



## Stochastische Modelle in den Ingenieurwissenschaften Depeaking - Optimierung von Luftverkehrssystemen

Prof. Dr. Th. Hanschke, Dr. M. Frank, Dr. M. Mederer, Dr. B. Stolz

### Was bedeutet Depeaking?

Die größeren Fluggesellschaften mit einem Hub&Spoke Netzwerk gestalten ihre Flugpläne so, dass an ihren Hubs Wellen von Abflügen auf Wellen von Ankünften folgen. Damit soll den Passagieren eine große Flexibilität bei der Wahl von Umsteigeverbindungen gesichert werden. Wachsendes Verkehrsvolumen führt dazu, dass die Anzahl der Flugbewegungen in den Verkehrsspitzen die infrastrukturellen Kapazitäten übersteigt und zu gravierenden operationellen Konsequenzen führt. Unter Berücksichtigung der resultierenden Kosten liegt das wirtschaftliche Optimum für die Fluggesellschaften in einer kontinuierlicheren Planung, dem Abflachen der Verkehrsspitzen (sogenanntes Depeaking). Im Folgenden wird ein Simulationsmodell vorgestellt, welches beim Depeaking der Deutschen Lufthansa AG an ihrem Hub in Frankfurt dazu verwendet wurde die operativen Auswirkungen ex-ante abzuschätzen.

### Hintergrund

Für zahlreiche europäische Flughäfen findet nicht zuletzt zur Gewährleistung der Sicherheit eine Kapazitätsplanung statt. An- und abfliegende Flugzeuge werden mittels sogenannter Slots koordiniert. Die Festlegung der maximal verfügbaren Anzahl Slots (Eckwert) erfolgt nach den gegebenen infrastrukturellen Randbedingungen der Flughäfen. So kann die Anzahl der Bewegungen beispielsweise durch die Zahl der zur Verfügung stehenden Gates oder durch die Kapazitäten der Start- und Landebahnen limitiert sein. Insbesondere werden Eckwerte getrennt nach Starts, Landungen und Gesamtbewegungen, sowie für unterschiedliche Zeithorizonte festgelegt.

Im täglichen Betrieb weicht die durch Slots geplante Nachfrage von der tatsächlichen Nachfrage ab. Diese Abweichung ist auf zahlreiche Einflüsse zurückzuführen, die im Vorfeld planerisch nicht erfasst werden können. Geänderte Streckenführungen, Wetterverhältnisse, Verspätungen, etc. führen zu nicht unerheblichen Verschiebungen.

Auf eine erhöhte Nachfrage wird von der Verkehrsflusssteuerung der europäischen Flugsicherung (CFMU) beispielsweise durch Verzögerungen einzelner Flugzeuge am Boden (Startup-Delay), Regulierung der Anfluggeschwindigkeit, Veränderung der Anflugrouten oder Warteschleifen reagiert. Diese Verzögerungen verlängern die Zeitspanne zwischen Abflug und Ankunft von Gate zu Gate (Blockzeit), die als Basis für die Ermittlung des Planwertes in der nächsten Flugplanperiode dient. In der Folge entfernt sich der Planwert immer weiter von den operativ realistischen Zeiten. Man befindet sich in einem Teufelskreis.



Die Auswirkungen dieses Kreislaufes werden von zwei Eigenschaften des Systems beeinflusst. Zum einen ermöglicht die nichtadditive Eckwertstruktur eine stark ausgeprägte wellenförmige Verteilung der Ankunfts- und Abflugsströme. Diese Form inhomogener Verkehrsströme führt in den Spitzen zu erheblichen Wartezeiten (Rush Hour Effekt). Zum anderen verlängern sich Wartezeiten überproportional, je näher die bereits koordinierten Bewegungen am tatsächlichen infrastrukturellen Limit liegen.

Es ergibt sich ein wirtschaftliches Spannungsfeld zwischen Wachstum und Pünktlichkeit.

Die Lösung des Dilemmas liegt in einer geänderten Koordination und damit Planung der Flugbewegungen. Mit einer Absenkung der Teileckwerte für An- und Abflüge bei einer gleichzeitigen Anhebung des Gesamtbewegungseckwertes kann Wachstum bei sogar verbesserter Pünktlichkeit realisiert werden. Dies führt zu einer verringerten Amplitude der Wellenbewegung.

### Bewertung der operativen Auswirkungen

Um die operativen Auswirkungen eines Depeakings ex-ante abschätzen zu können, wurde eine ereignisorientierte, stochastische Simulation entwickelt, welche die zufallsbedingten Einflüsse auf das System abbildet. Gegenstand der Simulation sind Flugzeuge und deren Flugbewegungen. Die möglichen Ereignisse für eine Simulation sind aufgrund der Anwendung durch Erreichen von Wegpunkten und/oder Rollpositionen sowie Start bzw. Landung gegeben.

Bei der Modellbildung gilt es, ein Optimum zwischen notwendiger Modellgenauigkeit und aufwandsminimierender Modellabstraktion zu finden.

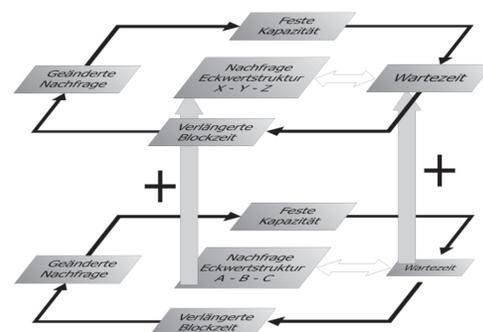


Abbildung 1: Iterative Simulation

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten positive Effekte eines Depeakings sowohl auf der operativen Seite, als auch bei der Flugplanung. Die Bewertungen des vorgeschlagenen Szenarios ergaben eine signifikante Reduzierung der Verzögerungen inbound Frankfurt, eine Erhöhung der Anzahl möglicher Verbindungen und eine Reduzierung der durchschnittlichen Umsteigezeiten. Daraufhin wurde die Umsetzung empfohlen.

Mit Feststellung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen wurden Eckwerte am Flughafen Frankfurt/Main zum Sommerflugplan 2004 geändert. Am 28.03.2004 traten die den geänderten Eckwerten entsprechenden Flugpläne in Kraft. Seit diesem Datum sind die Verzögerungen seitens CFMU um mehr als 60% zurückgegangen und die Anflüge auf den Frankfurter Flughafen haben sich erheblich verkürzt.

