Anschaffung eines dritten Bestückungsroboters. Der dazu notwendige Aufwand wäre sehr groß, da u.a. bauliche Veränderungen an der Halle vorgenommen werden müssten. Daher wurde zusätzlich untersucht, wie sich die Kennzahlen bei einer geringen, mglw. durch Optimierung der bestehenden Maschinenbestückung erreichbaren Erhöhung der Automatenquote um 2 % bzw. 5 % verändern. Als Einlastreihenfolge wurde *FCFS* verwendet, die Bearbeitungsreihenfolge wurde durch die Heuristik *ALZP* bestimmt.

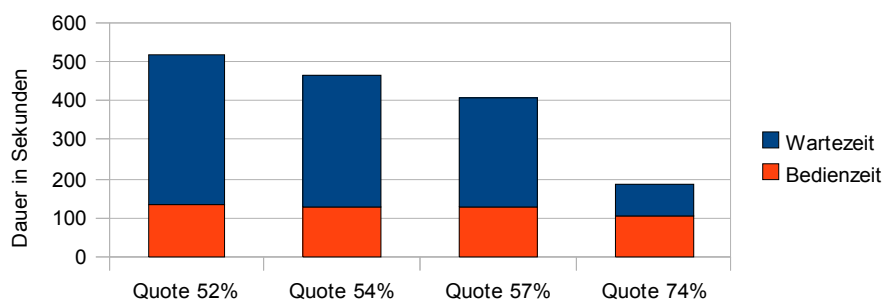


Abbildung 5: Variation des Automatenanteils

Da aus den vorliegenden Stammdaten nicht exakt hervorging, welche Medikamente für die Lagerung in den Maschinen ungeeignet sind, wurde angenommen, dass neben den 5.000 bereits in den Maschinen untergebrachten Medikamenten die jeweils am nächst häufigst verlangten zusätzlich in den Maschinen untergebracht werden sollen. Für die Anschaffung einer dritten Bestückungsmaschine erhöht sich so die Automatenquote von 52 % auf 74 %.

Die Ergebnisse (siehe Abb. 5 und Tab. 3) zeigen ein klares Absinken der Warte- und Bedienzeiten im Vergleich zum Standardfall. Weitere Experimente haben gezeigt, dass die Werte auch zwischen anderen Messpunkten linear sinken.

Bei einer Erhöhung der Automatenquote durchlaufen die einzelnen Wannen weniger Handstationen. Da die Bearbeitungszeit am Automaten nahezu konstant und wesentlich geringer ist, sinken ihre Warte- und Bedienzeiten. Die durchschnittliche Warte-

zeit aller Wannen sinkt zusätzlich, da sich die Wartezeiten für die an den Stationen verbliebenen Wannen durch die Verkürzung der Warteschlangen um die weggefallenden Wannen weiter senken. Ihre Bedienzeiten dagegen bleiben gleich.

Vorhandener Spielraum zum auch nur geringen Erhöhen der Automatenquote sollte also genutzt werden.

	<i>Quote 52 %</i>	<i>Quote 54 %</i>	<i>Quote 57 %</i>	<i>Quote 74 %</i>
<i>% verspätet</i>	1,24	0,59	0,28	0,04
<i>% knapp</i>	0,71	0,51	0,43	0,23
<i>Ø Bedienzeit</i>	132,4	129,3	125,8	104,5
<i>Ø Wartezeit</i>	385,1	336,5	281,7	82,1

*Tabelle 3: Variation des Automatenanteils*

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Auf der Basis einer ausführlichen Systemanalyse wurde ein prozessbasiertes Modell der Kommissionierungs- und Logistikprozesse eines Pharmagroßhandels erstellt, implementiert und validiert. Die so entstandene Simulationsanwendung wurde eingesetzt um die Auswirkungen von geplanten Veränderungen zu untersuchen und eine Reihe von Heuristiken vor dem Feldeinsatz auf ihre Eignung zu prüfen.

In einem zukünftigen Teilprojekt soll mit Hilfe von Methoden der kombinatorischen Optimierung die Positionierung der Medikamente in den Bestückungsautomaten und den Regalen der Handstationen verbessert und die Ergebnisse mit der Simulationsanwendung auf ihre Anwendbarkeit überprüft werden.

In das entstandene Framework können zudem andere Modelle aus dem Bereich Produktion und Logistik eingesetzt werden.

## Literatur

WERTH, Felix; BECKERS, Martin; ULLRICH, Oliver: Modellierung und Simulation eines Pharmagroßhandels. In: ASIM-Treffen 2010 - Simulation technischer Systeme und Grundlagen und Methoden in Modellbildung und Simulation. Hrsg.: COMMERELL, Walter. Ulm: ASIM, Hochschule Ulm, 2010, S. 141-146.