

Nachfrageverteilung im europäischen Luftverkehr

Alexander Erath

Semesterarbeit
Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Oktober 2004

IVT Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Institute for Transport Planning and Systems

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Zum Titelbild:

Das mit einem Netzplan bedruckten Papierfliegermodell reflektiert die Anfangsphase der Flugmodellierung. Das Papierfliegermodell stellt ein Flugzeug dar, welches auch fliegt. Um zu einem brauchbaren Resultat zu kommen, sind allerdings noch weitere Arbeitsschritte nötig.

Inhaltsverzeichnis

1	Modellierung der europäischen Luftverkehrsnachfrage.....	3
2	Ausgangslage und Vorgehen	4
2.1	Grundlagen	5
2.2	Theorie.....	14
3	Vorarbeiten	16
3.1	Nachfrage - Datelinematrix.....	16
3.2	Einbindung der NUTS 1 Schwerpunkte ans Flugnetz	21
4	Modellierung der Nachfrageverteilung im europäischen Luftverkehr	24
4.1	Umlegung/Belastung der Strecken.....	24
4.2	Analyse der Differenzen zwischen Umlegung/Zählung.....	25
4.3	Kalibrierung.....	28
4.4	Analyse und Vergleich der Umsteigerzahlen	33
5	Bewertung und Ausblick	39
5.1	Bewertung des Lösungsweg	39
6	Abschliessende Folgerungen	42
7	Dank	43
8	Literatur.....	44

Semesterarbeit Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Nachfrageverteilung im europäischen Luftverkehr

Alexander Erath
Ankerstrasse 9
8004 Zürich

Telefon: 079 283 49 31
erathal@student.ethz.ch

Oktober 2004

Kurzfassung

Um erstmalig den europäischen Luftverkehr zu modellieren, wird das IVT-Flugnetzmodell mit der Nachfragematrix, welche aus der DATELINE-Befragung hervorgegangen ist, belastet. Zur Kalibrierung des Modells werden von der ICAO veröffentlichte Streckenzählwerte verwendet. Um das Modell zu prüfen, werden die Modellwerte der Passagier- und Umsteigerzahlen mit von Flughafengesellschaften veröffentlichten Werten verglichen.

Die Auswertungen führen zur Hypothese, dass zum einen die ICAO-Zählungen unvollständig sind und zum andern die DATELINE-Matrix aufgrund von Schwierigkeiten der Hochrechnung Ungenauigkeiten aufweist.

Schlagworte

DATELINE, ICAO, ACI, Umlegung, VISUM

Zitierungsvorschlag

Erath, Alexander (2004) Nachfrageverteilung im europäischen Luftverkehr, IVT ETH Zürich, Zürich, 2004.

1 Modellierung der europäischen Luftverkehrsnachfrage

Die Modellierung der Nachfragemuster im Luftverkehr war bisher das Vorrecht der Fluggesellschaften und ihrer Planungsabteilungen. Die Verfügbarkeit von Flugplandaten und deren Aufbereitung zu einem Flugnetz, wie am IVT vorhanden, sowie erste öffentliche Schätzungen der europäischen Flugverkehrsnachfrage ändern diese Lage. Daneben liegen Statistiken zu den Streckenbelastungen vor.

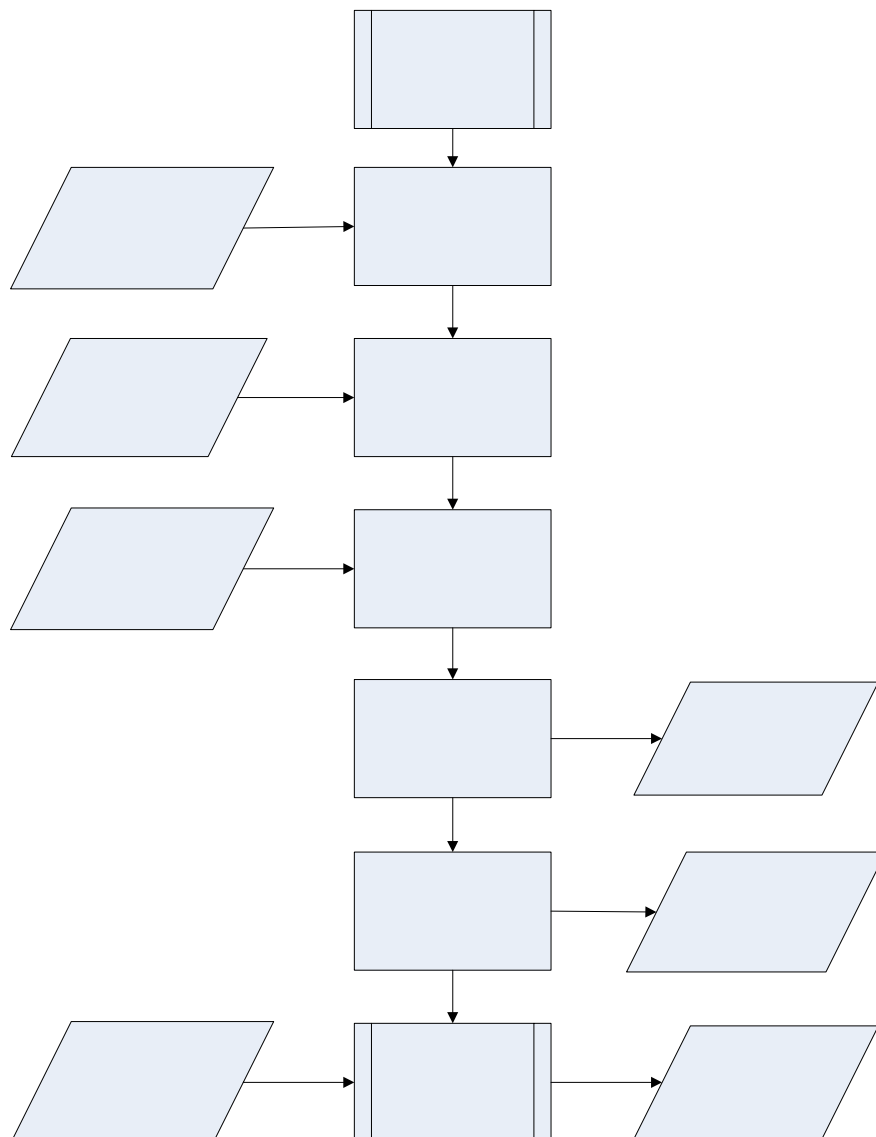
Im Rahmen dieser Semesterarbeit sollen nun diese Daten in einem Modell zusammengefügt und ausgewertet werden. Ziel dieser so noch nie durchgeführten Arbeit ist es Erfahrungen bei Umlegungen im Luftverkehr zu sammeln, sowie Aussagen über die Verlässlichkeit der Eingangs-Größen treffen zu können. Weiter sollen Aussagen über die Nachfrageverteilung im europäischen Luftverkehr gemacht werden können und, anhand der Analyse und des Vergleichs der Anzahl der Umsteiger mit veröffentlichten Daten, deren Plausibilität nachgewiesen werden.

2 Ausgangslage und Vorgehen

Die Ausgangslage wird durch die vorhandenen Daten der Flug-, Strassen- und Schienennetze, der Nachfragematrix, welche aus der DATELINE-Befragung hervorging, sowie der ICAO-Streckenzählungen bestimmt. Zusätzlich werden zur Plausibilitätsprüfung der Resultate von Flughäfen veröffentlichte Passagier- und Umsteigerzahlen beigezogen.

Das schematische Vorgehen der Arbeit ist in der Abbildung 1 ersichtlich.

Abbildung 1 Vorgehen und Ablauf der Untersuchung



Nach Einfügung der NUTS-1 Schwerpunkte¹ in das bestehende Flugnetz wird die auf die DATELINE-Datenbank basierte Nachfragematrix eingelesen und umgelegt. Danach wird das Ergebnis mit den Zählwerten aus der ICAO-Statistik verglichen und anschliessend kalibriert. Das kalibrierte Netz wird wiederum analysiert. Abschliessend sollen noch die aus dem Modell hervorgegangenen Umsteigezahlen und das Passagieraufkommen mit den veröffentlichten Zahlen verglichen werden.

2.1 Grundlagen

2.1.1 Verkehrsnetze

Flugmodell

Auf Basis der Datengrundlage erschwinglicher Flugplandatensätzen wurde im Rahmen der Arbeit von Bleisch und Fröhlich (2003) am IVT mit der Software VISUM der PTV AG ein Flugnetzplan modelliert. Für diese Arbeit wird das Flugnetz auf dem Stand September 2002 verwendet.

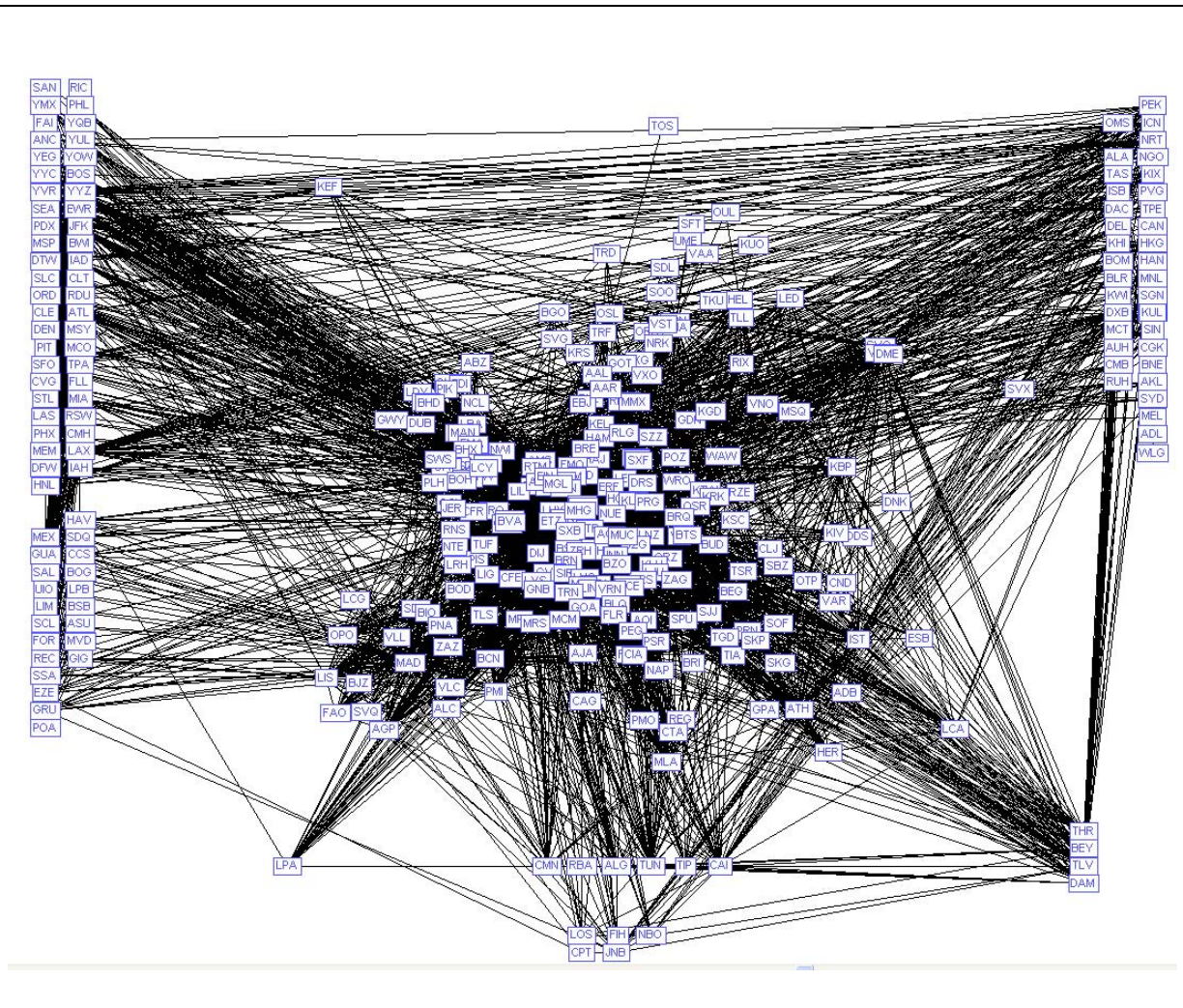
Das Luftverkehrsmodell umfasst 611 Knoten, wovon 348 als effektive Haltestellen ausgebildet sind. Dabei handelt es sich einerseits um 227 europäische Flughäfen, deren Georeferenzierung aufgrund von Daten des Instituts für Raumplanung der Universität Dortmund (IRPUD) bestimmt wurde. Daneben wurden 121 aussereuropäische Flughäfen für die Abbildung der interkontinentalen Nachfrage ohne Georeferenzierung eingefügt. Die Georeferenzierung erweist sich für diese als nicht notwendig, da, aufgrund vereinfachter Annahmen über das ÖV- und Strassennetz im Gebiet, das aussereuropäische Flugnetz nicht mit Netzen anderer Verkehrsträger angebunden werden musste.

Für die Flugverbindungen wurde die Flugdatenbank des OAG (Official Airline Guide) für die Zeit zwischen dem 23.-29. September 2002 verwendet. Dabei sind neben dem Linienverkehr auch Charterflüge vorhanden. Insgesamt wurden knapp 50'000 einzelne Verbindungen auf rund 9'000 Strecken im System verwendet. Damit befinden sich die benutzten Softwares an der Auslastungsgrenze. Die Flugdaten wurden nach Allianzen, Code-Shares und Wochentagen attribuiert. Zur Bestimmung der Flugzeit zwischen einem Ursprungs- und einem Zielflughafen wurden alle Varianten zugelassen, bei denen nicht mehr als dreimal umge-

¹ Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS)

stiegen werden muss. Dabei sind minimale und maximale Umsteigezeiten einzuhalten, welche bei internationalen Hubs 50 Minuten bzw. 6 Stunden, bei nationalen Hubs 40 Minuten bzw. 6h und bei kleinen Flughäfen 30 Minuten bzw. 6h betragen. Umsteigevorgänge sind sowohl in Europa sowie auch ausserhalb Europas zulässig.

Abbildung 2 Netzgeometrie Flugmodell

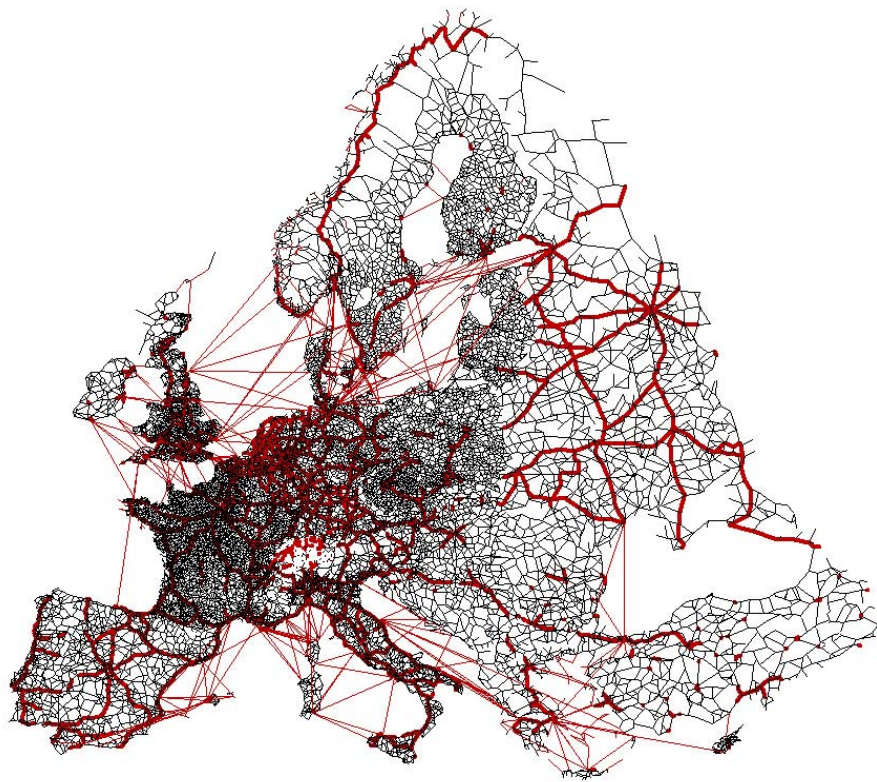


Strassenmodell

Das am IVT zur Verfügung stehende Strassenmodell wurde für dieselbe Studie mit dem gesamteuropäischen Strassennetz der PTV zusammengefügt. Beide Netze stammen aus dem Jahr 2000, was, aufgrund der im gleichen Zeitraum geringen Veränderungen der Strassennetze gegenüber der rasanten Umstellung der Flugpläne, als ausreichend aktuell angesehen werden kann.

Die Netzgeometrie setzt sich aus 220'000 Strecken und 75'000 Knoten zusammen. Da für das gesamte europäische Netz keine umfassenden Nachfragedaten existieren, kann keine eigentliche Verkehrsumlegung erfolgen. Aus diesem Grund muss mit realistischen Durchschnittsgeschwindigkeiten für die verschiedenen Strassentypen operiert werden. Im zur Anwendung gekommenen Netz sind 50 verschiedenen Streckentypen codiert, welche aufgrund langjähriger Erfahrung am IVT mit je einer zutreffenden Geschwindigkeit versehen wurden.

Abbildung 3 Strassenmodell Europa (Autobahnen, Hauptstrassen , Autofähren)



Schiennenmodell

Die Geometrie des Schienenmodells basiert auf den Angaben des IRPUD. Die Fahrplandaten datieren vom September 2002 und wurden vom IVT erfasst. Es fanden sämtliche Züge ab dem RegionalExpress-Level werktags Berücksichtigung. S-Bahnen fanden wegen ihrer nur regionalen Bedeutung keinen Eingang. Ins Netz integriert sind dafür rund 85 europäische Flughäfen, insbesondere alle Wichtigen innerhalb des erweiterten Alpenraumes. Bei Flughäfen ohne RegionalExpress-Haltestelle wurden zusätzliche Daten auf Stufe S-Bahn, und teils gar Tram und Bus eingefügt. Für Flughäfen ohne direkte Anbindung wurden, in der Annah-

me, dass immer eine lokale, langsame Busverbindung existiert, die Strassenfahrzeiten mit 2.5 multipliziert.

Die Netzgeometrie verfügt über rund 36'000 Knoten und 78'000 Strecken. Auf diesem Netz sind im Modell rund 11'000 Linien realisiert, welche rund 2'000 Haltestellen bedienen. Eine Linie entspricht dabei einer fahrplanmässig vorhandenen Route über mehrere Haltestellen.

Abbildung 4 Bahnmodell Europa



2.1.2 DATELINE-Matrix

Die Grundlage über die Nachfrage im europäischen Luftverkehr sind die aus der DATELINE-Befragung (DATELINE Consortium, 2003) hervorgegangenen Quell-/Zielmatrizen, welche auf der Aggregationsebene der EU-Standard NUTS-1 Regionen verwendet wurden, jedoch einige Abweichungen bezüglich der Zonierung aufweisen

Das DATELINE-Projekt (Design and Application of a Travel Survey for European Long-distance Trips Based on an International Network of Expertise) realisierte erstmalig eine Befragung zur Nachfrage der europäischen Langstreckenreisen.

Die offizielle Einteilung der NUTS-1 Regionen ist in Abbildung 5 ersichtlich. In der vom Juli 2001 bis August 2002 durchgeführten Befragung wurden die Zonen der damaligen 15 EU-Mitgliedsstaaten, sowie die Schweiz berücksichtigt. Andere Länder wurden in die externen Zonen Norden (Norwegen, Island, Grönland), Süden (Afrika), Westen (Nord und Südamerika) und Osten (Osteuropa, Mittlerer Osten, Asien) aufgeteilt. Aufgrund des Befragungsansatzes enthält die Matrix allerdings keine Nachfrage von Reisenden dieser 4 Zonen in den Untersuchungsraum selbst.

Abbildung 5 Einteilung der NUTS-1 Regionen



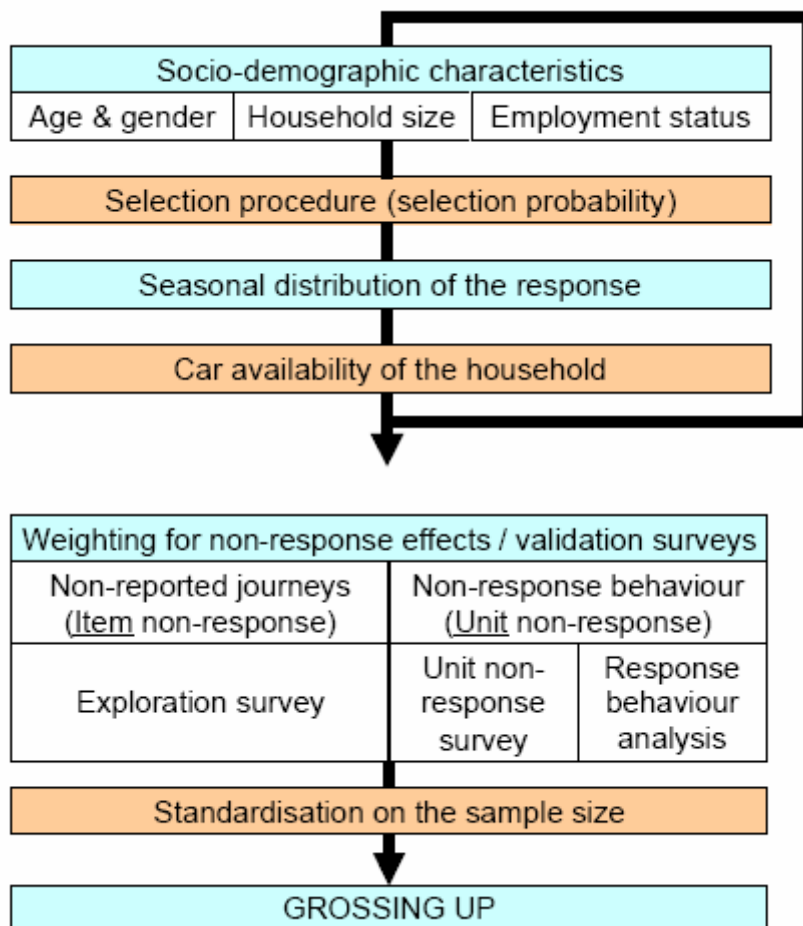
Quelle: http://europa.eu.int/comm/eurostat/ramon/nuts/pngmaps/ec15_1.png

Die Abweichung bezüglich der Zonierung treten für die Länder Frankreich, Portugal und Italien auf: Die ‚Territoire et Département d'Outre-Mer‘ (TOM/DOM) Frankreichs wurden als eine Zone berücksichtigt, verfügen aber als aussereuropäische Regionen über keine Nachfrage. Die portugiesischen Inselgruppen Madeira und die Azoren wurden nicht als separate Regionen berücksichtigt, sondern dem portugiesischen Festland zugeordnet. Im Falle Italien wurde die Verkehrsnachfrage in 12 Zonen aufgeteilt, wobei Italien nach der offiziellen Einteilung (Eurostat 2004) eigentlich nur über 5 Zonen verfügt (Abbildung 5), was zu einer feiner verteilten Nachfrage führt. Diese feine Verteilung wurde beibehalten und nicht aggregiert. Eine genaue Auflistung der verwendeten Regionen findet sich im Anhang A1.

Die Nachfragematrix umfasst so insgesamt 81 Gebiete, davon sind 77 europäische und 4 externe.

Die DATELINE-Matrix (Brög, Sammer und Schulze, 2003) basiert auf einer 80'635 Reisen umfassenden Befragung, welche zwischen Juni 2001 und August 2002 durchgeführt wurde. Für den kritischen Teil der Hochrechnung wurden Gewichtungen auf vier Ebenen verwendet: Haushalt, Person, Reise, Weg. Verschieden signifikante Faktoren fanden im Gewichtung- und Hochrechenverfahren Eingang. Abbildung 6 gibt Auskunft über das Vorgehen der Hochrechnung.

Abbildung 6 DATELINE: Gewichtungsschema



Quelle: Brög, Sammer und Schulze (2003)

Aus den Daten der DATELINE-Datenbank wurden mittels des ‚Matrix-Builder‘ des EU-MYSTIC Projektes (Dateline Consortium 2003) eine Quell-/Zielmatrix errechnet und in die Gruppen Auto, Bahn, Luftverkehr sowie Andere segmentiert. Bei der Generierung der Matrix erwies sich die korrekte Abbildung der Reisen einer Distanz >1'500km als besonders schwierig, da eine solche Reise die Wahrscheinlichkeit 1:100'000 besitzt, während die Dateline-Stichprobe allerdings nur rund 80'000 Personen umfasst. Daher wurden diese in der Stichprobe überproportional berücksichtigt. Dieses Problem fällt insbesondere bei den Interkontinentalreisen ins Gewicht und schränkt die Verlässlichkeit der Interkontinentalen Nachfrage ein.

2.1.3 ICAO Streckenzählungen

Die International Civil Aviation Organization (ICAO), ein Sonderorgan der UNO, veröffentlicht jährlich Passagierzahlen von Linienflügen (ICAO 2004). Die Daten sind als Aggregation über 12 Monate aufgezeichnet. Für diese Arbeit wird der Datensatz des Jahres 2000 verwendet. Dies bringt eine Inkongruenz zwischen dem Flugmodell, der Nachfrage und der Zählwerte mit sich. Im schnelllebigen Flugmarkt könnte dies, es sei hier auf das Aufkommen der Low-Cost Carriers verwiesen, zu Problemen führen, da einzelne Strecken dazumal noch nicht bedient wurden, jedoch im Flugnetz 2002 bereits vorhanden sind. Weiter sei an die für den Flugmarkt besonders einschneidenden Ereignisse des 11. Septembers 2001 erinnert.

Die ICAO-Statistik (ICAO 2004) stammt aus dem Jahr 2000 und umfasst Angaben zum Transportzweck (Passagier-, Frachtflug oder Luftpost), Passagierzahlen, eingesetzten Flugzeugtypen, Besetzungsgrad und operierender Airlines. Insgesamt weist die Statistik 51'252 eingetragene Strecken aus. Davon sind jedoch nur 7'576 mit mindestens einem Flug versehen, 4'718 Datenwerte stammen aus einer Aggregation von mindestens 52 Flügen, also mindestens einem Flug pro Woche. Es wird vermutet, dass auch da wo Streckenzählwerte vorhanden sind, diese nicht allumfassend sind, was bei der Aggregation zu geringe Streckenbelastungen mit sich bringt.

Als Zählwerte wurden daher nur Passagierzahlen von Strecken verwendet, die über eine jährliche Nachfrage von 20'000, respektive über 100 Passagiere an einem Spitzentag (Division durch 200 Personen) verfügen. Diese Vorgehensweise führte dazu, dass noch 3076 Datensätze zur Verfügung standen. Aufgrund der regionalen Begrenzung auf die EU-15 Staaten und der Schweiz verbleiben noch 411 valable Datensätze.

Verfügen Städte über mehr als einen Linienverkehrsflughafen werden in der Statistik nur aggregierte Werte angegeben. Dies betrifft in dieser Arbeit die Städte London, Paris, Rom, Mailand, Berlin und Stockholm. Für Strecken von und zu diesen Städten liegen daher keine Zählwerte vor, was, aufgrund der wichtigen Bedeutung dieser Flughäfen die Kalibrierung schwieriger gestaltet. Eine Aufsplittung der vorhandenen Daten auf die einzelnen Flughäfen, basierend auf der Kenntnis der Flugpläne, wurde zwar in Erwägung gezogen, aber wegen des ungünstigen Verhältnisses der zu erlangenden Datenqualität gegenüber des Aufwandes nicht durchgeführt. Zur Statistik ist kein Bericht verfügbar, welcher die Datengenerierung oder die offensichtliche Unvollständigkeit erläutern würde. Auf eine Email-Anfrage betreffend dieser Fragen an die ICAO wurde nicht geantwortet.

2.2 Theorie

In den folgenden zwei Abschnitten sollen die theoretischen Grundlagen der Umlegung sowie der Kalibrierung erläutert werden.

2.2.1 Umlegung

Die Umlegung stellt die zentrale Methode zur Berechnung der Belastung eines entsprechenden Angebotsnetzes mit der Nachfragematrix dar. Darauf basierend können die Belastungen und Kenngrößen des Verkehrsablaufes herausgelesen werden. Dazu werden die Ortsveränderungen der Verkehrsteilnehmer über Suchalgorithmen nachgebildet, die die Routen zwischen einer Quelle und einem Ziel ermitteln. Nach dieser Suche folgt ein Wahlverfahren, welches die Nachfrage auf die verschiedenen Routen aufteilt. Für die verschiedenen Verkehrstypen IV/ÖV werden unterschiedliche Algorithmen angewandt: Während beim IV besonders die von der Belastung abhängigen Fahrzeiten berücksichtigt werden müssen, so bestimmt bei der ÖV-Umlegung der Fahrplan das Ergebnis. Der Luftverkehr wurde als ein ÖV-Modell mit Fahrplänen auf Basis der Flugpläne modelliert.

Für die Wegewahl hingegen, welche grundsätzlich auf Grund der zuvor berechneten Widerstände berechnet wird, werden zur Aufteilung der Nachfrage für beide Verkehrssysteme dieselben Algorithmen verwendet, welche die zuvor berechneten Widerstände verwenden. Dabei werden verschiedene Aufteilungsmechanismen unterschieden.

Das Kirchhoff-Modell teilt, in Anlehnung an die Elektrotechnik, die Nachfrage aufgrund der Verhältnisse der Widerstände auf, weswegen es keine Rolle spielt ob zwei Verbindungen die Widerstände 5 und 10 Minuten oder 50 und 100 Minuten aufweisen. In beiden Fällen werden, bei der Annahme des Parameters $\alpha=4.0$, die Strecken mit einem Verhältnis von rund 1000 zu 1 aufgeteilt. Dabei wird α als Parameter der Widerstandsempfindlichkeit verwendet. Die untenstehende Formel steht für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit nach dem Kirchhoffmodell, dass Strecke j gewählt wird.

$$P_j = \frac{WID_j^{-\alpha}}{\sum_i WID_i^{-\alpha}}$$

Das Logit-Modell teilt die Nachfrage aufgrund der Differenz der Widerstände auf. So bleibt die Aufteilung gleich, egal ob 2 Verbindungen 5 und 10 Minuten oder 95 und 100 Minuten

betragen. In beiden Fällen werden, bei der Annahme des Parameters $\beta=0.1$, die Strecken mit einem Verhältnis von rund 62 zu 38 aufgeteilt. Untenstehende Formel steht für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit nach dem Logit-Modell, dass Strecke j gewählt wird.

$$P_j = \frac{e^{-\beta \cdot WID_j}}{\sum_i e^{-\beta \cdot WID_i}}$$

Andere in der Software implementierte Modelle (Schnabel-Lohse, Box-Cox-Transformation) wurden in dieser Arbeit nicht verwendet. Mit dem Hinweis auf die entsprechende Literatur, (Friedrich, Hofsäss und Weckeck, 2000), wird daher auf eine weitere Erläuterung verzichtet.

2.2.2 Kalibrierung

Aus Befragungen hervorgehende und durch Umlegung berechnete Verkehrsnetze unterliegen immer gewissen Fehlern. Um diese Fehler zu minimieren, werden so genannte Matrixkorrekturverfahren zur Kalibrierung auf die Zählwerte angewandt. Bei der Kalibrierung werden die Umlegungsergebnisse mit den Zählwerten verglichen. Entsprechend den Abweichungen wird die Quell-/Zielmatrix korrigiert so, dass ihr Umlegungsergebnis die beobachtete Streckenbelastung (Querschnittszählungen) möglichst genau wiedergibt. Für die Kalibrierung wurde das in der Software VISUM implementierte Verfahren VSTROM/Fuzzy angewandt.

Eine Problematik bei der Fortschreibung der Nachfragematrix ist, dass die neue Matrix durch die Zählstellen unterbestimmt ist. Daher wird mittels einer Bewertungsfunktion die beste Lösung geschätzt. Methodisch basiert die Bewertung auf der Maximierung der Entropie unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Proportionen der alten Matrix. Da die Zählwerte auch einem gewissen Fehler unterliegen, zum Beispiel, weil die Zeitpunkte der Nachfrage und der Zählung nicht genau übereinstimmen, wird den Zählwerten eine gewisse Bandbreite (Fuzziness) zugestanden. All diese Punkte sind in VSTROM/Fuzzy umgesetzt. (Mott und Nökel 1999)

3 Vorarbeiten

3.1 Nachfrage - Datelinematrix

3.1.1 Aufbereiten und Einlesen der Matrix

Die DATELINE-Matrix gibt eine Schätzung über die jährliche Verkehrsnachfrage. Das Flugmodell gibt aber das Angebot eines Wochentages wieder. Daher wurde die Nachfrage durch 200 dividiert, um so einen Tag hoher Belastung zu simulieren. Weiter wurde die Nachfrage mittels einer Ganglinie auf den Tag verteilt. Die Ganglinie basiert auf den in der Untersuchung von Vrtic, Axhausen, Maggi, Rossera (2003) gemachten Beobachtungen zum Bahnverkehr. Es wird angenommen, dass sich die zeitliche Nachfrageverteilung im Luftverkehr ähnlich abbilden lässt, was Vergleiche mit Flugplänen einzelner Flughäfen bestätigt haben.

Tabelle 1 Nachfrage: Angenommene Tagesganglinie

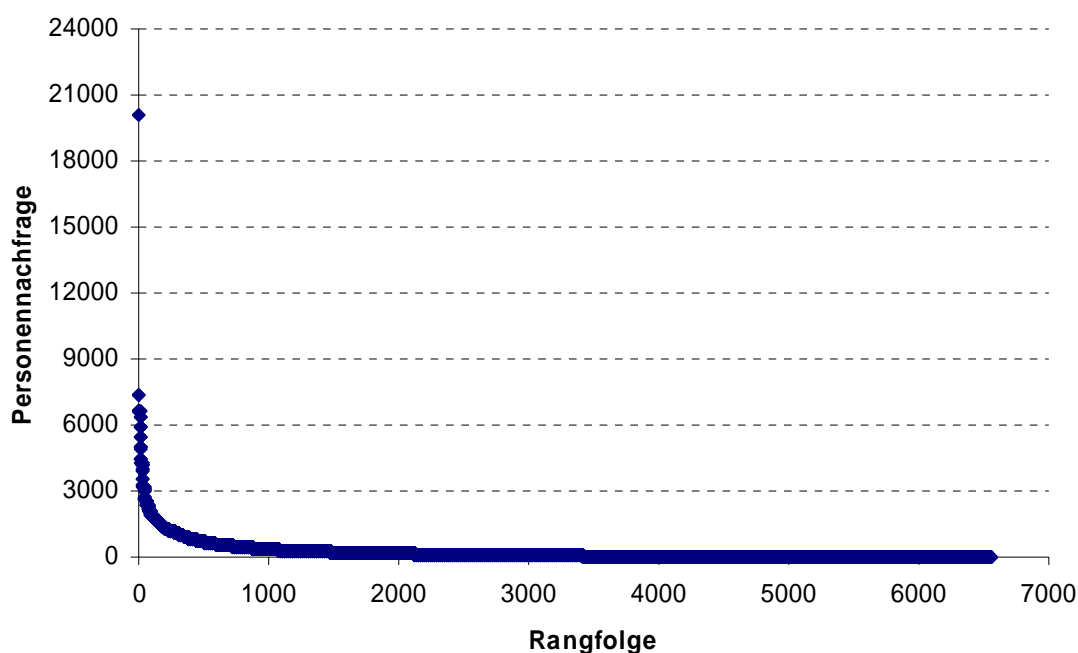
Zeitfenster	% der täglichen Verkehrsmenge
00-06h	0
06-08h	17
08-16h	56
16-20h	27
20-24h	0

Da es mit VISUM nicht möglich ist, mit Kapazitätsbeschränkungen der abgebildeten Fahrzeuge zu rechnen, werden bei der Umlegung einzelne Flugverbindungen überlastet. Abhilfe würde bestenfalls eine unstetige, für jeden Flugzeugtyp individuelle Widerstandsfunktionsfunktion schaffen. Allenfalls würde die Berücksichtigung einer im Strassenverkehr gebräuchlichen, stetigen Widerstandsfunktion das Modell auch realitätsnaher gestalten. Im Rahmen dieser Arbeit wird aber auf eine solche Modellierung verzichtet.

3.1.2 Analyse Matrix

Abbildung 7 zeigt die Verteilung der aus der DATELINE-Matrix hervorgegangenen Luftverkehrsnachfrage zwischen den NUTS-1 Gebieten. Es fällt auf, dass die meisten der 6'561 Beziehungen kleine Belastungen aufweisen.

Abbildung 7 Verteilung Luftverkehrsnachfrage (Spitzentag)



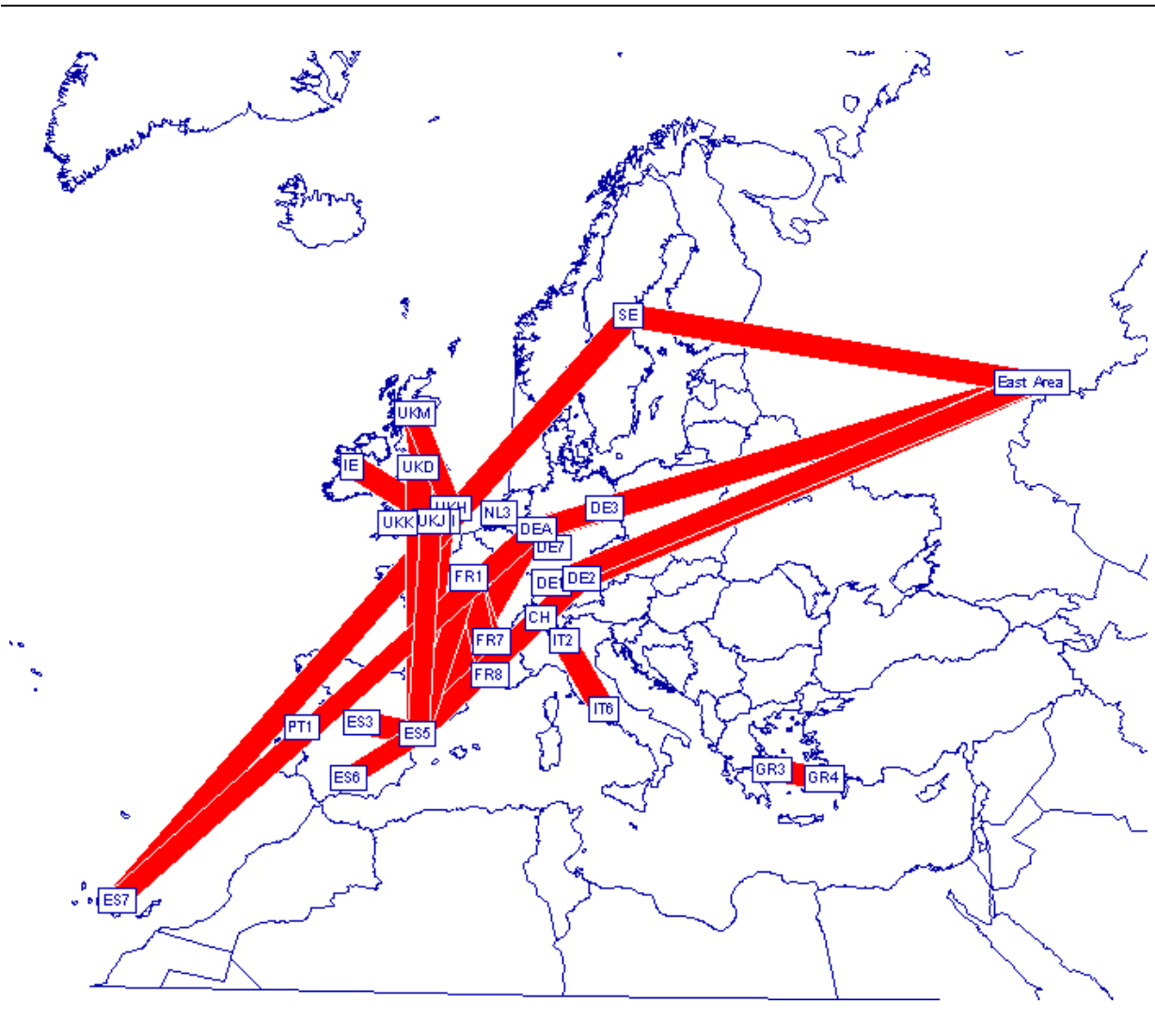
Umso wichtiger ist die Analyse der grossen Nachfragen. Tabelle 2 listet die Beziehungen mit einer Nachfrage grösser 3000 auf. Der Wert der Binnennachfrage Schwedens muss wohl als Ausreisser übersehen werden und hat auf die Umlegung, als Binnennachfrage, welche das Netz nicht belastet, keine Auswirkung. Die weiteren hohen Werte der Binnennachfrage wie beispielsweise innerhalb Dänemarks, Schottlands oder der Schweiz, sollen hier nicht eruiert werden, haben aber wie schon im Falle Schwedens keinen Einfluss auf die weitere Arbeit. Es fallen vor allem die hohen Werte innerhalb Griechenlands auf, welche durch die Inselstruktur des ägäischen Mittelmeerraumes zu erklären sind. Hier dürfte es bei der Umlegung zu Problemen kommen, da die Anbindung an Flughäfen dieser räumlich sehr dispersen Gebiete schon mit Schwierigkeiten verbunden war. Weiter fallen hohe Nachfragen innerhalb, sowie von und nach Ostspanien (ESTE) auf, welche wohl auf die touristische Anziehung der balearischen Inseln, sowie der Küstenregion Kataloniens zurückzuführen sind.

Tabelle 2 Grösste Spitzentagnachfragen zwischen NUTS 1 Gebieten

Quelle	Ziel	Nachfrage
Sverige	Sverige	20125
Scotland	London	7402
London	Scotland	7402
Este (ESP)	Este (ESP)	6625
Nordrhein-Westfalen	Este (ESP)	6614
Este (ESP)	Nordrhein-Westfalen	6614
Nisia Aigaiou, Kriti (GR4)	Attiki (GR3)	6606
Attiki (GR3)	Nisia Aigaiou, Kriti (GR4)	6606
Île de France	Centre-Est	6375
Centre-Est	Île de France	6375
Méditerranée	Méditerranée	5897
London	Este (ESP)	5867
Este (ESP)	London	5867
Nordrhein-Westfalen	EAST	5445
EAST	Nordrhein-Westfalen	5445
Danmark	Danmark	5009
Voreia Ellada	Attiki (GR3)	4958
Attiki (GR3)	Voreia Ellada	4958

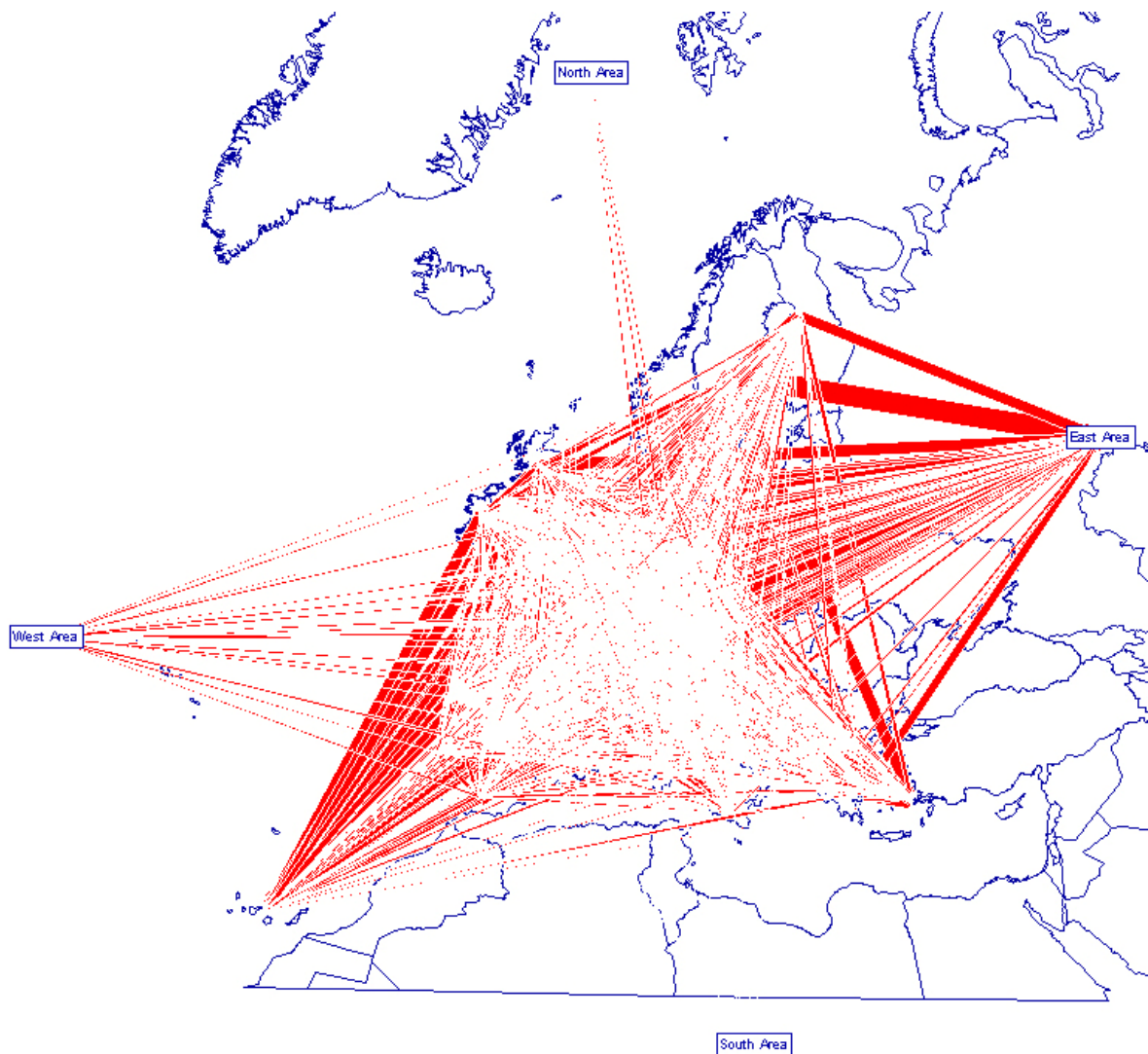
Eine räumliche Visualisierung der Nachfrage stellt Abbildung 8 dar, auf der Nachfragen größer 2500 Personen pro Tag als rote Balken gezeichnet sind. Neben den schon mit der Tabelle 2 dokumentierten Nachfragespitzen fallen die Verkehrsanziehung der Kanarischen Inseln (ES7) sowie die starke Beziehung zwischen Deutschland und der Region ‚East‘ auf.

Abbildung 8 Nachfrage > 2500 Reisende pro Tag



Um sich ein Bild der gesamten Nachfrage machen zu können sei auf Abbildung 8 verwiesen. Es fällt dabei auf, dass die ‚East Area‘ im Vergleich zu den anderen ausserhalb liegenden Gebieten eine beträchtliche Nachfrage aufweist. Für eine weiterführende Arbeit müsste eine der politischen EU-Osterweiterung folgenden Vergrößerung des Untersuchungsraumes in Betracht gezogen werden.

Abbildung 9 Gesamte Nachfrage pro Tag



3.2 Einbindung der NUTS 1 Schwerpunkte ans Flugnetz

3.2.1 Georeferenzierung NUTS-1 Schwerpunkte

Die Georeferenzierung wurde mittels Projektion mit der Software ArcMap erstellt. Der Breiten- und der Längengrad (sogenannte WS 1984 Koordinaten) sowie die Namen von den NUTS1-Zentren wurden aus der GISCO 2001 Datenbank (Eurostats) entnommen. Der Zentralmeridian der Projektion, für die der Spheroid „CLARKE1866“ verwendet wurde, beträgt 10° , und der Breitengrad des Ursprungs liegt bei 52° . Als Einheit wurden Meter verwendet. Die beiden Parallelkreise liegen bei 27° und 63° nördlicher Breite.

3.2.2 Anbindung der NUTS-1 Schwerpunkte ans Flugnetz

Im Flugnetz sind nur Flugverbindungen abgebildet. Da die Dateline-Matrix die Verkehrsnachfrage zwischen den NUTS-1-Zentren angibt, müssen diese zunächst mit den Flughäfen verbunden werden. Die Anbindungen und deren Verbindungszeiten werden im Strassen-, respektive im Schienennetz errechnet und ins Flugnetz (siehe Abschnitt 2.1.1) eingefügt.

Jedes NUTS-1-Zentrum muss über eine so genannte Anbindung an mindestens eine ÖV-Haltestelle (Schienennetz) oder einen IV-Knoten (Strassennetz) angeschlossen sein, damit die Verkehrsteilnehmer diesen Bezirk verlassen, beziehungsweise erreichen können. Eine Anbindung entspricht einem Zugangs- bzw. einem Abgangsweg, für den eine Gehzeit (nur für den ÖV; für den IV eventuell eine Fahrzeit) und eine Länge angegeben wird.

Die NUTS-1-Zentren wurden an die drei räumlich nächstgelegenen Haltestellen/Knoten angebunden. Die Anbindungen wurden mit einer Geschwindigkeit ‚unendlich‘ versehen, um so der modellmässigen Lage der NUTS1 –Zentren gerecht werden zu können.

Für die Zu- und Abgangswege von den Flughäfen an das Strassen-/Schienennetz wurde, in der Annahme der Existenz einer entsprechenden Erschliessung des Flughafens, die Geschwindigkeit 50 km/h gewählt.

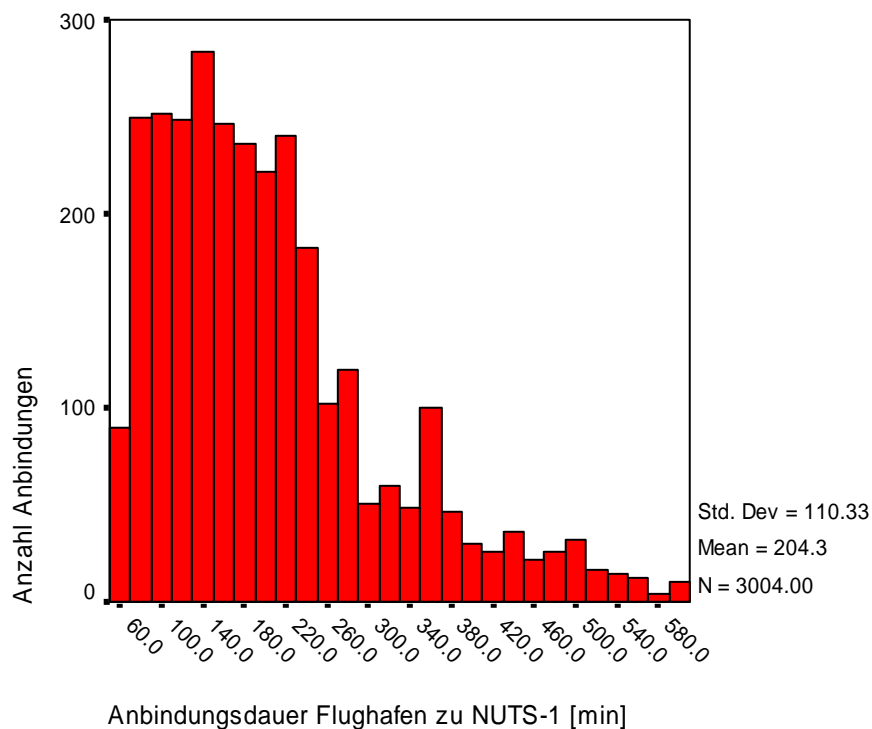
Entscheidender als die Zu- und Abgangswege sind die Gesamtreisezeiten der Verbindungen von dem an den NUTS1-Schwerpunkt angebundenen Knoten zum Flughafen. Aufgrund der Tatsache, dass im Flugnetz, als ÖV-Netz modelliert, nur **eine** Anbindungszeit eingefügt werden kann, musste auf die Verwendung eines Modal-Split, welche beispielsweise mit einem Verkehrsmittelwahlmodell hätte berechnet werden können, verzichtet werden. In der Annah-

me, dass der grösste Teil des Verkehrs mit dem Auto abgewickelt wird, wie Ergebnisse der DATELINE-Befragung unterstreichen, wurden als Anbindungszeiten die Zeiten der IV-Anbindungen verwendet. Da jedoch ein Teil des Verkehrs dennoch über den in der Regel langsameren ÖV abgewickelt wird, wurden die im Strassennetz errechneten Zeiten mit dem Faktor 0.8 dividiert.

In das Flugmodell wurden für alle Bezirke die 20 Verbindungen zu den zeitlich nächstgelegenen Flughäfen eingelesen.

Abbildung 10 zeigt die Verteilung der so ermittelten Anbindungszeiten zwischen den NUTS-1 Schwerpunkten und der Flughäfen. In über 70% der Fälle, lassen sich Flughäfen also innert 4 Stunden von den jeweiligen NUTS-1 Zentren erreichen. Die a posteriori Berechnung (im kalibrierten Modell) des durchschnittlichen Verhältnisses zwischen gesamter Reisedauer und der Reisezeit im Flugzeug, ergab eine Relation von 100 zu 37.

Abbildung 10 Verteilung der Zeit der Anbindungen im Flugnetz: NUTS-1 zu Flughäfen



Schwierigkeiten bei der Anbindung der NUTS-1 Regionen ans Strassen- resp. Schienennetz boten sich vor allem bei Inselgebieten. Im Flugnetz, welches nur grössere Flughäfen umfasst, sind zwar viele der kleinen Flughäfen auf Inseln und deren Flugverbindungen vorhanden.

Aufgrund der Vorgehensweise der Anbindung von NUTS-1 Zentren an die Flughäfen wurden diese jedoch nicht mit den Inseln verbunden. Die Kanalinseln Guernsey und Jersey wurden daher mit Anbindungen an das NUTS-Zentrum UK, South West, angebunden. Als Zeitattribut wurden die Reiseszeiten der entsprechenden Fährverbindungen verwendet und zusätzlich zu der Reisezeit zwischen Hafen und Flughafen addiert. Problematischer zeigt sich die Situation im ägäischen Raum, wo nur die Flughäfen von Athen und Heraklion auf Kreta sowie von Izmir und Istanbul abgebildet sind. Die NUTS-1 Schwerpunkte liegen hier im Meer oder auf Inseln, so, dass sie nicht automatisch über Strassen- oder Schienenverbindungen angebunden werden konnten. Daher wurde das Gebiet GR4 (Nisia Aigaiou, Kriti) einzig an das nahegelegene Izmir angebunden, was sich in der Folge als ungünstig gewählte Annahme herausstellte.

Für die 4 Gebiete, welche die Nachfrage zu Zielen ausserhalb der EU15 plus Schweiz umfassen, wurde die Georeferenzierung willkürlich gewählt. Als Hubs modelliert, sammeln diese Gebiete mittels Anbindungen an sämtliche Flughäfen des EU15 Raumes und abgehende Anbindungen zu sämtlichen in den jeweils zugeordneten Gebieten liegenden Flughäfen (Bsp. Afrika für SOUTH) die entsprechende Nachfrage. Den Anbindungen wurde als Attribut des Widerstandes je 6 Stunden zugeordnet. Dies soll die durchschnittliche Reisezeit vom Flughafen zu einem virtuellen NUTS-Schwerpunkt darstellen.

4 Modellierung der Nachfrageverteilung im europäischen Luftverkehr

4.1 Umlegung/Belastung der Strecken

Die Erstmaligkeit der Luftverkehrsumlegung brachte es mit sich, dass auf keine Erfahrungswerte bezüglich optimaler α -Parameter zur Berechnung der Widerstandsempfindlichkeit zurückgegriffen werden konnte. Um dennoch einen Anhaltspunkt zu haben, wurden die Entwickler des Programms VISUM um eine Einschätzung gebeten. Diese sprachen sich für eine Aufspaltung nach Kirchhoff mit dem Widerstandsparameter $\alpha=4.0$ oder nach Logit, $\beta=0.1$ aus. Daher wurden die Umlegung mit zwei Modellen und jeweils drei, beziehungsweise zwei Parametern durchgerechnet. Die Umlegung erfolgte mit dem Fahrplanfeinen Verfahren 3. Dieses berücksichtigt die Umsteigehäufigkeit und die Umsteigezeiten des Fahrplanes und garantiert somit ein genaueres Ergebnis als eine linienfeine oder verkehrssystemspezifische Umlegung. Aufgrund der Fahrplandaten lassen sich Kürzeste-Wege-Matrizen berechnen. Für eine gültige Verbindung darf allerdings maximal sechsmal umgestiegen werden und die Umsteigewartezeit jeweils 6 Stunden betragen.

Bei der Ermittlung der empfundenen Reisezeit wurden die Variablen Fahrzeit, Zugangszeit, Abgangszeit, Gehzeit, Startwartezeit, Umsteigewartezeit und Umsteigehäufigkeit verwendet. Dabei wurde die Fahrzeit mit dem Faktor 1, die anderen Einflussgrößen mit 2 gewichtet und die Umsteigehäufigkeit mit 2 Minuten multipliziert. Diese Werte basieren mangels besseren Wissens, auf Annahmen. Um verlässliche Faktoren zur empfundenen Reisezeit zu haben, müsste allerdings vorgängig eine für den Luftverkehr betreffende RP-Befragung vorliegen, aus welcher man mit einem multinominalen Schätzmodell die entsprechenden Daten schätzen könnte.

Um Aussagen über die Plausibilität der verschiedenen Umlegungen treffen zu können, wurde das Ergebnis mit Zählwerten der ICAO-Statistik verglichen und mittels der gängigen Gütemasse, deren Berechnungsformeln in Anhang A2 angefügt sind, verglichen. Tabelle 3 listet die Ergebnisse auf.

Tabelle 3 Ergebnisse der verschiedenen Umlegungen und Vergleich mit vorhandenen Zählwerten [Tageswerte]

Variablen	Kirchhoff			Logit	
	$\alpha=3.0$	$\alpha=4.0$	$\alpha=5.0$	$\beta=0.1$	$\beta=0.25$
Belastete Strecken	3342	3336	3329	2766	2508
Strecken mit Zählwert	411	411	411	344	323
Durchschnittl. Abweichung	168.8	169.4	196.6	262.5	301.9
Mittlere Streuung	840.24	843.61	848	1066.08	1137.04
SAA ² [Personen/Tag]	189084	190747	192296	194115	193086
SQA ³ [Personen/Tag]	3.01E+08	3.04E+08	3.07E+08	4.14E+08	4.46E+08
SQRA ⁴ [keine Einheit]	5277	5390	5507	7983	8538
RMSE ⁵ [Personen/Tag/Strecke]	856.03	859.44	863.78	1096.42	1174.74

Das Splitverfahren nach Kirchhoff mit einem α -Parameter von 3.0 erweist sich als das am besten auf die vorhandenen Zählwerte passende. Die mit einem Logit-Verfahren errechneten Belastungen weisen beide grössere Abweichungen als die mit Kirchhoff errechneten Werte auf. Es ist daher davon auszugehen, dass für dieses Modell die Kirchhoff-Aufteilung, bei der die Nachfrage aufgrund des relativen Verhältnisses der Widerstände auf die Strecken aufgeteilt wird, der Realität näher kommt. Allenfalls könnten kleinere β -Werte der Logit-Modelle zu gewissen Verbesserungen führen. Insgesamt weisen aber alle Umlegungen, beträchtliche Abweichungen auf.

4.2 Analyse der Differenzen zwischen Umlegung/Zählung

In der Folge wird nur noch mit dem Kirchhoff-Modell mit einem α -Wert von 3.0 gearbeitet. Abbildung 11 zeigt ein Histogramm der Abweichungen, welches aus der Berechnung Umlegungsergebnis minus Zählwerte entsteht. Es ist erkennbar, dass der positive Bereich, wo die

² Summe der absoluten Abweichung

³ Summe der quadratischen Abweichung

⁴ Summe der Quadrierten Relativen Abweichung

⁵ Root Mean Square Error

Umlegungswerte die Zählwerte beträchtlich übertreffen, breit gestreut und Werte häufiger sind als im negativen Bereich.

Abbildung 11 Verteilung der Abweichungen des durchschnittlichen tägliche Verkehrs

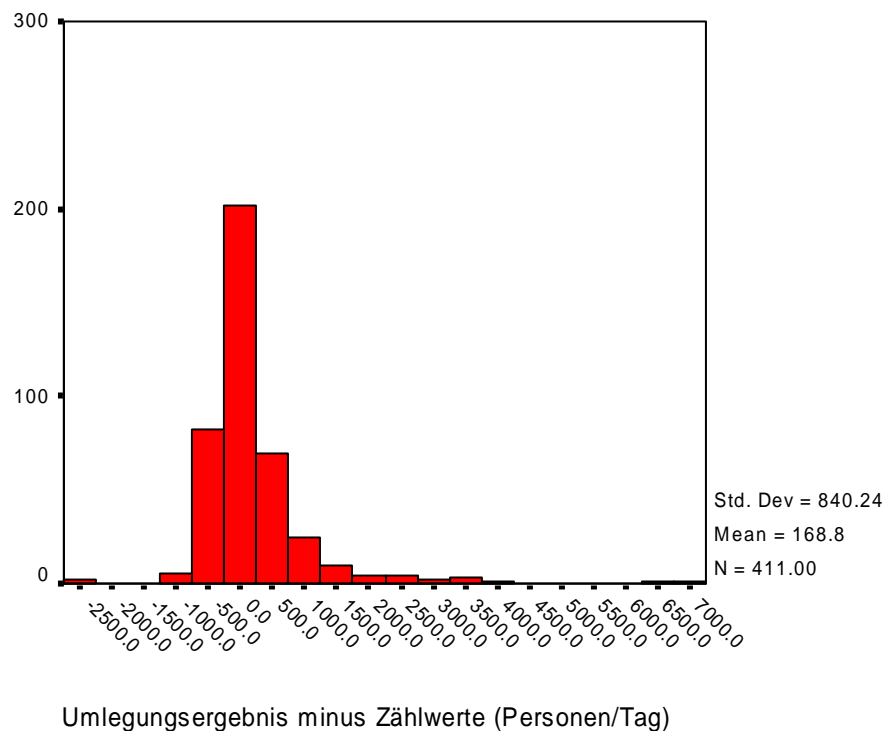


Tabelle 4 listet, nach Vorzeichen getrennt, die grössten Abweichungen auf. Dabei wurden die Abweichungen kleiner -700 und grösser 2000 berücksichtigt. Die Daten basieren auf der Annahme eines Spitzentages und weisen daher die Einheit Personen/Tag auf. Mit Hinweis auf Abschnitt 2.1.3 sei erwähnt, dass nur Strecken mit einer gezählten Belastung grösser 100 Personen pro Tag berücksichtigt wurden.

Der Vergleich der Gesamtnachfrage ergibt, dass auf den 411 Strecken aufgrund der Nachfragematrix 233'281 Wege pro Tag zurückgelegt werden, wohingegen die Zählungen nur 163'899 Wege aufweisen. Zwei Hypothesen drängen sich auf: Zum einen könnten, wie vermutet, die Zählwerte zu kleine Werte angeben (siehe Abschnitt 2.1.3), zum andern könnte es sein, dass die DATELINE-Nachfragematrix von einer zu grossen Belastung ausgeht.

Tabelle 4 Auflistung der grössten Abweichungen Umlegung minus Zählung (Personen/Tag)

Startflughafen	Zielflughafen	Unterschied	Zählwert
Oslo	Koebenhavn-Kastrup	-2398	2414
Koebenhavn-Kastrup	Oslo	-2383	2410
Frankfurt	Istanbul	-1096	1199
Zuerich	Koebenhavn-Kastrup	-775	790
Wien	Frankfurt	-775	954
Zuerich	Frankfurt	-761	1364
Zuerich	Wien	-758	871
Brussel/Bruxelles	Zuerich	-744	1073
Koebenhavn-Kastrup	Zuerich	-741	776
Genf	Frankfurt	-734	788
Zuerich	Brussel/Bruxelles	-704	1071
Athina-Hellinkon	Istanbul	6810	242
Istanbul	Athina-Hellinkon	6651	237
Madrid-Barajas	Manchester	4201	156
Frankfurt	Barcelona	3712	1243
Barcelona	Frankfurt	3501	1211
Duesseldorf	Barcelona	3448	349
Manchester	Madrid-Barajas	3200	148
Barcelona	Duesseldorf	3033	399
Manchester	Barcelona	2619	158
Frankfurt	Prag	2568	490
Barcelona	Dublin	2543	220
Liverpool	Barcelona	2267	327
Dublin	Barcelona	2011	225

Auffälligkeiten zeigen sich dahergehend, dass die Abweichungen jeweils auf beiden Richtungen und Strecken ähnlicher Quell- und Zielgebiete auftreten. Zwei Erklärungen für diese Abweichungen drängen sich auf: Einerseits könnten partikuläre Fehler in der Nachfragematrix, begründend auf die üblichen Probleme der Hochrechnung, zu diesem Ergebnis geführt haben. Andererseits könnte die mangelnde Segmentierung der Nachfrage gegenüber des Angebotes zu solchen Fehlern führen: Während die DATELINE-Matrix jegliche Luftverkehrsnachfrage umfasst, bildet das Flugnetz einzig die Linienflüge ab. Die räumliche Aufteilung der Strecken positiver Abweichungen, welche klassische Charter-Regionen umfasst, unterstreicht diese

zweite Hypothese. Daneben fallen die beträchtlichen Ausreisser der Strecke Athen-Istanbul auf, welche auf die im Abschnitt 3.2.2 erläuterten Anbindungen der Regionen GR3 und GR4, zurückzuführen sind. Weiter äussert sich die Nichtberücksichtigung Norwegens in der Nachfrage-Matrix (Norwegen ist dem Gebiet NORTH zugeordnet) in der Unterbelastung der Verbindung Oslo-Kopenhagen, die in Wirklichkeit eine Strecke hoher Nachfrage darstellt.

Die genannten Probleme lassen sich nur mit grossem Aufwand eliminieren. Hochrechnungen sind von komplexen Einflussfaktoren verschiedener Wesensarten (Sozio-Demographie, mathematische Verfahren, etc, siehe auch Abbildung 5.) abhängig und weisen immer einen gewissen Fehler auf. Grösseren Nutzen würden andere Massnahmen versprechen. So müsste die DATELINE-Matrix eine Segmentierung nach Flugtyp umfassen, um so die Nachfrage nach Charterflügen weglassen oder speziell berücksichtigen zu können. Angebotsseitig zöge dies die spezielle Berücksichtigung der Charterflüge, von welchen aber kaum umfassende Datengrundlagen vorhanden sind, mit sich. Die stark saisonale Abhängigkeit der Charterflüge birgt dabei noch zusätzliches Problempotenzial bei der Modellierung, bei der von einer Jahresdurchschnittsnachfrage ausgegangen wird. Um das Problem im ägäischen Raum zu lösen, böte sich eine lokale Berücksichtigung der entsprechenden Flughäfen mitsamt der angebotenen Linien an. Allenfalls könnten die Ausreisser der Strecke Athen-Istanbul durch das Einfügen neuer Verbindung der Gebiete GR3 an GR4 eliminiert werden. Aufgrund der konzentrierten Nachfrage (siehe Tabelle 2) zwischen den Gebieten GR3 und GR4 darf aber davon ausgegangen werden, dass keine grössere Netzwirkung dieses Modellfehlers ausgeht. Daher wurde das Modell für die Kalibrierung ohne Änderungen übernommen.

4.3 Kalibrierung

4.3.1 Aufbereitung der ICAO-Statistik

Es ist anzunehmen, dass die Angaben der ICAO-Statistik nicht vollständig sind. Um dennoch über verlässliche und vollständige Datensätze zu verfügen wurde folgendes Selektionsverfahren durchgeführt: Als Zählwerte wurden nur Passagierzahlen von Strecken verwendet, die über eine jährliche Nachfrage von 20'000, respektive über 100 Passagiere an einem Spitzentag (Division durch 200 Personen) verfügen. Diese Vorgehensweise führte dazu, dass noch 3'076 Datensätze zur Verfügung standen. Aufgrund der regionalen Begrenzung auf die EU-15 Staaten und der Schweiz verbleiben noch 411 valable Datensätze der ICAO-Zählungen. Ein Versuch der Kalibrierung ohne der Einschränkung auf die Datensätze mit Einträgen grösser

20'000 ergab, dass eine Kalibrierung so nicht möglich ist. Dies ist auf die vermuteten Unvollständigkeiten der ICAO-Zählungen zurückzuführen.

4.3.2 Kalibrierungsvorgang

Die Auswertung der Unterschiede zwischen Umlegungsergebnis und den Zählwerten (Tabelle 3) legt grosse Abweichungen offen. Eine Kalibrierung der Ergebnisse drängt sich somit zwingend auf, und musste, aufgrund der sehr hohen Differenzen, iterativ in mehreren Kalibrierungsschritten erfolgen. Die Genauigkeit und Effektivität der Kalibrierung hängt entscheidend von der gewählten Fuzzyness ab, welche im vorliegenden Fall mit dem +/- 1.0-fachen des Zählwertes gewählt wurde. Eine Verringerung dieses Wertes wurde bei allen Kalibrierungsschritten ohne Erfolg versucht, die Kalibrierung gelang unter diesen Einschränkungen nie.

Tabellarisch sind die Ergebnisse der 5 Kalibrierungsschritte in Tabelle 5 dargelegt. Es fällt auf, dass die Gesamtnachfrage mit der 1. Kalibrierung verkleinert wurde, um dann wieder schrittweise grösser zu werden. Daneben fällt die sprunghafte Verkleinerung des Gütemasses SQRA, Summe der Quadrierten relativen Abweichung, auf.

Tabelle 5 Ergebnisse der auf iterativer Kalibrierung basierten Umlegungen und Vergleich mit vorhandenen Zählwerten

Kalibrierungsschritt	0	1	2	3	4	5
Strecken mit Zählwert	411	411	411	411	411	411
Durchschnittl. Abweichung	168.8	-175.1	-98.8	-71.6	-58.8	-59.1
Mittlere Streuung	840.24	263.2	228.95	209.22	193.83	181.92
SAA ⁶	189084	85398	59695	48215	41900	38003
SQA ⁷	3.01E+08	4.10E+07	2.55E+07	2.01E+07	1.68E+07	1.47E+07
SQRA ⁸	5277.00	150.22	100.00	77.64	66.37	60.43
RMSE ⁹	856.03	315.86	249.12	220.88	202.33	188.97

⁶ Summe der absoluten Abweichung [Personen/Tag]

⁷ Summe der quadratischen Abweichung [(Personen/Tag)]

⁸ Summe der Quadrierten Relativen Abweichung [keine Einheit]

⁹ Root Mean Square Error [Personen/Tag/Strecke]

Gewöhnlich wird zur Darstellung der durch die Kalibrierung hervorgerufenen Verbesserung die Summation der Differenz Umlegung/Zählung (Abbildung 12) verwendet. Da es sich hier aber um grosse Abweichungen handelt, werden daneben auch Scatterplots verwendet. Im Bereich ab 90% der Kurve der nicht kalibrierten Werte treten Werte der relativen Differenz Umlegung/Zählung grösser 100% auf (Umlegungsergebnis \gg Zählwert). Daher erreicht die Kurve den Wert 100% der Differenz Umlegung/Zählung in Prozent nicht.

Abbildung 12 Vergleich zwischen Modellquerschnittbelastungen und Querschnittszählungen (Kalibrierungsschritte/ohne Kalibrierung)

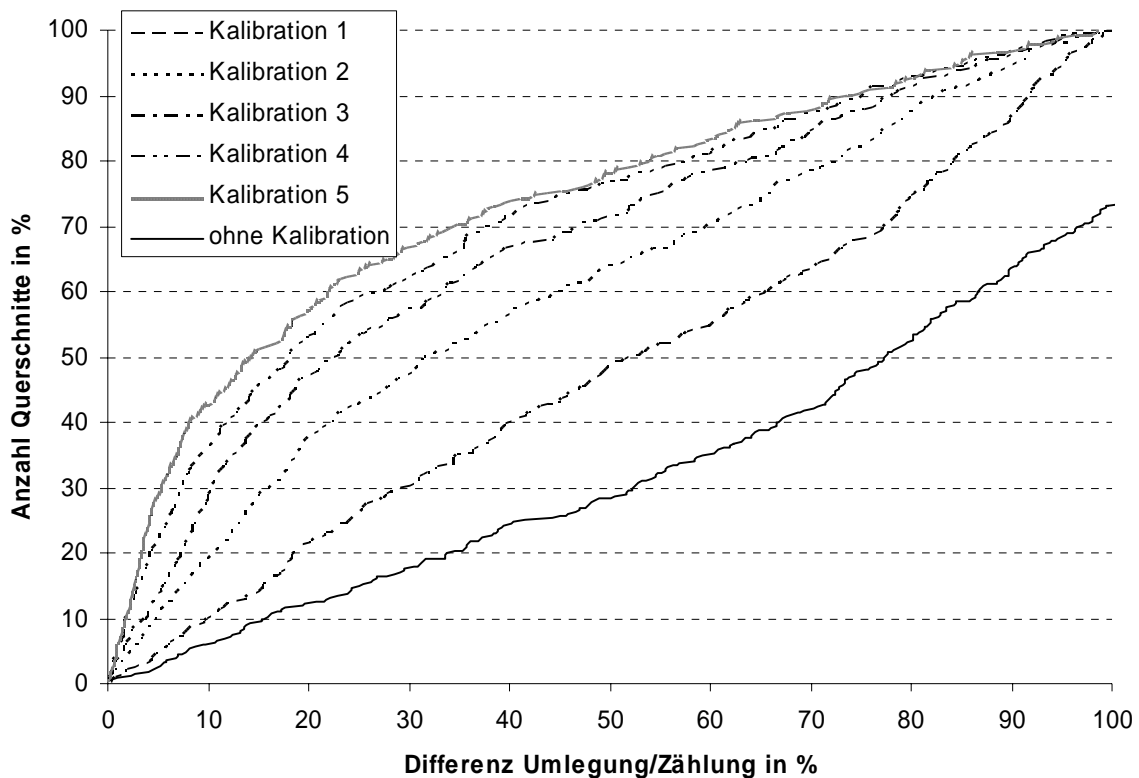
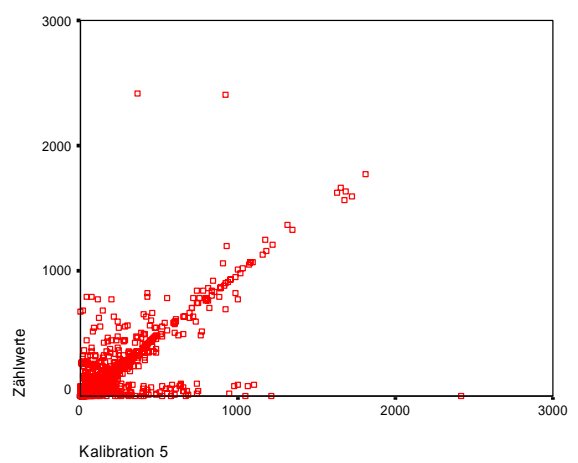
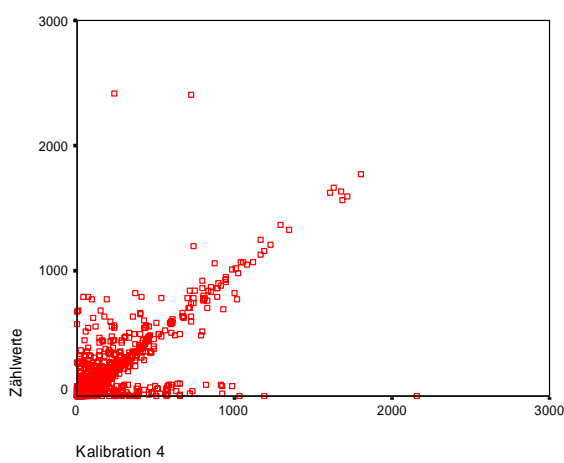
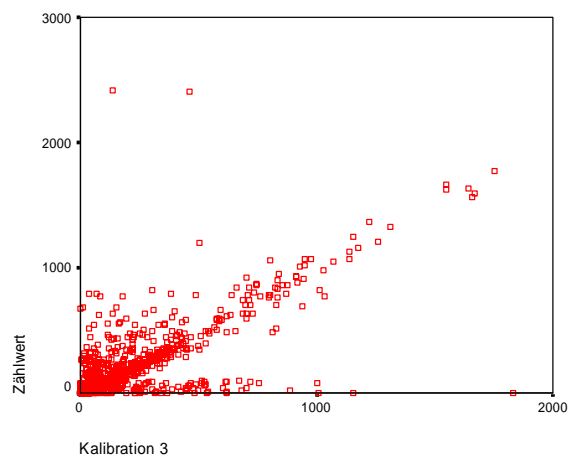
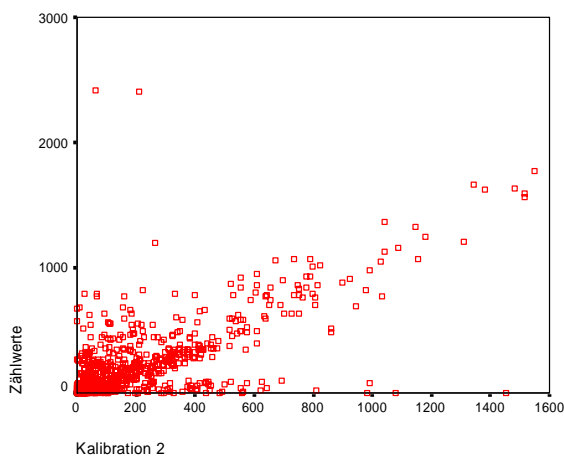
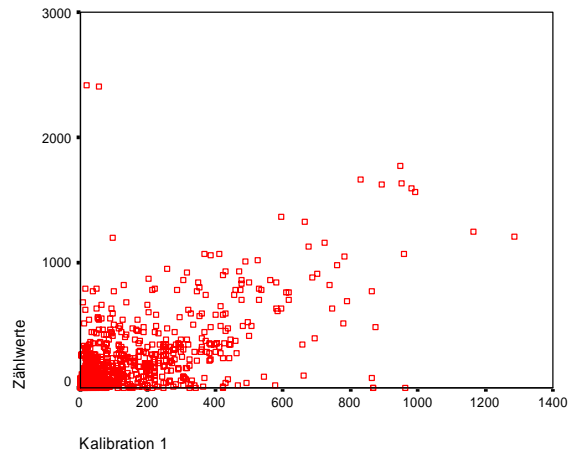
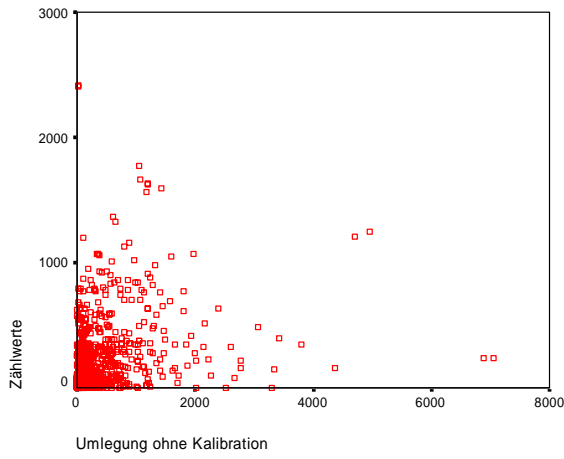


Abbildung 13 zeigt in nachvollziehbarer Weise die durch die schrittweise Reduktion der Streuung erreichte Verbesserung des Ergebnisses als Folge der iterativen Kalibrierung. Dabei sind auch die wenig übereinstimmenden Wertepaare ersichtlich, die sich vor allem im Bereich kleiner Zählwerte bei gleichzeitig hoher Belastung durch alle Kalibrierungsschritte halten, welche sich als Punkte nahe der x-Achse äussern. Gerade dieser Bereich bestärkt die Hypothese der Unvollständigkeit der Zählwerte.

Abbildung 13 Scatterplots zur Anschauung der Kalibrierungsschritte [Personen pro Steckle]



4.3.3 Analyse Kalibrierung

Tabelle 6 listet die nach dem fünften Kalibrierungs- und Umlegungsschritt berechneten grössten absoluten Abweichungen auf. Es fällt dabei auf, dass bei allen Wertepaaren die Umlegungsergebnisse kleiner sind als die Zählwerte. Erst an Position 26, 35 und 44 der Auflistung der grössten relativen Abweichungen folgen die ersten Strecken mit umgekehrten Vorzeichen. Insgesamt sind bei den insgesamt 411 Wertepaaren 220 Zählwerte grösser als die Umlegungsergebnisse, 2 stimmen überein und 189 Umlegungsergebnisse übertreffen die Zählwerte.

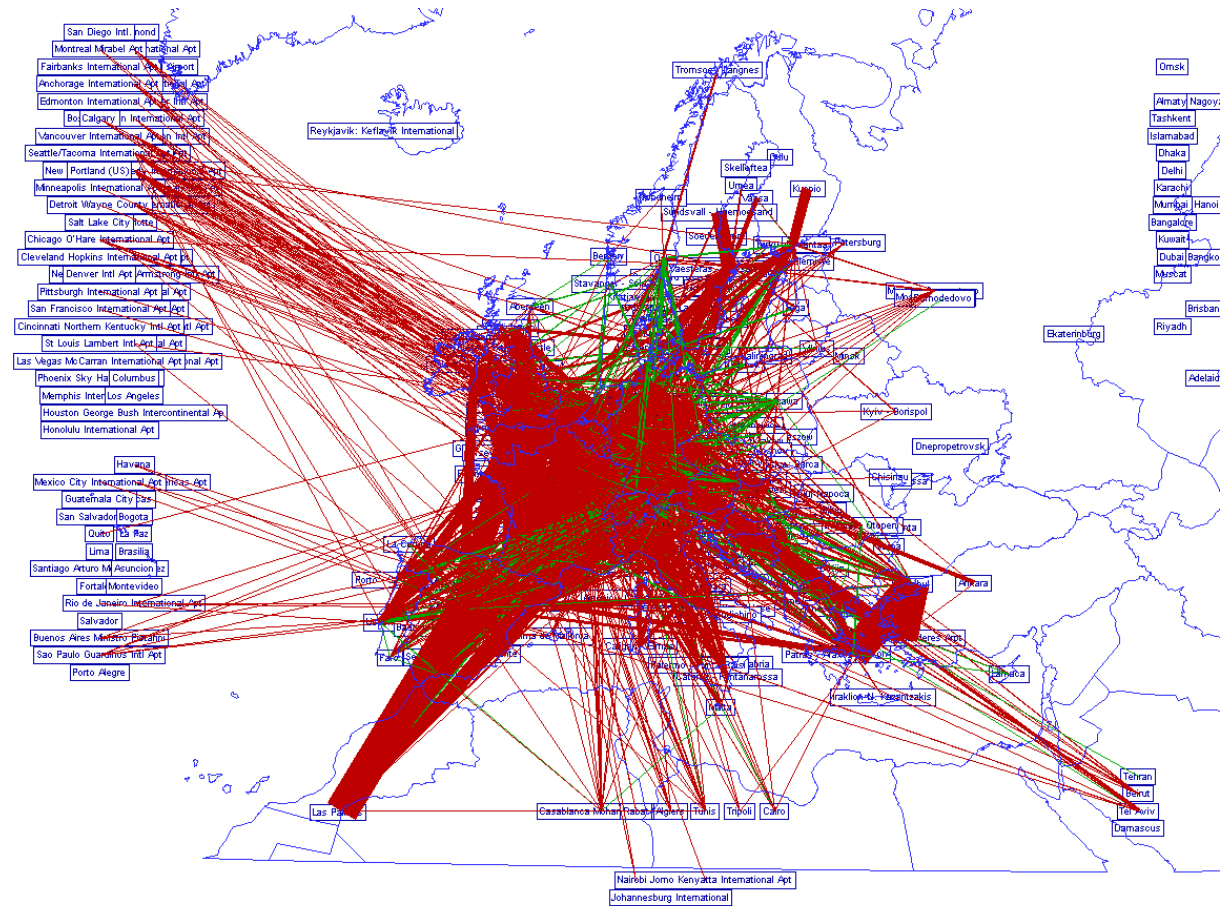
Tabelle 6 Grösste Abweichungen nach 5. Kalibrierungsschritt [Passagiere pro Tag]

	Startflughafen	Zielflughafen	Umlegung	Differenz Umlegung-Zähl.
1	Oslo	Koebenhavn-Kastrup	364	-2050
2	Koebenhavn-Kastrup	Oslo	923	-1487
3	Zuerich	Koebenhavn-Kastrup	43	-747
4	Genf	Frankfurt	67	-721
5	Nice-Cote-d Azur	Frankfurt	13	-673
6	Koebenhavn-Kastrup	Zuerich	108	-668
7	Frankfurt	Genf	193	-575
8	Budapest	Frankfurt	142	-541
9	Oslo	Frankfurt	118	-509
10	Madrid-Barajas	Nice-Cote-d Azur	86	-454

Abbildung 14 zeigt das Differenznetz, welches sich aus dem Vergleich der Netzzustände vor und nach der Kalibrierung ergibt. Dabei sind Strecken, die vor der Umlegung einen grösseren Wert aufweisen, rot, die Strecken die durch die Kalibrierung an Belastung zugenommen haben, grün eingefärbt. Die Dicke der Balken zeigt den Umfang der Zu- beziehungsweise Abnahmen an, je dicker der Balken, desto grösser die Unterschiede.

Es zeigt sich, dass die gesamte Nachfrage durch die Kalibrierung abgemindert wurde. Die Gesamtnachfrage von anfänglich 1'513'186 Reisen pro Tag reduzierte sich auf 992'243, was einer Abnahme von 34% entspricht. Die oben geäusserte Vermutung der Unvollständigkeit der ICAO-Daten könnte zu diesem Ergebnis geführt haben.

Abbildung 14 Differenznetz Kalibrierungsschritt 5 und unkalibriertes Netz
(rote Strecken: Abnahme; grüne Strecken Zunahme)



4.4 Analyse und Vergleich der Umsteigerzahlen

4.4.1 Analyse der Umsteigerzahlen im Modell

Gemäss den von Flughäfen verwendeten Gebräuchen der Veröffentlichungen umfassen Passagierzahlen die Summe startender und landender Passagiere über einen bestimmten Zeitraum. Umsteiger werden dabei doppelt, je einmal für Start und Landung gezählt. Die aus dem Flugmodell ausgelesenen Umsteigerzahlen wurde daher mit dem Faktor 2 multipliziert.

Die Analyse der Umsteigerzahlen soll Fehler des Modells aufdecken und lokalisieren. Von den 487 im Netzmodell abgebildeten europäischen Flughäfen sind 204 mit Ein-, Aus- oder

Umsteigern belastet. Die anderen Flughäfen verfügen aufgrund ihres Angebotes und ihrer Lage im Modell über keine Nachfrage, was vor allem auf die räumlich grob strukturierte Nachfragematrix zurückzuführen ist, welche, im Gegensatz zum Flugmodell, nur die EU-15 Staaten und der Schweiz abdeckt.

Von den 204 belasteten Flughäfen verfügen 66 über einen Umsteigeranteil, der aber in 47 Fällen unter 10% beträgt. Zum einen ist dieser geringe Wert auf die nur teilweise Abbildung der den Untersuchungsraum verlassenden Beziehungen zurückzuführen, zum andern könnten die verwendeten Anbindungszeiten dazu führen, dass es günstiger ist einen Flughafen mit direkter Verbindung zum Zielbezirk anzufahren, als einen Zubringerflug zu benutzen. Als dritte Möglichkeit sei der möglicherweise zu grosse Faktor zur Abbildung der empfundenen Reisezeit beim Umsteigevorgang erwähnt, welcher mit 2 gewählt wurde. Es mag sein, dass die stärkere Berücksichtigung der Umsteigehäufigkeit, welche im Modell mangels besseren Wissens mit 2 Minuten angenommen wurde, bei gleichzeitiger Verringerung des Faktors der Umsteigezeit, Verbesserungen hervorbringen könnte. Um verlässliche Faktoren zur empfundenen Reisezeit zu haben, müsste allerdings, wie schon erwähnt, vorgängig eine den Luftverkehr betreffende RP oder SP-Befragung vorliegen, aus welcher man mit einem multinominalen Logitmodell die entsprechenden Daten errechnen könnte. Als einfachere, wenn auch nicht optimale Option böte sich die Verwendung von Faktoren anderer vergleichbarer Studien, beispielsweise aus dem Bahnfernverkehr an.

Im Modell funktionieren die folgenden Flughäfen als Hubs:

- Stockholm-Arlanda (Umsteigeranteil 45%)
- Helsinki-Vantaa (45%)
- München (39%)
- Madrid Barajas (37%)
- Kopenhagen (30%)

Interessant scheint, dass andere Hubflughafen, wie zum Beispiel London Heathrow, Amsterdam, oder Frankfurt/Main im Modell nicht als solche erscheinen. Erklärungen dafür sind sicher in der Nichtberücksichtigung des in den Untersuchungsraum führenden interkontinentalen Verkehrs zu suchen. Im innereuropäischen Luftverkehr herrschen Direktverbindungen vor, Umsteigevorgänge werden aber hauptsächlich von interkontinentaler Nachfrage generiert. Es ist, soweit es dieses erste Modell zulässt, also davon auszugehen, dass die oben aufgeführten Flughäfen vor allem als innereuropäische Hubs funktionieren.

Bis auf diese fünf weiteren Flughäfen verfügen alle anderen Flughafen über Umsteigeranteile kleiner 30%. Aufgrund der Problematik der groben Raumstrukturierung verfügen die Flughä-

fen Iraklion, Palma de Mallorca, sowie Billund (DK) und Göteborg über keine oder kaum Quell-/Zielfachfrage, aber einige Umsteiger was zu Anteilen von bis zu 100% führt. Der Modellfehler mit der Anbindung des Gebietes GR3 führte zu grossen Umsteigerzahlen in Istanbul.

Der Vergleich mit veröffentlichten Umsteigerzahlen soll hier die Verlässlichkeit dieser Resultate und Annahmen prüfen.

4.4.2 Datenbeschaffung

Die Beschaffung von Daten von Umsteigerzahlen gestaltet sich schwierig. Die meisten Flughäfen veröffentlichen zwar statistische Daten, diese unterscheiden sich aber in ihrem Detaillierungsgrad und ihrer Datenstruktur beträchtlich. Eine Datenzusammenfassung bietet die Organisation Airport International Council Europe an, welche den Zugriff auf die entsprechenden Daten allerdings nur Journalisten erlaubt. Freundlicherweise wurde für diese Arbeit ebenfalls eine Berechtigung erteilt. Die Daten umfassen 321 europäische Flughäfen. Von jedem Flughafen existiert eine HTML-Seite mit den statistischen Angaben zu Flugbewegungen, Passagier- und Fracht- sowie Postaufkommen. Freundlicherweise stellte das ACI auf Anfrage eine zusammengefasste, 97 Einträge umfassende Auflistung der verfügbaren Angaben zu Umsteigerzahlen von europäischen Flughäfen der Jahre 2003 und 2002 zur Verfügung. Für die Analyse wurden die Werte von 2002 verwendet.

Die Analyse basiert auf den 91 Flughäfen, welche sowohl im Modell vorhanden sind und zu denen auch entsprechendes Datenmaterial vorliegt. 26 Flughäfen verfügen dabei über eine vom Modell bestimmte Umsteigeranzahl >0 .

Für die Erstellung dieser Arbeit standen die Daten der Jahre 2001 und 2002 zur Verfügung. Da die Nachfragematrix aus 2001 und die ICAO-Zählungen vom Jahr 2000 stammen, wurden die ACI Daten 2001 verwendet. Für den Vergleich mussten die aus VISUM ausgelesenen Umsteigerzahlen verdoppelt werden, da die Werte aus der ACI-Statistik umsteigende Passagiere zweimal zählen.

Die von den Flughäfen veröffentlichten und vom ACI zusammengefassten Daten weisen selten explizite Umsteigerzahlen aus. Daher wird in der Folge auch ein Vergleich der Gesamtpassagierzahlen zwischen Modell und der verfügbaren Daten durchgeführt.

Abbildung 15 Streuungsanalyse Umsteigerzahlen aus Modell und ACI Statistik

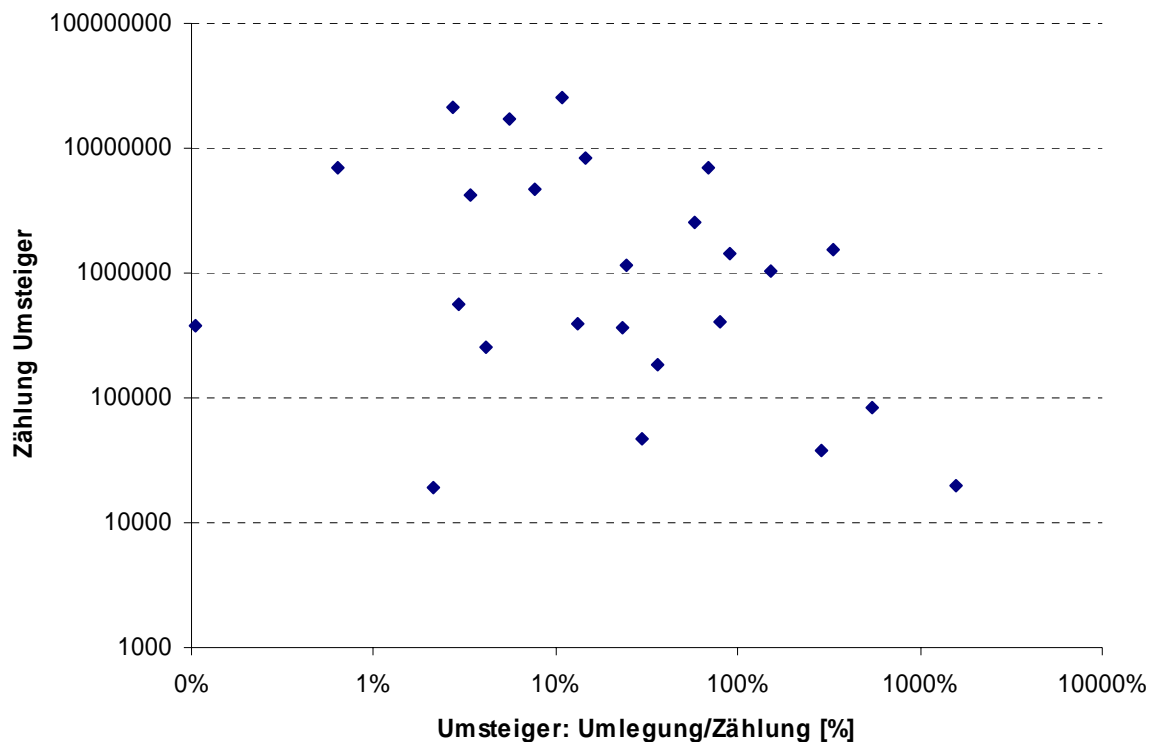


Abbildung 15 zeigt in einem Scatterplot, dass die vom Modell errechneten Umsteigerzahlen in den meisten Fällen oft nur Bruchteile der gezählten Werte umfassen. Mögliche Erklärungen wurden bereits oben, im Abschnitt 4.4.1 erwähnt. Neben der unzureichenden Berücksichtigung des interkontinentalen Verkehrs, sowie potentiell zu kleinen Anbindungszeiten und falschen Annahmen zur empfundenen Wartezeit sind folgende Punkte zu erwägen: Die Kalibrierung mit auf Unvollständigkeit zurückzuführende und zu kleinen Streckenzählwerte ergibt eine zu kleine Gesamtnachfrage und somit auch zu kleine Umsteigerzahlen. Eine solche Hypothese soll in der Folge auch mit dem Vergleich von Passagieraufkommen der Flughäfen gesichert werden.

Eine Abhängigkeit zwischen dem Verhältnis der Umsteigerzahlen Umlegung zur Zählung und der real gezählten Umsteigerzahlen je Flughafen lässt sich nicht erkennen. Es kann also in dieser Beziehung keine Systematik nachgewiesen werden, was die Hypothese der zu kleinen Netzbelastung nicht schwächt.

Tabelle 7 weist zusätzliche Vergleiche der Umsteigerzahlen für die 20 grössten im Untersuchungsraum liegende Flughäfen aus.

4.4.3 Analyse der Passagierzahlen

Die ein Zeitraum von einem Jahr umfassenden Passagierzahlen wurden in die Gruppen ‚Domestic‘, für Flüge innerhalb des Landes, ‚International‘ für internationale und, als Untergruppe von ‚International‘, ‚Intra-EU‘ unterteilt. Da das Flugmodell im Prinzip nur die innereuropäische Nachfrage verlässlich modelliert, wurden die Daten Domestic und Intra-EU addiert und mit den Daten des kalibrierten Modells verglichen.

Tabelle 7 listet die im Jahr 2001 20 passagierreichsten Flughäfen Europas auf. Aufgrund der schwierigen Handhabung der vom ACI zur Verfügung gestellten Daten beschränkt sich die Analyse auf die im Untersuchungsraum passagierreichsten Flughäfen.

Ein Vergleich mit den aus dem Flugmodell hervorgegangenen Passagier- und Umsteigerzahlen soll dabei Aufschlüsse über die Verlässlichkeit des Modells geben. Dabei wurden die aus dem Flugmodell gelesenen Daten mit dem Faktor 200 multipliziert, um so eine Vergleichsbasis einer Jahresnachfrage zu erreichen.

Zunächst fallen dabei die stets geringeren Umlegungsergebnisse der Passagierzahlen auf. Ausser im Falle von Zürich, Barcelona, Manchester und Düsseldorf liegen die Zahlen des Modells unter der Hälfte des im Jahr 2001 beobachteten Personenverkehrs. Die Hypothese, dass die kalibrierte Nachfragematrix zu kleine Werte umfasst, wird bestärkt. Dies dürfte auf Unvollständigkeit der ICAO-Zählungen zurückzuführen sein.

Durch die Kalibrierung wurde die Gesamtnachfrage um 34% gekürzt. Der Vergleich mit den Passagierzahlen zeigt aber, zumindest bei den passagierreichsten Flughäfen, Abweichungen grösser als 34% auf. Es ist also davon auszugehen, dass auch die aus der DATELINE-Befragung hervorgegangene Nachfrageabschätzung zu klein ist.

Tabelle 7 Vergleich Passagierzahlen und Umsteigerdaten [Personen/Jahr]

Flughafen	Passagierzahlen			Umsteigerzahlen		
	ACI	Umlegung	%	ACI	Umlegung	%
London (LHR)	2.95E+07	1.94E+07	-34%	-		
Frankfurt/Main (FRA)	3.17E+07	1.46E+07	-54%	2.43E+07	2.74E+06	11%
Paris (CDG)	2.42E+07	1.00E+07	-59%	-		
Amsterdam (AMS)	2.16E+07	9.23E+06	-57%	1.60E+07	9.54E+05	6%
Madrid (MAD)	2.76E+07	1.33E+07	-52%	-		
London (LGW)	1.60E+07	6.15E+06	-62%	-		
Rome (FCO)	1.99E+07	7.46E+06	-62%	-		
Munich (MUC)	1.77E+07	7.54E+06	-57%	6.80E+06	4.86E+06	71%
Paris (ORY)	1.71E+07	7.50E+06	-56%	-		
Zürich (ZRH)	1.10E+07	8.85E+06	-19%	8.96E+06	4.40E+04	0%
Barcelona (BCN)	1.87E+07	9.58E+06	-49%	-		
Brüssel (BRU)	1.63E+07	6.26E+06	-62%	5.69E+06	2.84E+05	5%
Palma de Mallorca (PMI)	1.86E+07	0	-100%	-		
Manchester (MAN)	1.24E+07	7.52E+06	-39%	-		
Mailand (MXP)	1.19E+07	6.55E+06	-45%	3.02E+06	1.51E+06	50%
Stockholm (ARN)	1.48E+07	6.33E+06	-57%	-		
Kopenhagen (CPH)	1.19E+07	2893800	-76%	8.32E+06	1.21E+06	15%
Düsseldorf (DUS)	1.11E+07	5.46E+06	-51%	-		
Dublin (DUB)	1.29E+07	5.43E+06	-58%	-		

Die Lücke der Nachfrage für den Fall Mallorca ist auf die Insellage zurückzuführen: Der zugehörige NUTS-1 Schwerpunkt liegt auf dem iberischen Festland, daher wird die Flugnachfrage, die eigentlich auch einen Anteil nach Palma umfasst, über Barcelona abgewickelt.

Nur 7 der 19 verwendeten Datensätze geben Auskunft über die Umsteigerzahlen. Mit einem umfassenderen Vergleich der gezählten Anzahl Umsteiger mit den aus dem Modell hervorgegangenen Werten könnte geprüft werden ob das Modell die Nachfrage richtig verteilt. Dafür ist die entsprechende Datenlage aber nicht vorhanden.

5 Bewertung und Ausblick

In den vorigen Kapiteln wurde immer wieder auf einzelne mögliche Fehlerquellen hingewiesen. In diesem Kapitel sollen diese zusammengefasst bewertet werden und darauf aufbauend Hinweise zu Verbesserungsmöglichkeiten der Modellierung gegeben werden.

5.1 Bewertung des Lösungsweg

Die Reihenfolge der möglichen Fehlerquellen und Verbesserungsvorschläge reflektiert die vom Autor eingeschätzten Potentiale.

Verlässliche Zählwerte

Wie in Abschnitt 2.1.3 erwähnt, wird vermutet, dass die ICAO-Zählwerte Mängel aufweisen. Diese schlagen sich durch die Kalibrierung direkt auf die Modellgüte nieder. Bessere, verlässliche Zählwerte würden daher das Modell direkt verbessern, sind aber (noch) nicht öffentlich verfügbar.

Verwendung einer feineren, genaueren Nachfragematrix

Aufgrund der groben Raumstruktur der NUTS-1 Gebiete werden einzelne Flughäfen, welche beispielsweise im Falle von Palma de Mallorca oder Heraklion in Realität grosse Nachfragen aufweisen, nicht belastet. Dafür werden andere Flughäfen mit diesem Verkehr belastet, was zu Verzerrungen führt.

Aufgrund der seltenen Verwendung des Transportmittels Flugzeug muss für die Generierung einer wahrheitsnahen Nachfragematrix eine Befragung mit sehr vielen Datensätzen vorliegen. Daneben birgt die Befragung des Verkehrsverhaltens über einen längeren Zeitraum Probleme mit der Genauigkeit der Angaben. Diese beiden Gründe stellen bei der Herstellung einer verlässlichen Matrix eine grosse Schwierigkeit dar.

Da in einer NUTS-1 Region durchaus zwei oder mehrere Flughäfen mit guten Verbindungen liegen können, aber, aufgrund der räumlichen Nähe zum NUTS-1 Schwerpunkte, der eine viel mehr belastet ist, verteilt sich die Nachfrage schlecht. Diese Hypothese wird durch den durchschnittlichen Anteil der Anbindungszeit zur Fahrzeit von 63% unterstrichen.

Für die weitere Arbeit wäre die Generierung der DATELINE-Matrix einer eingehenden Prüfung zu unterziehen. Daneben bietet sich die Verwendung vorhandener der Matrix mit Quell- und Zielbeziehungen auf Ebene der NUTS-2 Regionen an.

Abgrenzung Gebiet

Die einseitige Abgrenzung des Untersuchungsgebietes führte zu Schwierigkeiten: Zwar ist die von Europa ausgehende Interkontinentalnachfrage berücksichtigt worden, nicht aber die nach Europa gelangende. Die Problematik zeigt sich in der Folge in der Suche passender Zählwerte oder Umsteiger- und Passagierzahlen.

Eine Erweiterung des Untersuchungsgebietes Richtung Osten (EU-Osterweiterung) empfiehlt sich angesichts der hohen Nachfragen (Abbildung 8) ebenfalls.

Berücksichtigung Fahrzeugkapazität

Um eine Aufteilung der Nachfrage über einen Tag zu erreichen wurde zwar eine Tagesganglinie verwendet, dennoch kam es zu Streckenbelastungen, welche die gängigen Platzzahlen der Flugzeuge übertreffen. Die Beschränkung der Plätze lässt die Software VISUM, welche bisher vor allem für den ÖPNV oder für Bahnnetze verwendet wurde, nicht effektiv beschränken. Eine weitere, feinere Aufteilung der Tagesganglinie oder ein Zusatzmodul in VISUM könnten hier Abhilfe schaffen.

Umlegung

Aus SP oder RP-Befragungen hervorgehende Parameter der empfundenen Reisezeit könnten Ansätze zu realitätsnäheren Umlegung bieten.

Daneben ist sicherlich auch Potential in der Verwendung weiterer Ansätze des Verbindungsplittes zu sehen. Hier bietet sich auch die Möglichkeit verschieden Parameter zu testen.

Datierung der Nachfrage-, Modell- und Zähldaten

Um ein möglichst gutes Modell aufstellen zu können sind, sollten, gerade im sehr volatilen Flugverkehrsmarkt, die Eingangsdaten möglichst aus dem gleichen Zeitraum stammen.

Wochenangebot – Jahresnachfrage

Wie erwähnt umfasst das Flugmodell alle während einer Woche angebotenen Flüge. Die Nachfragematrix umfasst allerdings die während eines Jahres gemachten Flüge. Ein beispielsweise quartals- oder gar monatsfeine Matrix sowie passende Flugpläne könnten das Problem der saisonalen Nachfrageschwankungen eingrenzen, sind aber mit grossem Aufwand verbunden.

Verbesserung Anbindungen

Lokale Verbesserungen der Anbindungen der NUTS-1 Schwerpunkte an die Flughäfen, insbesondere im ägäischen, aber auch im aussereuropäischen Raum, könnten die lokalen Modellfehler beheben.

Aufteilung Charter-/Linienflüge

Das Netzmodell basiert auf Daten der im Zeitraum 23.-29. September 2002 durchgeführten Charter- und Linienflüge. Während Charterflüge grossen saisonalen oder gar monatlichen Schwankungen unterliegen, weisen die Linienflugpläne eine gewisse Stetigkeit auf. Die verwendete Nachfrage umfasst einen über das Jahr durchschnittlichen Spitzentag. Saisonale Schwankungen werden dabei nicht berücksichtigt. Eine Aufteilung der Charter- und Linienflüge in Nachfragematrix und Flugmodell könnte daher gehend genutzt werden, dass nur Linienflüge modelliert würden und so das Problem der saisonalen Schwankungen der Charterflüge umgangen würde.

6 Abschliessende Folgerungen

Es konnten erste Erfahrungen mit der Umlegung von Nachfragenmatrizen im Luftverkehr gemacht werden. Um allerdings endgültige Hinweise auf entsprechenden Parameter geben zu können, scheint das Modell noch zu ungenau.

Die Ungenauigkeit ist, neben der groben regionalen Einteilung, vor allem auf die mit Mängeln behafteten Eingangsgrössen zurückzuführen. Besonders sei hier auf die sehr fragwürdige Verlässlichkeit der ICAO-Zählwerten hinzuweisen

Um ein Flugmodell mit ausreichender Genauigkeit erstellen zu können, stehen noch einige Arbeiten bevor, welche insbesondere bei der Datenerstellung einigen Aufwand mit sich ziehen werden.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die vom kalibrierten Modell errechneten Werte zu klein sind. Dies zeigte sich durch den Vergleich mit den vom ACI erfassten Werten. Gründe dafür sind in der Nachfragematrix sowie den unvollständigen ICAO-Zählwerten zu suchen. Die Tatsache, dass die Nachfragematrix hochgerechnet wurde und Flüge eher seltene Ereignisse darstellen, birgt dabei ein besonderes Fehlerpotential. Die ICAO-Zählwerte sind offensichtlich unvollständig, und dürften trotz der selektiven Auswahl glaubwürdiger Zählwerte dennoch Fehler aufweisen, welche die Nachfrage und somit die Netzbelastung durch die Kalibrierung eventuell zu stark verkleinern.

7 Dank

Den folgenden Personen bin ich für die Unterstützung bei dieser Arbeit zum Dank verpflichtet.

Den Herren Jeremy Hackney, Philipp Fröhlich und Milenko Vrtic für die motivierende Betreuung und die stete Beantwortung anfallenderer Fragen.

Herrn Professor Kay. W. Axhausen für das immerwährende Interesse und die Unterstützung bei Problemen.

Den Damen Aurélie Nieuborg (Airport International Council Europe) und Maria Aurora Hinayon vom (Airport International Council) für die kostenlose Abgabe und Aufbereitung der Flughafenstatistiken.

8 Literatur

ACI Europe (2004) European Airport Traffic Report, ACI Europe, Brüssel.

Bleisch, A., P. Froehlich (2003) Die Erreichbarkeit von Regionen, IBC Modul Erreichbarkeit Schlussbericht Phase 1, IBC BAK International Benchmark Club, Basel.

Brög, W., G. Sammer und B. Schulze (2003) Dateline: concept and methodology, *10th International Conference on Travel Behavior Research*, Lucerne, August 2003.

Dateline Consortium (2003) Deliverable 11: O-D Matrices, Project Report, Europäische Kommission, Brüssel.

Eurostat (2004) Übersichtskarte der EU Länder - NUTS Ebene 1
http://europa.eu.int/comm/eurostat/ramon/nuts/codelist_de.cfm?list=nuts, Eurostat, RAMON, Regions, Juni 2004.

Friedrich M., Hofsäss und Weckeck (2000) Verbindungssplit im ÖV, Übersicht zur Modellierung des Verbindungssplits in VISUM, PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe

ICAO (2004) Digest of Statistics - No.518 - Traffic by Flight Stage, 2000 - Series TF-No.117, <http://icaosd.openface.ca/documentItemView.ch2?ID=9501>, International Civil Aviation Organization, Quebec, Canada

Mott, P. und K. Nökel (1999) Fortschreiben von Nachfragematrizen: ein neues Verfahren und seine praktische Erprobung, PTV Transport AG, Karlsruhe, 1999

PTV AG (2003) Visum Analyse und Planung von Verkehrsnetzen, Benutzerhandbuch Visum, PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe.

Vrtic, M., K.W. Axhausen, R. Maggi und F. Rossera (2003) Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern, Mai 2003

Anhänge

A 1 Regioneneinteilung der Nachfrage (DATELINE)

AT1	OSTÖSTERREICH
AT2	SÜDÖSTERREICH
AT3	WESTÖSTERREICH
BE1	RÉGION DE BRUXELLES- CAPITALE / BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST
BE2	VLAAMS GEWEST
BE3	RÉGION WALLONNE
CH	SCHWEIZ
DE1	BADEN-WÜRTTEMBERG
DE2	BAYERN
DE3	BERLIN
DE4	BRANDENBURG
DE5	BREMEN
DE6	HAMBURG
DE7	HESSEN
DE8	MECKLENBURG- VORPOMMERN
DE9	NIEDERSACHSEN
DEA	NORDRHEIN-WESTFALEN
DEB	RHEINLAND-PFALZ
DEC	SAARLAND
DED	SACHSEN
DEE	SACHSEN-ANHALT
DEF	SCHLESWIG-HOLSTEIN
DEG	THÜRINGEN
DK	DANMARK
ES1	NOROESTE
ES2	NORESTE
ES3	COMUNIDAD DE MADRID
ES4	CENTRO (E)
ES5	ESTE
ES6	SUR
ES7	CANARIAS
FI1	MANNER-SUOMI
FI2	ÅLAND
FR1	ÎLE DE FRANCE
FR2	BASSIN PARISIEN
FR3	NORD - PAS-DE-CALAIS
FR4	EST
FR5	OUEST
FR6	SUD-OUEST
FR7	CENTRE-EST
FR8	MÉDITERRANÉE

FR9	DÉPARTEMENTS D'OUTRE-MER
GR1	VOREIA ELLADA
GR2	KENTRIKI ELLADA
GR3	ATTIKI
GR4	NISIA AIGAIU, KRITI
IE	IRELAND
IT1	NORDOVEST-IT
IT2	LOMBARDIA
IT3	NORD EST-IT
IT4	EMIGLIA ROMAGNA
IT5	CENTRO-IT
IT6	LAZIO
IT7	ABRUZZO-MOLISE
IT8	CAMPANIA
IT9	SUD-IT
ITA	SICILIA
ITB	SARDEGNA
LU	LUXEMBOURG (GRAND-DUCHÉ)
NL1	NOORD-NEDERLAND
NL2	OOST-NEDERLAND
NL3	WEST-NEDERLAND
NL4	ZUID-NEDERLAND
PT	PORTUGAL
SE	SVERIGE
UKC	NORTH EAST
UKD	NORTH WEST
UKE	YORKSHIRE AND THE HUMBER
UKF	EAST MIDLANDS
UKG	WEST MIDLANDS
UKH	EAST OF ENGLAND
UKI	LONDON
UKJ	SOUTH EAST
UKK	SOUTH WEST
UKL	WALES
UKM	SCOTLAND
UKN	NORTHERN IRELAND
NORTH	NORTH
EAST	EAST
SOUTH	SOUTH
WEST	WEST

A 2 Formeln zur Gütemassbestimmung

Summe der absoluten
Abweichungen:

$$SAA = \sum_{\forall m} |q' - q|$$

Summe der quadrierten
Abweichungen:

$$SQA = \sum_{\forall m} (q' - q)^2$$

Summe der quadrierten
relativen Abweichungen:

$$SQRA = \sum_{\forall m} \left(\frac{q' - q}{q} \right)^2$$

Root mean square error:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{\forall m} (q' - q)^2}{m}}$$