



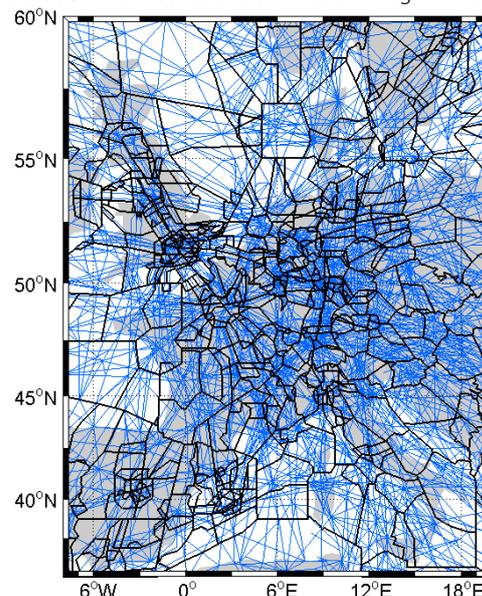
## Europäische Luftverkehrsflusssteuerung

Um Netzwerkeleistungen des Europäischen Luftverkehrsnetzwerkes bewerten und modellieren zu können, werden in der Einrichtung Lufttransportsysteme Forschungsarbeiten im Bereich Luftverkehrsflusssteuerung (Air Traffic Flow Management, ATFM) durchgeführt. Hierbei stehen insbesondere die Betrachtung und Balancierung von Netzwerkkapazitäten und verkehrlichen Nachfragen während der taktischen Phase der Luftverkehrsflusssteuerung im Fokus. Diese sind für die Untersuchung von Wirkungen von Maßnahmen bzw. Störungen auf überregionaler und globaler Ebene von essentieller Bedeutung.

Das ATM-Netzwerk wird dabei aus kapazitätsbehafteten Systemelementen – Flughäfen und kontrollierten Lufträumen – sowie durch einen Routengraphen modelliert. In Abhängigkeit des betrachteten Zeitraumes werden Infrastrukturelemente dabei entsprechend ihrer vorherrschenden Konfiguration im Netzwerk repräsentiert (siehe Abb. 1).

Kapazitätsorientierte Leistungsindikatoren geben Aufschluss darüber, ob geplante Verkehrsflüsse störungsfrei im Netzwerk bedient werden können. Dabei werden Flughäfen anhand der Gesamtkapazität ihres Start- und Landbahnsystems und Lufträume anhand der maximal zulässigen Anzahl der zeitgleich im Luftraum befindlichen Luftfahrzeuge abgebildet. Darüber hinaus werden Anwendungsfälle für wetterinduzierte Netzwerkstörungen betrachtet, um ATFM-Maßnahmen bei restriktiven Bedingungen modellieren und variieren zu können. Diese Arbeiten erfolgen in enger Zusammenarbeit mit EUROCONTROL, die diese Ergebnisse für ihre eigenen Arbeiten aufgreifen und im Programm SESAR weiterverfolgen.

Taktische Entscheidungen als elementare Funktionalität der Luftverkehrsflusssteuerung bilden die Kernfähigkeit des in der Einrichtung Lufttransportsysteme entwickelten Network Flow Environment (NFE). Die Zuweisung berechneter Startzeiten als Mittel der Kapazitäts-Nachfrage-Glättung wird sowohl heuristisch als auch mit Methoden der Linearen Programmierung umgesetzt und unterliegt



der kontinuierlichen Adaption bezüglich Optimalitätskriterium und Rechendauer. Zudem besitzt das Modell die Fähigkeit, Startzeiten mit individuellen lateralen Alternativrouten zu kombinieren, die auf ihre flugleistungsbezogenen Anforderungen überprüft werden.

Die Integration dynamischer Vorhersagedaten wird durch eine sich zeitlich wiederholende Optimierungsarchitektur realisiert, die iterativ über den betrachteten Zeitraum gleitet. Dies findet initial am konkreten Anwendungsfall der Integration konvektiver

Abbildung 1: Netzwerkrepräsentation von lateraler Luftraumstruktur und Routennetz im Europäischen Luftraum

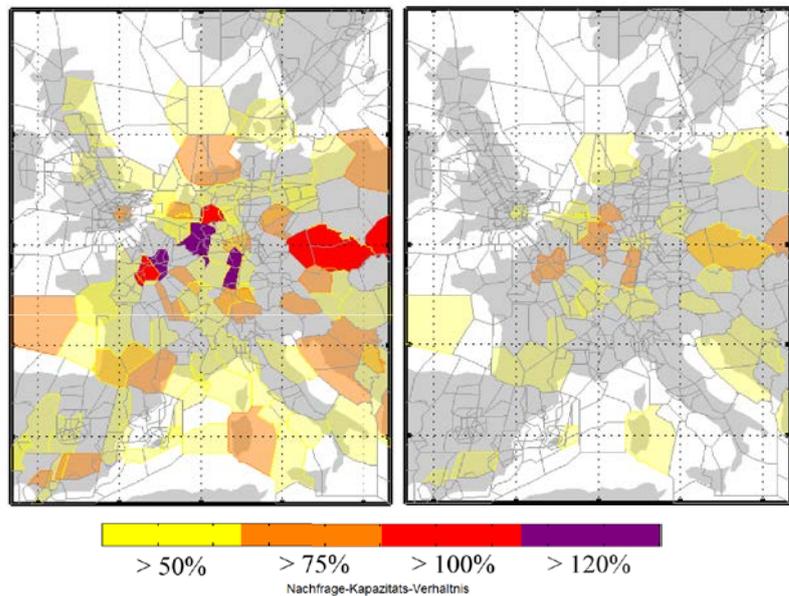


Abbildung 2: Auslastungssituationen (Kapazitäts-  
überschreitungen); links: Planungsbasis, rechts: NFE  
Kapazitäts-Nachfrage-Glättung

Kurzfristvorhersagen statt.

Konkret wird hierbei eine periodische Wiederholung von Optimierungszyklen unter Verwendung eines Dekompositionsansatzes der Linearen Programmierung umgesetzt, um die hohe Anzahl von Entscheidungsvariablen handhaben und umfangreiche Verkehrs-szenarien abbilden zu können. Mit diesem Ansatz können Netzwerk-informationen zum Zeitpunkt ihrer Verfügbarkeit in das System eingespielt werden. Erste Studien zum Effizienzpotenzial einer mit diesem Ansatz gefundenen Optimallösung zeigen mögliche Verspätungsreduktionen von bis zu 40% im Vergleich zu operativen heuristischen Lösungen.

Die verkehrliche Auslastungssituation um 19:00z während eines exemplarischen Szenarios des Europäischen ATM-Netzwerkes vor und nach der durch das NFE durchgeführten Kapazitäts-Nachfrage-Glättung ist in Abb. 2 gezeigt. Das betrachtete large-scale Szenario umfasst den Zeitraum eines kompletten Tages mit 29.732 Flugplan-Datensätzen, 638 kapazitätsbehafteten Lufträumen und 1009 Flughäfen. Die tatsächlich betrachteten Netzwerkelemente orientieren sich an den im zugrunde liegenden Flugplan enthaltenen Trajektorien. Es ist zu erkennen, dass typischerweise Lufträume um Paris sowie einige Luftraumsektoren westlich der internationalen Hub-Flughäfen Frankfurt und München von verkehrlicher Überlast betroffen sind. Dies entspricht der zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Wetterlage sowie der entsprechenden kapazitären Regulierungsmaßnahmen.

Sowohl der Einfluss von Verfügbarkeit als auch Qualität von Vorhersagedaten können durch die Flexibilität des Modells im Hinblick auf Verteilung und Umfang zugewiesener Verspätungen bewertet werden. Neben der erwähnten dynamischen Rekonfiguration von Lufträumen umfassen künftige Entwicklungen im Sinne der Bewertung innovativer ATFM-Maßnahmen aller Planungsphasen die Integration dynamischer Routen als Werkzeug der Nachfrage-Kapazitäts-Glättung. Zudem wird die Bewertungsfähigkeit um die Einbindung von ökologischen Metriken erweitert, sodass die Umweltwirkung von ATFM-Maßnahmen in Abhängigkeit individueller Netzwerksituationen betrachtet werden kann.