

Universität Salzburg – Fachbereich: Angewandte Informatik

# Ablauforgansiations- managementsysteme

Wie immer geht es um Zeit...

## Inhalt

Vorwort .....	3
Einleitung.....	3
Methoden.....	4
Anforderungen .....	4
Klassische Methoden.....	5
FIFO / Queues.....	5
Priority Queues.....	5
LIFO / Stack.....	5
LRU.....	5
SJF .....	5
Greedy .....	5
Round Robin .....	6
Moderne Methoden.....	6
Schwarmintelligenz / Selbstorganisation [1].....	6
Person – Rolle – Aufgabe [3] .....	8
Auktionsmodell [4] .....	10
Anwendungsgebiete.....	11
Ausbaumöglichkeiten .....	11
Schlusswort .....	12
Themenverwandte Arbeiten .....	12

## Vorwort

Obwohl dieses Thema schon sehr gut untersucht ist habe ich mich entschieden es doch noch einmal zu beleuchten, da sich die Anwendungsgebiete sowohl in der Informatik als auch bei Gebieten, die sich der Informatik nur als Hilfsmittel bedienen ständig weiterentwickeln und verändern.

Ein ständiger Anpassungsprozess in diesem Bereich kann also wie man im Laufe meiner Arbeit sehen kann durch aus noch Geschwindigkeitsgewinne bringen. Die Hauptmotivation dieser Arbeit liegt aber im beleuchten der Eigenschaften, sowie der Effizienz verschiedener althergebrachter wie auch neuartiger Methoden im Bezug auf bestimmte Anwendungsgebiete.

## Einleitung

Diese Arbeit soll einen Überblick über existierende Ablauforganisationsmanagementsysteme geben und ihre Anwendbarkeit hinsichtlich ihrer Beschaffenheit und bezogen auf spezielle Themengebiete beleuchten.

In den folgenden Kapiteln werden zuerst die Methoden, die sich momentan in Forschung oder auch produktiv im Einsatz befinden erläutert. Anschließend werden einige komplexere Ansätze der Ablauforganisation gefolgt von möglichen künftigen Ansätzen die noch vermehrt Forschungspotenzial beinhalten beschrieben.

Vorweg will aber noch betont werden, dass das Ziel dieser Arbeit keinesfalls die Bewertung oder Veranschaulichung diverser Methoden vielmehr aber die Beleuchtung der Eigenschaften selbiger ausmacht.

## Methoden

Es existieren bereits seit einiger Zeit viele Methoden und Mechanismen um Abläufe zu organisieren bzw. Aufgaben zuzuweisen. Bevor diese hinsichtlich ihrer Eigenschaften beschrieben werden können, sollte man sich einmal fragen welche Anforderungen an einen solchen Mechanismus überhaupt gestellt werden.

## Anforderungen

Die Ziele solcher Systeme sind nicht ganz klar definiert, da jedes Anwendungsgebiet Schwerpunkte im Bezug auf die Prioritäten der Teilziele setzt.

Im Prinzip geht es aber immer darum eine passende Mischung aus den folgenden Teilzielen zu finden. Die Aufgaben sollen möglichst so verteilt werden, dass die Ressourcen möglichst wenig beansprucht werden, die Gesamtabarbeitungszeit der Aufgaben minimiert wird, aber auch dass einzelne Aufgaben nicht ewig lange auf ihre Fertigstellung warten müssen.

Ein kontrastreiches Beispiel um die Phrase: „... passende Mischung der folgenden Teilziele ...“ näher zu erläutern könnte sein:

*Eine CPU eines PC's hat die Aufgabe möglichst allen Prozessen zumindest ähnlich viel Rechenzeit zur Verfügung zu stellen, um dem Benutzer zu vermitteln, dass viele Prozesse scheinbar gleichzeitig abgearbeitet werden können und muss gleichzeitig dafür sorgen, dass nicht zu viel zwischen den Prozessen gewechselt wird um sogenannte Deadlock-Phänomene zu vermeiden.*

*In einem anderen Szenario soll das Ablauforganisationssystem sich darum kümmern, dass möglichst wenig Teile bei einer Fließbandfertigungsstraße gelagert werden müssen, trotzdem aber immer alle Fertigungsstationen genügend Material haben, damit das Ganze Werk rund um die Uhr die gewünschten Endprodukte fertigen kann. Das System soll die Belieferungspläne der einzelnen Stationen erstellen.*

In dem CPU-Beispiel hat Gleichberechtigung einen hohen Stellenwert, während bei der Fertigungsstraße diejenige Station die höchste Priorität genießen sollte, die in Relation zur Verarbeitungsfrequenz der Grundstoffe im Moment am wenigsten Teile zur Verfügung hat und von deren Zwischenprodukt am meisten andere Stationen abhängig sind. Man kann also gut erkennen, dass hier zwei völlig unterschiedliche Ziele verfolgt werden, wenn auch im großen Ganzen dieselbe Basisaufgabe zu Grunde liegt.

Weitere Teilaspekte, die man bei der Wahl eines Ablauforganisationssystems berücksichtigen sollte sind die Zeit die das System für bestimmte Entscheidungen zur Verfügung hat, oder ob ein menschliches Kontrollorgan im Betrieb Einfluss nehmen kann oder nicht. Ein Beispiel wo die Zeit eine wichtige Rolle spielt wäre die Reihenfolge der Start- und Landeereignisse eines Flughafens.

## Klassische Methoden

Im Folgenden werden einige sehr einfache und zum Teil auch alte Methoden erläutert, die in bestimmten Bereichen aber immer noch Anwendung finden, weil sie einfach zu implementieren sind und meist schnell zu einer Lösung führen.

### FIFO / Queues

Diese Abkürzung steht für „First in First out“ und bedeutet nichts Anderes, als das die erste Aufgabe die über die Eingangskanäle in das Ablauforganisationssystem gelangt auch als erste den jeweiligen Ressourcen zugewiesen wird.

Eine „Queue“ ist nichts anderes als eine Warteschlange und somit ein Konstrukt, das sich der FIFO-Methode bedient und zum Beispiel heute noch bei Druckern eingesetzt wird.

### Priority Queues

Die Prioritätswarteschlange kann man sich vorstellen wie eine Warteschlange bei denen sich gewisse Teilnehmer vordrängeln dürfen, solange sie wichtiger sind als diejenigen vor ihnen.

Diese Variante von Warteschlangen hat unter Anderem beim Routing im Internet ihre Brauchbarkeit bewiesen.

### LIFO / Stack

Die „Last in First out“ – Methode funktioniert sehr ähnlich wie FIFO mit dem Unterschied, dass immer die letzte Aufgabe die ins System gelangt als erstes zugeteilt wird.

Die Übersetzung von „Stack“ lautet Stapel oder Schacht und bedeutet, dass man eingehende Aufgaben zu einem Schacht aufstapelt. Die letzte eingehende Aufgabe kommt also ganz oben auf den Stapel. Das Prinzip ist also gleich wie bei LIFO, jedoch ist LIFO eine Methode und ein „Stack“ ein Konstrukt.

„Stacks“ werden zum Teil in Taschenrechnern eingesetzt.

### LRU

„Least Recently Used“ bedeutet im Kontext der Ablauforganisation, dass die bisher am wenigsten verwendete Ressource als nächster einer Aufgabe zugeordnet werden soll. Diese Methode findet in der Speicherverwaltung von Rechnern Anwendung.

### SJF

Bei der „Shortest Job first“ – Methode werden die vermeintlich kürzesten Aufgaben zuerst zugeordnet, was den Nachteil mit sich bringt vorausberechnen zu müssen wie lange eine Aufgabe dauern wird. Dieser Vorgang ist realistisch gesehen oft nicht nur unmöglich genau zu berechnen, sondern kostet selbst auch wiederum Zeit, die bei der Erfüllung der eigentlichen Aufgabe fehlt.

### Greedy

Beim sogenannten „Greedy Algorithm“ also dem „gierigen Algorithmus“ nimmt man an, dass lokale Optima auch zum globalen Optimum führen. Das stimmt natürlich nicht immer, aber in gewissen Anwendungsbereichen stimmt es statistisch genügend oft, was rechtfertigt warum es Sinn macht diesen Algorithmus zu verwenden.

## Round Robin

Beim „Round Robin“ – Verfahren kann man sich einen Kreis vorstellen, der die Gesamtzeit die eine Verarbeitende Einheit zur Verfügung hat darstellt. Jede Aufgabe dieser Einheit bekommt ein Kreissegment zugewiesen. Wenn die Zeit der sich die Einheit einer gewissen Aufgabe gewidmet hat zu Ende ist – unabhängig davon ob die Aufgabe erledigt ist oder nicht – widmet sich die Einheit der nächsten Aufgabe so lange bis deren Zeitsegment abgelaufen ist. Wenn eine Aufgabe erledigt ist oder eine neue Aufgabe hinzukommt werden die Zeitsegmente dementsprechend angepasst.

Dieses Verfahren wurde und wird oft bei CPU's verwendet, die so dem Anwender, weil der Vorgang dementsprechend schnell abläuft, das Gefühl geben können sich vielen Aufgaben gleichzeitig zu widmen.

## Moderne Methoden

Im letzten Kapitel wurden die klassischen Methoden näher Erläutert um einen Überblick zu geben, welche Mechanismen bisher verwendet werden und immer noch weit verbreitet sind, während in diesem neuartigere Ansätze Arbeit aufzuteilen, oder Ressourcen zur Verfügung zu stellen vorgestellt werden.

## Schwarmintelligenz / Selbstorganisation [1]

Ein solches Modell besteht aus Einheiten mit bestimmten Fähigkeiten, die Anhand von einfachen Verhaltensmustern kleine Teilaufgaben eines großen Ganzen erledigen, um gemeinsam ein höheres Ziel zu erreichen. Die Einheiten können entweder immer gleich agieren oder sich anhand des „erlebten“ oder „erlernten“ mit der Zeit anders Verhalten als zu Beginn der Aufgabe. Die Stichwörter „erlebt“ sowie „erlernt“ stehen deshalb unter Anführungszeichen, weil wir trotz aller Modellierung doch noch von digitalen und virtuellen Einheiten sprechen, die deshalb mit diesen Wörtern assoziiert werden, weil die Vorbilder für diese Modelle alle aus der Natur stammen wie zum Beispiel Ameisenstaaten oder Bienenvölkern.

Man unterscheidet prinzipiell zwei verschiedenen Arten von Rollen – heterogene und homogene Rollen. Bei Modellen mit heterogenen Rollen gibt es Einheiten mit von Haus aus unterschiedlichen Fertigkeiten oder Verhaltensmustern, während bei homogenen Rollen alle agierenden Einheiten mit demselben Wissen an den Start gehen. Bei komplexeren Systemen wie die Organisation eines Bienenvolkes findet die Variante der heterogenen Rollen Anwendung. Es gibt die Königin, die den Nachwuchs zeugt, die Arbeiterinnen die Blütenstaub sammeln, sich um den Nachwuchs kümmern die Behausung bauen und warten, Drohnen u.a.m.

Die einzelnen Individuen eines solchen Systems folgen prinzipiell einfachen Regeln, was diese Art von Modellen besonders spannend macht, weil eine Ansammlung von sehr einfachen Individuen in der Lage ist komplexe Aufgaben zu lösen. Aufgrund dieser Tatsache werden Schwarmintelligenzen seit einiger Zeit digital nachgebildet um verschiedenste Aufgaben zu lösen. Ein weiteres Beispiel aus der Natur wäre der Thunfisch – Schwarm.

Eine Ansammlung homogener Individuen folgt drei sehr einfachen Regeln:

- Entferne dich nicht zu weit von deinen Nachbarn
- Nähere dich nicht zu stark deinen Nachbarn
- Passe deine Schwimmrichtung einem Mittel all deiner direkten Nachbarn an.

Das alleine genügt schon um komplexe Manöver unter Wasser zu vollführen ohne das eine zentrale Intelligente Steuerungseinheit von Nöten wäre.

Eine weitere Eigenschaft, die für die Nachbildung solcher Systeme, die auf natürlichem Wege entstanden sind spricht ist, dass sie sehr robust und flexibel sind. Fällt selbst ein großer Anteil von Individuen aus irgendeinem Grund aus, ist der Rest doch noch dazu in der Lage weiter zu agieren oder an der momentanen Aufgabe zu arbeiten, während bei Systemen mit zentraler Intelligenz ein Ausfall ebendieser zum globalen Kollaps führt und dadurch eine weitere Aufgabenbearbeitung undenkbar wird.

Die digitalen Grundsätze auf denen Vorgänge wie „Entscheidungen treffen“ oder „Lernen“ basieren sind Grenzwertverfahren. Ein Individuum errechnet sich einen Wert für die Bereitschaft diese oder jene Teilaufgabe zu übernehmen. Jeder Aufgabe wird ein Wert zugeteilt, der den Grenzwert beschreibt, den ein Individuum erreichen muss um sich dieser Aufgabe zu widmen. Dieser Vorgang wird in diesem Kontext als „Entscheidung“ bezeichnet. Wenn eine Einheit nun öfter eine bestimmte Art von Aufgabe erledigt werden die Bereitschaftswerte für diese Art von Aufgabe erhöht, was dem „Lernen“ entspricht. Ein weiteres wichtiges Element ist das „Vergessen“. Wenn die Individuen in solchen Systemen nichts vergessen können, besteht die Gefahr, dass ein nicht idealer, finaler – also unabänderbarer - Zustand erreicht wird. Deshalb werden in solche Systeme Mechanismen eingebaut, die dafür sorgen, dass Individuen auch Dinge vergessen können. Dieser Vorgang entspricht bei Grenzwertverfahren der Verringerung der Bereitschaftswerte einer Einheit.

Auf diese Art und Weise entstehen aus Einheiten mit anfänglich gleichen Rollen verschiedene Individuen mit unterschiedlichen Fähigkeiten, die sich selbst organisieren und ohne Zutun einer globalen Intelligenz komplexe Aufgaben meistern können.

Ein Anwendungsbeispiel eines solchen Systems wäre die Realisierung einer Postfiliale [2] in einem Stadtbezirk. Die Postboten werden als Agenten (so nennt man die Individuen einer digitalen Implementierung solcher Systeme) modelliert und sind für die Zustellung sowie Abholung von Briefen und Paketen in verschiedenen Zonen des Stadtbezirks zuständig. Das System soll ermitteln welche Postboten in welchem Teil der Stadt eingesetzt werden sollen, wie der Dienstplan geändert wird, wenn ein bestimmter Postbote aus zum Beispiel Krankheitsgründen ausfällt, um eine Ressourcen schonende und effiziente Postfiliale zu betreiben.

Nun folgt eine kurze Zusammenfassung der Nach- sowie Vorteile solcher Systeme.

Nachteile dieser Art von Aufgabenbewältigung sind ...

- Unberechenbarkeit von Zeiten
  - Es ist nicht möglich mathematisch eindeutig zu errechnen wie schnell ein solches System eine bestimmte Aufgabe meistern wird. Man kann es nur oft ausprobieren und so statistische Wahrscheinlichkeitsprognosen wagen.
- Erreichen des globalen Optimums
  - Man kann nicht mit Sicherheit sagen, ob eine spezielle Implementierung eines solchen Modells das globale Optimum erreichen wird oder nicht. Bei vielen Aufgabenstellungen kann man nicht einmal im Nachhinein klären ob das globale Optimum erreicht worden ist.
- Benötigte Ressourcen
  - Es besteht immer die Möglichkeit, dass bei einer anderen Parametrisierung – zum Beispiel weniger oder mehr Agenten – eine bessere Performanz erreicht werden kann.

Vorteile wären ...

- Robustheit und Flexibilität
  - Diese Systeme arbeiten, wenn auch nicht mehr so effizient aber doch bei beliebigen Ausfällen Einzelner weiter und können auf unvorhergesehene Ereignisse gut reagieren.
- Einfache Implementierung führt zu komplexem Systemverhalten
  - Trotz des vergleichsweise simplen Aufbaus sind solche Schwarmintelligenzen in der Lage komplexe Aufgaben zu Lösen.

### Person – Rolle – Aufgabe [3]

Bei diesem Modell wird das System in folgende Definitionen aufgegliedert.

- Personen
  - sind die Mitarbeiter einer Firma oder eines Systems, die in irgendeiner Form gemeinsam ein Problem bearbeiten sollen.
- Fähigkeiten
  - sind die kleinste Einheit von Wissen, dass bei einer bestimmten Teilaufgabe nützlich ist.
- Rollen
  - sind Ansammlungen von Fähigkeiten die für bestimmte Aufgaben benötigt werden.
- Aufgaben
  - sind Dinge die erledigt werden müssen um ein globales Ziel zu erreichen.



Zwischen den eben gegebenen Definitionen werden Beziehungen beschrieben und somit die für das Modell relevanten Eigenschaften zum Beispiel einer Firma digital abgebildet.

Personen haben Fähigkeiten

- Diese Fähigkeiten erlauben es ihnen gewisse Aufgaben zu meistern
- Je nach dem welche Aufgaben eine Person meistern kann ist es ihr möglich bestimmte Rollen einzunehmen
- Weiters gibt es eine Beziehung zwischen Personen die Aussage darüber trifft, wie gut diese Personen zusammen arbeiten können.

Das Ziel dieses Modells ist eher wirtschaftlich orientiert und besteht darin eine Firma oder Ähnliches digital abzubilden um es einer Implementierung dieses Modells zu erlauben Dienstpläne zu erstellen, Personen für temporäre Kleingruppenarbeiten zu Gruppen zuzuteilen, einen abwechslungsreichen Arbeitsalltag aller Mitarbeiter zu gestalten u.v.a.m.

In einer Implementierung dieses Modells wurden dazu im Großen und Ganzen wieder Grenzwertverfahren eingesetzt um das globale Optimum einer gesunden und aufstrebenden Firma zu finden.

Im Folgenden sind die Pros und Kontras des Modells im Überblick aufgelistet:

Vorteil:

- Man kann die einzelnen Formeln, die Aussage darüber treffen, wie gut diese oder jene Konstellation von Mitarbeitern als Gruppe eine bestimmte Aufgabe lösen, der Firmenphilosophie anpassen um die priorisierten Aspekte stärker hervorzuheben als die anderen.

Nachteile:

- Das Modell funktioniert nur dann gut, wenn eine enorme Menge an aktuellen Daten vorliegt, die man natürlich nur mit dem nötigen Aufwand pflegen und warten kann.
- Weiters hängen einige Daten – wie zum Beispiel: Wie gut können diese Beiden Mitarbeiter zusammenarbeiten? – sehr von der subjektiven Wahrnehmung derer ab, die diese Daten erheben, was in weiterer Folge zu Fehlentscheidungen führen kann.
- Das System ist vergleichsweise langsam und benötigt deshalb für kurzfristige oder unvorhergesehene Ereignisse dementsprechende Ressourcen, um in angemessener Zeit ein adäquates Ergebnis zu liefern.

## Auktionsmodell [4]

Diese Methode funktioniert wie eine Jobbörse. Die einzelnen Ressourcen im System eignen sich mehr oder weniger gut für bestimmte Aufgaben. Diese Eignung wird dabei in einen mathematisch reellen Wert übersetzt der Aussage darüber trifft wie viel die Ressource „bietet“ um die aktuelle Aufgabe zu bekommen. Die Börse – respektive das System – entscheidet dann anhand der Gebote welcher Ressource die Aufgabe zugeteilt wird.

Zusätzlich können noch andere Parameter einfließen um die Höhe des Gebotes zu bestimmen. Die Dringlichkeit der Aufgabe etwa kann hierbei genauso eine Rolle spielen. Es sind also bei diesem Modell zusätzlich noch beliebige Parameter vorstellbar, die das Gebot und somit die Zuweisung von Aufgaben beeinflussen, was dieses System sehr flexibel und unter bestimmten Bedingungen gut anpassbar macht.

Als Anwendungsbeispiel lässt sich hier eine Arbeit anführen, die sich mit der Simulation von einer Feuerwache in Los Angeles beschäftigt. Dabei ging es im Allgemeinen um den Vergleich verschiedener Methoden anhand eines bestimmten Beispiels. Auch das Auktionsmodell wurde hierbei evaluiert.

Die Schwierigkeit bei dieser Aufgabenstellung war, dass die Zeit, die das System braucht um eine Aufgabe zuzuweisen eine immense Rolle spielt. Es wurden die folgenden zwei Parameter zur genaueren Bestimmung von Situationen und den daraus resultierenden Entscheidungen verwendet:

- TPT – ThroughPut Time
  - Damit ist die Zeit vom Eingangsereignis eines Notrufes bis zu dem Zeitpunkt gemeint an dem das Ende der Gefahr eingetreten ist.
- RT – Response Time
  - Diese Zeit wurde definiert als die Zeit vom Eingangsereignis eines Notrufes bis zu dem Zeitpunkt an dem die ersten Einsatzkräfte vor Ort sind.

Hier wurde ferner noch darauf geachtet, dass auch Einsatzkräfte die nicht hundert prozentig ideal für einen Einsatz ausgerüstet sind eine Gefahrensituation bearbeiten können bis eine höher qualifizierte Einheit vor Ort eintrifft. Natürlich wurden die Zeiten die benötigt werden um eine Gefahr zu bannen dementsprechend adaptiert.

Von den sechs verglichenen Modellen oder Methoden hat im Schnitt der Greedy Algorithmus am besten abgeschnitten, was auf den ersten Blick doch etwas verwunderlich scheint. Bei genauere Betrachtung der Aufgabenstellung dieser Feuerwachensimulation wird aber klar, dass komplexere Systeme bei einer solchen Vielzahl an Parametern wie sie verwendet wurden zu lange brauchen um ein adäquates Ergebnis zu berechnen und es im Allgemeinen weniger darauf ankommt jede einzelne Situation perfekt zu meistern, als schnell zu reagieren. Da komplexere Systeme allerdings auch oft träger sind als einfache ist die Ergebnisreihung der Verschiedenen Modelle, dass in dieser wissenschaftlichen Arbeit zu finden ist keine großartige Überraschung.

Die Auswertung der Ergebnisse dieser Simulationsstudie erfolgte einerseits bei einer hohen und andererseits bei einer niedrigen Auslastung des Systems. Hierbei ist erwähnenswert, dass das Auktionsmodell bei der hohen Auslastung die beste Gesamtperformanz erreicht hat. Jedoch bei

niedriger oder durchschnittlicher Auslastung sehr schlecht (im Vergleich zu anderen Modellen) abgeschnitten hat.

Nachfolgend noch eine kurze Zusammenfassung der Vor- sowie Nachteile:

Vorteil:

- Flexibilität
  - Man kann unzählige Parameter in den Zuordnungsprozess einfließen lassen oder ebendies bewusst vermeiden um die Performanz seines Systems zu steigern.

Nachteil:

- Datenhaltung und –Pflege
  - Wie so oft bei solchen Systemen muss man sich gut überlegen, welche Daten man erheben und pflegen will, um das System damit arbeiten zu lassen. Denn wie immer gilt: Die Entscheidungen des Modells basieren zu 100 Prozent auf den zugrunde liegenden Daten.

## Anwendungsgebiete

Jede Methode hat ihre Vor- sowie Nachteile, je nachdem in welchem Kontext sie verwendet wird. Deshalb gilt es immer den Bezug einer Methode zu ihrem Anwendungsgebiet zu bewerten. Aus diesem Grund wäre es wissenschaftlich nicht vertretbar hier eine Reihung der „besten“ Modelle und Methoden aufzuführen.

In dieser Arbeit wurde versucht möglichst neutral und objektiv aktuelle Modelle, Altbewährten gegenüber zu stellen und diese einer breitgefächerten Menge an verschiedensten Anwendungsbereichen zuzuordnen.

## Ausbaumöglichkeiten

Es existieren durchaus Ansätze, die bestehenden Methoden weiterzuentwickeln und Möglichkeiten mehr Wissen aus speziellen Anwendungsgebieten in die Ablauforganisation einfließen zu lassen. Je spezieller man sich auf einen Anwendungsfall spezialisieren kann, desto effizienter und schneller wird ein System funktionieren.

Ein Problem an dem man sich nach wie vor wissenschaftlich betätigen kann betrifft den Fall, dass es nicht möglich ist eine automatisierte Entscheidung von einem System treffen zu lassen, weil die Zeit so stark begrenzt ist, dass kein Mensch dem System in einer adäquaten Zeitspanne die nötigen Daten bereitstellen könnte. Ein Beispiel dafür wäre eine Notaufnahme, wo zu dem Zeitpunkt wo ein Patient eingeliefert wird nur wenige Sekunden bzw. Minuten für den Datenaustausch zwischen den Ersthelfern und den behandelnden Ärzten zur Verfügung stehen, die anhand selbiger Informationen die weitere Vorgehensweise festlegen.

Eine weitere Herausforderung besteht für automatisierte Entscheidungssysteme nach wie vor darin eine Situation angemessen als Ganzes zu betrachten. Z.B.: Wann wiegt die Qualifikation und Ausrüstung eines Einsatzfahrzeuges der Feuerwehr einen Umweg zum Einsatzort auf?

## Schlusswort

Die in den vorherigen Kapiteln vorgestellten Mechanismen zur Ablauforganisation haben alle ihre Anwendungsnische zu Recht erobert in der sie zum größten Teil nach wie vor eingesetzt werden. Ich glaube, dass das größte Forschungspotenzial in diesem Bereich nicht in der Art der Methode sondern in dem Paar liegt, dass durch Modell und Anwendungsgebiet gebildet wird.

Solange der lange Atem der Forschung nicht zu Ende geht, können wir sicherlich noch die eine oder andere Überraschung in diesem Bereich erleben.

## Themenverwandte Arbeiten

1. An Ant-like Task Allocation Model for a Swarm of Heterogeneous Robots, *Sifat Momen & Amanda J.C. Sharkey* [2008]
2. Adaptive Task Allocation Inspired by a Model of Division of Labor in Social Insects, *Eric Bonabeau, Andrej Sobkowski, Guy Theraulaz, Jean-Louis Deneubourg* [1997]
3. Multi-Criteria Task Assignment in Workflow Management Systems, *Minxin Shen, Gwo-Hshiung Tzeng, Duen-Ren Liu* [2003]
4. Workflow Management Systems + Swarm Intelligence = Dynamic Task Assignment for Emergency Management Applications, *Hajo A. Reijers, Monique H. Jansen-Vullers, Michael zur Muehlen & Winfried Appl* [2006]