



Ole Björn Brodersen (Autor)

Eignung schwarmintelligenter Verfahren für die betriebliche Entscheidungsunterstützung



Göttinger Wirtschaftsinformatik

Herausgeber: J. Biethahn · M. Schumann

Ole Björn Brodersen

Eignung schwarmintelligenter Verfahren für die betriebliche Entscheidungsunterstützung

Untersuchungen der Particle Swarm Optimization und Ant Colony Optimization anhand eines stochastischen Lagerhaltungs- und eines universitären Stundenplanungsproblems

Band 60



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1363>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

„Nature has a great simplicity and therefore a great beauty.“

(Richard Feynman (1918–1988))

In der Unternehmensforschung werden bis heute ständig neue Methoden entwickelt, die dem Verständnis und der Lösungsoptimierung unterschiedlichster Problemstellungen dienen sollen. Für einfache Modelle dieser Probleme mit beschränkter Anzahl an Parametern lassen sich optimale Lösungen analytisch bestimmen. Diese ermöglichen aber auf Grund ihrer wenigen Dimensionen bei der Überführung dieser Modelle in die Realität häufig nur sehr grundsätzliche Aussagen über deren Verhalten. Sobald realistische Annahmen abgebildet werden sollen, können Lösungen aufgrund der steigenden Komplexität oftmals nur mit numerischen Methoden ermittelt werden.

Daher entstanden zunächst exakte Verfahren, die bei identischen Anfangsbedingungen für das betrachtete Problem immer ein und dieselbe exakte Lösung liefern. Diese ist zumeist auch die optimale Lösung des Problems. Diese Eigenschaft ist durchaus wünschenswert. Mit steigender Komplexität der Aufgabenstellungen sind diese Verfahren aber wegen des hohen Rechenaufwandes nicht mehr sinnvoll einsetzbar. Gerade bei NP-vollständigen, nicht mehr in Polynomialzeit lösbaren Problemen müssen andere Verfahren zur Anwendung kommen.

Solche Verfahren werden als Approximationsalgorithmen bezeichnet. Diese erheben nicht den Anspruch, die optimale Lösung zu finden, sondern zeichnen sich dadurch aus, in angemessener Zeit Lösungen zu finden, die gut aber nicht zwangsläufig optimal sind. Im Bereich dieser Verfahren können verschiedene Ansätze unterschieden werden. So ist es

möglich, durch Aufheben von Nebenbedingungen die Problemstellung einfacher lösbar zu gestalten. Diese Methode besitzt allerdings den offensichtlichen Nachteil, evtl. Lösungen zu erzeugen, die für die ursprüngliche Problemstellung nicht mehr zulässig sind.

Auch Heuristiken können keine optimalen Lösungen garantieren. Diese besitzen durch Analyse vorheriger Lösungen ein gerichtetes Verhalten bei der Exploration des Lösungsraumes und nutzen bewusst den Einsatz stochastischer Komponenten, um die Diversität der Lösungen im Suchprozess zu erhalten. Es hat sich gezeigt, dass solche Verfahren mit großem Erfolg für die Optimierung unterschiedlicher Problemstellungen eingesetzt werden können. Während Heuristiken nur für den Einsatz bei speziellen Ausprägungen bestimmter Problemklassen konzipiert werden, können Metaheuristiken durch geringe Modifikation zum Lösen verschiedener Aufgaben herangezogen werden. Aus diesem Grund widmet sich die Forschung immer stärker solchen Verfahren und untersucht deren Tauglichkeit im praktischen Einsatz, so dass mittlerweile eine Vielzahl unterschiedlicher Metaheuristiken zur Verfügung stehen.

Die Natur ist in der Lage, für unterschiedlichste Problemstellungen durch verblüffend einfache Mechanismen Lösungen zu entwickeln und hervorzubringen. So geht es für Bienenvölker, Fischschwärme, Wolfsrudel etc. und sogar Pflanzen darum, sich durch optimale Strategien im evolutionären Prozess zu behaupten. Dies kann bspw. die Nahrungsbeschaffung, die Abwehr von Fressfeinden, die Erschließung oder Erweiterung von Lebensräumen sowie das effektive Haushalten mit Körperenergie bedeuten. Solche Optimalitätsbestrebungen treten auch auf der Ebene physikalischer und chemischer Prozesse auf.

Das Betrachten und Verstehen dieser in der Natur beobachtbaren Verhaltensweisen und Lösungen führte zu der Idee, diese Prozesse genauer zu studieren und sie für die Suche nach optimalen Lösungen in Form eines Algorithmus' anwendbar zu machen. Diese naturanalogen Verfahren sind bspw. der Genetische Algorithmus (GA) und das Simulated Annealing (SA), welche die biologische Evolution bzw. den physikalischen Prozess der Bildung einer optimalen Kristallstruktur zum Vorbild haben. Während das SA in jedem Schritt eine einzelne Lösung als Verbesserungsgrundlage verwendet, geht der GA populationsbasiert vor, so dass in jedem Optimierungsschritt mehrere Lösungen erzeugt, bewertet und für den weiteren Verlauf ausgewählt werden.

Den populationsbasierten Verfahren gehören auch die beiden noch relativ neuen Verfahren Ant Colony Optimization (ACO) und die Particle Swarm Optimization (PSO)

an. Beide Metaheuristiken nutzen sog. schwarmintelligentes (SI) Verhalten, welches sie durch das Zusammenspiel und die Kommunikation wenig intelligenter Agenten in die Lage versetzt, im Verbund ein übergeordnetes Ziel zu erreichen. Die ACO orientiert sich in diesem Zusammenhang an dem Verhalten natürlicher Ameisen. Auf der Suche nach ergiebigen Futterquellen finden Ameisen meist nicht nur den kürzesten Weg, sondern etablieren durch das Ablegen von Pheromonen auch Straßen, von denen die Ameisen kaum abweichen. Die PSO ist an das Verhalten von Vogelschwärmen angelehnt, welche sich auf der Suche nach geeigneten Rastplätzen befinden und neben dem Drang, auf einem solchen zu landen, auch das Verlangen besitzen, innerhalb des Schwarms zu verbleiben. Sowohl die ACO als auch die PSO sind relativ einfach zu implementieren und haben sich anhand verschiedener Testfunktionen als sehr erfolgreich im Vergleich zu anderen Verfahren herausgestellt.

Beide Metaheuristiken wurden für unterschiedlich geartete Problemstellungen entwickelt. Die ACO wurde zunächst für das Traveling-Salesman-Problem eingeführt, also für ein kombinatorisches Optimierungsproblem. Die PSO wurde als erstes auf das Training Neuronaler Netze mit entsprechend kontinuierlichen Problemvariablen angewendet. In ihren jeweiligen Problemdomänen haben sich beide Verfahren als sehr erfolgreich bewährt.

Bisher wurden beide Verfahren noch nicht oder nur unzureichend im Kontext betriebswirtschaftlicher Problemstellungen betrachtet. Anhand zweier ausgewählter Probleme sowohl aus dem kombinatorischen als auch aus dem kontinuierlichen Bereich soll daher in dieser Arbeit untersucht werden, wie sich beide Verfahren in diesen Bereichen verhalten und ob deren Ergebnisse als Entscheidungsgrundlage im praktischen Einsatz dienen können.

Bei dem betrachteten kontinuierlichen Problem handelt es sich um das Modell eines stochastischen Lagerhaltungssystems, für welches optimale Sicherheitsbestände und Bestellmengen zweier Produkte bestimmt werden müssen, um am Ende des Planungszeitraumes das eingesetzte Gesamtkapital zu maximieren.

Für diese Problemstellung scheint aufgrund ihrer Eigenschaften die PSO am besten geeignet, die schon auf eine Vielzahl kontinuierlicher Problemstellungen angewendet wurde. Im Gegensatz dazu wurde die ACO für kontinuierliche Problemstellungen (ACO_R) neben Studien an Testfunktionen bisher nur für das Training Neuronaler Netze eingesetzt, weshalb ein Vergleich beider Verfahren angebracht ist.

Die zweite untersuchte Problemstellung ist im klassischen Sinne kein betriebswirtschaftliches Problem, da es sich dabei um die Gestaltung möglichst überschneidungsfreier universitärer Stundenpläne für die LehrerInnenausbildung anhand eines aktuellen und praktischen Beispiels der Universität Göttingen handelt. Allerdings lässt sich diese Problemstellung ohne Weiteres auf Anwendungsfelder der Betriebswirtschaft übertragen, da z.B. die Erstellung von Personaleinsatzplänen dem Bereich der Stundenplanung zugerechnet wird.

Für diese Art der Problemstellung wurde die ACO entwickelt und es wurden auch schon spezielle Applikationen der ACO für universitäre Stundenplanungsprobleme vorgestellt. Die PSO dagegen wurde zwar schon für eine Reihe kombinatorischer Aufgabenstellungen wie das Traveling-Salesman-Problem angepasst, für die universitäre Stundenplanoptimierung existiert aber bisher noch kein Verfahren. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit zum Vergleich beider metaheuristischer Ansätze eine Modifikation der PSO entwickelt und vorgestellt, mit der auch für diese Problemstellung Lösungen erzeugt werden können.

Zusammenfassend lässt sich das Ziel dieser Arbeit folgendermaßen formulieren: Sind die ACO und die PSO in der Anwendung auf betriebswirtschaftliche Problemstellungen dazu fähig, generell gute Lösungen zu ermitteln und sind sie zusätzlich auch in der Lage, sich in den Bereichen zu bewähren, für die sie eigentlich nicht entwickelt wurden?

Für die Beantwortung dieser Frage werden in dieser Arbeit zwei Neuerungen dem Bereich der Untersuchungen zu SI Verfahren hinzugefügt. Zum einen wird eine weitere Applikation der ACO_R in einer Vergleichsstudie vorgestellt. Zum zweiten wird der mögliche Anwendungsbereich der PSO um den Einsatz in universitären Stundenplanungsproblemen erweitert und deren Eignung im Vergleich mit der ACO eingeschätzt.

1.2 Aufbau der Arbeit

Der strukturelle Aufbau der vorliegenden Untersuchung wird durch die Ausführungen zu Problemstellung und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit bestimmt. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die Inhalte der einzelnen Kapitel gegeben und in Abbildung 1.1 zusammenfassend dargestellt.

In Kapitel 2 werden die untersuchten SI Verfahren vorgestellt. Dabei wird zunächst eine Einordnung dieser Verfahren in den Kontext anderer bekannter Optimierungsver-

fahren vorgenommen, bevor die ACO und die PSO näher erläutert werden. Dies geschieht, indem jeweils die Ideen, die sich aus Beobachtungen der Natur entwickelt haben, und deren Umsetzung zu Metaheuristiken für kombinatorische und kontinuierliche Problemstellungen vorgestellt werden. Im Anschluss daran wird ein Überblick über erfolgreiche Applikationen auf eine Vielzahl von Optimierungsproblemen in beiden Problembereichen gegeben, bevor auf weitere bekannte Metaheuristiken eingegangen wird.

Die in dieser Arbeit zum Vergleich der ACO und PSO verwendeten Problemstellungen werden in Kapitel 3 vorgestellt. Neben der Einordnung in Bereiche von Optimierungsproblemen werden jeweils die zu Grunde liegenden Probleme allgemein erläutert, bevor auf die gewählten Modelle eingegangen wird. Sowohl für das untersuchte stochastische Lagerhaltungsmodell als auch für die universitäre Stundenplanung wird abschließend eine Übersicht über mögliche und verwendete Lösungsverfahren gegeben.

Kapitel 4 widmet sich den durchgeführten Experimenten und erzielten Ergebnissen. Zunächst erfolgt eine Einführung in die grundlegenden statistischen Tests, die für eine Gegenüberstellung der Ergebnisse beider Verfahren verwendet werden, und die Vorstellung der zur abschließenden Beurteilung dienenden Kriterien. Daraufhin werden in Abschnitten zu den jeweiligen Problemstellungen Referenzlösungen vorgestellt, die mittels partieller Enumeration für das stochastische Lagerhaltungsproblem einerseits und durch manuelles Vorgehen im Falle der untersuchten universitären Stundenplanung andererseits erzeugt wurden. Der Aufbau der Versuche mit der nötigen Bestimmung des Stichprobenumfangs wird beschrieben, bevor in Voruntersuchungen günstige Parametereinstellungen für die ACO und PSO identifiziert werden, mit denen ausführlichere Experimente durchgeführt und deren Ergebnisse präsentiert werden. Für jede der beiden Problemstellungen wird ein kurzer Vergleich der Ergebnisse vorgenommen, bevor beide SI Verfahren anhand der erwähnten Kriterien übergreifend bewertet werden.

Kapitel 5 fasst die Untersuchungen und erzielten Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche weitere Forschungsfragen und Entwicklungen im Bereich der SI Verfahren.

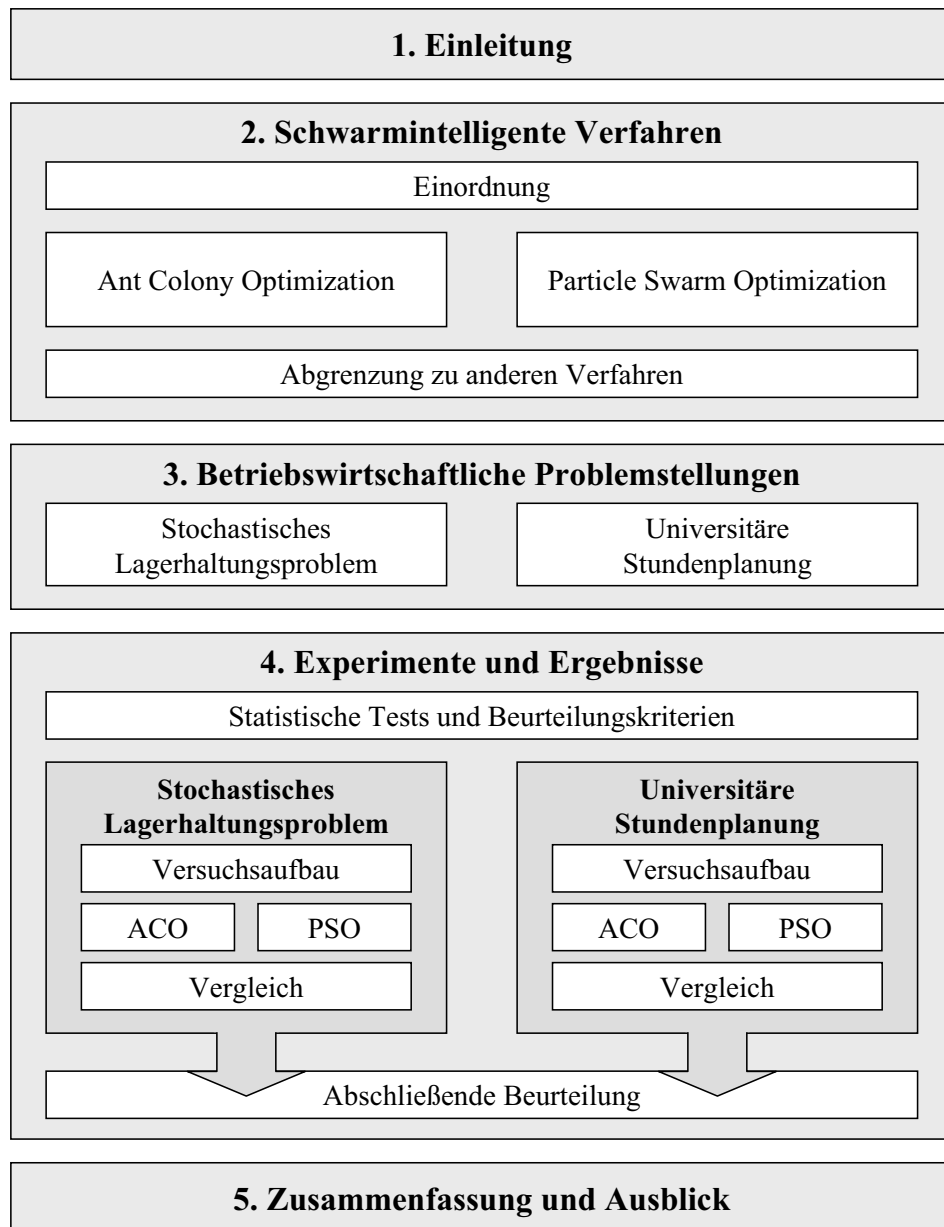


Abbildung 1.1 – Aufbau der Arbeit