



Analyse und Implementierung kombinatorischer Verfahren zur Optimierung komplexer Systemtestabläufe für Netzwerkkomponenten

Diplomarbeit

zur Erlangung des Grades eines Diplom-Wirtschaftsingenieurs
der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fakultät für Maschinenbau und
Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Rickenberg



Vorname: Tim



Erstprüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den 06.08.2010

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis	VII
1. Einleitung	1
2. Problem- und Aufgabenstellung	4
2.1 Beschreibung der Aufgabenstellung und Problemlösungszyklus	4
2.2 Unternehmensprofil KEYMILE GmbH	7
2.3 Darstellung relevanter Prozesse und Abläufe	8
2.4 Vorgehensweise bei manueller Ressourceneinsatzplanung	10
2.5 Ziele einer automatisierten Umsetzung	16
3. Darstellung der Ausgangssituation und Modellerstellung.....	19
3.1 Aufbau der bestehenden IT-Landschaft	19
3.2 Quantifizierung der Optimierungsdaten	29
3.3 Identifikation der systemrelevanten Einflussgrößen.....	31
3.4 Formulierung eines mathematischen Modells.....	34
4. Theoretisches Fundament – Ansätze zur Lösung des Problems.....	40
4.1 Einführung in die Theorie des Scheduling und Timetablings	40
4.2 Exakte Lösungsverfahren.....	41
4.3 Heuristische Verfahren und künstliche Intelligenz	46

4.3.1	Graph Coloring	48
4.3.2	Künstliche Intelligenz und Soft Computing	50
4.3.3	Nachbarschaftssuche	54
4.3.4	Schwarmintelligenz	60
4.3.5	Genetische Algorithmen	64
4.3.6	Hybride Algorithmen und Hyper Heuristiken	66
5.	Auswahl und Implementierung eines Lösungsansatzes	68
5.1	Auswahl eines Lösungsansatzes und Begründung der Wahl	68
5.2	Erforderliche Anpassungen an dem Datenbanksystem	71
5.3	Vorgehensweise bei der Softwareentwicklung	82
5.4	Softwaretechnische Aspekte der implementierten Lösung	85
6.	Darstellung und Bewertung der implementierten Lösung	93
6.1	Darstellung der implementierten Lösung aus Anwendersicht	93
6.2	Analyse und Bewertung von Scheduling-Ergebnissen	109
6.3	Kosten-Nutzen Analyse der Lösung	118
7.	Fazit und Ausblick	125

Literaturverzeichnis

Anhang A

Anhang B

Ehrenwörtliche Erklärung

1. Einleitung

Die aus der Wirtschaftsinformatik bekannten Informationssysteme (IS) bzw. Anwendungssysteme (AS) werden in Unternehmen unter anderem dazu verwendet, komplexe Aufgaben automatisiert zu lösen. Oft können so umfangreiche praktische Probleme und manuell stattfindende Prozesse mit Hilfe von Informationstechnik (IT) effizienter und wirtschaftlicher gestaltet werden. Zu diesen praktischen Anwendungsproblemen gehören auch Optimierungsaufgaben im Allgemeinen und die kombinatorische **Optimierung** im Speziellen, welche zu den schwer lösbaren Problemen im Sinne des Operations Research (OR) gehören. Dabei dienen die OR-Methoden der Entscheidungsunterstützung bei komplexen und umfassenden Optimierungsaufgaben und ermöglichen die Generierung von Einsparungspotentialen und kostensenkenden Maßnahmen durch schlankere Geschäftsprozesse und Abläufe. So können Unternehmen durch den Einsatz von Optimierungssystemen ihre Prozesse optimieren, um dadurch effizienter und wirtschaftlicher operieren zu können.

In dieser Arbeit sollen Optimierungsverfahren eingesetzt werden, um ein praktisches Problem eines Herstellers von Netzwerkkomponenten durch die Implementierung eines Anwendungssystems zu lösen. Das Ziel bzw. die **Aufgabenstellung** dabei ist es, ein Konzept zu erarbeiten und dieses möglichst zu implementieren, welches die manuelle Ressourceneinsatzplanung für komplexe Systemtestabläufe von Netzwerkkomponenten durch eine automatisierte und IT-gestützte Lösung ersetzt. Mittels der Optimierung der Reihenfolge von Tests unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen und der zur Verfügung stehenden Ressourcen sollen die Tests reibungsloser und schneller abgewickelt werden können. Die betriebswirtschaftliche Relevanz der Aufgabenstellung ergibt sich aus den Einsparungsmöglichkeiten, die aus der Optimierung resultieren. Die Vielschichtigkeit der Aufgabe verlangt nach einer systematischen und strukturierten Herangehensweise bei ihrer Bearbeitung. Im Folgenden wird eine Übersicht über die einzelnen Kapitel und die zugrundeliegenden Arbeitsschritte gegeben:

Im Anschluss an die Einleitung beginnt die vorliegende Arbeit im **zweiten Kapitel** mit der Erläuterung der Problemstellung. Anhand eines Problemlösungszyklus wird die Aufgabenstellung beschrieben und Arbeitspakete werden abgeleitet. Da diese Arbeit in Kooperation mit der KEYMILE GmbH entstanden ist, wird das Unternehmen kurz vorgestellt und im Anschluss daran die unternehmensspezifischen Abläufe und Prozesse umrissen. Weiterhin wird an einem Beispiel die bisherige manuelle Ressourceneinsatzplanung erläutert, welche den Ist-Zustand im Unternehmen darstellt. Letztendlich werden in dem Kapitel die Ziele einer neu implementierten, automatisierten Lösung in Form eines Anwendungssystems vorgestellt.

Im **dritten Kapitel** wird die informationstechnische Ausgangssituation beschrieben und die Formulierung des Problems in einem mathematischen Modell vorgenommen. Als Informationsquelle dient eine Datenbank, in der ein großer Teil der optimierungsrelevanten Testdaten gehalten wird. Einführend werden der Aufbau der bestehenden IT-Infrastruktur mit den relevanten Systemen beschrieben und mit Hilfe der Unified Modeling Language (UML) die Zusammenhänge der Testdaten strukturiert abgebildet. Um das Optimierungsproblem quantifizieren zu können, werden statistische Kennwerte über die zugrunde liegenden Daten angegeben. Im Anschluss daran werden wichtige optimierungsspezifische Einflussgrößen identifiziert und untersucht, um dann schließlich die Optimierungsaufgabe formal in einem Modell abzubilden.

Das **vierte Kapitel** stellt einen theoretischen Abschnitt dieser Arbeit dar und widmet sich den OR-spezifischen Lösungsverfahren für Optimierungsaufgaben, auf die in der anschließenden praktischen Umsetzung zurückgegriffen wird. Der Einstieg in das Kapitel erfolgt über einen kurzen Abriss über die Ressourceneinsatzplanung, dem sogenannten Scheduling. Im Anschluss daran werden verschiedene exakte Verfahren zur Lösung von OR-Aufgaben dargestellt. Mit einer umfassenden Übersicht über approximative Verfahren zur Lösung komplexer Aufgaben in Form von sogenannten Heuristiken wird das Kapitel abgeschlossen. Insbesondere in diesem Kapitel wurden die vorgestellten Lösungsansätze mit Verweisen auf die bearbeitete und weiterführende Literatur versehen.

Im **fünften Kapitel** wird die Realisierung bzw. Implementierung eines lauffähigen Demonstrators und das zugrunde liegende Softwareengineering vorgestellt. So wird zuerst die Auswahl und die Tauglichkeit der verschiedenen Lösungsansätze auf Basis von Kapitel vier diskutiert. Anschließend werden die erforderlichen informationstechnischen Anpassungen und Erweiterungen an dem bisherigen Datenbanksystem detailliert dargestellt. Das praktische Vorgehen bei der Softwareentwicklung wird anhand des eingesetzten Vorgehensmodells erläutert. Schließlich werden die softwaretechnischen Aspekte des Prototypen in Form der Datenflüsse, Schnittstellen, Abläufe und den algorithmischen Strukturen beschrieben.

Das **sechste Kapitel** dient der Darstellung und Bewertung der realisierten Lösung aus der Sicht des Nutzers. Mit Hilfe von Screenshots wird die grafische Oberfläche des Programms dargestellt und die Abfolgen innerhalb des Programms abgebildet. Im Anschluss daran werden die durch das Anwendungssystem generierten Ergebnisse näher betrachtet und analysiert sowie das Optimierungspotential und die Laufzeiten anhand von Benchmarks mit Realdaten bestimmt und in Relation mit der Problemgröße gesetzt. Abschließend wird eine Kosten-Nutzen-Analyse

durchgeführt, die Aufschluss darüber geben soll, ob die Einführung einer operativen Version des Anwendungssystems als sinnvoll zu bewerten ist.

Die Arbeit schließt mit einem **Fazit**, in dem die zentralen Aussagen und Erkenntnisse der vorhergehenden Kapitel resümiert werden. Weiterhin erfolgt eine selbstkritische Würdigung der erarbeiteten Umsetzung. Ein Ausblick zeigt auf, welche Aspekte für weitere Untersuchungen und zukünftige Arbeiten interessant sind und wie weiter verfahren werden sollte.

Bedingt durch die Nutzung einer Vielzahl von englischsprachigen Quellen, dem großen Umfang an **englischen Fachbegriffen** innerhalb des Operations Research und der multinationalen Komponente der KEYMILE GmbH werden in dieser Arbeit bestimmte Fachbegriffe unübersetzt genutzt. Außerdem werden mitunter für eine bessere Lesbarkeit englischer Begriffe und zur Sicherstellung einer konsistenten Notation die sonst im Deutschen üblichen Bindestriche ausgelassen.

In dieser Arbeit wird die bestehende Aufgabenstellung intensiv nach theoretischen und praktischen Aspekten bearbeitet. Zum einem soll dadurch die wissenschaftliche Relevanz dieser Arbeit gewährleistet werden, zum anderen soll die praktische Aufgabenstellung umfassend für das Unternehmen bearbeitet und gelöst werden. Durch die Vereinigung der zwei Gesichtspunkte, wissenschaftliche Orientierung und pragmatischer Lösungsbezug, resultiert der **Umfang der vorliegenden Arbeit**. Hinzu kommt die Vielschichtigkeit der Aufgabenstellung, welche auch aus der Interdisziplinarität der Wirtschaftsinformatik und des Operations Research resultiert. Je nach fachlicher Ausrichtung und Interessen des Lesers können einige Abschnitte dieser Abhandlung weniger oder stärker intensiv studiert werden.

7. Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, ob der komplexe Planungsprozess und die zeitaufwändige Durchführung von Systemtestabläufen durch die Entwicklung eines Optimierungssystems effizienter gestaltet werden können. Die einzelnen Schritte zur Bearbeitung dieses umfassenden und interdisziplinären Optimierungsproblems sind in Abbildung 60 skizziert. Es wurde deutlich, dass eine systematische und schrittweise Vorgehensweise erforderlich war, um bei der Bearbeitung der Aufgabe nicht zu scheitern. Als **Zwischenergebnis** der Problemanalyse konnte herausgestellt werden, dass das betrachtete Anwendungsproblem umfangreich und vielschichtig ist, woraus auch die schwere manuelle Planbarkeit resultiert. Durch die (informationstechnische) Ist-Analyse und der Strukturierung der Daten wurden die optimierungsrelevanten Größen herausgearbeitet. Um erfolgsversprechende Planungsergebnisse sicherzustellen zu können, waren umfangreiche Informationen zu beachten und in die Optimierung mit einzubeziehen. Mit Hilfe der Modellierung wurde das Realproblem in einem formalen Modell abgebildet und damit in eine durch OR-Methoden lösbare Sprache transferiert. In der theoretischen Basis zur Lösung des Problems wurde aufgezeigt, dass eine Vielzahl an Optimierungsverfahren existiert, die jeweils spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Im Anschluss daran konnte anhand der Charakteristika des spezifischen Problems die Auswahl von algorithmischen Strukturen zur Optimierung erfolgen. Die datentechnischen Anpassungen und Erweiterungen der Datenbank, die softwaretechnische Realisierung des Anwendungssystems und die dabei zugrunde liegende Vorgehensweise wurden nachvollziehbar beschrieben. Analog zu einer Nutzerdokumentation wurden letztendlich die implementierte Softwarelösung sowie die Abläufe und Funktionen dieser Lösung dargestellt und durch Benchmarks bewertet. Mit einer abschließenden Kosten-Nutzen-Analyse wurde das betriebswirtschaftliche Ergebnis dieser Arbeit dargestellt.

Als **Resümee** dieser Arbeit ist herauszustellen, dass durch die Anwendung von IT-gestützten Optimierungsverfahren die Effizienz der Testabwicklung deutlich gesteigert werden konnte und dadurch monetäre Einsparungspotentiale generiert wurden. Zum einem resultieren diese Einsparungsmöglichkeiten aus der reibungsloseren und schnelleren Abwicklung der Systemtests und allen damit verbundenen Vorteilen, zum anderen resultiert eine Verringerung des Aufwands zur manuellen Ressourceneinsatzplanung durch die Automatisierung des Planungsprozesses. Alleine durch die effizientere Abwicklung der Tests ergibt sich ein durchschnittliches Optimierungspotential von 25%, was bedeutet, dass ein Viertel der sonst benötigten Zeit eingespart werden kann.

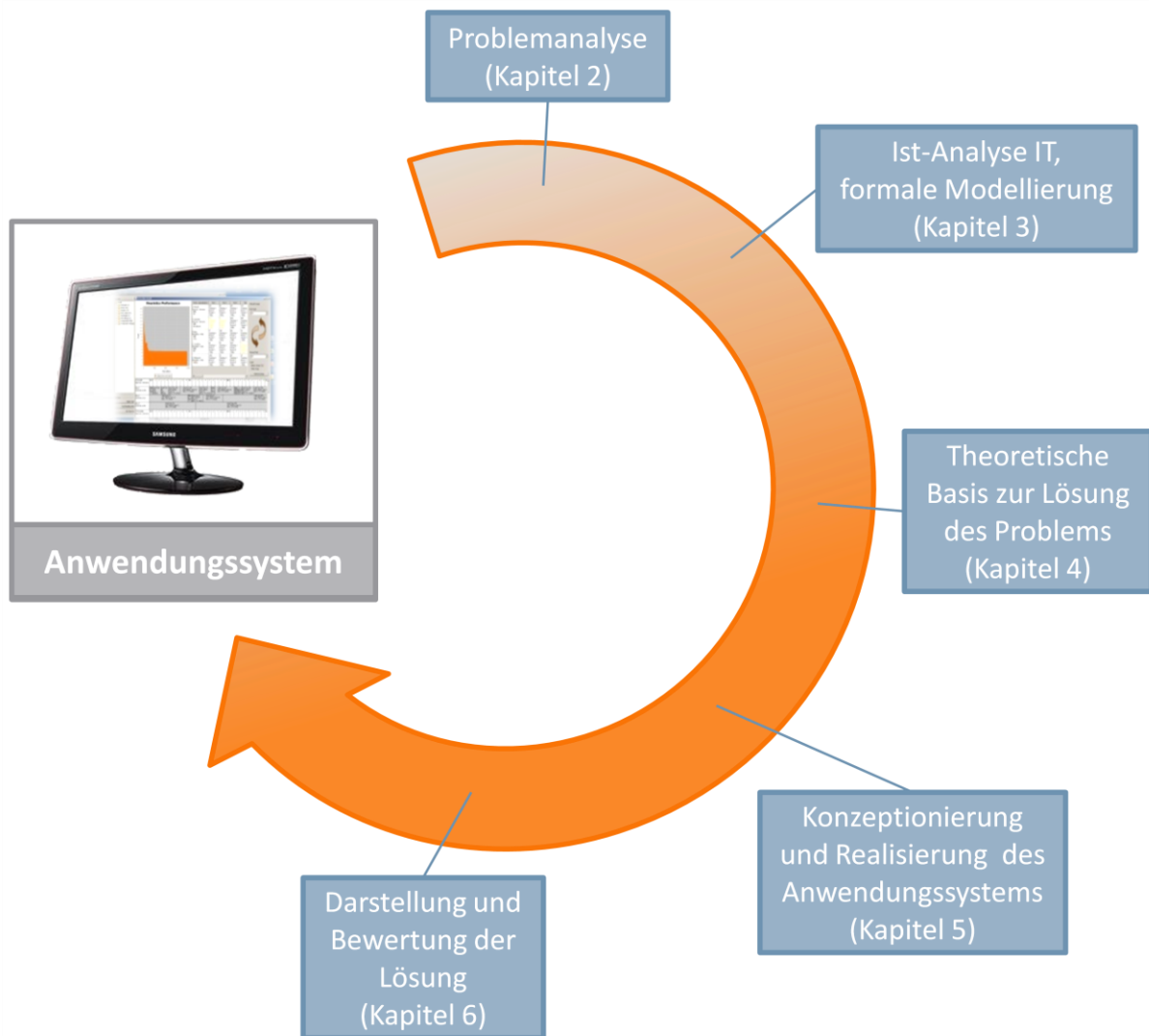


Abbildung 60: Systematische Implementierung des Optimierungssystems

Anhand der verfassten Kapitel und den darin bearbeiteten Arbeitsschritten wird die Vorgehensweise bei der Realisierung des Anwendungssystems dargestellt. Das zyklische Vorgehen deutet einen Kreislauf an, der im Sinne des Software-Lebenszyklus mehrmals zur Weiterentwicklung des Anwendungssystems durchlaufen werden kann. Um den Software-Lebenszyklus zu vervollständigen, fehlen noch die Einführung und die Wartung des Systems, welche in dieser Arbeit nicht behandelt wurden und als Ausblick zu verstehen sind. (Eigene Darstellung)

In der **selbstkritischen Würdigung** ist anzumerken, dass die Implementierung eines operativen Anwendungssystems nicht vollständig abgeschlossen wurde. Bei der erstellten Software handelt es sich um einen Demonstrator, der in beinahe allen Teilen lauffähig und performant ist. Wie es bei Softwareprodukten üblich ist, kann die vollständige Fehlerfreiheit jedoch nicht garantiert werden. Zudem ist die Zuweisung bzw. Allokation der Komponenten noch nicht implementiert, jedoch wurde diese bereits vorbereitet. Die dazu nötige Definition aller Topologien konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht fertiggestellt werden. Ein erfolgskritischer Aspekt ist auch die Akzeptanz der Software durch

den eigentlichen Nutzer, der in der Regel ein Test Manager oder ein Tester ist. Nach der Einführung des Anwendungssystems sollte der Anwender dieses nicht als Konkurrenz zu der manuellen Planung auffassen, vielmehr sollte es als nützliches Hilfsmittel zur Effizienzsteigerung verstanden werden. Letztendlich wurde die eigentliche Aufgabe dieser Arbeit vollständig und erfolgreich umgesetzt. Das weitere Vorgehen bezüglich der Optimierung sollte auf Basis der vorliegenden Arbeit und der erarbeiteten Erkenntnisse erfolgen.

Als **Ausblick** für die weitere Vorgehensweise ist die Weiterentwicklung des Prototypen zu einem operativen Anwendungssystem zu nennen. Dabei sollte auf das Konzept, als auch auf die algorithmischen Strukturen des erarbeiteten Prototypen zurückgegriffen werden und auf dieser Basis eine fertige Software generiert werden. Im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse wurden die dazu nötigen Schritte aufgezeigt und monetär bewertet. Aus der praktischen und theoretischen Sichtweise dieser Arbeit ergibt sich ein Nutzen für die KEYMILE GmbH und auch für die wissenschaftliche Gemeinschaft. Zum einem sind dies die für das Unternehmen relevanten Einsparungspotentiale, die durch die realisierte Softwarelösung generiert werden. Zum anderen ist dies die entwickelte theoretische Vorgehensweise zur Lösung von komplexen Optimierungsproblemen in einem mehrstufigen Verfahren. Die Vorgehensweise entsprechend dem vorgeschlagenen MOSAP-Algorithmus (Multi-Objective Scheduling and Assignment Procedure) kann auf andere Probleme übertragen werden, die sich durch eine multikriterielle Optimierung der Ressourceneinsatzplanung kennzeichnen. Außerdem ist zu nennen, dass durch das Anwendungssystem weitere Einsparungspotentiale eröffnet werden. So besteht die Möglichkeit zur Automatisierung der Testdurchführung, die durch das Unternehmen langfristig angestrebt wird. Bezüglich des weiteren Vorgehens ist auch das Vorantreiben der Integration der Anwendungssysteme sehr interessant. Da der entwickelte Prototyp ebenso wie die anderen Softwarelösungen auf der Programmiersprache Java basieren, ist das Zusammenführen der Systeme leicht durchführbar.