

Flottenzuweisung in der Flugplanung: Modelle, Komplexität und Lösungsverfahren

Sven Grothklags

Im Rahmen dieser Arbeit untersuchen wir die Optimierung in der Flugplanung, insbesondere das *Flottenzuweisungsproblem*, bei dem den einzelnen Flügen eines Flugplans je ein Flugzeugtyp zugewiesen werden muss. Die Ergebnisse der Arbeit kommen in kommerziellen entscheidungsunterstützenden Systemen zum Einsatz, wo sie die Qualität der Flotteneinsatzplanung vieler Fluggesellschaften erfolgreich verbessern konnten.

Die Flottenzuweisung ist ein kombinatorisch schweres Optimierungsproblem, bei dem den vorgegebenen Flügen eines Flugplans die sie operierenden Flugzeugtypen zugewiesen werden müssen. Dabei muss sichergestellt werden, dass jedem Flug genau ein Flugzeugtyp zugewiesen wird und die benötigten Flugzeuge in der vorhandenen Flotte verfügbar sind. Aufgrund unterschiedlicher Sitzkapazitäten und operationeller Kosten der einzelnen Flugzeugtypen ist die Zielsetzung der Flottenzuweisung, eine gewinnmaximale, zulässige Lösung zu liefern.

Wir zeigen neue Ergebnisse zur *Komplexität* des Flottenzuweisungsproblems. Insbesondere ergibt sich, dass das Flottenzuweisungsproblem bereits für zwei Flugzeugtypen streng NP-vollständig und nicht in polynomieller Zeit approximierbar ist. Des Weiteren vervollständigen wir die bekannten Ergebnisse, indem wir die Komplexität des azyklischen Flottenzuweisungsproblems untersuchen und die Auswirkungen von Problemerweiterungen wie verbindungsabhängigen Gewinnen darstellen.

Zum Lösen des Flottenzuweisungsproblems beschreiben wir neue *exakte und heuristische Verfahren*. Die exakten Verfahren basieren auf IP-Formulierungen des Problems, die mit Standardlösern aus dem Bereich der ganzzahligen linearen Optimierung gelöst werden. Verschiedene neue Modelle für erweiterte Flottenzuweisungsprobleme werden vorgestellt. Die heuristischen Lösungsverfahren basieren auf der Lokale Suche-Idee, wobei hier die verwendete problemspezifische Nachbarschaft dafür verantwortlich ist, dass gute Lösungen in kurzer Zeit gefunden werden.

Durch die Berücksichtigung von *stochastischen Eingabedaten*, etwa für die Dauer eines Fluges, lassen sich störungsunempfindlichere Pläne generieren, die beim Auftreten von Verspätungen kostengünstig repariert werden können. Wir zeigen, dass dadurch allerdings die Flottenzuweisung sogar PSPACE-vollständig wird. Durch die Beschreibung als ein Spiel gegen die Natur lässt sich das Problem aber zumindest heuristisch mittels Spielbaumsuche lösen, und experimentelle Ergebnisse zeigen, dass selbst diese heuristischen Lösungen den Lösungen von Modellen, die nur mit nicht-stochastischen Eingabedaten arbeiten, überlegen sind.

Durch die *Integration der Flottenzuweisung mit der Marktmodellierung und dem Ertragsmanagement* kann die Bewertung von Zuweisungen erheblich verbessert werden, da die in der Flottenzuweisung zumeist angenommene lineare Gewinnfunktion nicht realitätsnah genug ist. Wir beschreiben verschiedene Integrationsstrategien für unserer Lokale Suche Heuristiken und zeigen, dass sich dadurch der tatsächlich erzielbare Gewinn von Flottenzuweisungen deutlich steigern lässt.