

Zukunft des Personenluftverkehrs - Flugroutenverkehrs- und -wahlprognose
Nachfrageanalyse durch stochastische Nutzenmaximierung (RUM) sowie szenariotechnische
Routen- und Angebotsbestimmung relationsabhängiger Nachfragemengen als Elemente zur
Prognose routenspezifischer Passagierzahlen im internationalen Personenluftverkehr

Von der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.–Phys. Thorsten Makowski BBA (GSBA Zürich),
aus Dinslaken

Berichter: Univ.-Prof. Dr.rer.nat.habil. Hans-Jürgen Sebastian
Univ.-Prof. Dr.rer.pol. Harald Dyckhoff

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Mai 2006

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Zukunft des Personenluftverkehrs - Flugroutenverkehrs- und -wahlprognose

Nachfrageanalyse durch stochastische Nutzenmaximierung (RUM) sowie szenariotechnische Routen- und Angebotsbestimmung relationsabhängiger Nachfragemengen als Elemente zur Prognose routenspezifischer Passagierzahlen im internationalen Personenluftverkehr

Inhaltsverzeichnis

0.	Einleitung	21
1.	Entwicklung des internationalen Luftverkehrs	27
1.1	Weltweite Rahmenbedingungen	29
1.1.1	Ölpreisentwicklung	30
1.1.2	Wirtschaftswachstum	32
1.1.3	Einkommensentwicklung	35
1.1.4	Sicherheit und internationaler Terrorismus	36
1.2	Technische Rahmenbedingungen	41
1.2.1	Das Flugzeug der Zukunft	42
1.2.2	(Flughafen)Kapazitäten	45
1.3	Technische Alternativen	52
1.4	Angebotsentwicklung	56
1.4.1	Auslastungsgrad der Luftflotten	59
1.4.2	Preisgestaltung und Kosten	61
1.4.3	Economies	69
1.4.4	Kundenbindungsprogramme	77
1.4.5	Frequenzen	79
1.5	Nachfrageentwicklung	85
1.6	Netzwerke	90
1.6.1	Fluggesellschaften und Flughäfen	91
1.6.2	Monohubnetzwerke	94

1.6.3	Multihubnetzwerke	98
1.6.4	Direktverbindungsnetze	100
1.7	Kooperationen und Allianzen	105
1.8	Prognosebedeutung der Einflussfaktoren	110
2.	Flugroutenprognose	113
2.1	Allgemeine Flugroutenprognose	115
2.1.1	Einfache Mathematische Ansätze	115
2.1.2	Entwicklungen in Asien	121
2.2	Deutschland als Quell- und Zielgebiet	124
2.2.1	Fluggesellschaften in Deutschland	124
2.2.2	Flughäfen in Deutschland	126
2.3	Innereuropäischer Flugverkehr	131
2.3.1	Europäische Fluggesellschaften	132
2.3.2	Europäische Flughäfen	134
2.3.3	Innereuropäische Netzwerkstrukturen	136
2.4	Transatlantischer Flugverkehr	142
2.4.1	Nordamerikanische Fluggesellschaften	142
2.4.2	Nordamerikanische Flughäfen	144
2.4.3	Allianzen und der transatlantische Luftverkehr	146
2.4.4	Transatlantische Netzwerkstrukturen	148
3.	Relationsnachfrageprognose	155
3.1	State of the art der Relationsnachfrageprognose	155
3.1.1	Einleitendes und Implikationen der vorhergehenden Kapitel	155
3.1.2	Einfache Methoden: Darstellung und kurze Bewertung vor dem Hintergrund der betrachteten Zielsetzung	159

3.1.3	Nutzenmaximierungsmodelle bei Wahlentscheidungen im Verkehrsbereich	165
3.1.4	Gravitationsmodell – Bisherige Ansätze	170
3.2	Eigene Modellbildungen der Relationsnachfrageprognose	177
3.2.1	Erweiterungen zum bisherigen Gravitationsmodell	177
3.2.2	Entwicklung eines Luftverkehrsnachfragegenerierungsmodells	180
3.2.3	Spezifizierung und Test für den Quellverkehr in Deutschland	191
4.	Allgemeines Verkehrswahl- und –nachfragemodell	207
4.1	Der Entscheidungsprozess	208
4.1.1	Menschliches Entscheidungsverhalten: Historische Betrachtung	208
4.1.2	Bestehende Theorie menschlichen Entscheidungsverhaltens	211
4.2	Prinzip der Nutzenmaximierung: Eine Einführung in bestehende Theorie	216
4.3	Nutzenmaximierung im Falle des Travel Demand	224
4.3.1	Bisherige Überlegungen zur Nutzenmaximierung im Fall des Travel Demand	224
4.3.2	Eigenständig erweitertes Grundmodell der Nutzenfunktion einer Verkehrswahlentscheidung	230
4.4	Logitmodell: Theorie und Bewertung	235
5.	RUM: Entwicklung eines neuen Routenwahlmodells für den Personenluftverkehr	247
5.1	Entwicklung einer neuen allgemeinen Nutzenfunktion der Flugroutenwahl	248
5.2	Entwicklung eines neuen allgemeinen Modells zur Bestimmung der Passagierströme bei der Flugroutenwahl	256
6.	Interpretation der Ergebnisse und Prognosefähigkeit des Routenwahlmodells	263
6.1	Datenmaterial	265
6.2	Kalibrierung	270
6.3	Innereuropäischer Flugverkehr	279

6.3.1	Ergebnisse	279
6.3.2	Bewertung der Ergebnisse	281
6.4	Transatlantischer Flugverkehr	290
6.4.1	Ergebnisse	290
6.4.2	Bewertung der Ergebnisse	291
6.5	Allgemeine Eigenschaften, Vergleich und Übertragbarkeit der Ergebnisse	297
6.6	Prognosefähigkeit	303
6.7	Prognoseoberfläche	308
7.	Ausblick	317
	Anhang A – Lösungsverhalten	321
	Anhang B – Methode der kleinsten Quadrate	341
	Anhang C – Exempel des verwendeten Datenmaterials	347
	Literaturverzeichnis	375
	Glossar	393

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Modularität der Prognose routenspezifischer Passagierzahlen	23
Abb. 2: Aufbau der Arbeit	24
Abb. 3: Kostenanteile Fluggesellschaften	30
Abb. 4: Kostenanteil Ölpreis 1966-1999	31
Abb. 5: Bruttosozialprodukt und Luftverkehrsmenge 1960-1999	33
Abb. 6: Korrelation BSP-TK mit linearer Trendfunktion	34
Abb. 7: Einkommen und Durchsatz Flugreisende, USA 1990	36
Abb. 8: Relative Häufigkeit tödlicher Unfälle	37
Abb. 9: Anschlag des 11. Septembers	39
Abb. 10: Flugzeugkapazität 1960-1999	43
Abb. 11: Fluggeschwindigkeit 1965-1999	44
Abb. 12: Bahnkapazitäten Deutschland 2001	47
Abb. 13: Terminalkapazitäten Deutschland 2001	48
Abb. 14: Ursachen Verspätungen LH-Flüge Frankfurt/Main	49
Abb. 15: Innereuropäische Verspätungsrate 1993-2000 mit linearer Trendfunktion	51
Abb. 16: Modal-Split Bahn/Luft Madrid-Sevilla 1990-1996	53
Abb. 17: Einkommen Fluggesellschaften 1970-2001	57
Abb. 18: Korrelation BSP und Gewinn der Fluggesellschaften mit linearer Trendfunktion	58
Abb. 19: Ladefaktor 1960-2000 mit linearer Trendfunktion	60
Abb. 20: Nutzdauer 1965-1999 mit linearer Trendfunktion	61
Abb. 21: Spezifischer US-Flugpreis 1950-2000 mit linearer Trendfunktion	62
Abb. 22: Lineare Preisabhängigkeit der Nachfrage	64

Abb. 23: Exponentielle Preisabhängigkeit der Nachfrage	66
Abb. 24: Nachfragebildung für mehrere Preisstufen	68
Abb. 25: Economies of Scale	71
Abb. 26: Ströme und Größe eines Hubnetzwerks	72
Abb. 27: Entscheidungsauswirkung KBP	78
Abb. 28: Pendelverkehr einer Billigfluggesellschaft	82
Abb. 29: Wellenverlauf eines europäischen Hubflughafens	84
Abb. 30: Privatreisen Großbritannien 1970-1998 mit linearer Trendfunktion	85
Abb. 31: Regionale Nachfragedichten	88
Abb. 32: Zentraler Hub	95
Abb. 33: Interregionaler Hub	97
Abb. 34: Multihubnetzwerk	100
Abb. 35: Anzahl Low-cost Flüge in Europa 1993-2001	102
Abb. 36: Einzugsgebiete Hub- und Regionalf Flughäfen	103
Abb. 37: Hubstruktur einer globalen Allianz	107
Abb. 38: Direkt- und Umsteige Flüge	113
Abb. 39: Optimale Lage eines europäischen Hubflughafens	117
Abb. 40: Europäisches Doppelhubnetzwerk	137
Abb. 41: Transatlantische Routenstrukturen	147
Abb. 42: Änderung im transatlantischen Luftverkehr, 1992-1999	150
Abb. 43: Modularität der Beschreibung relationsspezifischer Reisemengen	160
Abb. 44: Privatreisen je Einwohner, BRD 1998	192
Abb. 45: Geschäftsreisen je BSP, BRD, 1998	193
Abb. 46: Lineare Korrelation der Privatreisen zur Einwohnerzahl in Westdeutschland 1998	195
Abb. 47: Lineare Korrelation der Privatreisen zur Einwohnerzahl in Mitteldeutschland 1998	196
Abb. 48: Lineare Korrelation der Geschäftsreisen zum BSP in Westdeutschland 1998	200
Abb. 49: Lineare Korrelation der Geschäftsreisen zum BSP in Mitteldeutschland 1998	201

Abb. 50: Veränderung des Grenznutzens mit zunehmenden Nachfragehäufigkeit	222
Abb. 51: Passagierzahlen München-Manchester mit exponentieller Trendfunktion	283
Abb. 52: Korrelation modellierter und errechneter Passagierströme im innereuropäischen Luftverkehr	284
Abb. 53: Korrelation modellierter und errechneter Passagierströme im transatlantischen Luftverkehr	293
Abb. 54: Startseite Prognoseoberfläche	309
Abb. 55: Prognoseoberfläche: Eingabe Passagierzahlen	310
Abb. 56: Prognoseoberfläche: Eingabe Flugfrequenzen	311
Abb. 57: Prognoseoberfläche: Eingabe minimaler Reisedauern	312
Abb. 58: Prognoseoberfläche: Eingabe relativer Flugpreise	313
Abb. 59: Prognoseoberfläche: Eingabe Anteile Kundenbindungsprogramme	314
Abb. 60: Prognoseoberfläche: Ausgabe routenspezifischer Passagierzahlen	315
Abb. 61: Prognoseoberfläche: Visualisierung routenspezifischer Passagierzahlen	316
Abb. 62: Interdependenz von Entscheidungsvariable und Zielgröße	340
Abb. 63: Methode der kleinsten Abstandssumme	342
Abb. 64: Methode der kleinsten Quadrate	343
Abb. 65: Determinationskoeffizient	345

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Flughäfen mit den meisten internationalen Passagieren	91
Tab. 2: Flughäfen mit den meisten Passagieren	92
Tab. 3: Fluggesellschaften mit den meisten RPM	93
Tab. 4: Vergleich Billigfluganbieter	104
Tab. 5: Mitglieder der globalen Allianzen	108
Tab. 6: Größe der globalen Allianzen	108
Tab. 7: Prognosebedeutung der Einflussfaktoren	111
Tab. 8: Asiatische Flughäfen	122
Tab. 9: Luftverkehrsaufkommen deutscher Flughäfen 2001	128
Tab. 10: Auslastungsentwicklung deutscher Flughäfen 2015	129
Tab. 11: Verspätungen der großen europäischen Hubflughäfen	135
Tab. 12: Entwicklung und Marktkonzentration europäischer Hubflughäfen	138
Tab. 13: Kontinentale Ausrichtung europäischer Hubflughäfen	139
Tab. 14: Neue Hubflughäfen europäischer Fluggesellschaften	139
Tab. 15: Europäische Routenstrukturen 2000	140
Tab. 16: Prognostizierte europäische Routenstrukturen 2010	141
Tab. 17: Bedeutung und Aufkommen der US-amerikanischen Hubflughäfen	145
Tab. 18: Marktanteile US-amerikanischer Hubflughäfen	149
Tab. 19: Die bedeutendsten nordamerikanischen Hubflughäfen im transatlantischen Verkehr	151
Tab. 20: Die bedeutendsten deutschen Hubflughäfen im transatlantischen Verkehr	151
Tab. 21: Die bedeutendsten europäischen Hubflughäfen im transatlantischen Verkehr	152
Tab. 22: Die bedeutendsten (ersten) Hubflughäfen im Verkehr BRD-Nordamerika 2001	153

Tab. 23: Prognostizierte transatlantische Umsteigerouten 2010	154
Tab. 24: Steigerungsfaktoren der privaten Nachfrage an internationalen deutschen Verkehrsflughäfen	198
Tab. 25: Steigerungsfaktoren der geschäftlichen Nachfrage an internationalen deutschen Verkehrsflughäfen	202
Tab. 26: Durchschnittliche Luftverkehrserzeugung in Abhängigkeit der Lage zu Verkehrsflughäfen	204
Tab. 27: Ausschnitt der zur Kalibrierung verwendeten Excel-Datei	272
Tab. 28: Konstanten der Nutzenfunktion im innereuropäischen Luftverkehr	280
Tab. 29: Servicekoeffizienten der Fluggesellschaften im innereuropäischen Luftverkehr	280
Tab. 30: Gewichte der verschiedenen Preisklassen im innereuropäischen Luftverkehr	280
Tab. 31: Anteile der Kundenbindungsprogramme im innereuropäischen Luftverkehr	281
Tab. 32: Tatsächliche und modellierte Passagierströme München-Manchester	282
Tab. 33: Konstanten der Nutzenfunktion im transatlantischen Luftverkehr	290
Tab. 34: Servicekoeffizienten der Fluggesellschaften im transatlantischen Luftverkehr	291
Tab. 35: Anteile der Kundenbindungsprogramme im transatlantischen Luftverkehr	291
Tab. 36: Tatsächliche und modellierte Passagierströme Düsseldorf-Newark	292
Tab. 37: Angabe resultierender routenspezifischer Passagierzahlen	315

Verzeichnis der Abkürzungen

a	Annum
ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen
AMR	AMR Corporation
ANA	All Nippon Airways
ANZ	Air New Zealand
Asi.	Asien
ATA	Air Transport Association
ATC	Air Traffic Control
AUA	Austrian Airlines
BA	British Airways
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BSP	Bruttosozialprodukt
CDG	Charles De Gaulle
CKS	Chiang Kai-Shek
Con	Continental Airlines
COST	European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research
CRS	Computerreservierungssystem
DBA	Deutsche BA
DFS	Deutsche Flugsicherung
DLR	Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DM	Deutsche Mark

DoT	Department of Transportation
etc.	Et cetera
EU	Europäische Union
Eur/Eur.	Europa
FAA	Federal Aviation Administration
FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
FG	Fluggesellschaft
FRA	Flughafen Frankfurt/Main
FRBSF	Federal Bank of San Francisco
Ft.	Fort
GDP	Gross Domestic Product
GPS	Global-Positioning System
h	Hora
hr.	Hour
HST	High Speed Train
ICAO	International Civil Aviation Organization
IIA	Independance of Irrelevant Alternatives
Innereur.	Innereuropäisch
Int.	International
Intko	Interkontinental
IT	Information Technology
IVF	Internationaler Verkehrsflughafen
JAL	Japan Airlines
JAS	Japan Air System
J. F. K.	John Fitzgerald Kennedy
jr.	Junior
KBP	Kundenbindungsprogramm

KLM	Koniglich Luchtvaart Maatskipjk
km/h	Kilometer pro Stunde
LGA	LaGuardia
LH	Lufthansa
Max.	Maximal
min/min.	Minute
Mio./Mill.	Million
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure and Transport
MNL	Multinomiale Logit Modell
Most	Mittlerer Osten
Mrd.	Milliarde
N.am.	Nordamerika
NLP	Nicht Lineares Programm
NRW	Nordrhein-Westfalen
NY	New York
Osnabr.	Osnabrück
PAL	Philippine Airlines
PKW	Personenkraftwagen
Relationssp.	Relationsspezifisch
Routensp.	Routenspezifisch
ROV	Raumordnungsverfahren
RPK	Revenue Passenger Kilometer
RPM	Revenue Passenger Mile
RR	Rolls-Royce
RUM	Random Utility Maximisation Model
S.am.	Südamerika
SAS	Scandinavian Airlines System

Schönef.	Schönefeld
SIM	Spatial Interaction Model
St.	Saint
Star	Star Alliance
TK	Tonnen-Kilometer
Tsd.	Tausend
TÜV	Technischer Überwachungsverein
TUI	Touristik Union International
TWA	Trans World Airlines
UK	United Kingdom
US/U.S./USA	United States of America
VCD	Verkehrsclub Deutschland
\$	US-Dollar

Da sah die Frau, daß es köstlich wäre, von dem Baum zu essen, daß der Baum eine Augenweide war und dazu verlockte, klug zu werden. Sie nahm von seinen Früchten und aß; sie gab auch ihrem Mann, der bei ihr war, und auch er aß. [Genesis,3,6]

Einleitung

Inhalt, Zielsetzung und Motivation

Die Geschwindigkeit und Reichweite wirtschaftlicher, politischer, sozialer und kultureller Interaktionen nimmt immer weiter zu. Die Globalisierung ist Triebkraft vielfältiger Veränderungen und wird auch in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

Globalisierung impliziert einen verstärkten Austausch von Ideen, Konzepten, Informationen, Waren und Personen. Ein ungehinderter weltweiter Datenaustausch - durch das Internet - sowie der globale Transport von Waren und Personen durch den internationalen Luftverkehr sind dabei besonders wichtige Elemente. Sie sind nicht nur Folge der Globalisierung sondern gleichzeitig auch deren notwendige Bedingung. Die Erhaltung oder gar Verbesserung ihrer Infrastruktur ist eine wichtige Voraussetzung einer positiven Entwicklung moderner Volkswirtschaften.

Der Luftverkehr wächst seit seinem Beginn als relevantem zivilen Transportmittel nach dem zweiten Weltkrieg (Chicagoer Abkommen vom 7.12.1944) weit schneller als das Bruttosozialprodukt. Auch zu Beginn des dritten Jahrtausends beträgt das durchschnittliche Wachstum des Personenluftverkehrs auf globaler Ebene etwa fünf Prozent jährlich und liegt damit deutlich über dem Wirtschaftswachstum. Für den Luftfrachtbereich fällt der Zuwachs noch etwas größer aus.

Die Prognose der Größe des Luftverkehrszuwachses ist wichtig für Volkswirtschaften und Unternehmen. Der Markt des zivilen Flugzeugbaus beschränkt sich hauptsächlich auf zwei große Wettbewerber: Airbus und Boeing. Ähnlich verhält es sich bei den Triebwerken, dort teilen sich drei große Anbieter den Markt auf. Eine Prognose des weltweiten Wachstums des zivilen Luftverkehrs liefert für diese Unternehmen unter der Berücksichtigung veränderter Marktanteile eine einfache Abschätzung der zu erwartenden Nachfrage nach ihren Produkten.

Eine globale Prognose des Luftverkehrs ist aufgrund der hohen räumlichen Agglomerierung mit sehr einfachen Mitteln und dennoch verhältnismäßig kleinem Fehler möglich. Dies geschieht durch eine Trendfortschreibung oder durch ein- oder zweidimensionale Korrelationen der Luftverkehrsgrößen zu wirtschaftlichen Parametern wie dem Bruttosozialprodukt.

Zusätzlich existieren jedoch vielfältige Interessen an einer Prognose des Luftverkehrs, die allerdings eine detailliertere, räumlich kleinere Betrachtung nötig machen.

Volkswirtschaftlich kommt dem Luftverkehr als Standortfaktor und als ein immer wichtiger werdendes Element des kompletten, alle Verkehrsmodi umfassenden, Verkehrsangebots große Bedeutung zu. Dies erfordert idealerweise eine Prognose mindestens auf der Ebene der Flughäfen. Ähnliche Interessen haben die Flughäfen selbst, die zunehmend privatisiert sind. Wichtigste Gegenstände ihrer Planung sind die Verteilung der Slots an Fluggesellschaften, die möglichst umfangreiche Kenntnisse über die routenspezifischen Passagierzahlen voraussetzt, sowie die Notwendigkeit und Auswirkung potentieller, nur langfristig realisierbarer, Kapazitätserweiterungen.

Fluggesellschaften und deren Allianzen benötigen für die Planung und Optimierung ihres Routenangebots und ihrer Frequenzen intensive Informationen über die zu erwartenden Passagierzahlen auf der kleinsten räumlichen Aggregationsebene der Routen.

Wissenschaftliche Vorgehensweise

Hauptziel dieser Arbeit ist daher die Erstellung eines Modells zur Ermittlung routenspezifischer Passagierzahlen. Dieses Modell soll aktuelle Passagierzahlen erklären und damit zukünftige routenspezifische Passagierzahlen vorhersagbar machen. Ein solches Modell existiert bisher nicht.

Allerdings lassen sich Prognosen auf einer so kleinen Aggregationsebene nicht zufriedenstellend mit den einfachen Mitteln der Trendfortschreibung oder einer eindimensionalen Regression erreichen. Die Vielzahl an Einflussfaktoren macht es nötig, ein neues, komplexes Instrument einer routenspezifischen Passagierprognose zu entwickeln.

Neben der kleinen Agglomerierungsebene, die die Einbeziehung vieler Einflussfaktoren nötig macht, erschwert zusätzlich die benötigte Interdisziplinarität einer Luftverkehrsprognose die Entwicklung einer umfassenden Prognosemethode. So erfordern vielfältige wirtschaftliche Einflüsse betriebs- und volkswirtschaftliche Deskriptionen und Methoden. Verkehrsbezogene Eigenschaften des Luftverkehrs machen Ansätze der Verkehrswissenschaften und die Auswahl, Entwicklung und Bewertung des Prognoseinstruments umfangreiche Kenntnisse über Methodik und Modellierung des Operations Research notwendig.

Methodisch wird das Problem der Ermittlung routenspezifischer Passagierzahlen in vier sukzessive Teilprobleme zerlegt (siehe Abbildung 1):

- Die Bestimmung der Gesamtnachfrage von Personen innerhalb eines abgegrenzten räumlichen Bereichs (dies kann einem Land, einer Region oder dem Einzugsbereich eines Flughafens entsprechen) zu einem Ziel/ einer Menge von Zielen
- Die Generierung relevanter Routen

- Die Bestimmung der zu diesen Routen zugehörigen Angebote (dies entspricht der Frage beispielsweise nach Preis, Frequenz oder Flugdauer des entsprechenden Angebots)
- Die Bestimmung der Passagierzahlen für die berücksichtigten Routen/Angebote

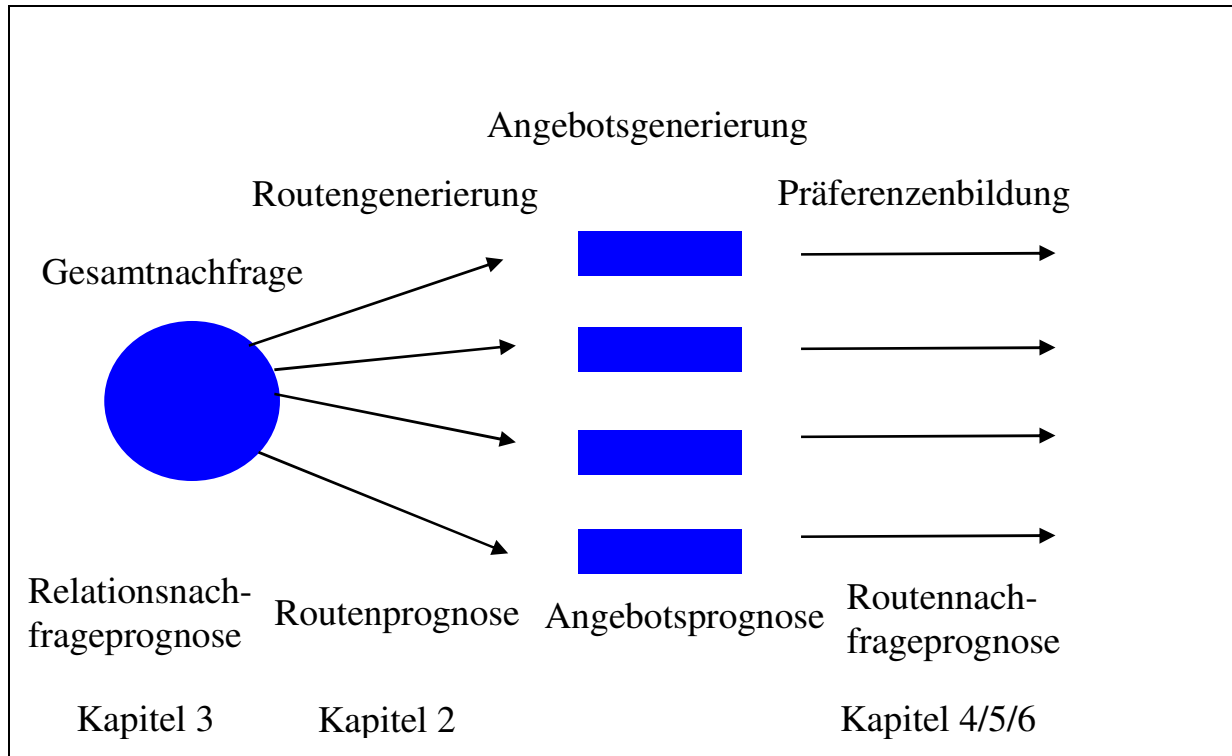


Abb. 1: Die Bestimmung der Passagierzahlen auf den einzelnen Flugrouten lässt sich in vier Teilprobleme zerlegen: Die Bestimmung der Gesamtrelationsnachfrage, die Bestimmung der zu berücksichtigenden Routen, deren zugrundeliegenden Angebote und letztendlich die Verteilung der Gesamtpassagierzahl gemäss der unterschiedlichen Angebotsattribute. [Eigene Darstellung]

Den ersten Schwerpunkt dieser Arbeit bildet eine ausführliche Deskription und Analyse der verschiedensten Einflussfaktoren des Luftverkehrs in Kapitel 1. Diese ist Grundlage für ein Verständnis der wichtigsten Einflussfaktoren des Luftverkehrs. Hauptziel dieses Kapitels ist es, die Bedeutung der Einflussfaktoren für die verschiedenen Elemente der Prognose der routenspezifischen Passagierzahlen herzuleiten und - wann immer möglich - formal und quantitativ abzubilden. Damit ist es eine große Hilfe für die Motivation der wichtigen Einflussvariablen in den Kapiteln 3 bis 6. Zusätzlich dient es dazu, die formal schwerer einheitlich zu beschreibenden Problemstellungen der Routen- und Angebotsprognose mit Hilfe einer umfangreichen Kenntnis der Zusammenhänge des Status quo mittels plausibler Annahmen/Szenarien anzugehen.

Hierbei führen gerade die Veränderungen durch die Deregulierungs- und Liberalisierungsbemühungen, zunehmende Kapazitätsengpässe, ein wachsendes Angebot von Billigfluggesellschaften, eine erhöhte Bedeutung der Allianzen, aber auch zunehmende Restriktionen durch Aspekte einer nachhaltigen Ausgestaltung des Verkehrsbereichs zu großen Umwälzungen im Bereich des Luftverkehrs und sind sorg-

fältig in ihrer Wirkung auf die routenspezifischen Passagierzahlen zu untersuchen. Eine solche Deskription ist in vielen Fällen jedoch nur begrenzt formalisierbar.

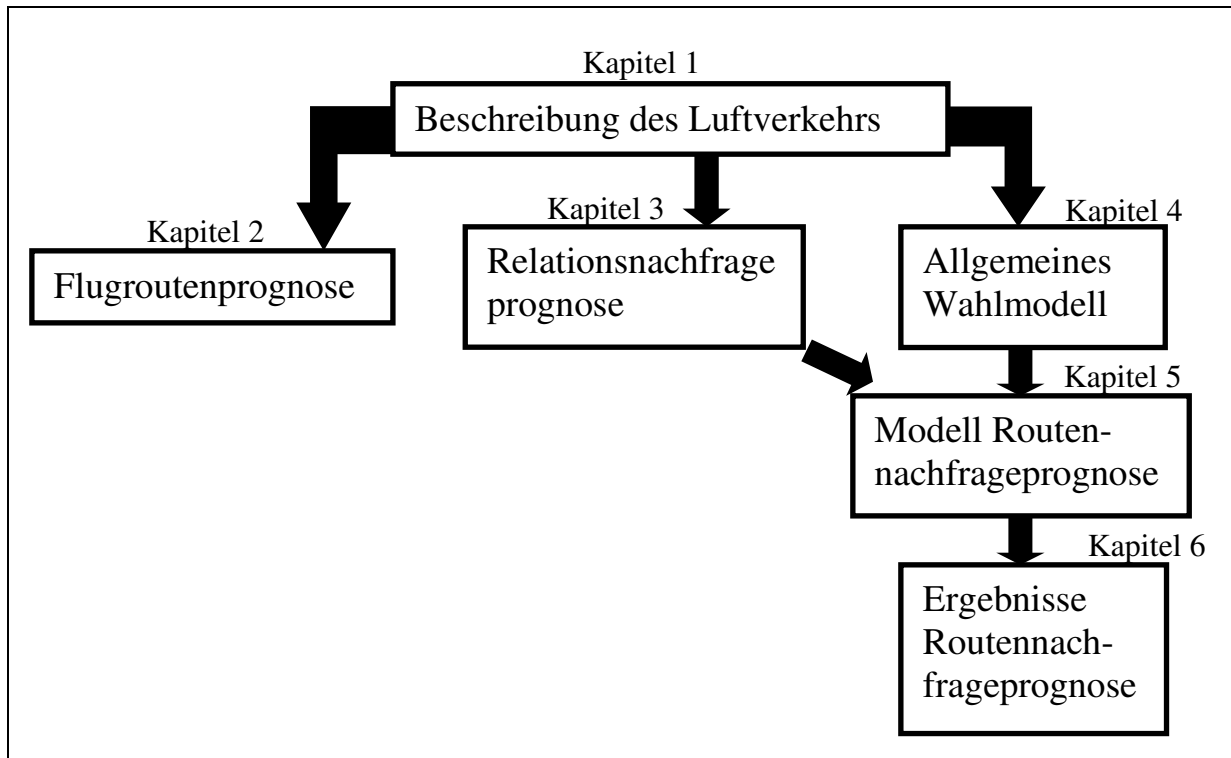


Abb. 2: Der Aufbau der Arbeit beginnt mit einer Beschreibung des Luftverkehrs von der eine Flugroutenprognose, eine Relationsnachfrageprognose und ein allgemeines Verkehrswahlmodell abgeleitet werden. Letzteres wird anschließend noch entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit bezüglich der Nachfrage von Passagieren auf Flugrouten spezifiziert und kalibriert. [Eigene Darstellung]

Abbildung 2 zeigt schematisch den Aufbau dieser Arbeit. Grundlage ist eine umfassende Analyse des Status quo des Luftverkehrs. Haupttendergebnis ist die Bestimmung eines kalibrierten Modells zur Bestimmung aktueller und zukünftiger Passagierzahlen auf der kleinen Aggregationsebene der Flugroute.

Auf Basis der Beschreibung der heutigen Einflussvariablen und Routenstrukturen wird im Kapitel 2 eine Hilfe zur Ermittlung zukünftiger Routenstrukturen angegeben. Bedenkt man, dass eine Route (für die Annahme nur eines Umsteigeflughafens) bei etwa 10 betrachteten Start- und 1000 Ziel- respektive Umsteigeflughäfen 10^7 theoretische Destinations-Routenkombinationen ergibt, wird klar, dass Ziel dieses Kapitels nicht die Bestimmung einer vollständigen Lösung, sondern die Ermittlung eines einfachen Instruments zur Bestimmung zukünftiger Routen darstellt.

Eine quantitative Prognose der Passagierzahlen der verschiedenen Routen lässt sich separieren in die der relationsspezifischen Passagierzahlen und deren Umlegung auf die einzelnen wählbaren Routen.

Kapitel 3 stellt – erstmalig für den Luftverkehr – eine allgemeine Modellierung der relationsspezifischen Passagierzahlen als Variable vielfältiger, vor allem ökonomischer und geographischer, Einflussfaktoren vor. Zusätzlich wird diese auf der Basis der Daten der Fluggastbefragung des ADV aus dem Jahr 1998

für den Personenluftverkehr von und nach der Bundesrepublik Deutschland ergänzt und kalibriert und bildet damit die Basis einer kausalen, quantitativen Abbildung der routenspezifischen Passagierzahlen.

Den zweiten Schwerpunkt der Arbeit stellt die Modellierung des Flugroutenwahlverhaltens der Passagiere dar. Kapitel 4 setzt sich das Ziel eines allgemeinen (bisher nicht vorhanden) Grundmodells des Wahlverhaltens für den kompletten Verkehrsbereich. Dieses umfasst sämtliche denkbaren Modi und Routen.

In Kapitel 5 folgt eine Spezialisierung auf die Beschreibung des Routenwahlverhaltens für den Luftverkehr. Hierbei sind auch die Gesamtpassagierzahlen zu berücksichtigen. Damit findet auch Kapitel 3 indirekt Einbezug in diese Modellierung.

Kapitel 6 kalibriert, präsentiert, analysiert und bewertet anschließend die sich daraus ergebenden Ergebnisse für die wichtigsten Teilmärkte des internationalen deutschen Luftverkehrs - den innereuropäischen und den transatlantischen Luftverkehrsmarkt.

An die quantitative Modellierung der Kapitel 3 bis 6 werden dabei vielfältige Ansprüche gestellt: Die gewünschte Modellbildung soll möglichst kausal sein und geringe Fehler der Beschreibung zulassen. Im Unterschied zu den im Bereich der Verkehrswissenschaften verbreiteten Ansätzen, die sich jeweils auf eine einzelne, spezielle Anwendung beschränken, ist eine hohe Übertragbarkeit auf andere Elemente der Verkehrsdeskription und -prognose anzustreben. Das Modell muss mit den leider sehr beschränkt verfügbaren Datenmengen kalibrierbar sein und sollte einen geringen Grad an Subjektivität enthalten (Eine ausführliche Beschreibung des Problems der geringen Verfügbarkeit von verwertbarem Datenmaterial findet sich im Abschnitt 6.1, Ausschnitte des benutzten Datenmaterials werden im Anhang C angegeben). Daher ist das Kapitel 1 bewusst ausführlich gestaltet worden, um so auch dem Luftverkehrslaien einen Umgang mit der Luftverkehrsprognose zu ermöglichen und dies nicht auf den sehr kleinen Bereich an Experten zu beschränken.

Um die Güte der gewählten Modellierung deutlich zu machen, wird zusätzliches Augenmerk auf die Grenzen möglicher Anwendungen, potentieller Schwächen und eine ausführliche Darstellung der Annahmen, Folgerungen und Näherungen gelegt.

Letztendlich wird mit dieser Arbeit die Grundlage für eine kausale, quantitative, möglichst genaue, generalisierte und objektive Prognose des Luftverkehrs gelegt, die es auch dem Laien ermöglicht, gute Ergebnisse auf der niedrigen Aggregationsebene von Routen zu erzielen. Dies ist heute von hoher Bedeutung für die Planung der Flughäfen, zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit der Fluggesellschaften und Allianzen aber auch als Hilfe für Volkswirtschaften und Politik, bei denen einer optimalen Steuerung des Luftverkehrs ein hohes Gewicht zukommt, das aufgrund zunehmender Kapazitätsengpässe bei gleichzeitig begrenzten finanziellen Mitteln weiter wachsen wird.

Hierbei stellen die Ergebnisse der Kapitel 1 und 3 bis 6 zu allererst eine Beschreibung des Status quo dar. Kapitel 2 hingegen versucht, die Frage nach zukünftigen Routenstrukturen zu beantworten. Kombiniert man diese Ergebnisse und überlegt, welche zusätzlichen Angebots- und Präferenzenänderungen für ein Szenario zu wählen sind (siehe Abschnitt 6.7), erhält man auf Basis eines den Status quo beschreibenden Modells eine kausale, quantifizierte, prognostische Modellierung zur Vorhersage zukünftiger Routenpassagierzahlen. Die erzielten Ergebnisse setzen den damit vertrauten Leser in die Lage plausible Ergebnisse für ihn interessierende zukünftige Routenpassagierzahlen zu ermitteln. Die Auswahl ihn interessierender Routen (unter der Vielzahl möglicher) und die Definition plausibler Szenarien bleibt ihm jedoch vorbehalten (auch wenn die Ergebnisse des Kapitels 1 die Definition sinnvoller Szenarien erleichtern). Damit ist das Ergebnis dieser Arbeit die Schaffung der Voraussetzungen für eine individuelle Bestimmung zukünftiger Routenpassagierzahlen, einige für die jeweilig interessierende Fragestellung spezifisch interessierende Teilaufgaben bleiben dem Anwender überlassen.

1. Entwicklung des internationalen Flugverkehrs

Die Auswahl der bestgeeigneten Prognosemethode hängt neben den Zielen und Möglichkeiten der Prognose wesentlich vom Prognoseinhalt selbst ab. Eine gewissenhaft durchgeführte Prognose ist in hohem Maße abhängig von einem intensiven Studium und Verständnis des Prognoseinhalts, vor allem dann, wenn eine hohe Akzeptanz und Kausalität angestrebt werden. Daher wird in diesem Kapitel vor einer Vorstellung der Modellierung eine ausführliche Darstellung der Entwicklungen und Interdependenzen im Personenluftverkehr vorgenommen, die dann folgend als Grundlage der Modellbildung dient. Ohne eine detaillierte Analyse dieses Prognosegegenstands ist die Wahl einer sinnvollen Axiomatik als Grundlage der Modellierung, ihre Beurteilung und die Benutzung und Bewertung verschiedener Szenarien allenfalls einem sehr kleinen Bereich von Experten des Luftverkehrs überlassen¹.

Es ist für jede Modellbildung notwendig, die realen Vorgänge vereinfacht abzubilden. Notwendig ist dazu das Aufstellen einer geeigneten Axiomatik, die gleichzeitig logisch, geschlossen und möglichst realitätsnah ist. Das Identifizieren von Einflüssen und Wechselwirkungen ist wie die Unterscheidung in mehr und weniger relevante Elemente ein wichtiges Vorstadium einer jeden kausalen Prognosemethode. Der Gedankengang der Prognose routenspezifischer Passagierzahlen lässt sich in vier Teilfragestellungen unterteilen (siehe Abbildung 1, S.23):

- Die Prognose einer relationsbezogenen Stromgröße.
- Die Generierung der alternativen Routenmöglichkeiten der Relation.
- Die Bestimmung ihrer preis- und servicebezogenen Eigenschaften.
- Die Prognose der routenspezifischen Passagierzahlen aller generierten Routen.

Mögliche Lösungen und Methoden zu allen vier Teilproblemen werden in dieser Arbeit betrachtet. Der Bestimmung zukünftiger Angebotscharakteristika kommt dabei in dieser Arbeit nur eine geringe Rolle zu. Diese ist vielmehr spezifisch für die jeweilige Fragestellung vom Anwender in sinnvoll definierten Szenarien anzugeben. Die Ergebnisse des Kapitels 1 sowie die Bemerkung in Abschnitt 6.7 helfen diesem jedoch bei der Festlegung der Eigenschaften der Szenarien.

¹ Nijkamp2002 137.

Der methodisch mathematische Schwerpunkt besteht vielmehr in der Verteilung der Gesamtnachfrage auf die verschiedenen Angebote und Routen. Dennoch werden auch alle weiteren Teilprobleme in dieser Arbeit behandelt. Dies ist auch deshalb nötig, weil eine modulare Unterteilung des Gesamtproblems in vier Teilprobleme - sowie der sukzessive modulare Ansatz - einige, wenn auch kleinere, Interaktionen zwischen den Teilproblemen vernachlässigt. Eventuelle Korrekturen müssen daher zusätzlich Berücksichtigung finden.

Methodisch ist die Sequentialisierung der Vorgehensweise neben einer sinnvollen Vereinfachung des Gesamtproblems in der modularen Prognosestruktur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, in welche die zu entwickelnde Prognoseform modular eingeführt und für zukünftige Prognosen benutzt wird, begründet. Eine ausführliche Darstellung dieser Aspekte erfolgt in den Kapiteln 3 und 4. Bei der Analyse der verschiedenen Einflüsse ist besonderer Wert darauf zu legen, ob diese Auswirkungen auf die relationsbezogene Stromgröße, die Routengenerierung nebst ihrer Eigenschaften oder auf die Größe der routenspezifischen Passagierzahlen haben.

In den Abschnitten 1.1, 1.2 und 1.3 werden Einflüsse dargestellt, welche hauptsächlich Abhängigkeiten für die Gesamtmenge aller Reisenden aufweisen. Die Abschnitte 1.4 und 1.5 beschreiben das Marktgeschehen und dienen damit der Erstellung der routenspezifischen Eigenschaften, aber auch dem Verständnis der Marktmechanismen, die letztendlich zu der auftretenden Auffächerung des relationsspezifischen Reiestroms auf die einzelnen Routen führen. Anschließend stellen die Abschnitte 1.6 und 1.7 die Entwicklung von Netzwerkstrukturen und Allianzen vor, die zur Vorhersage und Generierung zukünftiger möglicher Reiserouten von entscheidender Bedeutung sind. Abschließend werden die in dem ersten Kapitel ermittelten Abhängigkeiten im Abschnitt 1.8 übersichtlich zusammengefasst und auf die verschiedenen Elemente der Prognose bezogen.

1.1. Weltweite Rahmenbedingungen

Die Größe des internationalen Flugverkehrs ist in hohem Maße abhängig von globalen politischen, ökonomischen, sozialen und technischen Entwicklungen². In diesem Abschnitt wird auf die wichtigsten politischen, sozialen und wirtschaftlichen Einflussfaktoren eingegangen. Im Anschluss daran werden in den beiden folgenden Abschnitten 1.2 und 1.3 die zu erwartenden technischen Entwicklungen und ihre Auswirkungen auf die Reiseströme untersucht.

Als wichtigste wirtschaftliche Indikatoren und Einflussgrößen werden der Ölpreis, Abschnitt 1.1.1, und die Entwicklung des Bruttosozialprodukts, Abschnitt 1.1.2, betrachtet. Selbstverständlich sind auch andere ökonomische Einflussfaktoren von Bedeutung, sollen aber hier keine explizite Beachtung finden, da sie mit den beiden behandelten Einflussfaktoren entweder korreliert oder in ihrer Auswirkung auf den Flugverkehr als wesentlich geringer einzustufen sind. Wichtig für die Entscheidung des einzelnen, ob dieser sich eine zusätzliche - und falls ja welche - Flugreise leisten möchte, ist seine Einkommensentwicklung, auf die im dann folgenden Abschnitt eingegangen wird. Sozio-politische Einflüsse finden Beachtung in der demographischen Entwicklung, den geopolitischen Rahmenbedingungen und den nach dem 11. September 2001 wieder stärker ins Rampenlicht gerückten Auswirkungen des internationalen Terrorismus, Abschnitt 1.1.4, auf den Luftverkehr.

Demographische Entwicklungen haben auf vielfältige Art Einfluss auf eine Veränderung der Nachfrage nach Luftverkehr: So bewirkt eine Änderung der Bevölkerungszahl eine Änderung potentieller Personen, die den Luftverkehr für sich nutzen könnten, was gerade für den asiatisch-pazifischen Raum von großer Bedeutung ist³. Des weiteren hat die Entwicklung der Altersstruktur eine wesentliche Auswirkung auf die Nachfrage nach fast allen Gütern. So findet man in den industrialisierten Ländern Westeuropas und Nordamerikas sowie Japan eine hohe Lebenserwartung und ein geringes Bevölkerungswachstum einhergehend mit einer sich verändernden Alters- und Freizeitstruktur. In diesen Ländern werden ältere Menschen mit ihrer ganz spezifischen Nachfrage nach Luftverkehr zunehmend wichtiger⁴.

Geopolitische Rahmenbedingungen stellen das Umfeld, innerhalb dessen sich jede globale wirtschaftliche Entwicklung vollzieht. Somit ist eine Veränderung der globalen politischen Strukturen wie die voran-

² Urbatzka1999 21ff.

³ Pavaux1995 44ff.

⁴ Graham2000 110.

schreitende europäische Integration von einer hohen Bedeutung gerade auch für den internationalen Luftverkehr⁵.

1.1.1. Ölpreisentwicklung

Die Nachfrage nach einem Gut ist abhängig von seinem Preis und damit auch von den Kosten seiner Gewinnung. Im Falle der Flugreisen existieren, wie Abbildung 3 zeigt, für die Fluggesellschaften im wesentlichen drei große Kostenanteile: Die Löhne der Mitarbeiter, die Kosten des Treibstoffes und der Flugzeugflotte. Von diesen drei Gesamtkostenanteilen sind die Lohnkosten sowie die für die Flotte relativ sicher kalkulierbar und nur von geringer Volatilität. Anders ist es mit den Treibstoffkosten, diese sind hoch volatil und neben allgemeinen Marktabhängigkeiten sehr empfindlich gegenüber politischen Krisen und Konflikten vor allem im Nahen Osten. Eine Analyse der ICAO zeigt, dass die Kosten für Treibstoff im Zeitraum von 1961 bis 1999 um etwa 230% gestiegen sind, während die Arbeitskosten im gleichen Zeitraum gar um 950% stiegen⁶. Somit ist der Anstieg der Treibstoffpreise eher moderat und liegt weit unter dem des Konsumenten Preis Indexes mit 460%.

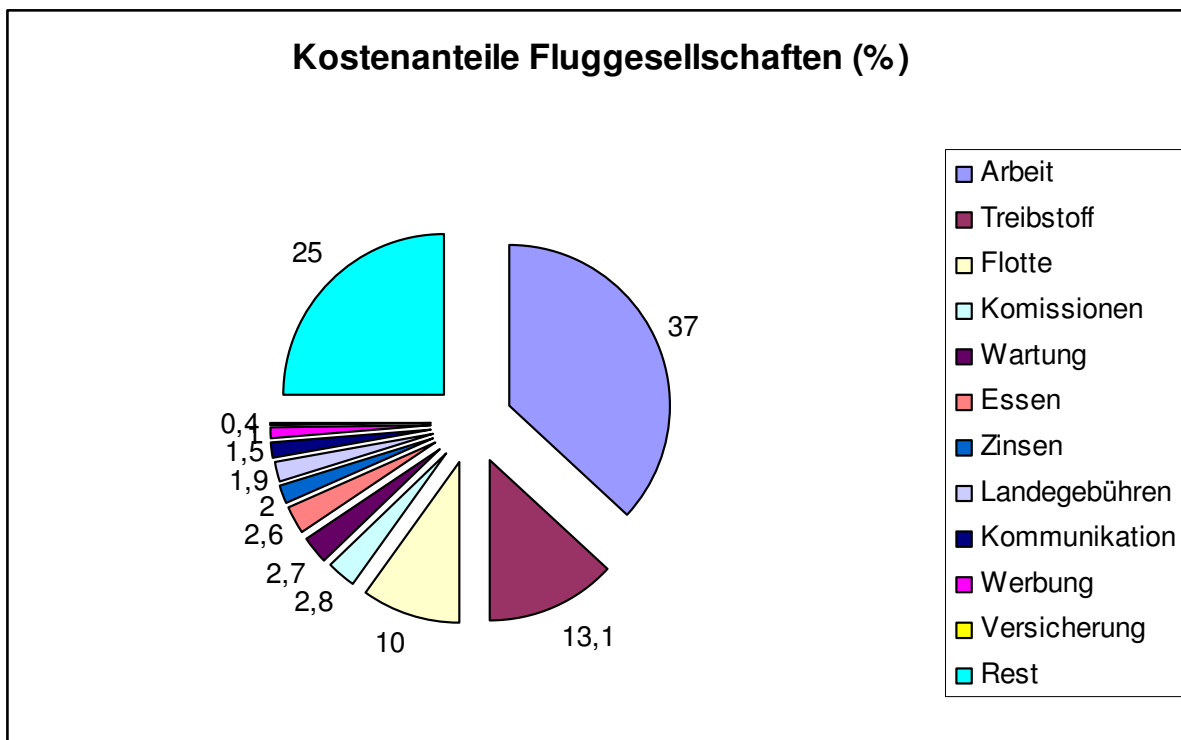


Abb. 3: Die operativen Kosten der Fluggesellschaften setzen sich vor allem zusammen aus den Lohnkosten, den Treibstoffkosten und denen für die Flugzeugflotte. [Quelle: ATA2002b 25.]

Damit einher ging im gleichen Zeitraum eine Zunahme der Produktivität bezüglich des Treibstoffs von 145% (entspricht durchschnittlich 2,3% jährlich) und der Arbeit um 860% (durchschnittlich 6,2% pro

⁵ BMVBW1999 4ff.

⁶ ICAO2001 14.

Jahr). Die Zunahme der Produktivität des Treibstoffs ist eher gering einzuschätzen und liegt unter der der Flugzeuge von 210% (etwa 3,1% jährlich)⁷.

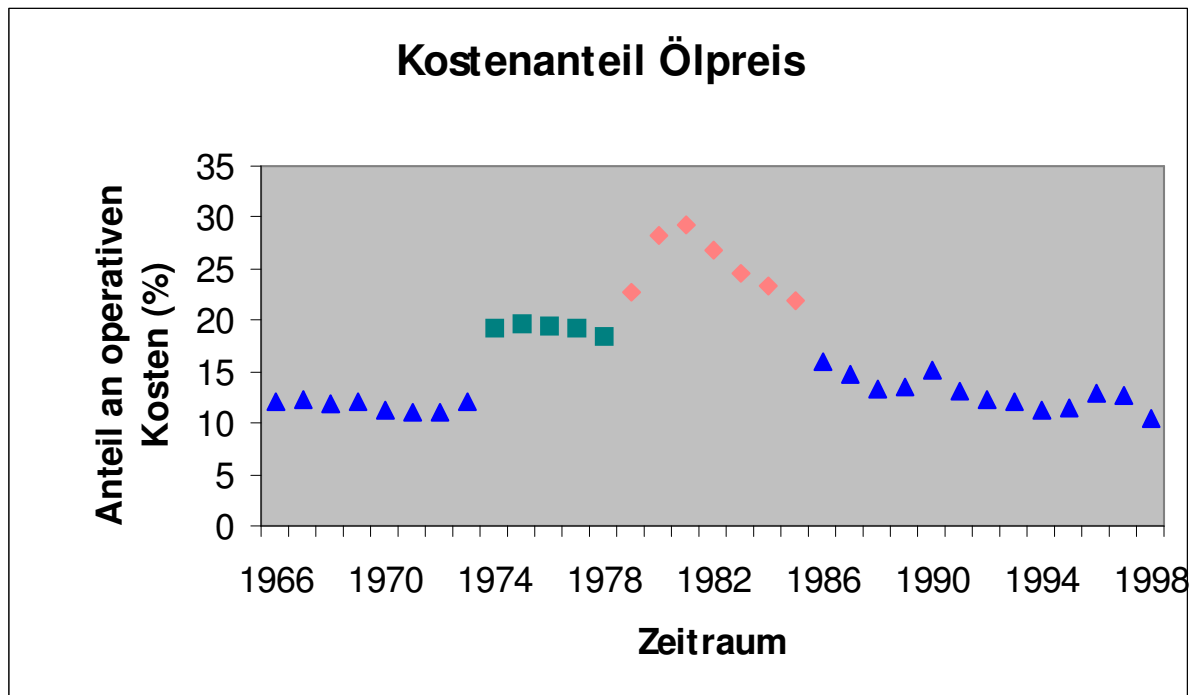


Abb. 4: Der Anteil der Öl- und Treibstoffkosten an den operativen Kosten liegt ohne größere internationale Ölkrisen bei relativ konstanten 10 bis 15%. Lediglich die Ölkrisen von 1974 und 1979/80 führten zu einem hohen Anstieg. Die Auswirkungen beispielsweise des Irakkriegs von 1990/91 sind dahingegen viel geringer. [Quelle: Pavaux1996 104., Figure 5.1]

Während die Zunahmen der Produktivität ziemlich konstant über den gesamten Zeitraum waren und dies auch für die Kostensteigerung der Löhne zutrifft, weist die Entwicklung der Ölpreise einen Anstieg bis zu einem Höhepunkt im Jahre 1981 auf, danach ist die Höhe der Ölpreise tendenziell fallend. Als Folge der geopolitischen Veränderungen als Folge des Anschlags vom 11. September steigt der Ölpreis derzeit wieder an.

Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des Anteils der Treibstoffkosten an den operativen Kosten der Fluggesellschaften in den Jahren von 1966 bis 1999. Auffällig ist der Anstieg bei den beiden Ölkrisen 1973 und 1979/80, sowie das lange Gedächtnis des Markts, das dazu führte, dass eine deutliche Erhöhung dieses Kostenanteils für einen Zeitraum von etwa fünf Jahren bestehen blieb. Eine analoge Entwicklung ist auch für jene der absoluten Kosten des Treibstoffes zu erkennen. Hier ist bis zum Jahre 1981 ein immenser Anstieg und danach ein hochvolatiler Abschwung zu beobachten⁸.

Der Frage nach der zukünftigen Entwicklung des Ölpreises in Folge höherer Nachfrage (beispielsweise durch verstärkten Bedarf in China) oder durch begrenzte Ressourcen und Fördermöglichkeiten wie der

⁷ ICAO2001 13.

⁸ ICAO2001 14.

nach einer (hauptsächlich ökologisch motivierten) Besteuerung des Kerosins kommt daher für die Höhe zukünftiger Nachfrage nach Luftverkehr eine hohe Bedeutung zu.

Tatsächlich ist die Intensität der Abhängigkeit der Fluggesellschaften von der Entwicklung des Ölpreises zusätzlich beeinflusst durch ihre Flottenstruktur, ihr Flugroutennetzwerk sowie die Bezugs- und Steuerkosten des Treibstoffs. Die in den Vereinigten Staaten ansässigen Fluggesellschaften haben hierbei im Vergleich zu vielen ihrer internationalen Wettbewerber häufig eher Vorteile⁹. Ein plötzlicher Anstieg der Ölpreise bewirkt in der Regel einen sofortigen Kostenanstieg bei den Fluggesellschaften verbunden mit negativen Auswirkungen auf die Passagierzahlen¹⁰. Dies lässt sich teilweise durch Absicherungsstrategien auffangen, wird aber aufgrund der Zusatzkosten von den Fluggesellschaften in unterschiedlichem Maße umgesetzt. Hinzu kommen noch alle weiteren negativen Auswirkungen einer solchen Preisentwicklung auf die Weltwirtschaft, die zusätzlich zu einer Verringerung der Nachfrage führen.

1.1.2. Wirtschaftswachstum

Die wirtschaftliche Entwicklung ist die wichtigste Einflussgröße jener des Luftverkehrs. Es existiert eine hohe Kopplung der Veränderung des Bruttosozialprodukts und jener der Passagierzahlen. Ähnliches gilt im internationalen Vergleich: Hier ist eine hohe Korrelation zwischen dem nationalen BSP und der durchschnittlichen Flughäufigkeit der Bewohner festzustellen^{11 12}.

Ebenso wie die Entwicklung des internationalen Bruttosozialprodukts ist die Luftverkehrsmenge, gemessen in Tonnen-Kilometer (TK) starken zyklischen Schwankungen unterlegen¹³. Abbildung 5 zeigt die weitgehend gleichförmige Entwicklung beider Parameter innerhalb der Jahre von 1960 bis 1999. Neben einer Bewegung in Phase ist zusätzlich zu erkennen, dass die Steigerung der Luftverkehrsmenge die des Bruttosozialprodukts weit übertrifft¹⁴.

Diese stärkere Steigerung des Luftverkehrsaufkommens lässt sich vor allem mit einer Verbesserung des Angebots in Preis und Service und einer Zunahme der internationalen Wechselwirkungen, sowohl gesamtwirtschaftlich wie auf den Lufttransport selbst bezogen, erklären. Hierbei ist für die Zukunft eine geringere Abweichung zwischen dem Wachstum des Luftverkehrs und dem der Wirtschaft zu erwarten, da Angebotsverbesserungen im wesentlichen zurückzuführen sind auf technische Verbesserungen, die auf den Preis und Service durchschlagen¹⁵. Diese dürften in einem gleichen Ausmaß wie in der Ver-

⁹ Hanlon1996 19ff.

¹⁰ Pavaux1995 105ff.

¹¹ Hanlon1999 14.

¹² RollsRoyce2001 21.

¹³ Hanlon1996 13.

¹⁴ ICAO2001 6.

¹⁵ Boeing2001 9f.

gangenheit nur schwerlich adäquat in der Zukunft zu verwirklichen sein¹⁶, Ausnahmen sind Luftverkehrsmengensteigerungen auf den Routen, auf denen erstmalig Billigfluggesellschaften auftreten.

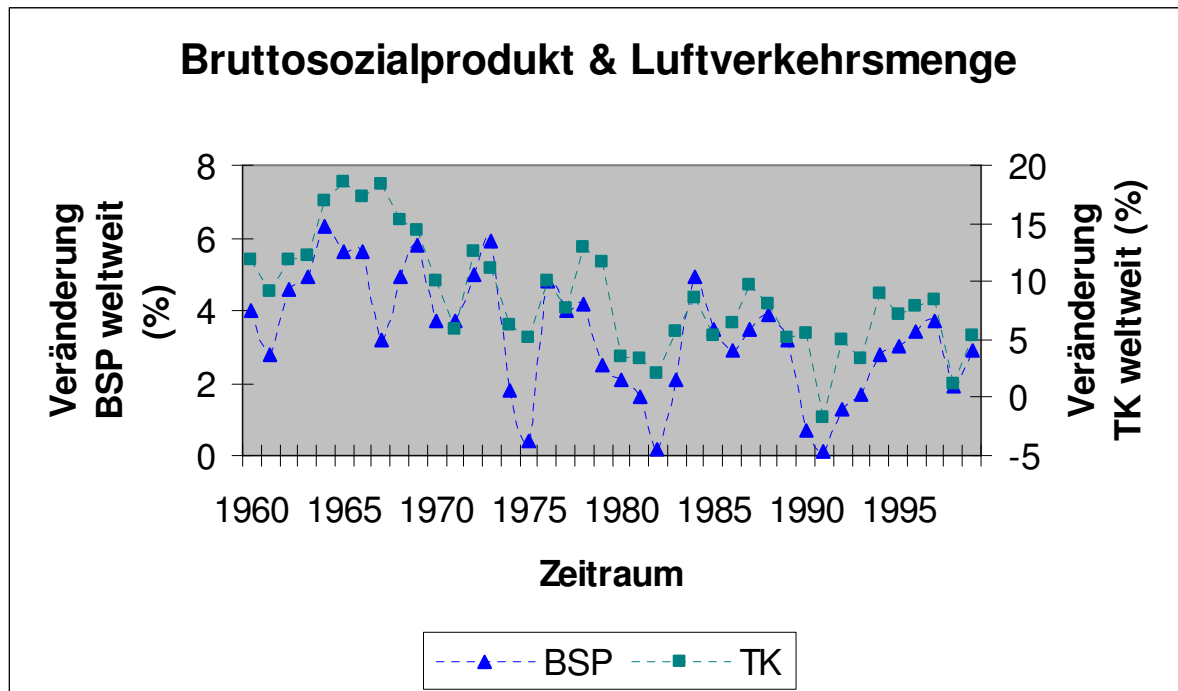


Abb. 5: Die Entwicklung des Wirtschaftswachstums und des Flugverkehrsaufkommens (TK, Tonnenkilometer) unterliegt weitgehend ähnlichen zyklischen Schwankungen und vollzieht sich praktisch in Phase. [Quelle: ICAO2001 6., Table 2-1]

Auffällig ist, dass die Auswirkung einer weltweiten Änderung des Bruttosozialprodukts nicht für alle Passagierströme von gleicher Bedeutung ist. Zum einen lässt sich eine regionale Unterscheidung treffen. In den nächsten Jahren wird ein besonders hohes wirtschaftliches Wachstum im asiatisch-pazifischen Raum erwartet. Der Volksrepublik China wird hierbei in internationalen Prognosen häufig das weltweit größte Wachstum zugetraut. Dies wird neben anderen Entwicklungen wie dem unterschiedlichen Sättigungsgrad des Markts und der demographischen Entwicklung in Bezug sowohl auf Bevölkerungswachstum wie Altersstruktur der Hauptgrund sein, der zu einer weiteren Erhöhung des Anteils des asiatisch-pazifischen Raums am internationalen Flugverkehr führen wird.

Zusätzlich ist eine unterschiedliche Abhängigkeit der verschiedenen Personengruppen vom Wirtschaftswachstum zu erwarten. So gilt für viele Geschäftsreisende eine Abhängigkeit vom Außenhandel, der neben dem Grad internationaler Kooperationen auch wesentlich von der wirtschaftlichen Entwicklung beeinflusst ist. Dennoch sollte diese Abhängigkeit für verschiedene Gruppen Geschäftsreisender unterschiedlich sein, beispielsweise für den Dienstleistungs- oder den produzierenden Bereich.

¹⁶ Airbus2000 5.

Abbildung 6 zeigt nach einfacher Rechnung und Linearisierung ausgehend vom selben Datensatz wie bei der Abbildung 5 eine deutliche Korrelation zwischen dem Wirtschaftswachstum und der Entwicklung der Flugverkehrsmenge. Hier lässt sich eine ungefähr lineare Wechselwirkung erkennen:

$$\Delta TK \approx 2,3\Delta BSP + 0,9\% \quad (1)$$

ΔTK bezeichnet in diesem Fall die relative Änderung des jährlichen weltweiten Flugverkehrsaufkommens, ΔBSP die des jährlichen weltweiten Bruttosozialprodukts. Auffällig ist, dass eine Steigerung des BSP eine um den Faktor 2,3 stärkere des Flugaufkommens bewirkt. Auch Aharoni erkennt, dass in den vergangenen Jahrzehnten die Steigerung des Luftverkehrs etwa doppelt so hoch wie der Anstieg des weltweiten BSP ist¹⁷.

Eine Stagnation der wirtschaftlichen Entwicklung führt zu einem jährlichen Wachstum des Flugaufkommens von knapp einem Prozent. Der verhältnismäßig niedrige Korrelationskoeffizient von etwa 0,6 zeigt, dass das Wirtschaftswachstum die Haupteinflussgröße der Veränderung der Flugverkehrsströme ist, jedoch bei weitem nicht die einzige.

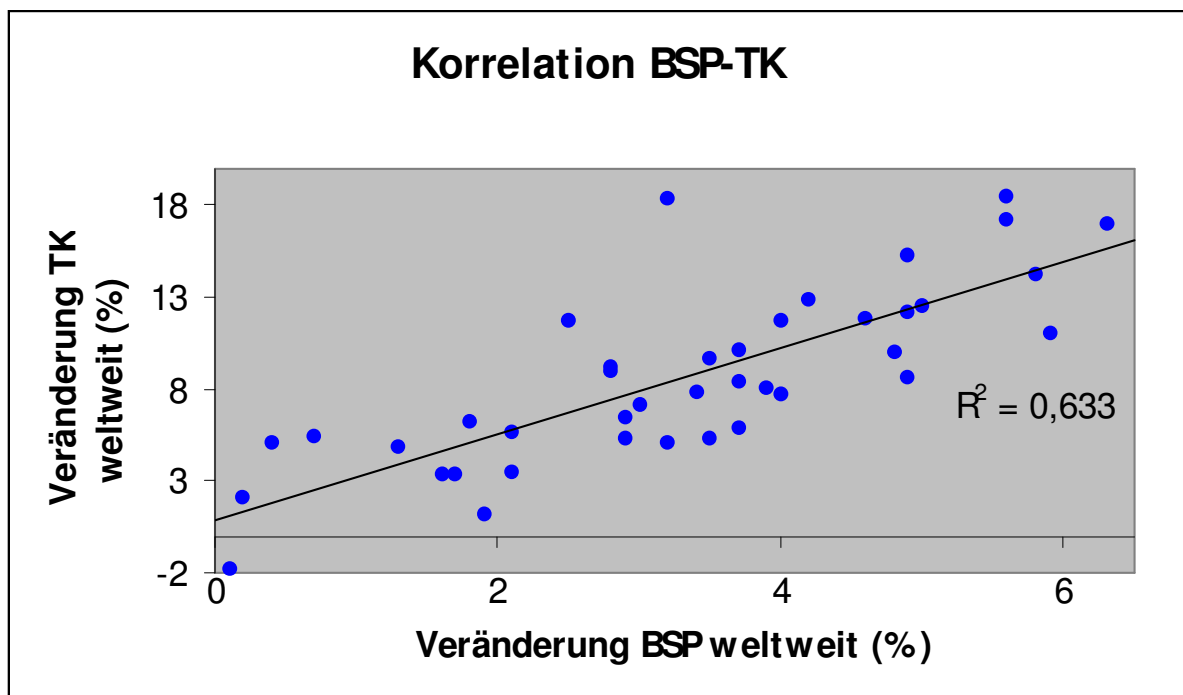


Abb. 6: Es existiert eine genähert lineare Korrelation zwischen dem BSP und der Flugverkehrsmenge (TK). Auffällig ist vor allem der starke Anstieg des Luftverkehrs, der im Vergleich zum BSP um den Faktor 2, 3 erhöht ist. Der Korrelationskoeffizient deutet an, dass das BSP die Haupt-, aber nicht die einzige wichtige Einflussgröße des Luftverkehrsvolumens ist. [Eigenständige lineare Korrelation der Daten von Abb. 5]

¹⁷ Aharoni2002 5.

Neben dieser linearen Form der Abbildung dieser Wechselwirkung werden noch alternative Funktionenscharen verwendet. So benutzt die Organisation ICAO¹⁸ den Ansatz:

$$PKP = a \cdot BSP^b \cdot PYield^c \quad (2)$$

PKP bezeichnet in diesem Fall die Anzahl der von Passagieren zurückgelegten Passagierkilometer, *PYield* den Ertrag pro Passagierkilometer. Kalibrierung liefert dann:

$$\ln(PKP) \approx 0,017 + 2,19 \ln(BSP) - 0,50 \ln(PYield) \quad (3)$$

Der hohe Koeffizient des BSP, der mit 2,19 deutlich über eins liegt, zeigt dass eine Steigerung des Brutto sozialprodukts zu einer intensiven Erhöhung des Luftverkehrs führt und der Markt noch längst nicht gesättigt ist, siehe Abschnitt 1.5., allerdings lässt sich der negative Koeffizient des Unternehmensertrages nur äußerst schwer plausibel erklären.

Zusätzlich zur Luftverkehrsmenge konnte auch eine Kopplung an andere wichtige Größen des Luftverkehrs festgestellt werden¹⁹, damit kommt dem Wirtschaftswachstum eine herausragende Rolle in bezug auf die Entwicklung des Luftverkehrs zu²⁰.

1.1.3. Einkommensentwicklung

Ungefähr 80 Prozent des gegenwärtigen Flugaufkommens entsteht nicht durch Geschäfts- sondern durch private Reisen. Für diese sind die Kosten eines Flugs relativ zu dem Einkommen der Reisenden von einer großen Bedeutung. Innerhalb eines Landes zeigt sich, dass ein Großteil der Reisen von solchen Personen getätigt wird, die über ein hohes Einkommen verfügen. Wie Abbildung 7 zeigt, ist der Anteil der Personen, die mit dem Flugzeug reisen, mit zunehmendem Einkommen steigend. Aber auch die durchschnittliche Reisehäufigkeit pro Jahr nimmt zu.

International stellt sich dies analog dar, in Ländern mit einem geringen Anteil an vermögenden Personen fliegen relativ zur Gesamtzahl weniger Menschen als beispielsweise in den USA oder Kanada. Neben einer Abhängigkeit des Reisevolumens vom Brutto sozialprodukt existiert also eine zusätzliche korrelierte von der Art der Verteilung des Vermögens und des Einkommens.

¹⁸ ICAO2001 47.

¹⁹ Bond2002a 51.

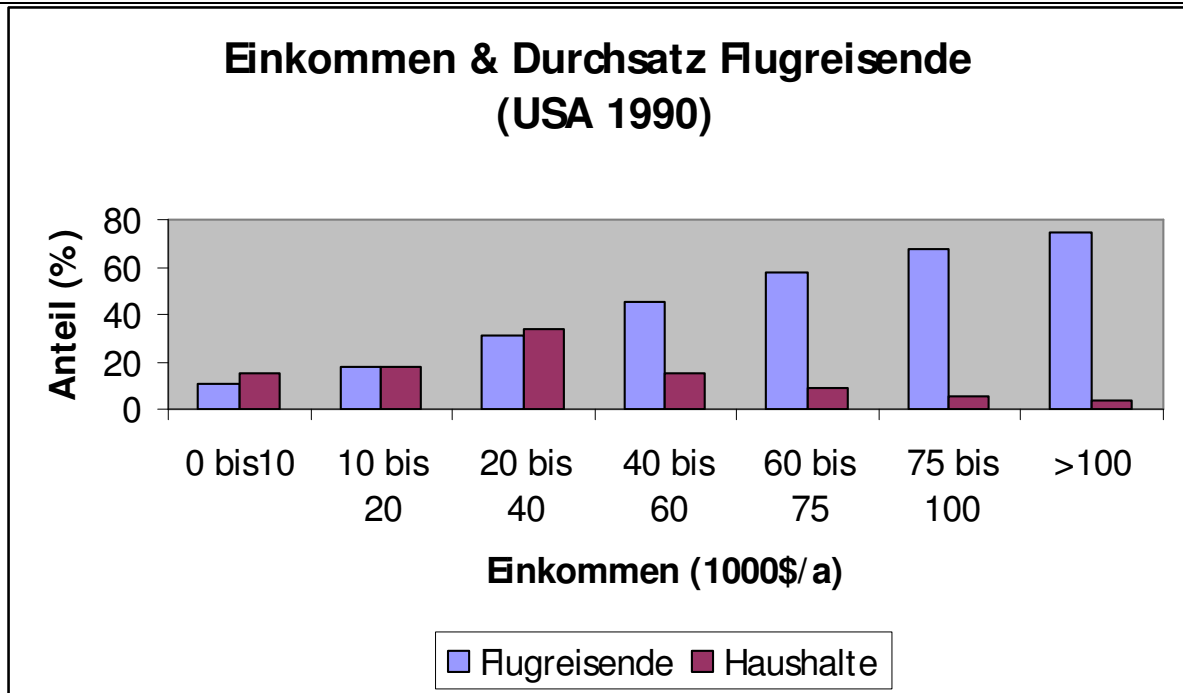


Abb. 7: Der Anteil der Personen jeweils innerhalb einer Einkommensgruppe, die in einem Jahr mindestens einmal eine Flugreise tätigen, ist stark abhängig vom Einkommen. So reisen weniger als 10% der Personen der niedrigsten Einkommensgruppe jährlich mit dem Flugzeug, bei denen der höchsten Einkommensgruppe ist es hingegen fast 80% der betrachteten Gruppe. Mit zunehmendem Einkommen steigt dieser monoton an. [Datenquelle: Hanlon1996 18., Figure 2.7, hier eigenständige Darstellung als Säulendiagramm]

1.1.4. Sicherheit und internationaler Terrorismus

Seit seinem Beginn ist der Flugverkehr anders als andere mögliche Reisearten betrachtet worden. Die schnelle freie Fortbewegung des Menschen ist ein uralter Traum, der sich in verschiedenen Phasen von der Benutzung anderer Lebewesen über die maschinell angetriebenen Formen weiterentwickelt hat. So hat zuerst der Schienenverkehr zu einer enormen Steigerung der Fortbewegungsgeschwindigkeit, allerdings auf begrenzten festen Routen, geführt, danach das Automobil den Wunsch nach individueller hoher Mobilität erfüllt. Die Luft- und Raumfahrt haben noch mehr erreicht als die Erfüllung des Wunschs nach hoher Geschwindigkeit, sie sind verknüpft mit der Sehnsucht des Fliegens und des Sprengens der Grenzen unseres Planeten.

Verbunden mit der Erfüllung einer uralten menschlichen Sehnsucht existiert eine Furcht, die gerade speziell dem Flugzeug als Verkehrsmittel²¹ entgegengebracht wird. Die besonderen Eigenschaften des Flugzeugs und des Orts seiner Fortbewegung führen zu erhöhten Ängsten, teils rational begründet, teils unbegründet.

Die Diskussion einer gewünschten Steigerung der Sicherheit und der Auswirkung von Regulierungen auf eine erhöhte Sicherheit stellt schon seit langer Zeit eine hochaktuelle politische Fragestellung dar²².

²⁰ Backx2002 219.

²¹ Hanlon1996 31ff.

²² Aharoni2002 2ff.

Ein Beispiel ist die intensive Diskussion, ob eine erhöhte Deregulierung des Luftverkehrs, wie 1978 in den USA durchgeführt, zu einer Verschlechterung der Sicherheit führt. Tatsächlich hat die Vergangenheit, wie in Abbildung 8 dargestellt, gezeigt, dass der Luftverkehr immer sicherer wird und auch die zunehmenden Deregulierungen nicht zu einer Herabstufung der Sicherheit geführt haben.

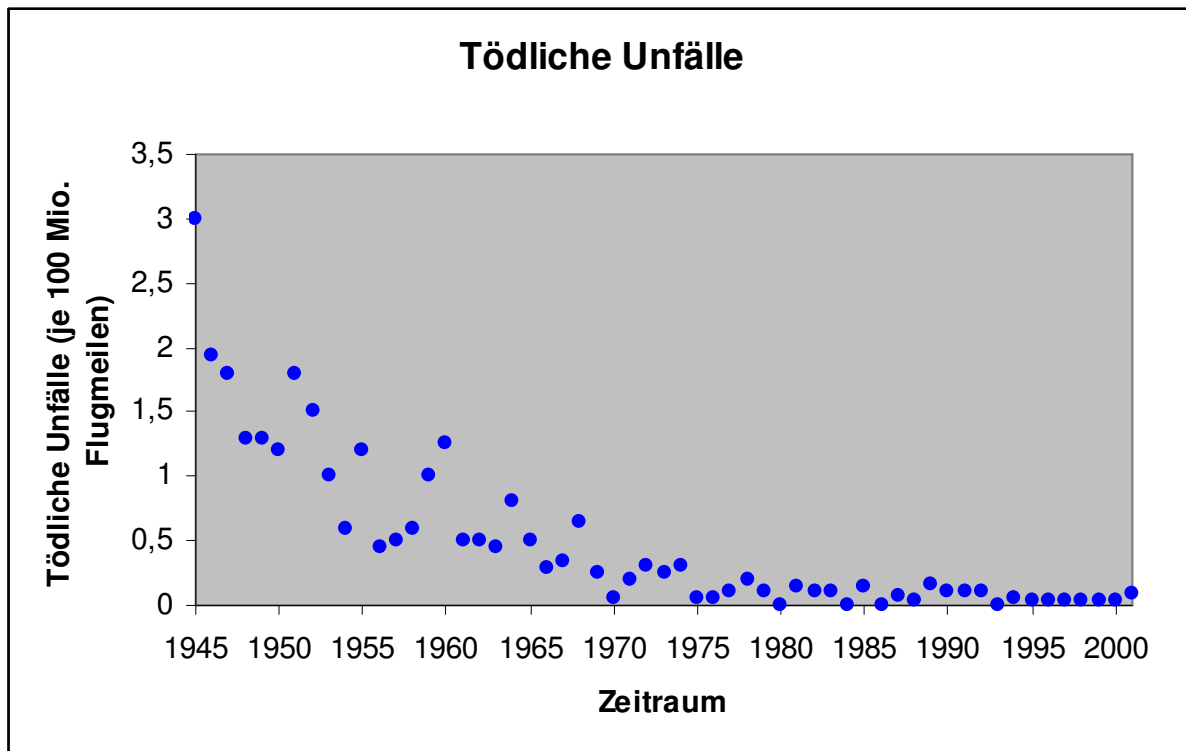


Abb. 8: Die Häufigkeit von fatalen Unfällen ist seit Anfang der siebziger Jahre auf einem niedrigen Niveau und nimmt weiterhin ab. Mittlerweile kommt auf etwa eine Milliarde Flugmeilen ein Unfall mit Todesfolge. [Quelle: ATA2002]

Unsicherheit lässt sich messen mittels der Häufigkeit von Unfällen oder solchen mit Todesfolge und den Häufigkeiten von Verletzungen oder Sterbefällen, die durch einen Flug auftreten. Diese können relativ zur Anzahl an Reisen (Starts und Landungen), zu Flugkilometern oder Passagierkilometern berechnet werden. Für alle diese Möglichkeiten zeigt sich, dass sich das Flugreisen seit mehreren Jahrzehnten auf einem niedrigen Risikoniveau befindet, das als besser als das konkurrierender Modi, wie beispielsweise das Autofahren, angesehen werden kann, und dass die Sicherheit weiterhin besser wird. Wobei das hohe Niveau der Sicherheit mittlerweile große Sprünge der Verbesserung fast unmöglich macht.

Die Sicherheit des Luftverkehrs ist international aber noch sehr heterogen. Während Nordamerika, Australien und Europa eine hohe Sicherheit aufweisen, ist die relative Häufigkeit von Unfällen vor allem in Afrika um einen Faktor von teilweise über 30 schlechter^{23 24}.

²³ Phillips2002a 44f.

²⁴ Sparaco2002e 70.

Sicherheit hängt wesentlich mit der Ausbildung von Piloten, dem Fluggerät, der Güte der Luftkontrolle, dem Wetter und der Dichte von Flugzeugen im Luftraum zusammen. Daher existiert eine enge Verknüpfung zwischen der Sicherheit, der Luftverkehrskontrolle und den Kapazitätsproblemen²⁵, auf die im Abschnitt 1.2.2 intensiver eingegangen wird.

In den Vereinigten Staaten existiert ein Programm, dass sich zum Ziel gesetzt hat, die Häufigkeit tödlicher Unglücke im Luftverkehr bis 2007 um 80% zu reduzieren. Neben der Einführung neuer technischer Hilfsmittel und einer Verbesserung der Ausbildung der Piloten zur Reduzierung der Auswirkungen menschlicher Fehler ist eine analytische Untersuchung der Potentiale zur Reduzierung der Unglückshäufigkeit wesentlicher Bestandteil. Häufigste Unfallursachen und damit wichtige potentielle Kandidaten für eine umfangreiche Reduktion der Unfallhäufigkeiten sind gegenwärtig der „kontrollierte“ Flug in den Boden (so bezeichnet man einen Absturz als Folge einer nicht wahrgenommenen Gefahr durch Bodennähe) und das Verlieren der Kontrolle über das Flugzeug²⁶. Gegenwärtig existieren vielfältige Anstrengungen, die Luftüberwachung effektiver zu machen, denen sich aber aus technischen (Kompatibilität), Kosten- und Akzeptanzgründen häufig wesentlicher Widerstand entgegenstellt und die Möglichkeit und die Geschwindigkeit zu Innovationen drosselt²⁷.

Zusätzlich zu dem Auftreten von Unfällen, die sich aufgrund technischen oder menschlichen Versagens ereignen, gibt es schon seit Jahrzehnten eine Benutzung des Flugverkehrs durch den Terrorismus in der Funktion als - vor allem auch sehr medienwirksames - Forum. Geschah dies in den vergangenen Jahrzehnten vor allem in Form von Flugzeugentführungen, so hat der 11. September 2001 hier vielleicht eine entscheidende Wendung gebracht. Die Benutzung entführter Passagiermaschinen als hochwirksame Bombe (hoher Impuls, hohe Treibstoffmenge) führt aufgrund seines Ausmaßes in der Wirkung und der damit einher gehenden Menschenverachtung in seiner Benutzung zu einer ganz neuen Angst potentieller Flugreisender. Die langfristigen Folgen dieses Anschlags lassen sich vor allem aufgrund der Unklarheiten bezüglich der Wahrscheinlichkeit einer möglichen Wiederholung nur sehr begrenzt abschätzen. Die kurzfristigen Folgen allerdings sind klar sichtbar und dramatisch.

Durch die nach dem Anschlag auftretenden Flugverbote aus Sicherheitsgründen und den Nachfragerückgang durch die Verängstigung potentieller Passagiere entstand vor allem in den ersten drei Monaten nach dem Anschlag eine enorme Reduzierung des internationalen Luftverkehrs, der in den USA und auf den Wegen von und nach Nordamerika am höchsten ausgeprägt war.

In Folge dessen verringerte sich innerhalb eines halben Jahres der Cashflow amerikanischer Fluggesellschaften um etwa 12 Milliarden Dollar, die Ticketpreise fielen um bis zu 20 Prozent, der Flugverkehr

²⁵ Nordwall2002b 45f.

²⁶ Croft2002b 50f.

²⁷ Nordwall2002a 50f.

sank, wie Abbildung 9 zeigt, monatlich um maximal knappe 40 Prozent, die Erlöse fielen um bis zu 45 Prozent, die angebotenen Kapazitäten um über 20 Prozent, das Luftfrachtvolumen um über 25 Prozent und die Auslastung der Flugzeuge ging um wenige Prozente herunter^{28 29}.

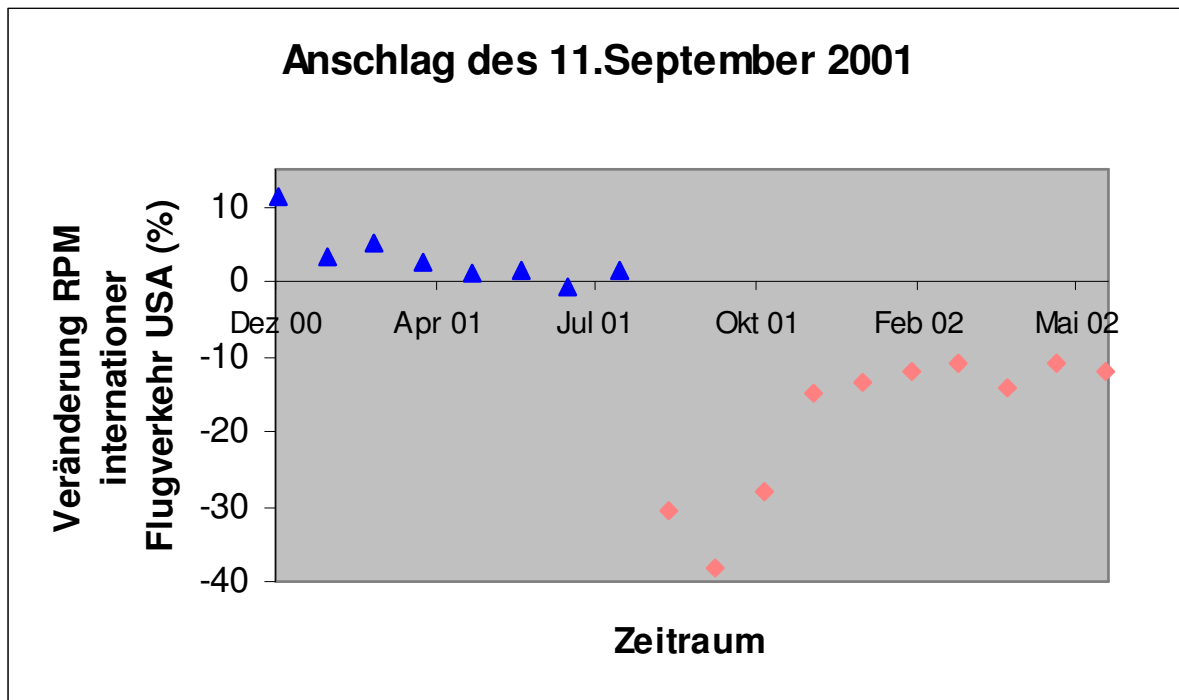


Abb. 9: Die Anschläge vom 11. September 2001 haben zu einer deutlichen Reduzierung des internationalen amerikanischen Flugverkehrs mit einer maximalen monatlichen Reduzierung von fast vierzig Prozent geführt, die auch mittelfristig noch Auswirkungen zeigen wird. RPM sind dabei die von den Passagieren in Summe wahrgenommenen Flugmeilen [Quelle: ATA2002b 15., Philips2002b 76.].

Nach dem Anschlag des 11. September wird sich die Sicherheitsstruktur des Luftverkehrs ändern. Die dadurch zunehmenden Kosten und eventuelle Unannehmlichkeiten³⁰ werden neben der gestiegenen Wahrnehmung des Luftverkehrs als potentielle Gefahr eine zusätzliche Schwierigkeit zur Erreichung des Status quo ante darstellen und langfristig so vielleicht den Bedarf nach Luftverkehr verringern³¹. Hierbei existiert ein zunehmender Interessenkonflikt zwischen der us-amerikanischen Gesetzgebung und den Flughäfen und –gesellschaften³², sowohl was die Art wie auch die nötige Geschwindigkeit der Umsetzung sicherheitssteigernder Maßnahmen betrifft.

Das vor allem staatliche Interesse an weit erhöhter Sicherheit stellt hierbei den Flugverkehr mit seinen hohen Ansprüchen vor schwer lösbare Probleme. Eine konstruktive Moderierung³³ dieser Interessenlage ist für eine Normalisierung des Luftverkehrs daher von hoher Bedeutung. Wenige Jahre nach dem Anschlag kann von einer weitestgehenden Normalisierung der Passagierzahlen ausgegangen werden.

²⁸ ATA2002a 2ff.

²⁹ ATA2002b 12ff.

³⁰ Bond2002d 46.

³¹ Bond2002b 53.

³² Croft2002a 64.

³³ Francis2002 70.

Große Netzwerkfluggesellschaften reduzieren ihr Personal, ihre Destinationen und ihre Flotte, was unter anderem zu einer Verjüngung des durchschnittlichen Flottenalters führt und langfristig die Operationen der Fluggesellschaften schneller profitabel macht³⁴. Aktuell haben allerdings diese Fluggesellschaften Probleme, eine hohe Auslastung ihres Fluggeräts mit der benötigten Höhe an Einnahmen zu vereinbaren³⁵.

Von zusätzlicher Bedeutung für den Luftverkehr ist die Wirkung der unterschiedlichen (größtenteils nationalen) Einflussnahmen der Politik zur Stützung desselben. Dies betrifft sowohl die allgemeine Wirkung auf den Luftverkehrsmarkt wie zusätzliche Inhomogenitäten bei der Behandlung verschiedener Fluggesellschaften. Besonders auffällig ist hierbei die unterschiedliche Reaktion der Vereinigten Staaten und der Europäischen Union^{36 37}, bei der verteilte Zuständigkeiten und Möglichkeiten zu einer geringeren Unterstützung der eigenen Luftverkehrsindustrie geführt haben³⁸. Allerdings ist auch in den USA mit zunehmender zeitlicher Entfernung vom Anschlagszeitpunkt eine Tendenz zur Verringerung der staatlichen Unterstützung der us-amerikanischen Fluggesellschaften zu beobachten. Ein Beispiel ist die Umsetzung der versprochenen staatlichen 10 Milliarden US \$ Bürgschaft³⁹, bei der zunehmend die Gefahr einer Unterstützung von Fluggesellschaften mit unwirtschaftlicher Marktstellung wahrgenommen wird⁴⁰.

Für die Entwicklung des Luftverkehrs hatte der Anschlag des 11. September eine ausgeprägte Katalysatorwirkung, mitten in einem Umfeld beginnender wirtschaftlicher Rezession und abklingender Nachfrage hat der Anschlag bei vielen Fluggesellschaften ihren wirtschaftlichen Nerv getroffen. Die Zukunft wird daher zu größeren Veränderungen, Konsolidierungsprozessen⁴¹, Umstrukturierungen und dem Rückzug auf Kernkompetenzen führen⁴².

³⁴ Mecham2002 40f.

³⁵ Bond2002f 66f.

³⁶ BT2002 188f.

³⁷ Baker2001a 17.

³⁸ Handelsblatt2002b 215ff.

³⁹ Jegminat2002a 33f.

⁴⁰ Bond2002c 39.

⁴¹ Field2001 31.

⁴² Belobaba2002 16.

1.2. Technische Rahmenbedingungen

Technische Entwicklungen sind von großer Bedeutung für den Flugverkehr. Die direkteste Wirkung haben neue, verbesserte technische Möglichkeiten im Flugzeugbau selbst, also im Motorenbau und der Entwicklung der Flugzeugzelle, auf die im Abschnitt 1.2.1 eingegangen wird. Wichtig sind aber auch alle Technologien, welche die Sicherheit des Luftverkehrs erhöhen oder ein weiteres Wachstum desselben bedingt durch Kapazitätzunahmen am Boden und in der Luft ermöglichen. Abschnitt 1.2.2 stellt die Grenzen uneingeschränkten Wachstums anhand der begrenzten (Flughafen)Kapazitäten dar.

Sicherheit, Kommunikations- und Navigationsgüte stehen in einem hohen Zusammenhang. Eine allgemeine Automatisierung und Computerisierung der Luftverkehrsüberwachung, verbesserte Satellitennavigation, aeronautische Kommunikation, Mikrowellenlandesysteme, ein sekundäres Monopulsradar, die Benutzung von GPS, Head-up Instrumenten in der Kabine wie die Einführung einer reduzierten vertikalen Separation zwischen Flugzeugen, einer zentralisierten Flugüberwachung und der verbesserten technischen Unterstützung auf den kurzen polaren Routen zwischen Nordamerika und Asien sind Beispiele, wie technische Entwicklungen Genauigkeit erhöhen, damit zur Verbesserung der Sicherheit beitragen und so eine Vergrößerung der Kapazität des Luftraums und auch der Flughäfen zu erzielen imstande sind⁴³.

Wichtig für das Wahlverhalten bezüglich eines bestimmten Angebots für eine gewünschte Relation sind die vier großen Computerreservierungssysteme (CRS) Amadeus, Sabre, Galileo und Worldspan⁴⁴. Diese sind schon früh in den sechziger Jahren als Systeme der einzelnen Fluggesellschaften zur Unterstützung des Verkaufs der gesellschaftseigenen Tickets entstanden. CRS wiesen ursprünglich eine hohe Profitabilität auf und aufgrund fehlender oder unzureichender Regulierung entstand so eine Möglichkeit der Beeinflussung des Kunden zu eigenen Gunsten. Mittlerweile gibt es immer weniger CRS mit wachsendem Marktanteil. Der Einfluss der Fluggesellschaften auf diese geht zurück, da die Vorteile des Besitzes durch geringere Profitabilität und kaum noch mögliche unredliche Beeinflussung des Kunden durch eine verbesserte Regulierung zurückgegangen sind. Die Bedeutung der CRS für den Buchungsvorgang bleibt dennoch sehr hoch⁴⁵, auch wenn einige Fluggesellschaften andere preiswertere Verkaufswege suchen. Der Besitz der Systeme für die Fluggesellschaften ist aber von zunehmend geringerer Bedeutung, da mittlerweile eine Gleichbehandlung aller Fluggesellschaften nicht nur in bezug auf die

⁴³ Pavaux1995 161ff.

⁴⁴ Aharoni2002 11f.

⁴⁵ Hanlon1996 54ff.

Platzierung des Angebots sondern auch bezüglich der Verfügbarkeit der vielen und für die Fluggesellschaften zur Preisgestaltungsanalyse besonders wichtigen Daten garantiert wird.

1.2.1. Das Flugzeug der Zukunft

Seit der Benutzung des Flugzeugs als zivilem Transportmittel haben sich seine Eigenschaften teilweise dramatisch verändert. Die Sicherheit wurde besser, Flugzeuge wurden schneller und größer und in den letzten Jahrzehnten hat sich zusätzlich eine Verringerung der durch den Luftverkehr ausgelösten ökologisch bedenklichen Verschmutzungen entwickelt. Dennoch stößt die Technik des Flugzeugs bedingt durch seine spezifische Anwendung und physikalisch-technische Grenzen an einen Bereich, in dem sich größere Verbesserungen einzelner Eigenschaften nur sehr schwer, zu hohen Kosten oder mit geringer Wahrscheinlichkeit erzielen lassen.

Verbesserungen in der Entwicklung und dem Bau von Flugzeugen lassen sich im wesentlichen in drei Bereiche einteilen: Ökologische, serviceorientierte und solche, die direkt die Transportleistungsfähigkeit des Flugzeugs beschreiben.

Zur Steigerung der allgemeinen Akzeptanz des Flugzeugs werden die Anforderungen an Flugzeuge in bezug auf Lärm- und Schadstoffemissionen ständig erhöht. Hier gibt es eine hohe Wechselwirkung zwischen dem, was technisch möglich, von Betroffenen erwünscht sowie politisch durchsetz- und bezahlbar ist. In vielen Fällen ist der Wunsch nach einer besseren Umweltverträglichkeit mit erhöhten Kosten verbunden, allerdings hat die erhöhte Produktivität des Treibstoffs (durchschnittlich 2,3% jährlich, siehe Abschnitt 1.1.1) auch zu einer Verringerung der Beschaffungskosten geführt.

Mit zunehmendem technischen Fortschritt wurde der Service der Flugzeuge immer größer. Die Sicherheit nahm zu, das Design des Flugzeugs wurde stärker an die Bedürfnisse der Passagiere angepasst und der Komfort durch zusätzliche Serviceleistungen an Bord (erhöhte Zuverlässigkeit, Zeitungen, Nahrung) erhöhte sich. Aufgrund der Veränderung des Luftverkehrs vom Geschäfts- zu einem hauptsächlich privat genutzten Verkehr existieren im Moment erste Hinweise einer Servicereduktion (Zeitungen, Nahrung, Sitzabstand) zur Ermöglichung einer gleichzeitigen Verringerung der angebotenen Preise.

Bei der Beschreibung der Transportleistung der Flugzeuge sind zwei Parameter von besonderer Bedeutung: Die Kapazität, die die maximale Menge beförderbarer Personen angibt und die Reisegeschwindigkeit, die bei vorgegebener Streckenlänge die Reisedauer determiniert.

Wie Abbildung 10 zeigt, nahm die durchschnittliche Flugzeuggröße bis zum Jahre 1982 mit einer linearen Steigung von knapp 5,5 Sitzen pro Jahr zu. Bedingt durch verbesserte Möglichkeiten im Flugzeugbau und erhöhte Nachfrage war für die Fluggesellschaften eine Erhöhung der durchschnittlichen Flug-

zeuggröße machbar und rentabel. In Folge der Deregulierung des amerikanischen Luftverkehrs änderte sich dies seit dem Jahr 1982. Zwar steigt die weltweite Nachfrage für zivile Flüge weltweit weiter, jedoch führten die Veränderungen durch die Deregulierungsmaßnahmen zuerst in Nordamerika, dann aber auch andernorts zu einer Umstrukturierung der Netzwerkstrukturen der einzelnen Fluggesellschaften sowie des allgemeinen Angebots⁴⁶ (Eine umfangreiche Darstellung dieses Aspekts erfolgt in Abschnitt 1.6). Daraus ergab sich vor allem für den umkämpften nordatlantischen Luftverkehrsmarkt eine Verringerung der durchschnittlichen Flugzeuggröße um nahezu zwanzig Prozent bei gleichzeitig erhöhter Angebotsfrequenz⁴⁷.

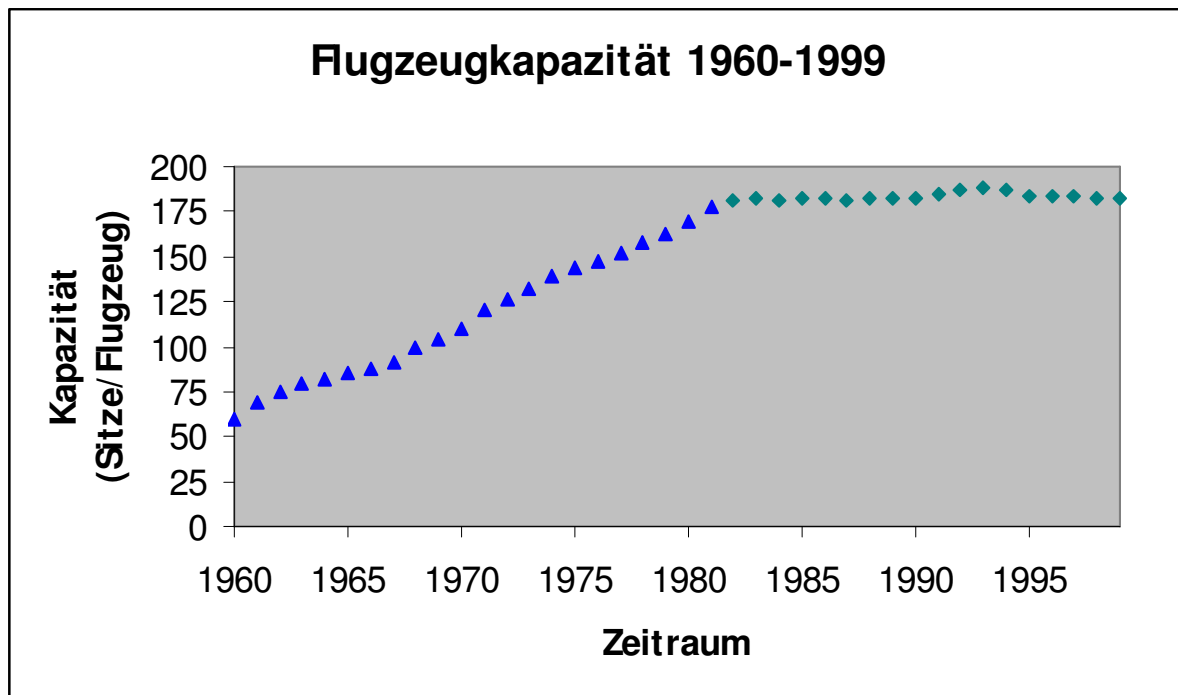


Abb. 10: Bis zum Jahr 1982 nahm die Kapazität der Flugzeuge nahezu linear um etwa 5,45 Sitze pro Jahr und Flugzeug zu, seitdem ist sie mit etwa 180 Sitzen praktisch fast konstant geblieben. [Quelle: ICAO2001 42., Figure6-1]

Die Anzahl transportierter Personen N lässt sich leicht aus der der Flüge, I , der Größe der Flugzeuge C_F und dem Ladefaktor l berechnen:

$$N = \sum_{i=1}^I C_F(i) \cdot l(i) \quad (4)$$

Nimmt man weiter an, dass es sich um ähnliche Flugzeuge und Auslastungen handelt, lässt sich dies vereinfachen zu:

⁴⁶ Janic1997 179f.

⁴⁷ Dennis2001a 20ff.

$$N \approx I \cdot C_F \cdot l \quad (5)$$

Eine Veränderung der Frequenz bedingt bei ungefähr konstanter Passagierzahl und identischem Lade-
faktor eine etwa reziproke Änderung der eingesetzten Flugzeuggröße.

Aufgrund des zunehmenden Luftverkehrs von und nach Asien, der im wesentlichen noch unreguliert ist, der Überfüllung einiger Hubs und des Einführens zusätzlicher Direktverbindungen ist in Zukunft tendenziell wieder mit einer Erhöhung der durchschnittlichen Flugzeuggröße zu rechnen, jedoch mit starken regionalen Unterschieden. Hinzu kommt, dass für die Zukunft der Bau weiterer größerer Flugzeuge geplant ist, allerdings wird ihr Anteil am Gesamtmarkt sich auf wenige aufkommensintensive (Lang)Strecken beschränken und damit relativ gering bleiben. So arbeitet Airbus gegenwärtig an einem großräumigen Flugzeug, dem A380, für 555 Passagiere, das voraussichtlich ab 2007 auslieferfähig sein wird⁴⁸.

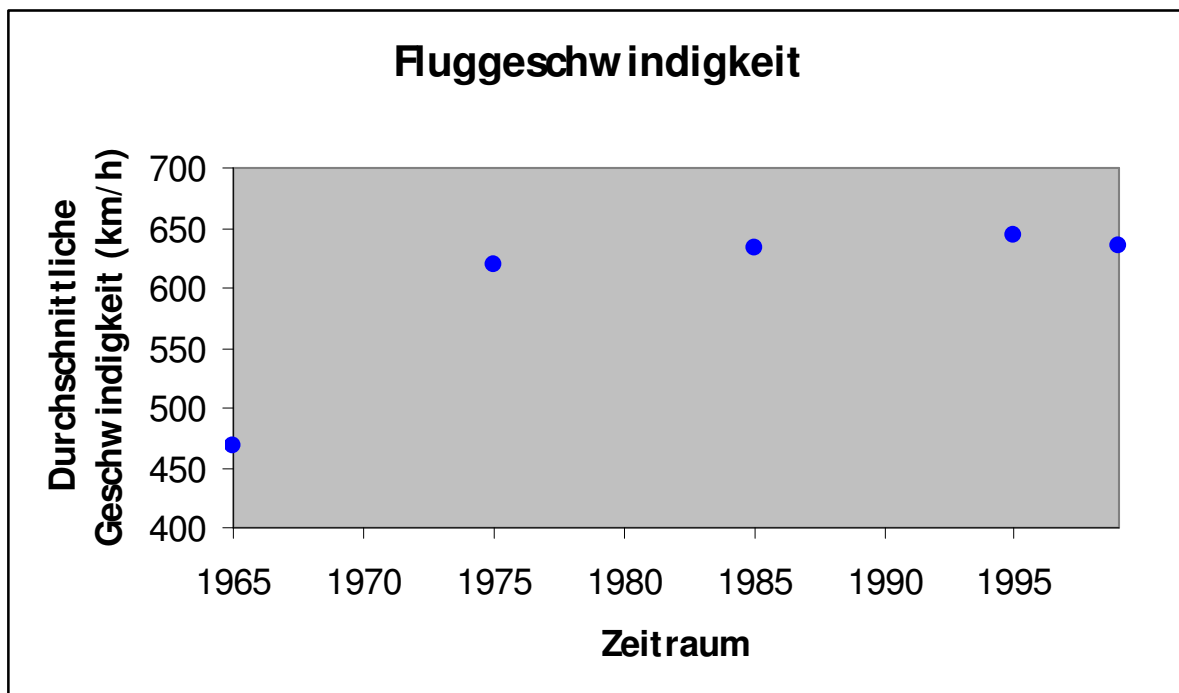


Abb. 11: Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Flugzeuge hat bis zum Jahre 1975 stark zugenommen, ist in den letzten Jahren mit etwa 640 km/h aber etwa konstant geblieben. [Quelle: ICAO2001 12.]

Moderne Passagierflugzeuge sind mit Ausnahme der 1969 eingeführten Concorde Unterschallflugzeuge. Es ist damit zu rechnen, dass sich dies aus wirtschaftlichen Gründen in naher Zukunft nicht wesentlich ändern wird^{49 50}, auch wenn Boeing im Moment an einem Sonic Cruiser mit einer Geschwindigkeit

⁴⁸ Sparaco2002g 120f.

⁴⁹ Smith2002 130ff.

von 0,95 bis 0,98 Mach arbeitet, der wichtige technische Grundlagen für zukünftige Überschallflugzeuge liefern könnte.

Denn bisher ist nur unbefriedigend gelöst, wie sich die gesteigerte Geschwindigkeit in höhere Preise beim Kunden umsetzen lässt⁵¹ und welche zusätzlichen Kosten entstehen. Geschwindigkeiten weit über Mach 1 wären technisch denkbar und erlauben geringere Flugdauern, erfordern aber einen erheblich höheren Treibstoffverbrauch, so dass eine Benutzung im zivilen Bereich derzeit unwahrscheinlich erscheint.

Neben einer zufriedenstellenden Fluggeschwindigkeit wird von modernen Antrieben erwartet, nur eine geringe Treibstoffmenge zu verbrauchen sowie wenig Verschmutzungen und Lärm zu erzeugen. In den letzten 15 Jahren hat sich die in Abbildung 11 dargestellte durchschnittliche Reisegeschwindigkeit der Flugzeuge nicht wesentlich erhöht und liegt bei etwa 640 Km/h. Ohne größere Kosten und damit erhöhte Preise in Kauf zu nehmen, wird sich dies in näherer Zukunft nicht wesentlich ändern.

1.2.2. (Flughafen)Kapazitäten

Kapazitätsprobleme des Verkehrs sind seit der Einführung von Einwegstraßen im alten Rom durch Julius Caesar vor etwa 2000 Jahren bekannt⁵². Bei der Beschreibung und damit auch der Prognose von Verkehrsflüssen ist die Berücksichtigung kapazitativer Grenzen von einer hohen Bedeutung.

Im Straßenverkehr ist das Erreichen und Überschreiten der Kapazitätsgrenze verbunden mit dem bekannten Phänomen des Verkehrsstaus, aber auch im Luftverkehr gibt es infrastrukturelle Elemente, die den Fluss des Luftverkehrs schon heute beeinträchtigen und dies in Zukunft verstärkt tun werden. Damit kommt der Vermeidung von Einschränkungen durch Kapazitäten eine evidente Bedeutung für das starke Wachstum des Luftverkehrs in der Zukunft zu. Im wesentlichen existieren drei Hauptbereiche, die den Luftverkehr einschränken können:

- Die Sicherheit des Luftraums, die durch die Methode der Flugsicherheit eine maximale Dichte der Flugzeuge in einem entsprechenden Luftraum bestimmt.
- Die maximale Start- und Landekapazität der Landebahnen eines Flughafens, die die Anzahl der startenden und landende Flugzeuge begrenzt.
- Die Größe der Flughafenterminals, die eine maximale Ein- und Ausstiegsquote an Passagieren pro Zeitraum auf einem Flughafen festlegt.

⁵⁰ Velocci2002 52

⁵¹ Sparaco2002f 38.

⁵² Gunnarsson2000 2.

Die begrenzte Kapazität des Luftraums verursacht im Moment geringere Probleme als die Flughafenkapazitäten. Weitere Steigerungen der Luftraumkapazität sind durch eine Zusammenlegung der Luftkontrolle beispielsweise auf einer europäischen Ebene⁵³, kleinere Zonen und mehr Fluglotsen, sowie durch technische Verbesserungen der Luftüberwachung und Flugzeugortung möglich⁵⁴. Aus Sicherheitsgründen existiert gerade in der Nähe von den Quellen und Senken des Luftverkehrs, den Flughäfen, eine prinzipiell begrenzte maximale Luftraumkapazität. Diese wird allerdings derzeit noch bei weitem nicht ausgeschöpft. Während die Erweiterung von Flughafenkapazitäten in der Regel langfristig aber lokal bewerkstelligt werden kann, ist dies im Bereich der Flugsicherung häufig nur auf größerer räumlicher Ebene möglich⁵⁵.

Die Kapazitätsgrenze der Flughäfen ist gerade an den großen und wichtigen Flughäfen heute zumindest zeitweilig schon erreicht. Besonders kritisches Element der Flughafenkapazität sind die Start- und Landebahnen. Dies liegt daran, dass eine beliebige Steigerung der Benutzungsfrequenz aus Sicherheitsgründen nicht möglich ist und im Falle eines nötigen Aus- oder Neubaus große Flächen benötigt werden. Hier lässt sich eine höhere Kapazität durch höhere Frequenzen, höhere Flugzeugauslastungen und größere Flugzeuge erreichen⁵⁶.

Zusätzlich sorgt die Verteilung der Slots nach dem Großvaterprinzip für eine nicht optimale organisatorische Auslastung der technisch möglichen Kapazität, was historisch bedingt ist und einen Markteintritt kleinerer oder fremder Fluggesellschaften an einem Hub zusätzlich erschwert⁵⁷. Allerdings wird eine solche Slotvergabepraxis in den USA nur noch an wenigen Flughäfen verwandt und sollte sich auch in Europa vor dem Hintergrund der dort seit 1993 eingeführten Liberalisierung in Zukunft reduzieren und damit zu höheren Kapazitäten der europäischen Flughäfen führen.

Gerade der Beeinträchtigung des Luftverkehrs durch Maßnahmen bezüglich seiner Emissionen kommt in Zukunft für die Bestimmung einer ökologischen Kapazität eines Flughafens eine große Bedeutung zu. Hierbei existieren im wesentlichen zwei Steuerungselemente: Die Angabe einer maximalen Emissionsgrenze für Stickoxide, Kohlendioxide und Lärm, sowie variable Lande- und Startgebühren für unterschiedlich umweltfreundliche Flugzeuge. Diese Gebühren haben gleichzeitig neben dem Aspekt der Umweltverträglichkeit auch die unterschiedliche zeitliche Nachfragedichte zu berücksichtigen und dienen auch damit der Steuerung der Flughafenkapazität.

⁵³ Stockmann2000 86f.

⁵⁴ Lufthansa2002a

⁵⁵ Givoni2001 2ff.

⁵⁶ Janic2001a 3ff.

⁵⁷ Slot2001 2ff.

Brueckner hat gezeigt, dass der Effekt einer Abgabe zur Reduzierung der Verkehrsspitzen gering ist⁵⁸ (Zapp kommt gemeinsam mit einer Studie des TÜV Rheinland zu einem anderen Ergebnis⁵⁹, jedoch ist gerade in diesem Bereich aufgrund der wesentlichen politischen Bedeutung der Fragestellung das Ergebnis dieser Studie kritisch zu hinterfragen). Dies betrifft vor allem die von einer Fluggesellschaft dominierten Hubflughäfen. Ausgehend von einer Minimierung der Kosten der Fluggesellschaft und der Zeitprobleme der Passagiere lieferte eine spieltheoretische Betrachtung im Monopolfall überhaupt keine und im Oligopolfall nur eine begrenzte Wirkung solcher Abgaben, damit ist die Wirksamkeit solcher Instrumente zur Steuerung des Verkehrs aus wissenschaftlicher Sicht wesentlich begrenzt.

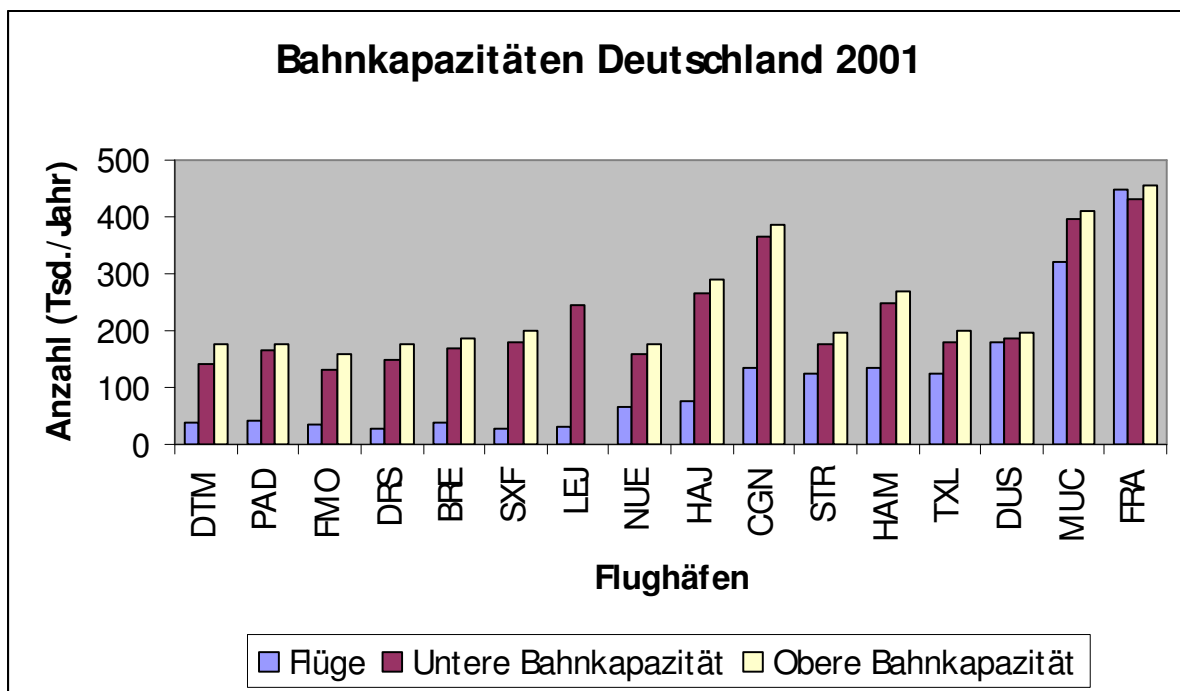


Abb. 12: Die Kapazität der Start- und Landebahnen ist die kritische Kapazitätsgröße der Flughäfen. Es existieren unterschiedliche Definitionen, hier angedeutet durch die Unterteilung in eine untere und obere Bahnkapazität. In Deutschland sind die Flughäfen Düsseldorf und Frankfurt/Main an der Grenze ihrer Kapazität der Start- und Landebahnen. [Quelle: Interne Analyse des Instituts für Verkehrsforschung, DLR Köln, 2000]

Benötigte zusätzliche Flächen führen aufgrund der Bebauung des Flughafenumfelds und anderer sozialer, ökologischer und politischer Gründe zu einer Erschwerung und erheblichen Verzögerung von Baumaßnahmen⁶⁰ ⁶¹. Hierbei entstehen Probleme nicht nur dadurch, dass Flughäfen zunehmend größere Flächen benötigen, sondern auch dadurch, dass sie stärker in die Städte hineinwachsen und sich diese durch städtische Bebauungsmaßnahmen selbst den Flughäfen nähern⁶².

Dies macht das Konzept eines stadtnahen großen Flughafens außerhalb der aktuellen und möglichst auch zukünftigen städtischen Bebauung für eine langfristige Abdeckung benötigter Kapazitäten nach-

⁵⁸ Brueckner2002 144ff.

⁵⁹ Zapp2002 178.

⁶⁰ BBFHG2002 151.

⁶¹ DIHK2002 2.

fragenah sinnvoll. Einige Staaten denken dabei im Falle von Hafenstädten sogar an die Errichtung von benachbarten Flughäfen auf See. Galperin analysiert die Ergebnisse eines Flughafenneubaus für Amsterdam auf einer erst neu zu errichtenden Insel mit Hilfe eines MOLP (Multiobjective Linear Program) und erhält dabei je nach Konzeption des Flughafens als nationaler oder europäischer Hubflughafen optimale Baukosten in einer Größenordnung von 15, respektive 45 Mrd. US-\$⁶³. Aufgrund der hohen auftretenden Kosten ist nur in wenigen Fällen eine solche Lösung eine praktikable Umsetzungsmöglichkeit zur Reduzierung der Kapazitäts- und Emissionsprobleme.

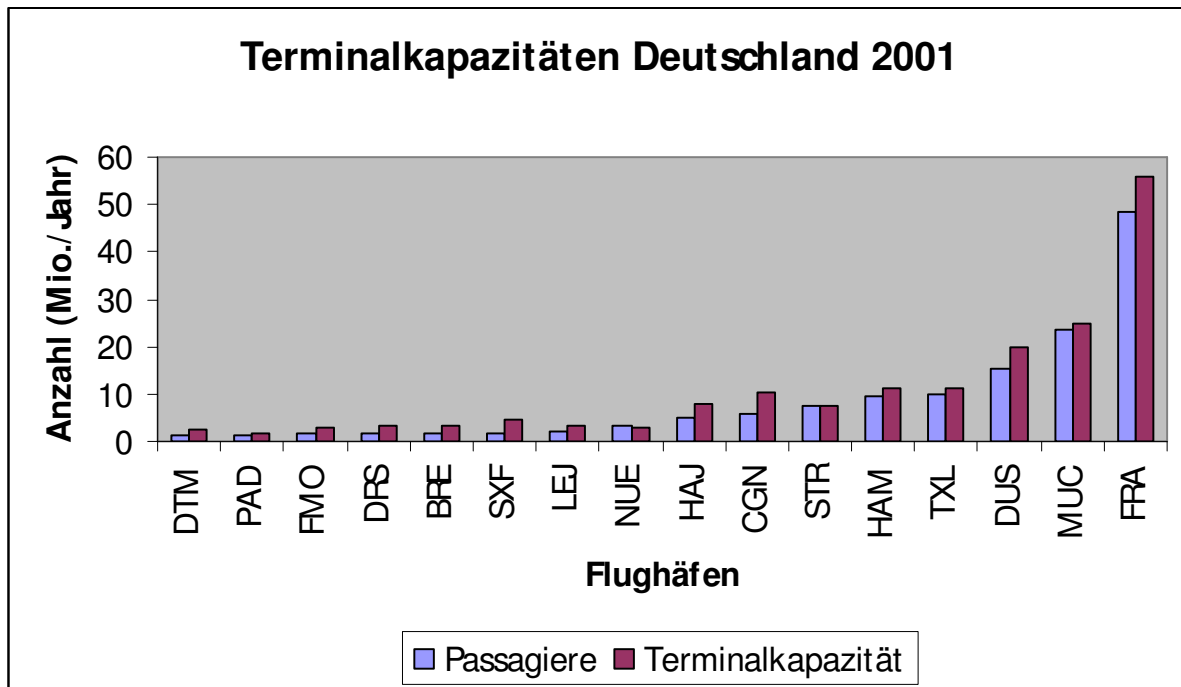


Abb. 13: Die Terminalkapazität der deutschen Flughäfen stellt nur ein geringeres Problem für das Wachstum des Luftverkehrs dar. Zwar sind einige deutsche Flughäfen schon dicht an ihrer Terminalkapazität angelangt, allerdings lassen sich entsprechende bautechnische Maßnahmen schneller und leichter als im Fall der Start- und Landebahnen umsetzen. [Quelle: Interne Analyse des Instituts für Verkehrsforschung, DLR Köln, 2000]

Eine weitere, gerade in Zukunft bedeutsame, Komponente der Flughafenkapazität ist die Erreichbarkeit des Flughafens von Landseite, also mit dem Auto, Taxi, Bus, Nah- oder Fernzugverkehr. Hierauf ist gerade im Hinblick auf eine gesamtoptimierende Sicht des Verkehrs zunehmend großer Wert zu legen. Dies betrifft sowohl die Anbindung der großen (Hub)Flughäfen, wie der regionalen Flughäfen, deren wichtigstes Manko heute die schlechte Erreichbarkeit mit öffentlichen Transportmitteln und dem Automobil ist⁶⁴.

Abbildung 12 zeigt das Erreichen der Kapazitätsgrenze der Start- und Landebahnen in Deutschland auf den Flughäfen Düsseldorf und Frankfurt/Main. München ist dabei der Flughafen, der als nächster in Zukunft an seine Kapazitätsgrenze stoßen sollte.

⁶² Balance2002 25.

⁶³ Galperin2002 759ff.

Wie Abbildung 13 zeigt, übersteigen die Terminalkapazitäten die aktuellen Fluggastzahlen nur mäßig. Allerdings ist dies aufgrund der geringeren benötigten Bebauungsflächen und Planungszeiten weniger kritisch als bei den Start- und Landebahnen.

Das Erreichen einer Kapazitätsgrenze bei einem Flughafen führt zu verschiedenen Folgen:

- Die Zunahme von Verspätungen an diesem Flughafen.
- Die Verringerung oder Verhinderung eines Verkehrswachstums.
- Eine Begrenzung des Wettbewerbs an diesem Standort durch zu wenig verfügbare Slots, die dazu führt, dass eine zusätzliche Barriere für Neueinsteiger an diesem Flughafen entsteht.
- Eine Begrenzung des Flugangebots durch die nicht ausreichende Kapazität zur Befriedigung der kompletten Nachfrage.
- Erhöhte Preise.
- Eine Umverteilung des Luftverkehrs auf andere Flughäfen und eine Veränderung der Netzwerkstrukturen mit der Tendenz zu kapazitätsbedingten Multi-Hub-Netzwerken. Auf diese Aspekte wird im Abschnitt 1.6 näher eingegangen werden.

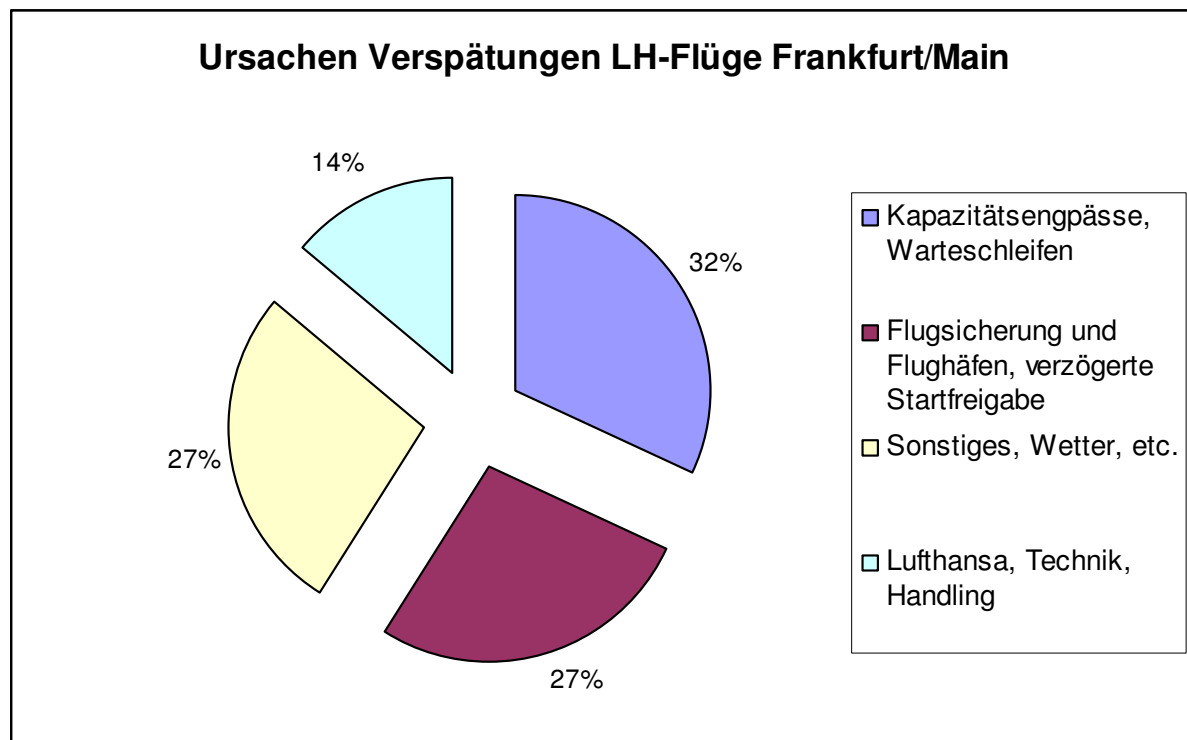


Abb. 14: Am größten deutschen Flughafen Frankfurt/Main sind die Hauptgründe für Verspätungen Kapazitätsengpässe des Flughafens und der Flugsicherung. Diese sind in etwa 59% Ursache der Verspätungen der Lufthansaflüge im Jahr 2001 gewesen. [Quelle: Lufthansa2002a 3.]

Volkswirtschaftlich sind all diese Eigenschaften wenig wünschenswert, so dass ein Gegensteuern mit Hilfe einer Aufrechterhaltung der benötigten Kapazitäten durch einen Kapazitätsausbau wünschenswert wäre. Allerdings existiert breiter Konsens, dass dies nicht wie in der Vergangenheit in vollem Maße erreichbar sein wird⁶⁵.

Abbildung 14 zeigt, dass im Falle des wichtigen Flughafens Frankfurt am Main⁶⁶ die Kapazitätsengpässe des Flughafens und der Flugsicherung hauptverantwortlich für die Verspätungen der Flüge sind. Eine zunehmende Überlastung der Flughäfen erhöht den Anteil verspäteter Flüge. Wie eine eigene Analyse der Daten der Verspätungs- und Überlastungsraten der wichtigsten europäischen und nordamerikanischen Flughäfen [Quelle: Rolls-Royce2001 22.] zeigt, führt ein Anwachsen der Überlastung um 10% im Falle der Annahme einer linearen Wechselwirkung zu einer Erhöhung des Anteils an Verspätungen von etwa 1,77%.

Anders verhält es sich mit der durchschnittlichen Verspätungsdauer⁶⁷: Kann für die Rate der Verspätungen, r_d , noch von einer etwa linearen Abhängigkeit ausgegangen werden, führt eine erhöhte Überlastung zusätzlich noch zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Verzögerung der tatsächlich verspäteten Flüge, $\bar{t}_{d,r}$. Dies hat zur Folge, dass die durchschnittliche Verspätungsdauer der Passagiere gemittelt über alle Flüge, $t_{d,p}$, mehr als linear mit der Überlastung ansteigt, denn allgemein gilt:

$$t_{d,p} = r_d \cdot \bar{t}_{d,r} \quad (6)$$

Die Häufigkeit von Verspätungen hat in letzter Zeit zugenommen⁶⁸. Abbildung 15 zeigt exemplarisch für innereuropäische Flüge die Zunahme des Anteils verspäteter Flüge in den Jahren von 1993 bis 2000. Sieht man von der sehr hohen Verspätungsrate des Jahres 1999 ab, die aufgrund des Kosovokriegs besonders groß ausfiel, so ist eine durchschnittliche jährliche Zunahme des Anteils verspäteter Flüge von etwa 2,25 Prozent zu erkennen. Langfristig ist anzunehmen, dass diese Zunahme des Anteils aus Sättigungsgründen geringer als linear ausfallen wird. Dennoch ist auch in Zukunft weiter damit zu rechnen, dass die Geschwindigkeit des Wachstums des Luftverkehrs das seiner Infrastruktur weiter übertreffen wird, was zu einer Zunahme der Rate an Verspätungen wie der durchschnittlichen Dauer der Verspätungen führen wird.

⁶⁵ BRG2000 2ff.

⁶⁶ Fraport2002a 58.

⁶⁷ Janic2001a 7f.

⁶⁸ Janigan2001 1.

Für den Nachfragenden ändert sich durch ein Erreichen der Kapazitätsgrenze eines Flughafens aus seiner Sicht das Angebot so, dass an diesem Flughafen weniger Relationen angeboten werden, die Frequenzen der angebotenen Flüge niedriger ausfallen, die Preise höher sind, weniger Fluggesellschaften vorhanden sind, häufiger mit Verspätungen zu rechnen ist und sich ganz allgemein zusätzlich die Netzwerkstrukturen der Anbieter auch außerhalb dieses Flughafens ändern.

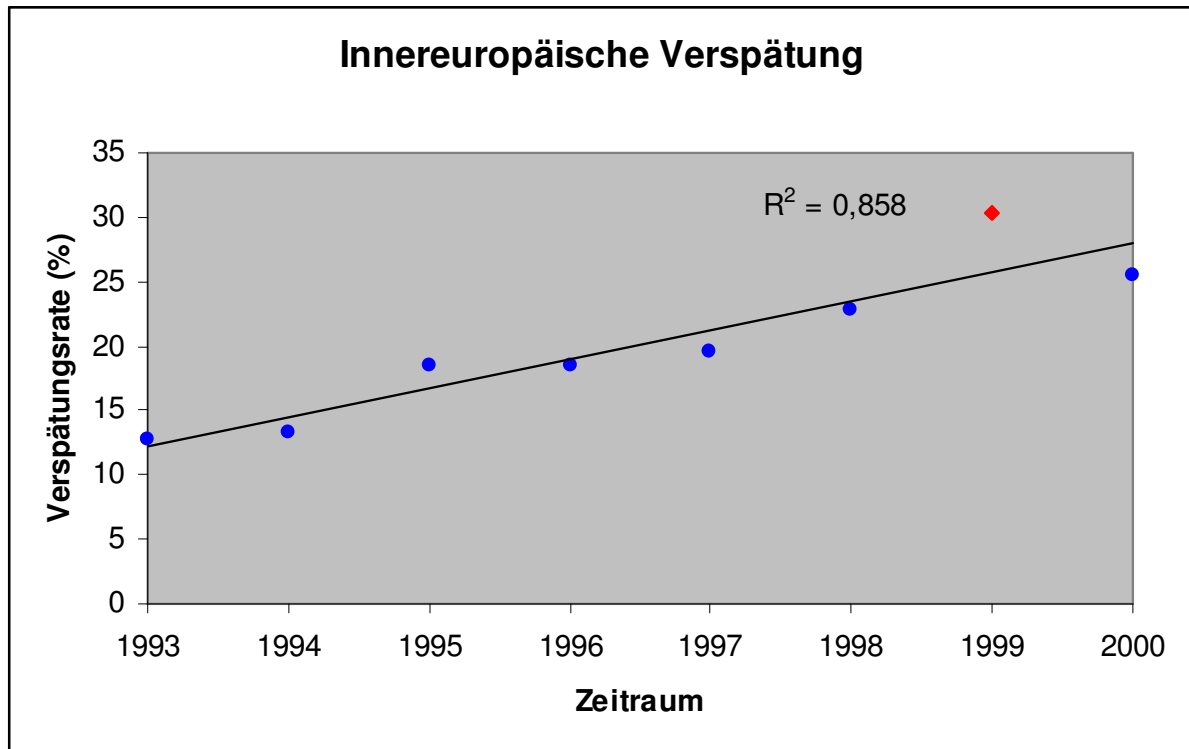


Abb. 15: Die Verspätungsrate im innereuropäischen Verkehr nahm in den Jahren von 1993 bis 2000 weiter zu. Sieht man von der hohen Verspätungsrate des Jahres 1999 in Folge des Kosovokriegs ab, ist von einem jährlichen Anstieg von etwa 2,25 Prozent auszugehen. [Datenquelle: Givoni2001 3. Table2, Lineare Regression wurde selbst hinzugefügt]

Damit ist eine Abschätzung der zukünftigen Flughafenkapazitäten eben nicht bloß in Form der Erstellung einer scharfen Restriktion zu sehen, wie sie folgende Ungleichung angibt:

$$S_{Fh} + L_{Fh} \leq C_{Fh} \quad (7)$$

S_{Fh} meint in diesem Fall die Anzahl der Starts auf einem Flughafen, analog L_{Fh} die der Landungen in einem ausgewählten Zeitraum, C_{Fh} die entsprechende maximale Kapazität.

1.3. Technische Alternativen

Für den Luftverkehr gibt es zwei größere Bereiche, in denen technische Veränderungen zu einer Verringerung der Nachfrage nach Flugreisen führen können:

- Alternative Verkehrsmittel, die den Verkehr aus der Luft zu anderen Transportmitteln verlagern.
- Technische Entwicklungen, welche die Nachfrage nach Flugreisen dadurch reduzieren, dass sie seinen Anlass oder Nutzen verringern oder es ermöglichen, einen ähnlichen Nutzen ohne eine (Flug)Reise zu erzielen.

Alternative Verkehrsmittel müssen, damit sie die Nachfrage nach Flugreisen reduzieren können, mit den Eigenschaften einer solchen konkurrieren können. Dies beinhaltet Service-, Sicherheits-, Kosten-, Verfügbarkeits- und Zeitaspekte⁶⁹. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Reisedauer. Ein Flugzeug benötigt aufgrund seiner relativ hohen Reisegeschwindigkeit häufig erheblich weniger Zeit als konkurrierende Modi. Als zusätzliche Konkurrenz zum Flugzeug wird deshalb in näherer Zukunft nur ein Verkehrsmittel auftreten können, dass es vermag, zu vergleichbaren Service- und Kostenaspekten ähnlich hohe Geschwindigkeiten anzubieten.

Dies geht lediglich mit Hochgeschwindigkeitsbahnen oder Magnetschwebbahnen. Diese setzen allerdings ein festes, nur langsam und kostspielig änderbares Schienennetz⁷⁰ voraus, was eine Begrenzung auf leicht zugängliche Relationen ohne Meere, Seen, Gebirge, Moore oder ähnliche natürliche Hindernisse bedingt. Von größerer Bedeutung für eine mögliche Reduzierung des Anteils des Luftverkehrs in der Zukunft sind daher Hochgeschwindigkeitsverbindungen per Schiene auf den kürzeren bis maximal mittleren Flugdistanzen innerhalb eines geographisch eher homogenen kontinentalen Raums (wie Europa, USA oder China).

Der historische Beginn der Hochgeschwindigkeitszüge liegt in der Einführung des Shinkansen zwischen Tokio und Osaka im Jahre 1964. So wurden zwei hochurbanisierte Regionen mit etwa 30 und 15 Millionen Einwohnern verbunden. Die Distanz zwischen Start- und Zielpunkt betrug etwa 560 Kilometer, die Geschwindigkeit des Zugs lag bei ungefähr 210 km/h. Dies war das erste Beispiel einer Zugverbindung zwischen zwei Regionen mit einer genügend hohen Nachfragedichte, einer ausreichenden Geschwindigkeit und der passenden Entfernung, die ein Erreichen des Ziels in wenigen Stunden gestattete. In

⁶⁹ Zijst1998 15.

Europa begann die Entwicklung der Hochgeschwindigkeitszüge später. Die erste Hochgeschwindigkeitsstrecke war hier die Verbindung Paris-Lyon im Jahre 1981.

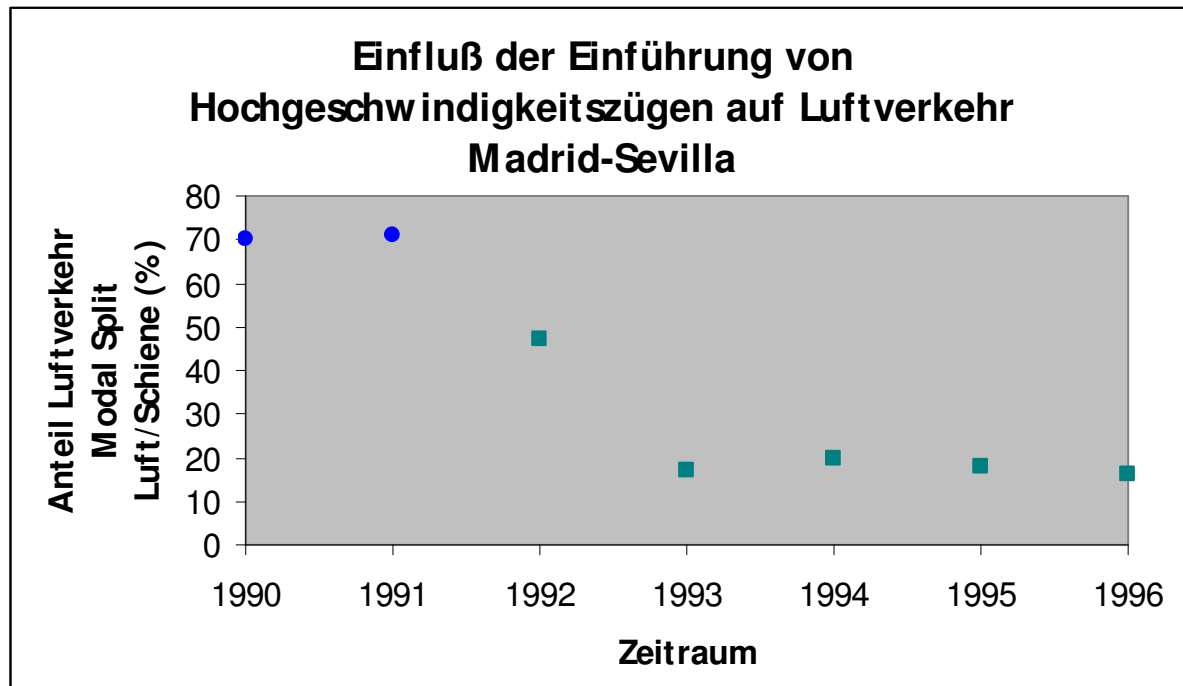


Abb. 16: Durch Einführen einer Hochgeschwindigkeitsverbindung im Jahr 1992 hat sich der Anteil des Luftverkehrs vom Gesamtaufkommen des Luft- und Schienenaufkommens auf der Strecke Madrid-Sevilla vom dominierenden zum untergeordneten Verkehrsmittel geändert. [Quelle: COST318.1998 45.]

Hierbei wird als typischer Einflussbereich für den Hochgeschwindigkeitsschienenverkehr bei den heute zur Verfügung stehenden Transportgeschwindigkeiten mit großem Konsens eine Entfernung von etwa 600 bis 800 Kilometern angegeben^{71 72}, die sich in wenigen Stunden zurücklegen lässt. Steigt die Transportlänge und -dauer weiter an, wird das Flugzeug aufgrund seiner höheren Reisegeschwindigkeit schnell überlegen.

Die Einführung von Hochgeschwindigkeitsnetzen erfolgt durch Neu- oder Ausbau bestehender Strecken und wird in Europa multinational geplant. Ausgehend von einer nationalen Entwicklung hat sich diese Planung mittlerweile auf das Gebiet der EU ausgeweitet und verbindet vor allem die wirtschaftlich wichtigen Länder Deutschland, Belgien, Niederlande, Luxemburg, Frankreich und Großbritannien, aber auch weitere Länder werden zunehmend miteinbezogen.

So ist es möglich, dass sich für verschiedene Verbindungen mit einer verfügbaren Reisedauer mit dem Zug von wenigen - bis etwa maximal 3,5 - Stunden neue Hochgeschwindigkeitszüge bisherige Flug-gastzahlen auch international auf solchen Relationen erheblich verringern können^{73 74 75}. Dies zeigt ex-

⁷⁰ COST318.1998 40f.

⁷¹ COST318.1998 50ff.

⁷² Janic1997 179.

⁷³ Dennis2001a 28f.

emplarisch Abbildung 16 für die Relation Madrid-Sevilla. Bis zum Jahr 1992 hatte der Luftverkehr einen Personenanteil von etwas mehr als 70 Prozent des gemeinsamen Luft- und Schienenverkehrs, nach Einführung einer Hochgeschwindigkeitsstrecke hat sich dieser dann schnell auf weniger als 20 Prozent reduziert.

Häufig hat der Schienenverkehr gegenüber dem Flugverkehr den Vorteil einer größeren räumlichen Nähe zur Nachfrage⁷⁶. Die Ursachen hierfür sind vielseitig, aber vor allem auch historisch bestimmt. Dies macht aus der Sicht einer gewünschten Reise von Tür zu Tür die Bahn als Transportmittel in einigen Fällen zusätzlich attraktiver als das Flugzeug, gleichzeitig liefert dies aber auch die Grundlage für eine sinnvollere Ergänzung der beiden verschiedenen Transportmodi in der Zukunft.

Neben dem konkurrierenden Aspekt zwischen Schienen- und Flugverkehr ist in dem stark umkämpften Bereich des Personenverkehrs mit nur geringer durchschnittlicher Rentabilität allerdings auch der kooperierende von großer Bedeutung⁷⁷. Für die Flug- und Bahngesellschaften wird es zunehmend wichtiger, durch eine erhöhte Kooperation die Reibungsverluste dieses multimodalen Verkehrs zu reduzieren, um so die Service- und Zeitwünsche potentieller Kunden gemeinsam besser befriedigen zu können und so ihre individuelle Marktposition zu stärken⁷⁸, und auf volkswirtschaftlicher Ebene⁷⁹, um weiter den Anteil des individuellen Personenstraßenverkehrs zu reduzieren⁸⁰. Für viele Flughäfen ist es daher wichtig, neue Verkehrsanbindungen an Hochgeschwindigkeits- und Regionalzüge zu bekommen. Fahrpläne werden besser aufeinander abgestimmt⁸¹ und einige Fluggesellschaften, vor allem Air France aufgrund des sehr guten französischen Schnellbahnsystems, „fliegen“ Kurzstrecken im Zubringerbereich schon mit der Bahn⁸².

Für die Flugreisen sind unter den neueren technischen Erfindungen vor allem das Internet und die Möglichkeit von Videokonferenzen von besonderer Bedeutung⁸³. Das Internet hat neben der allgemeinen Möglichkeit, viele sehr heterogene Informationen schnell und mit wenig Kosten abrufen zu können, auch das Buchungsverhalten der Kunden geändert. Während früher Flugreisen bei einem Verkaufs- und Buchungsgespräch in einem Reisebüro getätigt wurden, geschieht dies zunehmend per elektronischer Medien, was vor allem eine Erhöhung der Transparenz, der Geschwindigkeit und eine Verringerung der Buchungskosten⁸⁴ bedeutet. Allerdings konnte Clemons empirisch nachweisen, dass auch die

⁷⁴ Givoni2001 1ff.

⁷⁵ Sparaco2002b 52.

⁷⁶ Givoni2001 8.

⁷⁷ Hartung2002a 14ff.

⁷⁸ Grübmeier1998 2ff.

⁷⁹ Verkehrsrsn.2000 2.

⁸⁰ Schmidt2002a 12f.

⁸¹ BMVBW2002 191.

⁸² DIHK2002 2.

⁸³ Lukaschewski2002 22f.

⁸⁴ Bond2002b 55.

Online-Angebote im Internet eine Preisdispersion und Produktdifferenzierung anbieten, damit ist der aktuelle Zustand weit entfernt von optimaler Transparenz und idealen Suchkosten von Null⁸⁵. Der Anteil des Onlinevertriebs an den Gesamtreisen nimmt weiter rapide zu, einige Fluggesellschaften haben sich bereits vollkommen auf diese Art des Verkaufs spezialisiert. Angebote im Internet dienen aus der Sicht der Firmen vor allem der möglichen Kostenreduktion⁸⁶. Einige serviceorientierte Fluggesellschaften sind bei der Benutzung des Internets als Medium des Buchungsvorgangs jedoch zögerlich^{87 88}.

Gerade im Bereich der Geschäftsreisen ist es sinnvoll, Besprechungen per Videokonferenzen durchzuführen. Dies führt in diesem Bereich dazu, dass einige Reisen kosten- und zeitgünstig durch Videokonferenzen substituierbar sind. Allerdings ist ein persönliches Gespräch einer Videokonferenz sowohl aus kommunikativen wie persönlichen Gründen zumeist überlegen. Die Menge an so ersetzten Reisen dürfte deshalb nicht sehr groß sein⁸⁹. Zusätzlich ist es möglich, dass gesparte Ressourcen an Zeit und Geld nur verlagert und in andere Reisen investiert werden⁹⁰. In einigen Fällen ist es gar möglich, dass Videokonferenzen und ähnliche technische Medien zusätzliche Reisen erst generieren, die ohne diese Medien nicht entstanden wären. Der Einfluss von Videokonferenzen auf die Gesamtnachfrage nach Reisen ist daher eher gering und beschränkt sich vor allem auf solche, die teuer sind und viel Zeit in Anspruch nehmen, also auf Fernreisen⁹¹. Ein reales Treffen kann eine Videokonferenz nie ersetzen, sein Erfolg und damit auch sein Substitutionspotential wird von der Nähe seiner Darstellung und damit der Wahrnehmung des einzelnen im Vergleich zu einer realen physischen Kommunikationssituation, seinem Preis und seinem Verbreitungsgrad abhängig sein.

⁸⁵ Clemons2002 534ff.

⁸⁶ Solon2002a 4f.

⁸⁷ Hartung2002e 65.

⁸⁸ Bond2002g 44.

⁸⁹ Cusenier2002 11.

⁹⁰ Graham2000 118.

⁹¹ Pavaux1995 207ff.

1.4. Angebotsentwicklung

Ein wichtiges Element zur Beschreibung der zukünftigen Entwicklung im Luftverkehr ist sein Markt. In diesem Abschnitt wird dieser von der Angebotsseite aus betrachtet, im folgenden Abschnitt 1.5 erfolgt eine analoge Betrachtung der Nachfrageseite. Von besonderer Bedeutung für die Prognose routenspezifischer Passagierzahlen sind aus der Sicht des Angebots die Existenz möglicher Routen für die betrachteten Relationen sowie die Zuordnung wichtiger Eigenschaften wie Frequenzen, Preise oder Service, zu diesen.

Im ersten Teil, Abschnitt 1.4.1, wird folgend auf die Entwicklung der Auslastung von Flugzeugen eingegangen, die von hohem Einfluss auf mögliche Frequenzen und Preise der Fluggesellschaften, aber auch auf den angebotenen Service ist. Anschließend wird auf die Preisgestaltung, Abschnitt 1.4.2, und die Existenz und Bedeutung von Kundenbindungsprogrammen, 1.4.3, hingewiesen.

Wichtig für die Entwicklung des Flugverkehrs ist der seit 1978⁹² beginnende Prozess zunehmender internationaler Deregulierung. Dieser Prozess hatte seinen Beginn in den Vereinigten Staaten und hat sich anschließend auch in Europa verstärkt. Es ist davon auszugehen, dass dieser in einiger Zeit zu einer sehr starken Verknüpfung der europäischen und nordamerikanischen Regulierung des gemeinsamen Luftverkehrs führen wird⁹³ und gerade in dem wichtigen Bereich des asiatisch-pazifischen Luft-raums zunehmend an Bedeutung gewinnt, handelt es sich dort doch noch um eine Region mit vielen nationalen Fluggesellschaften und Regulierungen. Die Hauptfolgen der Deregulierung auf die Angebotsbildung, der unterschiedliche Marktphasen folgen und die daher differenziert zu betrachten ist, sind⁹⁴:

- Geringere Tarife auf Routen auf denen Wettbewerb herrscht⁹⁵ und höhere auf solchen ohne Wettbewerb.
- Die Veränderung der Netzwerkstrukturen zu Hub and Spoke Systemen, auf die im Abschnitt 1.6 näher eingegangen wird.
- Die komplizierten und von vielen Faktoren abhängigen ständig veränderlichen Tarifsysteme.

⁹² Janigan2001 1.

⁹³ Sparaco2002a 47.

⁹⁴ Storm1999 55ff.

⁹⁵ FRBSF2002 3ff.

- Die Konzentration der Fluggesellschaften zu wenigen großen Anbietern und einigen Anbietern von Nischenprodukten, wie Billigflügen.

Von großer Bedeutung für die Gestaltung der Angebote ist die Gewinnentwicklung der Fluggesellschaften. Der Nettogewinn amerikanischer Fluggesellschaften ist im Vergleich zu anderen Unternehmen sehr schlecht⁹⁶, im jährlichen Durchschnitt über den Zeitraum von 1970 bis 2001 beträgt er etwa 0,3% vom Umsatz oder 255 Millionen Dollar und ist damit selbst in den erfolgreichsten Jahren von 1997 bis 1999 deutlich unter dem durchschnittlichen Nettogewinn der amerikanischen Industrie⁹⁷ mit einem jährlichen Mittel zwischen etwa vier und sieben Prozent vom Umsatz geblieben⁹⁸.

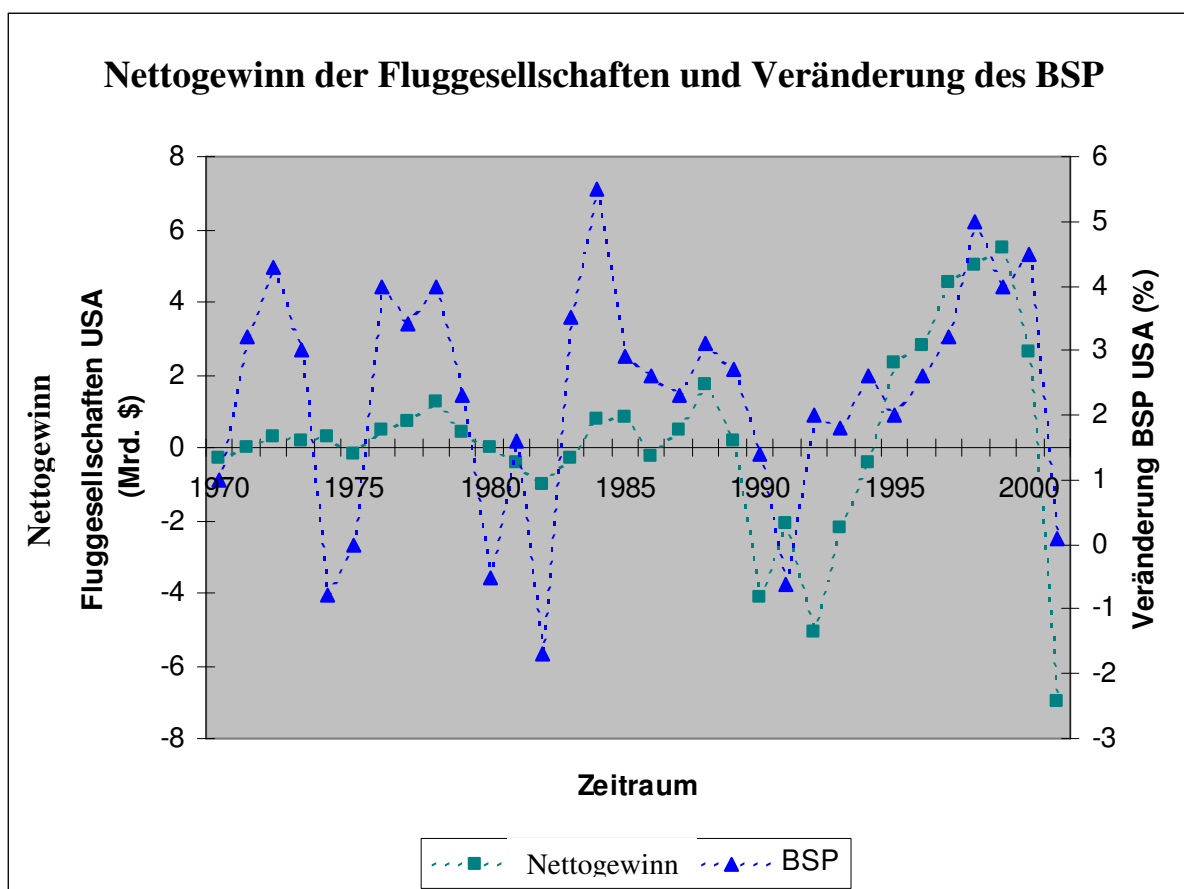


Abb. 17: Der Nettogewinn amerikanischer Fluggesellschaften (in Prozent vom Umsatz) ist gering und weist eine zyklische Schwankung mit der Veränderung des nationalen Bruttosozialprodukts auf. Auffällig ist die Erhöhung der Schwankungen der Nettoprofitmarge seit etwa 1990 und der terroristisch bedingte tiefe Einbruch im Jahre 2001. [Quelle: ATA2002b 10. als Zahlenreihe, eigenständige Darstellung des zyklischen Verlaufs in Phase von Gewinn und BSP]

Ein Grund für das schlechte wirtschaftliche Abschneiden vieler Fluggesellschaften ist der hohe Grad staatlicher Beteiligung und Einflussnahme auf die Handlungen der Fluggesellschaften. Es ist davon auszugehen, dass ein zunehmend liberalisierter Weltmarkt für Luftverkehr weniger, aber wirtschaftlich

⁹⁶ Aharoni2002 6.

⁹⁷ Button2002 187.

erfolgreichere Unternehmen hervorbringen wird⁹⁹. Europa ist im Vergleich zu den USA durch eine geringere Produktivität und höhere Lohnkosten in einem Wettbewerbsnachteil^{100 101}. Wie Abbildung 17 zeigt, ist die Entwicklung des Gewinns der Fluggesellschaften an die Schwankungen des Bruttosozialprodukts gekoppelt.

Abbildung 18 zeigt, dass eine Korrelation zwischen dem Gewinn der Fluggesellschaften und der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung, gemessen am Indikator des Bruttosozialprodukts, besteht. Trotz der großen Schwankungen ist klar zu sehen, dass die Möglichkeit des Erwirtschaftens von Gewinnen für die Fluggesellschaften erst ab einem Wachstum des BSP von etwa 2 Prozent möglich ist, bei einem geringeren Wachstum erzielen diese Verlust. Eine lineare Approximierung liefert einen durchschnittlich um 756 Millionen Dollar erhöhten Gewinn pro zusätzlichem Prozentpunkt des Wirtschaftswachstums. Der niedrige Determinationskoeffizient deutet darauf hin, dass neben dem Wirtschaftswachstum weitere bedeutende Einflussfaktoren für den Gewinn der Fluggesellschaften existieren.

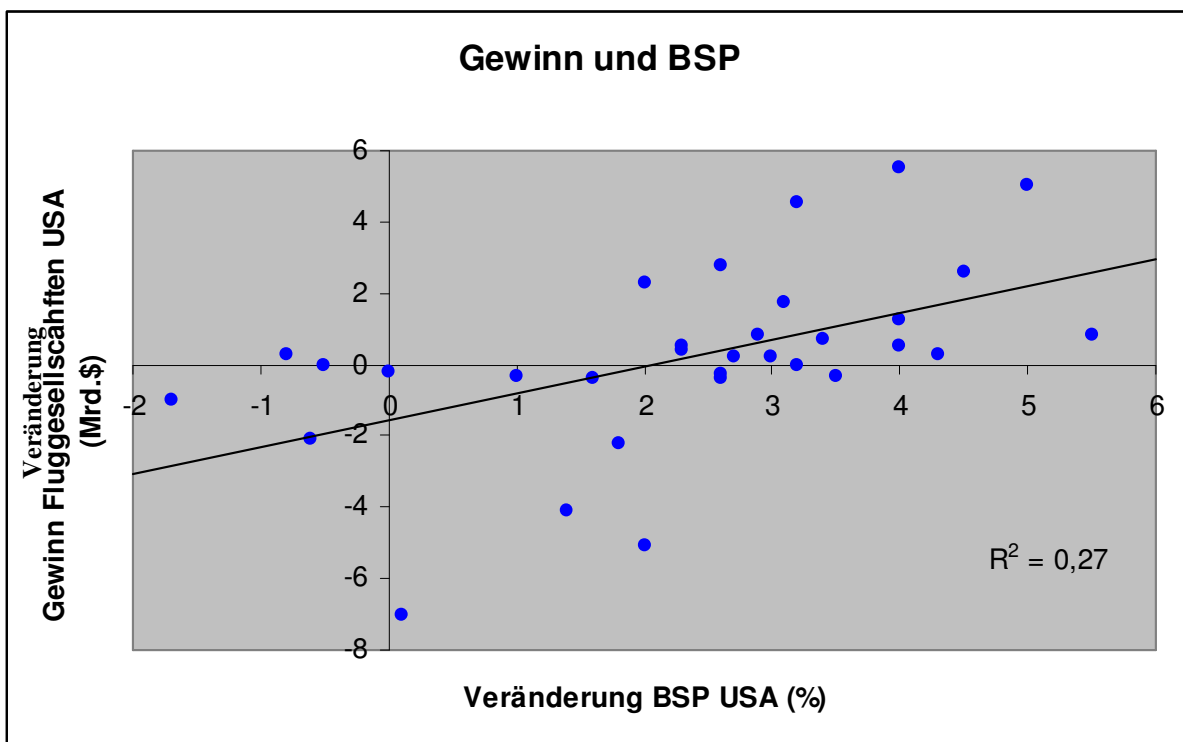


Abb. 18: Eine Darstellung des Gewinns der Fluggesellschaften und der Veränderung des Bruttosozialprodukts der Jahre von 1970 bis 2001 zeigt, dass Fluggesellschaften erst ab einem Wirtschaftswachstum von mehr als zwei Prozent Gewinne erzielen. [Datenquelle: ATA2002b 10., eigenständige Aufbereitung als Korrelation Gewinn gegen BSP]

Auch eine Kopplung zwischen der Gewinnentwicklung und dem Wachstum der Fluggesellschaften existiert. Wirtschaftlich erfolgreiche Fluggesellschaften wachsen häufig schneller als ihre weniger erfolgrei-

⁹⁸ ATA2002b 11.

⁹⁹ Backx2002 218f.

¹⁰⁰ Gibson1998 3.

¹⁰¹ Aharoni2002 8f.

chen Konkurrenten. Eine einheitliche mathematische Formulierung über die Art der Wechselwirkung in Form einer allgemein anwendbaren Funktionenschar existiert aber nicht¹⁰². Hierfür gibt es zu viele zusätzlich bedeutsame Einflussfaktoren einschließlich der persönlichen Eigenschaften der entscheidenden Manager.

1.4.1. Auslastungsgrad der Luftflotten

Um wirtschaftlich erfolgreich zu agieren, ist eine hohe Auslastung der eingesetzten Produktionsfaktoren hilfreich. Im Falle der Fluggesellschaften bedeutet dies, dass diese versuchen, mit Hilfe ihrer Flugzeuge möglichst viele Personen zu transportieren. Geht man von linearisierten Kosten K und Erlösen U aus, so erhält man für ein Flugzeug, einer Anzahl an Starts S_F und eine dabei über den gesamten Zeitraum erzielten Passagierzahl N :

$$K := K(F, S_F, N) \approx K_F + c_S \cdot S_F + c_N \cdot N \quad (8)$$

K_F sind hierbei die Fixkosten, c_S jene pro Start und c_N pro befördertem Passagier. Analog Gleichung (5) lässt sich im Falle identischer Auslastungen für alle Flüge die Passagierzahl darstellen als:

$$N \approx S_F \cdot l \cdot C_F \quad (9)$$

Die Passagierzahl und die Anzahl der Starts sind für einen konstanten Ladefaktor linear, tatsächlich sollte die Proportionalität aufgrund geänderten Preises und Frequenz sowie der begrenzten Nachfrage nur ungefähr gelten. Auch für die Einnahmen U lässt sich linearisieren:

$$U := U(N) \approx p_N \cdot N \quad (10)$$

Diese Gleichung geht von konstanten Einnahmen p_N je Passagier aus. Damit erhält man für den Gewinn G :

¹⁰² Janic1997 173ff.

$$G := U - K = G(F, S_F, N) \approx S_F \cdot ((p_N - c_N) \cdot l \cdot C_F - C_S) - K_F \quad (11)$$

Eine Erhöhung des Ladefaktors oder der Startanzahl führt damit zu einer ungefähr linearen Veränderung des Gewinns.

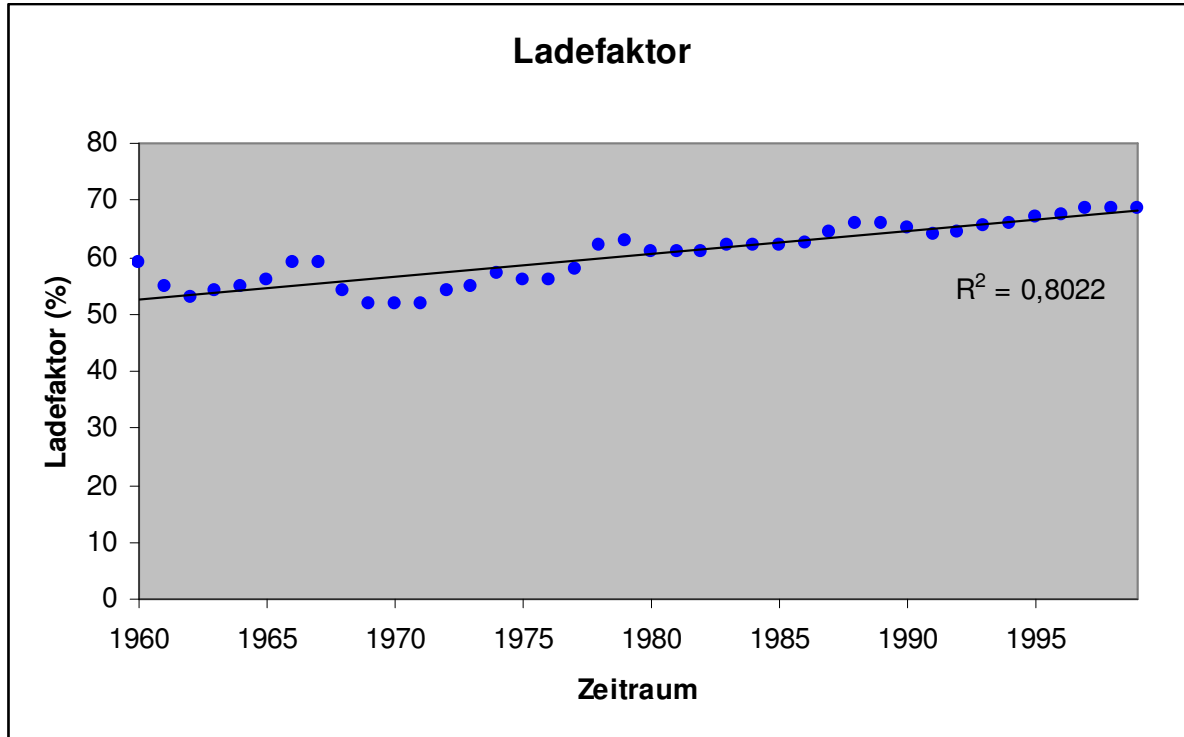


Abb. 19: In den letzten 40 Jahren hat sich der Ladefaktor um etwa durchschnittlich 0,4% je Jahr erhöht. Eine Sättigung ist noch nicht erreicht. [Quelle: ICAO2001 42., Figure6-1]

Janic hat eine Abhängigkeit der Kosten je Passagier und Kilometer, $c_{s,N}$, in Abhängigkeit von der Fluglänge, s , und der Kapazität, C_F , untersucht. Er geht dabei von einer Potenzfunktion aus¹⁰³:

$$c_{s,N} = b_0 \cdot s^{-b_1} \cdot C_F^{-b_2} \quad \text{mit } b_0, b_1, b_2 \geq 0 \quad (12)$$

Kalibrierung liefert die Werte $b_0 \approx 6,21 \text{ ECU} / \text{Passagierkilometer}$, $b_1 \approx 0,397$ und $b_2 \approx 0,344$. Eine Abnahme der Kosten mit zunehmender Flugzeuggröße und Entfernung ist plausibel. Interessant ist, dass die Einsparungen mit zunehmender Entfernung in etwa in der gleichen Größenordnung liegen wie die einer größeren Flugzeugkapazität. Dennoch arbeiten die Billigfluggesellschaften häufig mit kleinerem Fluggerät dafür aber höherer Auslastung. Wenig plausibel ist aber, wieso gerade ein Potenzansatz gewählt wurde.

¹⁰³ Janic2001b 13.

Historisch hat sich der Ladefaktor in den Jahren von 1960 bis 2000 wie in Abbildung 19 dargestellt etwa linear um 0,399% pro Jahr mit zyklischen Schwankungen erhöht, die in ihrer Intensität abnehmenden Charakter zeigen.

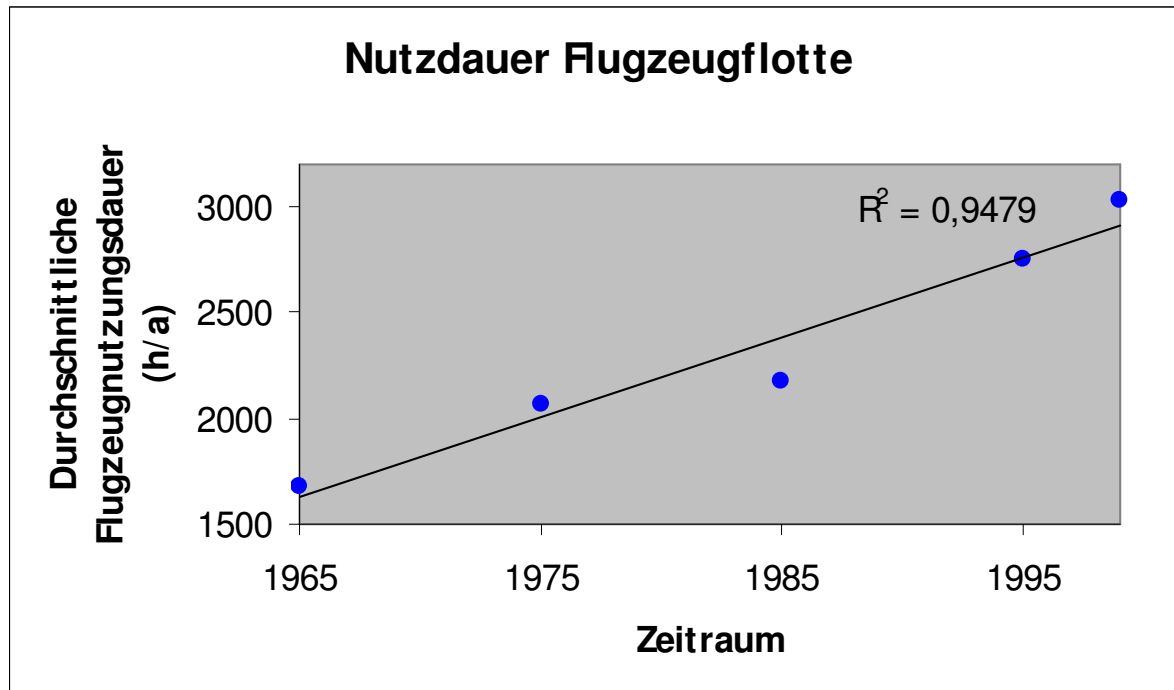


Abb. 20: Die Nutzdauer der Flugzeuge hat sich in den vergangenen 35 Jahren jährlich um etwa durchschnittlich 37,8 Stunden je Jahr erhöht. Eine weitere deutliche Zunahme scheint auch in den nächsten Jahren gesichert. [Quelle: ICAO2001 12., Table 2-3]

Während der Ladefaktor aufgrund einer Auslastung von etwa 70 Prozent nur noch geringfügig zu steigern ist, nimmt die Anzahl der Starts und Landungen pro Flugzeug und Zeitraum weiter stark zu und wird dies gerade aufgrund des verstärkten Auftretens der Billigfluglinien mit ihren hohen Frequenzen je Flugzeug und nur geringen Standzeiten weiter tun¹⁰⁴.

Wie Abbildung 20 zeigt, hat die durchschnittliche Nutzdauer der Flugzeuge pro Jahr zugenommen. Das mittlere linearisierte jährliche Wachstum beträgt etwa 37,76 Stunden je Jahr. Langfristig ist eine Annäherung gegen eine maximale jährliche Nutzungsdauer zu erwarten.

1.4.2. Preisgestaltung und Kosten

Die Auswahl eines Produkts richtet sich häufig maßgeblich nach seinem Preis. Als besonders auffällig werden dabei Unterschiede zu Konkurrenzprodukten wahrgenommen. Im Flugverkehr existieren seit der Deregulierung eine Vielzahl von Tarifen, die beispielsweise abhängen können von:

- Der Flugzeit.

¹⁰⁴ Hartung2002b 57.

- Der Reiseklasse.
- Der Aufenthaltsdauer.
- Dem Ort und Zeitpunkt des Erwerbs.
- Dem Alter des Reisenden.
- Der Größe der Gruppe der Reisenden.

Generell ist ein Rückgang der inflationsbereinigten Preise je Flugmeile zu beobachten. Dies lässt sich mit einer erhöhten Wirtschaftlichkeit der Fluggesellschaften, dem technischen Fortschritt, der Veränderung der Flugroutennetzwerke sowie der Zunahme der durchschnittlichen Fluglänge erklären.

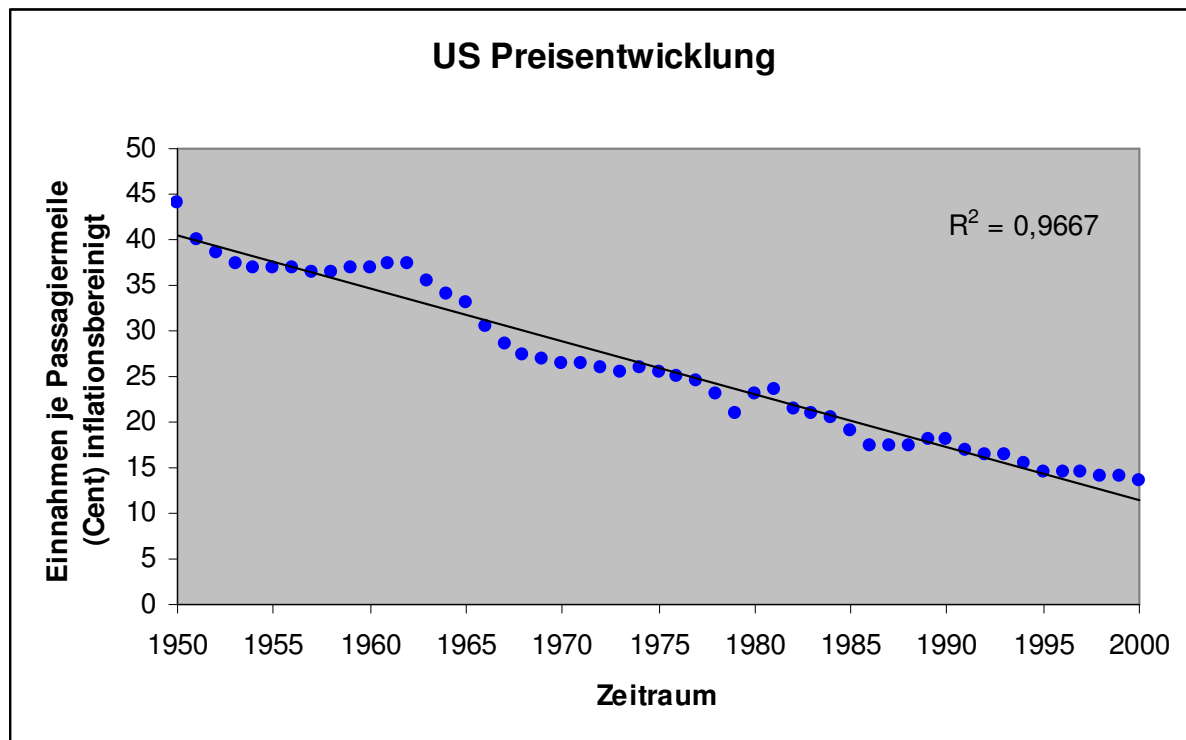


Abb. 21: Seit 1950 nehmen im amerikanischen Luftverkehr die durchschnittlichen Preise je Passagier und Meile kontinuierlich ab. Durchschnittlich haben sich in den Jahren 1950 bis 2000 die Preise um etwa 0,58 Cent je Jahr und Passagiermeile reduziert. Seit 1986 ist diese Reduktion erheblich verringert, bleibt aber in ihrer abnehmenden Tendenz erhalten. [Datenquelle ATA2002a 8., eigenständige Linearisierung und Bestimmung der durchschnittlichen Preisreduktion]

Abbildung 21 zeigt die Abnahme der inflationsbereinigten Preise amerikanischer Flüge je Passagier und Meile in Cents. Hier ist für die Jahre 1950 bis 2000 eine kontinuierliche Abnahme des durchschnittlichen Preises für eine Passagiermeile mit durchschnittlich 0,58 Cent je Jahr und Passagiermeile zu erkennen. Auffällig ist der Rückgang dieser Abnahme seit etwa 1986. Die Abnahme der Preise hat sich aufgrund des mittlerweile schon erheblich niedrigeren Niveaus auf durchschnittlich etwa 0,29 Cent je Jahr und Passagiermeile halbiert. Geht man von einer linearen Nachfragefunktion bezüglich des Preises aus, so

ist die Anzahl der Passagiere N , die zu einem Preis p bereit sind, ein Flugticket für einen bestimmten Flug zu buchen:

$$N := N(p) = N_0 \left(1 - \frac{p}{p_0} \right) \quad \text{mit } p \in [0, p_0] \quad (13)$$

N_0 bezeichnet, wie in Abbildung 22 dargestellt, die maximale Anzahl an Passagieren, die für einen Preis von null bereit wären, diese Reisemöglichkeit zu wählen. p_0 ist der Preis, ab dem niemand dies mehr tun würde. Eine solche einfache Struktur der Wechselwirkung zwischen Preis und Nachfrage im Bereich der Personenluftverkehrsnachfrage betrachtet Witte in seiner Untersuchung zur Preisbildung im Luftverkehr¹⁰⁵. Dennoch kann die Annahme dieser Wechselwirkung nur als Einstieg in das Verständnis des Marktverhaltens der Personen gesehen werden. Maximale Einnahmen U erzielt man dann mit einem optimalen $\hat{p}_U$ durch folgende Maximierung:

$$\max_p U = p \cdot N(p) \quad (14)$$

$$s.d. \quad N(p) = N_0 \cdot \left(1 - \frac{p}{p_0} \right) \quad \text{mit } N_0 \geq 0 \quad (15)$$

$$N(p) \leq C_F \quad \text{mit } C_F > 0 \quad (16)$$

$$p \in [0, p_0] \quad \text{mit } p_0 > 0 \quad (17)$$

Durch Nullsetzen der Ableitung der Zielfunktion erhält man unter Berücksichtigung der Kapazitätsrestriktion des Flugzeugs den einnahmenmaximierenden Preis:

$$\hat{p}_U = p_0 \cdot \min \left\{ \frac{1}{2}, 1 - \frac{C_F}{N_0} \right\} \quad (18)$$

Nimmt man zusätzlich lineare Kosten c_N pro Person wie in Gleichung (8) an,

$$K = c_N \cdot N \quad \text{mit } c_N \geq 0 \quad (19)$$

so ändert sich der optimale gewinnmaximierende Preis $\hat{p}_G$ und beträgt dann:

$$\hat{p}_G = \min \left\{ \frac{p_0 + c_N}{2}, p_0 \cdot \left(1 - \frac{C_F}{N_0} \right) \right\} \quad (20)$$

Man erhält für den Fall der Gewinnoptimierung dasselbe Ergebnis wie im Falle der Umsatzoptimierung, wenn p_0 dort nicht mehr als der Preis interpretiert wird, der den Punkt charakterisiert, ab dem niemand mehr das Angebot wahrnimmt, sondern als dieser zuzüglich der variablen Kosten für einen Passagier.

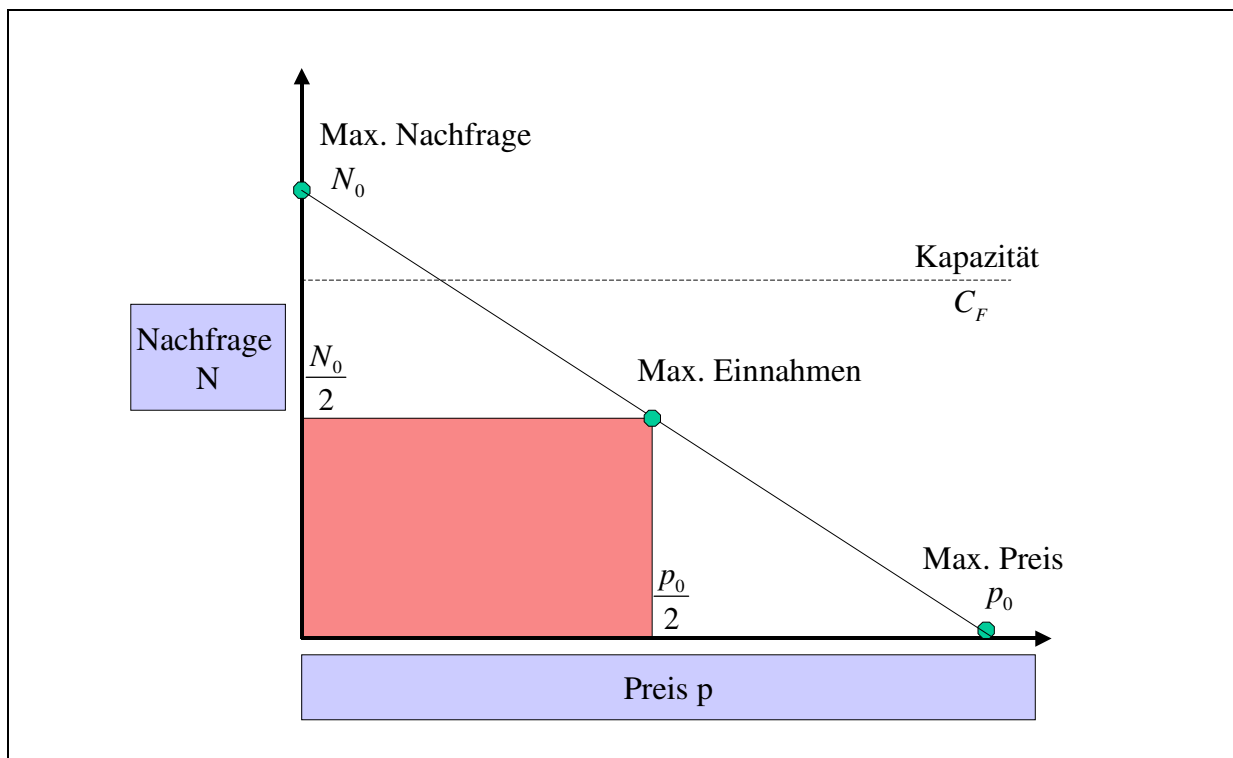


Abb. 22: Ausgehend von einer linearen Nachfragefunktion erhält man maximale Einnahmen, wenn man die Hälfte der maximal erzielbaren Kunden für den halben maximalen Preis zum Kauf ihres Flugtickets bewegen kann. [Eigene Darstellung]

Die maximalen Einnahmen $\hat{U}$ bestimmen sich durch Einsetzen des einnahmenmaximierenden Preises dann zu:

$$\hat{U} := \hat{p}_U \cdot N(\hat{p}_U) = p_0 \cdot \min \left\{ \frac{N_0}{4}, C_F \cdot \left(1 - \frac{C_F}{N_0} \right) \right\} \quad (21)$$

Der Gewinn im Falle eines gewinnmaximierenden Preises ergibt sich durch Einsetzen dieses Preises zu:

$$\hat{G} := (\hat{p}_G - c_N) \cdot N(\hat{p}_G) = \min \left\{ \frac{N_0}{4} \cdot \frac{(p_0 - c_N)^2}{p_0}, C_F \cdot \left(p_0 \cdot \left(1 - \frac{C_F}{N_0} \right) - c_N \right) \right\} \quad (22)$$

In den meisten Fällen ist das Ausgehen von einer linearen Nachfragefunktion allerdings nicht sehr realitätsnah. Gerade die Beschränkung und Bestimmung des Maximalpreises bereitet dabei größere Schwierigkeiten. Wie im Kapiteln 4 theoretisch begründet wird, ist vielmehr von einer exponentiellen Abhängigkeit der Nachfrage auszugehen. Diese Abhängigkeit ist auch von Witte für die Nachfragebildung am Beispiel des Nordatlantikverkehrs festgestellt worden. In seiner logarithmisierten Version erhielt er damals nach Kalibrierung¹⁰⁶: $p \approx 949 - 175 \cdot \ln N(p)$. Auflösen nach dem Logarithmus der Nachfrage und Benutzen der Exponentialfunktion führt zu der allgemeinen Struktur der Gleichung (24). Maximale Einnahmen erzielt man durch Lösung folgender Maximierung:

$$\max_p U = p \cdot N(p) \quad (23)$$

$$s.d. \quad N(p) = N_0 \cdot \exp(-a \cdot p) \quad \text{mit } a > 0 \quad (24)$$

$$N(p) \leq C_F \quad \text{mit } C_F > 0 \quad (25)$$

$$p \geq 0 \quad (26)$$

Die Beschränkung des Preises auf ein vorgegebenes Intervall vereinfacht sich für diese Betrachtung auf eine Nichtnegativitätsbedingung, Gleichung (26). Ein Nullsetzen der Ableitung der Zielfunktion unter Be-

¹⁰⁶ Witte1982 2ff.

rücksichtigung der Kapazitätsrestriktion des Flugzeugs führt, wie in Abbildung 23 dargestellt, zu dem einnahmenmaximierenden Preis $\hat{p}_U$:

$$\hat{p}_U = \frac{1}{a} \cdot \min \left\{ 1, \ln \left(\frac{N_0}{C_F} \right) \right\} \quad (27)$$

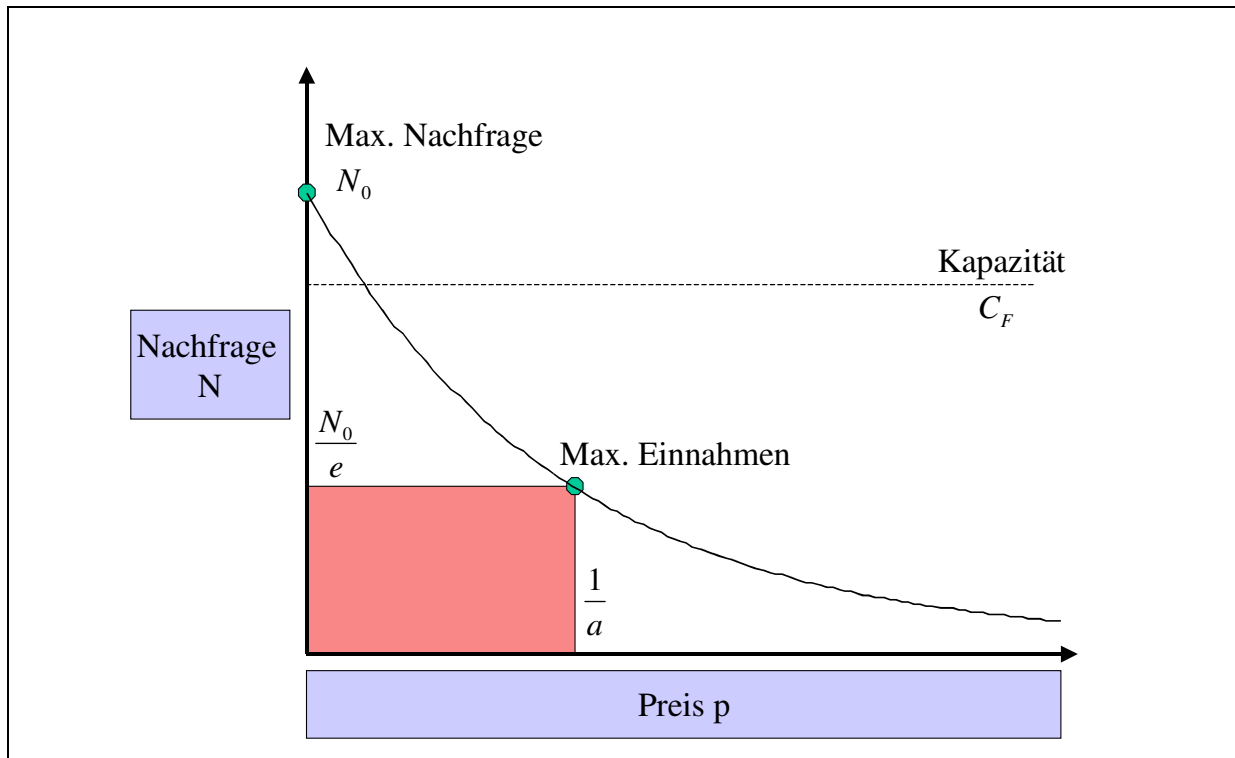


Abb. 23: Im Falle einer exponentiellen Nachfragefunktion ergeben sich im nicht kapazitätseingeschränkten Fall maximale Einnahmen für den Preis, bei dem der e-te Teil der maximalen Nachfrage diesen tatsächlich wählt. [Eigene Darstellung]

Für die maximalen Einnahmen erhält man durch Einsetzen des optimalen Preises:

$$\hat{U} = \frac{1}{a} \cdot \min \left\{ \frac{N_0}{e}, C_F \cdot \ln \left(\frac{N_0}{C_F} \right) \right\} \quad (28)$$

Während im Falle einer linearen Nachfrage der Preis so zu wählen ist, dass die Hälfte der Passagiere diesen Flug wählt, beträgt dieser Anteil bei einer exponentiellen Nachfrage nur ein e-tel. Im Falle linearer variabler Kosten pro Passagier, wie in Gleichung (19), ergibt sich der gewinnmaximierende Preis dann zu:

$$\hat{p}_G = \min \left\{ \frac{1}{a} + c_N, \ln \left(\frac{N_0}{C_F} \right) \right\} \quad (29)$$

Der maximale Gewinn beträgt in diesem Fall:

$$\hat{G} = \min \left\{ \frac{N_0}{a \cdot \exp \left(1 + \frac{c_N}{a} \right)}, C_F \cdot \left(\frac{1}{a} \cdot \ln \left(\frac{N_0}{C_F} \right) - c_N \right) \right\} \quad (30)$$

Tatsächlich steigen die meisten Kosten geringer als linear mit der Passagierzahl an. Janic geht von einem Potenzansatz aus und erhält für die Kosten des Flughafenservices, K_a , in Abhängigkeit von der Passagierzahl, N :

$$K_a = b_0 \cdot N^{b_1} \quad \text{mit } b_0, b_1 \geq 0 \quad (31)$$

Kalibrierung liefert $b_0 \approx 72,366 \text{ ECU}$ und $b_1 \approx 0,118$ ¹⁰⁷. Auch wenn die Begründung des Potenzansatzes nicht zwingend ist, zeigt sich doch, dass die Kosten mit der Passagierzahl nur geringfügig ansteigen. Für diesen Teil der Kosten ist daher die Linearität eher als obere Schranke denn als tatsächliche Kostenfunktion zu sehen.

Die Einnahmen und Gewinne der Fluggesellschaft sind weiter steigerbar, indem diese ihr Produkt zu verschiedenen Preisen¹⁰⁸ an unterschiedlich preissensitive Personen zu differenzierten Serviceangeboten und Bedingungen verkaufen¹⁰⁹. Im besten Fall kann man auf diese Art den Personen genau ein Ticket zu dem maximalen Preis verkaufen, zu dem sie gerade noch bereit sind, dieses zu erwerben. Im schlechtesten Fall gestaltet man sein Angebot so ungünstig, dass genau die Personen, die bereit wären, relativ hohe Preise zu bezahlen, diese schon zu niedrigen kaufen¹¹⁰. Wichtig ist es daher, entspre-

¹⁰⁷ Janic2001b 14.

¹⁰⁸ Button2002 184.

¹⁰⁹ Aharoni2002 16.

¹¹⁰ Flottau2002 47.

chend der Neigungen der Kunden die Preise abhängig vom jeweiligen Kunden, seinen gewünschten Serviceleistungen und dem Verkaufszeitpunkt optimal zu differenzieren.

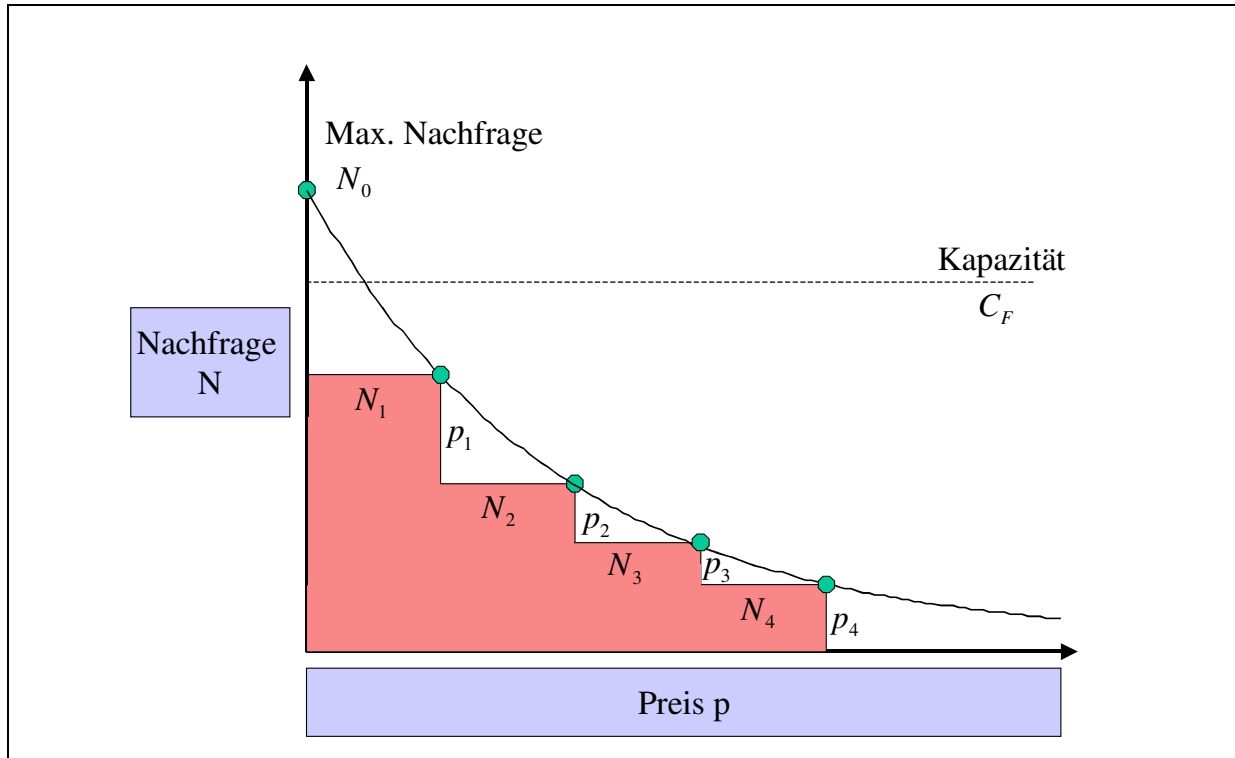


Abb. 24: Dargestellt sind die möglichen Einnahmen im Falle vier Preisstufen und einer Zuordnung der Kunden zu der Preisstufe mit dem Preis, den sie von den verschiedenen Angeboten maximal bereit wären zu zahlen. Man sieht, dass die Einnahmen bei geschickter Wahl der Preisstufen erheblich höher liegen als im Falle einer optimal gewählten Preisstufe (Abb. 23) [Eigene Darstellung]

Abbildung 24 zeigt eine solche Differenzierung nach vier verschiedenen Preisstufen. Hier ergeben sich die Einnahmen durch Summenbildung, graphisch als rote Fläche interpretierbar, allgemein für J verschiedene Preisstufen, falls die Anzahl der Kunden nicht größer ist als die Kapazitätsgrenze, was durch eine geschickte Auswahl der Preisstufen garantiert werden kann:

$$U = \left(\sum_{j=1}^J p_j \cdot (N(p_j) - N(p_{j+1})) \right) - p_J \cdot N(p_{J+1}) \quad (32)$$

p_j bezeichnet hierbei das von den niedrigen zu den hohen Preisen aufwärts gezählte Preisniveau. Könnte man unendlich viele, infinitesimal kleine Preisstufen anbieten, ergäbe sich ein theoretisches maximales Einkommen $\hat{U}$, dass der Fläche zwischen den beiden positiven Achsen, der Funktion und der Kapazitätsrestriktion entspricht. Unter Berücksichtigung der kapazitativen Grenze ändert sich Gleichung (32) dann in ein Integral:

$$\hat{U} = C_F \cdot \max \left\{ \frac{1}{a} \cdot \ln \left(\frac{N_0}{C_F} \right), 0 \right\} + \int_{\max \left\{ \frac{1}{a} \cdot \ln \left(\frac{N_0}{C_F} \right), 0 \right\}}^{\infty} N_0 \cdot \exp(-a \cdot p) dp \quad (33)$$

Integrieren liefert unter Berücksichtigung der beiden Alternativen für das Verhältnis der Kapazität zur maximal möglichen Anzahl an Reisenden:

$$\hat{U} = \frac{1}{a} \cdot \min \left\{ N_0, C_F \cdot \left(1 + \ln \left(\frac{N_0}{C_F} \right) \right) \right\} \quad (34)$$

Ein Vergleich mit Gleichung (28) zeigt, dass sich für beliebig viele Preisstufen ohne Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen der Umsatz um den Faktor e und im Falle einer bindenden Kapazität um den Wert $\frac{C_F}{a}$ erhöht. Dies stellt eine wesentliche Zunahme möglicher Einnahmen dar und begründet, warum die Fluggesellschaften so großen Wert auf eine optimale Ausrichtung ihrer Preisgestaltung legen. Dies bedeutet aber auch, dass zusätzliche Kenntnisse über die Gestalt der Nachfragefunktion für die Fluggesellschaften einen sehr hohen Nutzen haben und stellt somit eine Heraushebung der Bedeutung von Arbeiten wie der vorliegenden dar, die versuchen, das Nachfrageverhalten der Kunden transparenter zu machen.

1.4.3. Economies

Die Kostenstrukturen sind im Luftverkehrsbereich wie in vielen anderen Industrien nicht exakt linear mit der Menge, dies führt dazu, dass unter Vernachlässigung anderer Restriktionen große Unternehmen kleinen durch eine bessere Kostensituation überlegen sind. Als wichtigste Elemente dieses Vorteils sind die economies of scale und die economies of scope zu nennen.

Economies of scale bedeuten, dass die Kosten der Erzeugung eines weiteren Guts mit zunehmender Anzahl abnimmt. Sei Q die Menge der erzeugten Produkte und $K(Q)$ die dabei auftretenden Kosten, dann bedeutet dies:

$$\frac{\delta}{\delta Q} \left(\frac{K(Q)}{Q} \right) < 0 \quad \forall Q > 0 \quad (35)$$

Dies lässt sich auch durch eine Differenzendarstellung äquivalent beschreiben. Für den Fall beliebiger Mengen Q_1 und Q_2 eines Produkts entspricht dies:

$$K(Q_1) + K(Q_2) > K(Q_1 + Q_2) \quad \forall Q_1, Q_2 > 0 \quad (36)$$

Alternativ ist auch eine Beschreibung der economies of scale mittels der durchschnittlichen und marginalen Stückkosten zu beschreiben. Allgemein sind die durchschnittlichen (Stück)Kosten, $\bar{K}(Q)$:

$$\bar{K}(Q) := \frac{K(Q)}{Q} \quad (37)$$

Diese nehmen mit zunehmender Menge ab (siehe (35)). Die marginalen Kosten, $K_{mar}(Q)$, sind die zusätzlichen Kosten, die für die Erzeugung eines weiteren Stücks auftreten:

$$K_{mar}(Q) := K(Q) - K(Q-1) \quad (38)$$

Auch die marginalen Kosten nehmen in der Regel mit der Menge ab. Economies of scale treten auf, falls:

$$\bar{K}(Q) > K_{mar}(Q) \quad \forall Q > 0 \quad (39)$$

Abbildung 25 zeigt den typischen Verlauf von durchschnittlichen Kosten als Funktion der Stückzahl und die marginalen Stückkosten an der Stelle Q im Falle existierender economies of scale.

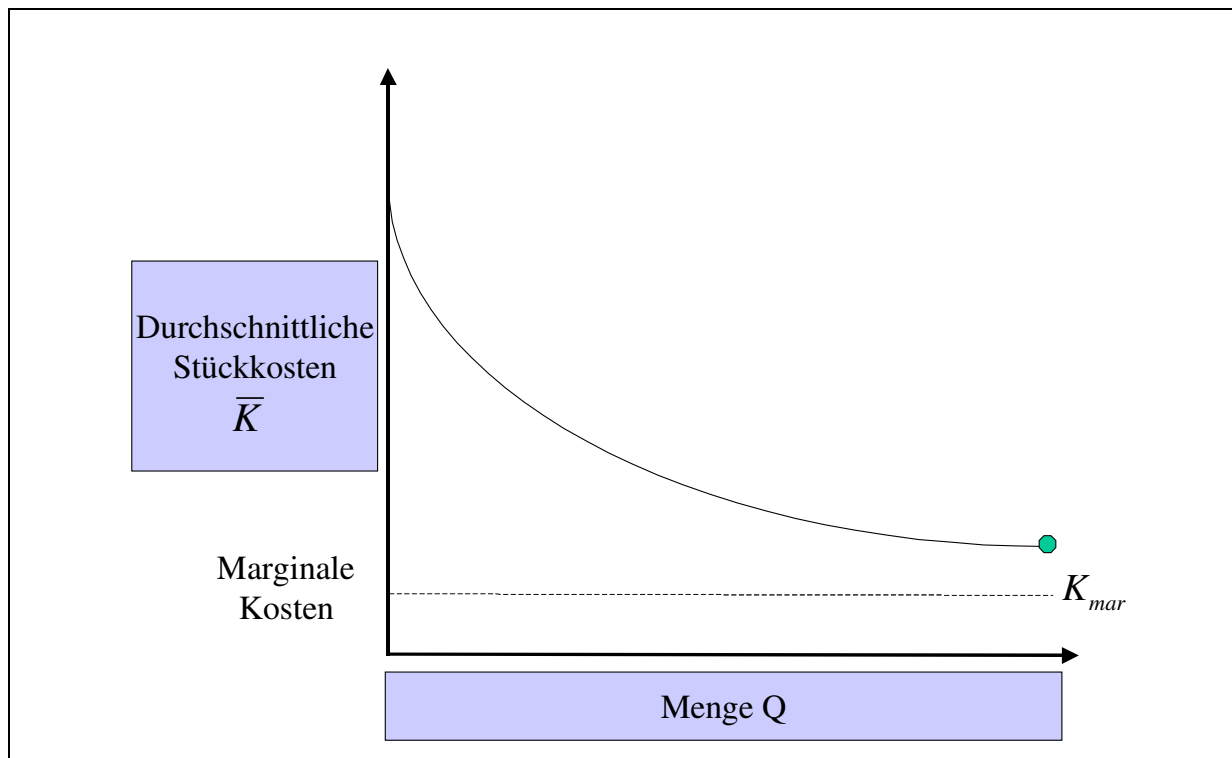


Abb. 25: Economies of scale liegen dann vor, wenn die durchschnittlichen Stückkosten über den marginalen Kosten liegen. Der Quotient der totalen Kosten zu dem Produkt aus marginalen Kosten und Stückzahl misst die Skalenelastizität der economies of scale. [Eigene Darstellung für kontinuierliche Mengen]

Die economies of scale geben den Umstand an, dass bei der Erzeugung eines weiteren Produkts seine marginalen Kosten mit zunehmender Menge abnehmen, ein Umstand, der Unternehmen mit hoher Produktionsmenge begünstigt. Ähnlich geben die economies of scope an, dass die Erzeugung mehrerer unterschiedlicher Produkte von einem Produzenten kostengünstiger ist, als wenn sie auf mehrere Unternehmen mit jeweils einem Produkt aufgeteilt würde.

Die Übertragung von Ungleichung (36) auf zwei unterschiedliche Produkte in den Mengen Q_1^1 und Q_2^2 liefert die economies of scope:

$$K(Q_1^1) + K(Q_2^2) > K(Q_1^1 + Q_2^2) \quad \forall Q_1^1, Q_2^2 > 0 \quad (40)$$

Eine Kategorisierung, ob es sich bei einem betrachteten Fall um economies of scale oder economies of scope handelt, ist ausschließlich abhängig davon, ob die betrachteten Produkte identisch sind oder nicht. Dies kann je nach Definition des Produktbegriffs zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. So ist zunächst unklar, ob ein identisches Produkt einer Fluggesellschaft ein Sitzplatz in einem bestimmten Flugzeug auf einer bestimmten Route zu einer bestimmten Zeit oder beispielsweise ein solcher auf ei-

ner bestimmten Route zu einer beliebigen Zeit darstellt. Der Grad der Agglomerierung bestimmt das Ergebnis.

Im Falle der Fluggesellschaften existieren sowohl economies of scale wie economies of scope. Bedeutend für die zukünftige Entwicklung der Fluggesellschaften ist, dass dieser Effekt aus strukturellen Gründen bei den Netzwerkcarriern größer ist als bei den Billigfluggesellschaften. Dies führt dazu, dass für Netzwerkcarrier ihre pure Größe eine sehr hohe Bedeutung hat, dahingegen für die Billigfluggesellschaften die Auswahl ihrer Routen viel wichtiger ist als ihre Größe. Im Luftverkehr werden ergänzend die economies of density und economies of size analysiert. Die economies of density¹¹¹ betrachten die Auswirkungen einer Erhöhung der Stromdichte auf den Relationen, die economies of size - die manchmal auch als economies of network oder economies of network size bezeichnet werden - die einer Veränderung der Netzwerkgröße.

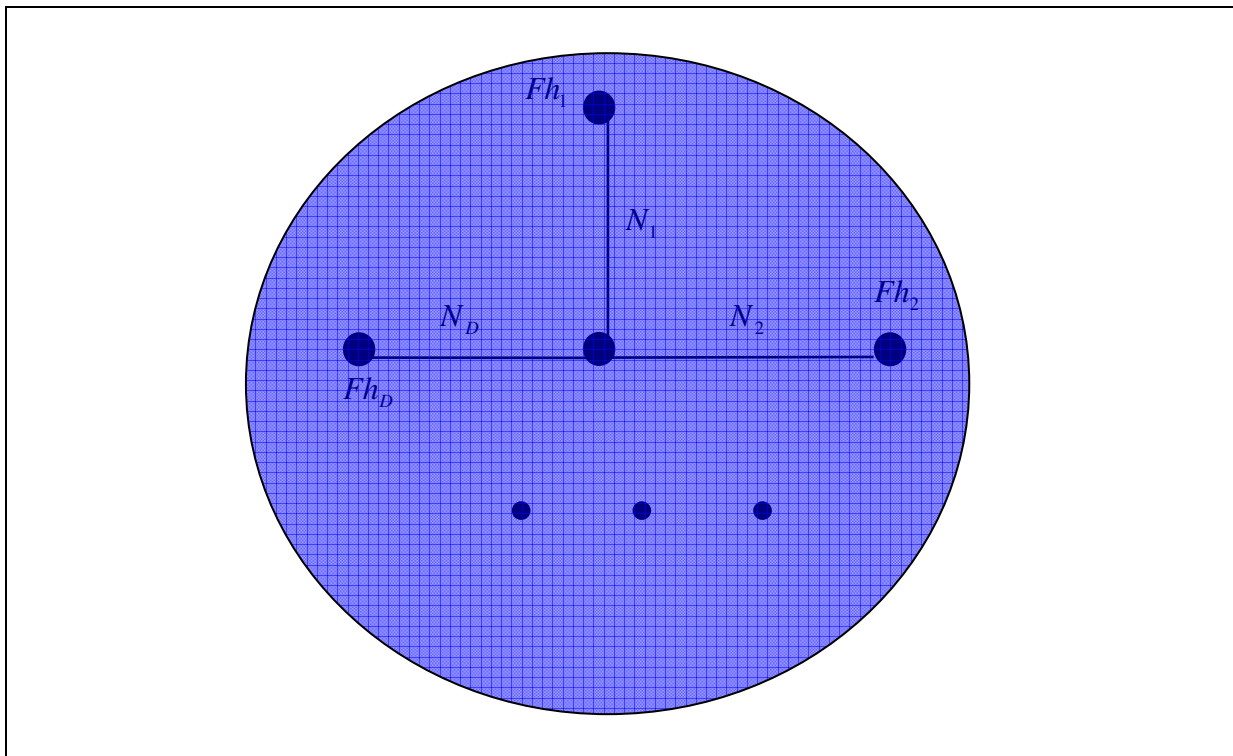


Abb. 26: In einem (Hub)Netzwerk existieren (Passagier)Ströme unterschiedlicher Intensität zu den verschiedenen Flughäfen. Die economies of density und economies of size beschreiben die Veränderung der Kosten bei Variation der Stromdichte und der Anzahl an Flughäfen. [Eigene Darstellung]

Die economies of density betrachten die Veränderung der Gesamtkosten eines Netzwerks, wie in Abbildung 26 dargestellt, wenn die Stromdichten auf den Relationen verändert werden. Seien die Stromdichten aller D Flughäfen im Referenzzustand vorgegeben als $N(i)$. Diese werden um den identischen relativen Faktor $\frac{\Delta N(i)}{N(i)}$ für alle Flughäfen erhöht, die Netzwerkstruktur und damit auch Anzahl der Flug-

¹¹¹ Aharoni2002 10f.

h fen bleibt unverändert. Unter diesen Umständen ändern sich die vorherigen Gesamtkosten des Netzwerks K zu $K + \Delta K$. Economies of density existieren, falls:

$$\frac{\Delta N(i)}{N(i)} > \frac{\Delta K}{K} \quad (41)$$

Da der relative Faktor der Veränderung der Stromdichten unabhängig von dem gewählten Flughafen ist, ist auch der Messwert der economies of density unabhängig vom Flughafen, vielmehr bezieht er sich auf das gesamte Netzwerk. Führt eine Erhöhung der Netzwerkstromdichte (hier beispielsweise der Passagierzahlen) zu einem geringeren Anstieg der Kosten, so entspricht dies einer vorhandenen economies of scale in density. Gleichung (40) lässt sich normieren und man erhält:

$$\frac{\frac{\Delta N(i)}{N(i)}}{\frac{\Delta K}{K}} > 1 \quad (42)$$

Diese Definition führt dazu, dass ein Messwert der economies of density nicht nur von der vorhandenen Größe des Netzwerks, sondern auch von dem Ausmaß der Veränderung abhängt. Häufig wird daher als relative Änderung ein Prozent benutzt, alternativ ist eine Darstellung mit Hilfe der Ableitung möglich. In diesem Falle ist der Messwert nur noch von der aktuellen Größe des Netzwerks abhängig. Dies führt zu der alternativen Darstellung¹¹²:

$$\alpha_D = \frac{\partial N(i)}{\partial K} \quad (43)$$

Diese Formulierung zeigt, dass es sich bei der Betrachtung der economies of density um die Wirkung der economies of scale bezogen auf eine Erhöhung der Dichte in einem Verkehrsnetzwerk handelt. Die economies of density sind damit ein Spezialfall der economies of scale unter Betrachtung der Variationsmöglichkeit der Stromdichten der gesamten Netzwerkstruktur.

¹¹² Fischer2001 14.

Bei der Bemessung der economies of size wird die Netzwerkstruktur verändert. Neue Flughäfen werden eingebunden, die Anzahl der Flughäfen der veränderten Struktur beträgt in diesem Fall $D + \Delta D$. Zusätzlich bleiben auf den Strecken des ursprünglichen Netzwerks die Stromdichten identisch. Für das ursprüngliche Netzwerk ist die Gesamtnetzwerkstromdichte, N , definiert als:

$$N := \sum_{i=1}^D N(i) \quad (44)$$

Für das veränderte Netzwerk ist die neue Gesamtnetzwerkstromdichte, $N + \Delta N$:

$$N + \Delta N := \sum_{i=1}^{D+\Delta D} N(i) = N + \sum_{i=D+1}^{D+\Delta D} N(i) \quad (45)$$

Die neuen Stromdichten des Netzwerks werden nun so verändert, dass die durchschnittliche Stromgröße einer Relation unverändert bleibt, das bedeutet:

$$\sum_{i=D+1}^{D+\Delta D} N(i) = N \cdot \frac{\Delta D}{D} \quad (46)$$

Diese Restriktion lässt sich auf viele Arten umsetzen, die einfachste ist jene, bei der alle neuen Ströme die durchschnittliche Stromgröße des ursprünglichen Netzes haben, also:

$$N(i) \equiv \bar{N}(i) \quad \forall i = D + 1, D + 2, \dots, D + \Delta D \quad (47)$$

Hierbei ist der Durchschnittswert der Stromdichten des ursprünglichen Netzwerks definiert als:

$$\bar{N}(i) := \frac{1}{D} \cdot \sum_{i=1}^D N(i) \quad (48)$$

Als Messwert der economies of size, α_s , kann analog zu Gleichung (40) der Quotient der relativen Änderung der Netzwerkgröße zu der relativen Änderung der Gesamtkosten benutzt werden:

$$\alpha_s := \frac{\frac{\Delta D}{D}}{\frac{\Delta K}{K}} = \frac{\Delta D}{D} \cdot \frac{K}{\Delta K} = \frac{\Delta N}{N} \cdot \frac{K}{\Delta K} \quad (49)$$

Steigen die relativen Kosten geringer als die Größe des Netzes wird $\alpha_s > 1$, damit existieren economies of size. Betrachtet man die einzelnen Flugrouten einer Fluggesellschaft als verschiedene Produkte, so sind die economies of size als economies of scope auf Basis einer Betrachtung der Elemente des Netzwerks zu interpretieren.

Feenstre hat ausgehend von einem Ansatz multiplikativ verknüpfter Potenzfunktionen mittels Kalibrierung die economies of density und economies of size für große US-amerikanische Netzwerkfluggesellschaften berechnet. Als Ansatz für die Kosten, K , in Abhängigkeit von der Passagierzahl, N , der Größe des Netzwerks, D , der mittleren Streckenlänge, $\bar{s}$, dem mittleren Ladefaktor, $\bar{l}$, dem Lohntarif, K_L , dem Ölpreis, $p_{öl}$, den Kapital- und Materialkosten, K_{cm} und dem Fehlerterm, u , ergibt sich analog den Gleichungen (2) und (31)¹¹³:

$$K = b_0 \cdot N^{b_1} \cdot D^{b_2} \cdot \bar{s}^{b_3} \cdot \bar{l}^{b_4} \cdot K_L^{b_5} \cdot p_{öl}^{b_6} \cdot K_{cm}^{b_7} \cdot \exp(u) \quad (50)$$

Auch wenn der Potenzfunktionsansatz den Vorteil einer guten Kalibrierbarkeit und einer einfachen Interpretation aufweist, ist er hier dennoch axiomatisch nicht begründet. Dies ist vor allem bei den Größen, die selbst Kostenanteile sind und daher intuitiv eher linear eingehen sollten, von Nachteil. b_0 bis b_7 sind Konstanten, die durch Kalibrierung bestimmt werden, für die Bestimmung der economies of density und der economies of size sind vor allem b_1 und b_2 von Bedeutung. Feenstre beruft sich bei der Auswahl der Funktionenschar auf die Cobb-Douglas Funktion und erhält für die Konstanten: $b_1 \approx 0,836$, $b_2 \approx 0,131$, $b_3 \approx -0,135$, $b_4 \approx -0,277$, $b_5 \approx 0,356$, $b_6 \approx 0,166$ und $b_7 \approx 0,478$. Wie erwartet liegen alle Exponenten zwischen minus eins und eins, was eine weniger als lineare Ab-

¹¹³ UCDavis2002 15.

hängigkeit der Kosten von den auftretenden Einflussvariablen anzeigt. Ein negativer Wert für b_3 zeigt, dass für eine Fluggesellschaft kürzere Flugentfernungen höhere Kosten bedeuten. Für eine geeignete Interpretation wären der Vergleich und die Korrelation mit der veränderten Nutzungsdauer der Flugzeuge und der entsprechenden Produktivitätsänderung wichtig. Erst unter Berücksichtigung dieser Größen wird eine intensivere Interpretation möglich. Kürzere Flüge bedeuten, dass für eine Gesamtmenge in Passagierkilometern bei gleicher Kapazität und gleichem Ladefaktor mehr Starts und Landungen nötig sind. Dies verursacht höhere Kosten, gleichzeitig impliziert eine kürzere Flugdauer aber auch die Möglichkeit einer höheren Produktivität der Flugzeuge, da so mehr Flüge pro Flugzeug an einem Tag erreichbar sind, ein Effekt, der die Kosten der Fluggesellschaft reduziert. Ein höherer Ladefaktor bewirkt geringere Kosten, dies ist wie erwartet und erklärt das Vorzeichen von b_4 . Die Terme für die Lohn-, Öl-, Material- und Kapitalkosten sollten intuitiv additiv in eine solche Gleichung eingehen. Da sie aber ein Teil der Gesamtkosten K sind, liegt der Wert ihrer Exponenten zwischen null und eins und ist dabei umso höher, je größer ihr Anteil an den Gesamtkosten ist. Kapital- und Materialkosten sind in ihrer Summe von größerer Bedeutung als die Lohnkosten, die wiederum wichtiger sind als die Treibstoffkosten.

Wird das Netzwerk in seiner Größe bei identischer Veränderung der Gesamtstromdichte geändert, lässt sich Gleichung (50) vereinfachen:

$$K = a \cdot N^{b_1} \cdot D^{b_2} \quad (51)$$

a ist hier eine Konstante, aufgrund der identischen Änderung der Netzwerkgröße und der Gesamtstromdichte wird als Maß der returns in size das Inverse der Summe von b_1 und b_2 definiert. Dies liefert hier $r_{si} \approx 1,034$ und liegt damit sehr nahe an eins. Ein solcher Zusammenhang ist plausibel: Eine Erhöhung der Stromdichte macht eingesetzte Produktionsfaktoren¹¹⁴ produktiver und senkt damit die durchschnittlichen Kosten für einen Passagierkilometer.

Die economies of size berücksichtigen nur organisatorische Vorteile nicht aber die eigentliche Feederfunktion der Flüge. Eine Steigerung des Gesamtaufkommens durch zusätzliche Flüge hat hier nicht den Vorteil einer höheren Nachfrage bei den anderen Relationen. Damit sind die economies of size für einen Netzwerkcarrier - für den Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Stromdichten durch Umstiegsverkehr große Bedeutung zukommt - kein optimales Maß bei der Frage, ob die Einführung einer weiteren Strecke sinnvoll ist. Für Direktverbindungsnetzwerke, wie bei den Billigfluggesellschaften, zeigt

sich jedoch, dass ein Wachstum durch Hinzufügen weiterer Strecken besonders gut überdacht sein muss und daher praktisch nur solche Strecken auszuwählen sind, die für sich profitabel sind oder zumindest die angestrebten Managementvorgaben erfüllen.

1.4.4. Kundenbindungsprogramme

Im Bereich des Personenluftverkehrs hat die Einführung eines Bonusprogramms zur Erhöhung der Kundenloyalität große Auswirkung auf die Wahlentscheidung der Kunden zwischen konkurrierenden Fluggesellschaften für die gleiche Relation und damit auch für die Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Fluggesellschaften. Für die Prognose routenspezifischer Passagierzahlen ist daher sowohl die Bedeutung der Kundenbindungsprogramme für die Wahlentscheidung entsprechend ihrer Attraktivität sowie die Menge der diese nutzenden Personen von großer Bedeutung.

Historisch entstanden die Kundenbindungsprogramme nach der Deregulierung des amerikanischen Luftverkehrsmarkts von 1978 durch ein Programm von American Airlines aus dem Jahre 1981, das eine Reduktion des Preises um 50 \$ für alle Passagiere anbot, die mit dieser Fluggesellschaft mehr als fünf Flüge tätigen. Andere amerikanische Fluggesellschaften zogen mit ähnlichen Angeboten nach. In Europa begann dieser Prozess aufgrund der verzögerten Deregulierungsmaßnahmen später. British Airways führte ihr Kundenbindungsprogramm im April 1991 ein, Lufthansa und andere Fluggesellschaften folgten kurz danach. Der wichtigste Unterschied zwischen den Kundenbindungsprogrammen der amerikanischen und europäischen Fluggesellschaften ist eine auf die Business-Kunden fokussierte, eingeschränkte Nutzung der Kundenbindungsprogramme in Europa.

Mittlerweile funktionieren die meisten Programme nach dem gleichen Prinzip: Man erhält als Passagier abhängig von der Länge des Flugs und der gewählten Klasse Bonuspunkte, die innerhalb eines begrenzten Zeitraums über mehrere Flüge aufsummiert zur Verbesserung des Services oder Preises bis hin zu einem Gratisangebot bei einem zukünftigen Flug, einem Mietauto oder einer Hotelnutzung eingelöst werden können. Hierbei ist eine zunehmende vertikale und horizontale Integration unterschiedlicher Unternehmen zu beobachten. Aufgrund bestehender Kooperationen zwischen verschiedenen Fluggesellschaften, beispielsweise in den Allianzen¹¹⁵ (näheres dazu im Abschnitt 1.7), und anderen Dienstleistern, wie Autovermietern, Hotels, Golf- oder Sportanlagen werden die Kundenbindungsprogramme, sowohl was die Möglichkeiten des Punktesammelns, als auch des Benutzens betrifft, auf ein zunehmend größeres Angebot ausgedehnt. Einige Fluggesellschaften haben gar Hotels gekauft und sich an Mietwagenunternehmen beteiligt, jedoch ist diese Strategie aufgrund des geringen Synergiepotentials, der Schwierigkeit, ein umfassendes Angebot für den Geschäftsreisenden anzubieten, und der

¹¹⁴ Sterzenbach 1999, 71ff.

erhöhten Komplexität des Management eines heterogenen Unternehmens nicht erfolgreich gewesen¹¹⁶. Die strategische Partnerschaft hat sich daher in diesen Fällen einer Beteiligung als überlegen erwiesen. Auf diese Art und Weise soll ein Anwachsen der Loyalität der Kunden zu den Fluggesellschaften erreicht werden. Mit Hilfe des eigenen Bonusprogramms wird angestrebt, ein Wechseln des Kunden zu der eigenen Fluggesellschaft zu erreichen und diesen möglichst vollständig an diese zu binden¹¹⁷. Dies setzt voraus, dass das angebotene Bonusprogramm attraktiver ist als konkurrierende und ein mit zunehmender Reisezahl überproportionaler Nutzen auftritt¹¹⁸, da ansonsten die meisten Passagiere eine Mitgliedschaft in mehreren Kundenbindungsprogrammen gleichzeitig anstreben würden und damit der Hauptnutzen für die Fluggesellschaften verloren ginge. Dies hat zur Folge, dass besonders die Fluggesellschaften profitieren, welche die Möglichkeit haben, möglichst viele verschiedene Relationen zu attraktiven Konditionen anzubieten, die also über ein entsprechend großes Netzwerk verfügen¹¹⁹, dass die Möglichkeit der Reise zu vielen verschiedenen Destinationen anbietet.

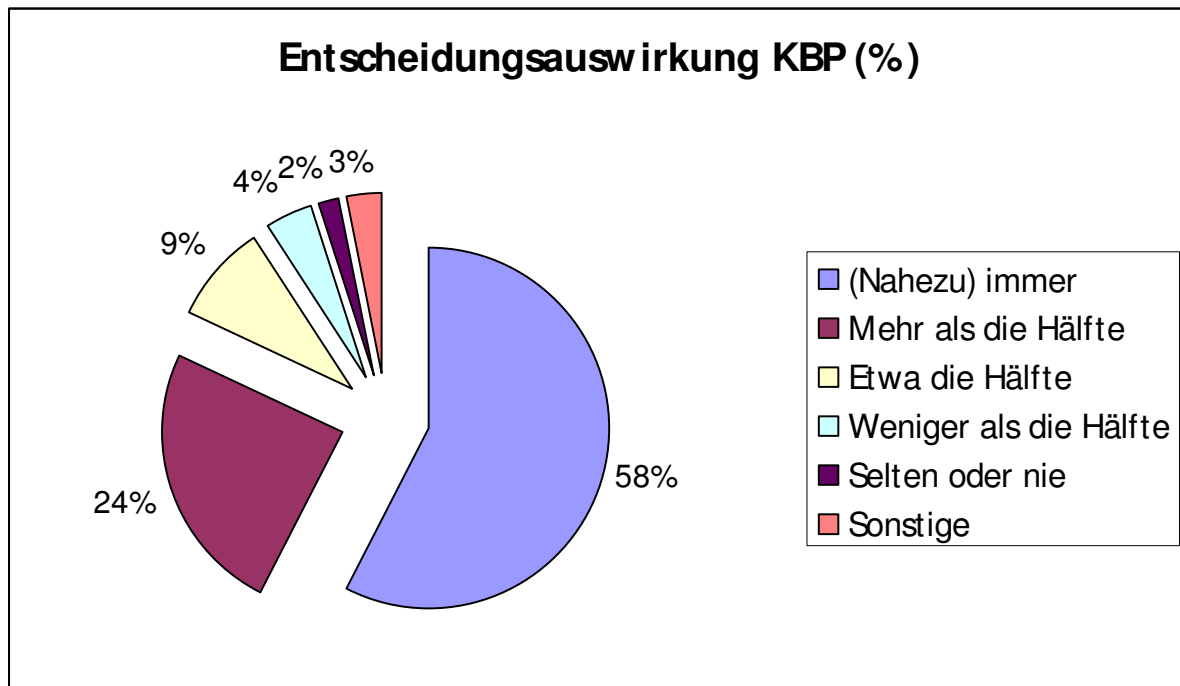


Abb. 27: In den meisten Fällen ist die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Kundenbindungsprogramm von entscheidender Bedeutung für die Auswahl alternativer Angebote durch einen Geschäftsreisenden. Für 58% der Geschäftsreisenden ist sie nahezu immer ausschlaggebend, für über 90% ist sie es in mindestens 50 Prozent der Fälle. [Quelle: Hanlon1996, 49., Table 3.2, hier dargestellt als Kreissegmentgrafik]

Aufgrund der hohen Anzahl an nötigen Flügen innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls sind die meisten Mitglieder eines Kundenbindungsprogramms Geschäftsreisende. Diese sind für die Fluggesellschaft

¹¹⁵ Mterminal2002 1.

¹¹⁶ Jarillo2003 237ff.

¹¹⁷ Jürs2002b 8.

¹¹⁸ Hanlon1996 47f.

¹¹⁹ Storm2001 378.

ten besonders attraktiv, weil sie häufig reisen und weniger preissensitiv sind und damit für die Fluggesellschaften höhere Erlöse liefern.

Wie Abbildung 27 zeigt, ist durch die Mitgliedschaft in einem Kundenbindungsprogramm für mehr als die Hälfte der Geschäftsreisenden die Auswahl der Fluggesellschaft im vorhinein festgelegt. In diesem Fall beschränkt sich die Wahl des Angebots auf die Auswahl des Zeitpunkts des Flugs, der Flugklasse sowie der einmal zu treffenden Vorauswahl des attraktivsten Kundenbindungsprogramms. Für über 90 Prozent der Geschäftsreisenden ist eine ausschlaggebende Beeinflussung der Wahl der Fluggesellschaft durch das Kundenbindungsprogramm für mindestens die Hälfte aller Flüge gegeben. Dennoch sind Kundenbindungsprogramme für die Fluggesellschaften auch ein relativ teures Marketingkonzept. Die Kosten sind aber dadurch begrenzt, dass viele der angesammelten Bonuspunkte unbenutzt bleiben.

Gegenwärtig sind die Kundenbindungsprogramme umstritten. Grund dafür ist, dass häufig geschäftlich erworbene - und bezahlte - Vergünstigungen eines Kundenbindungsprogramms privat genutzt werden¹²⁰. Dies führt dazu, dass einige Gruppen aus politischen oder wettbewerbsrechtlichen Gründen entweder für die Abschaffung von Kundenbindungsprogrammen, für eine Eingrenzung der Nutzung oder für die Parallelisierung von privaten und gewerblichen Kundenbindungsprogrammen eintreten. Aus Wettbewerbssicht sind die Kundenbindungsprogramme tendenziell wenig erwünscht, da sie die großen Fluggesellschaften mit ihren ausgeprägten Netzwerken bevorteilen und Markteintrittsbarrieren erhöhen¹²¹. Daher gibt es in Nordamerika und Europa den Wunsch, die Möglichkeit zur Benutzung der Kundenbindungsprogramme zu verringern. Anders verhält sich dies im asiatisch-pazifischen Raum, dort ist mit einer zunehmenden Deregulierung auch mit einer erhöhten Benutzung von Kundenbindungsprogrammen zu rechnen.

1.4.5. Frequenzen

Wichtige Elemente einer Reise aus der Sicht des Kunden sind die Zeitaspekte. Aufgrund der wenig variablen Fluggeschwindigkeit der meisten Flugzeuge, werden diese von der Route, eventuell nötigen Umsteigevorgängen, Verspätungen und der Häufigkeit, Positionierung und Abstimmung der einzelnen Flüge beeinflusst. Damit ist die angebotene Frequenz - oder genauer das zur Verfügung stehende Set an möglichen Reisezeiten - ein bedeutendes Element eines jeden Reiseangebots.

Die Häufigkeit mit der ein bestimmter Flug angeboten wird, hat hierbei Einfluss auf die Übereinstimmung des angebotenen Reise- oder Startzeitpunkts mit dem gewünschten Reise- oder Startzeitpunkt¹²². Aber auch wenn der Reisende so flexibel ist, dass diesem Aspekt keine größere Bedeutung zukommt,

¹²⁰ Jürs2002a 19.

¹²¹ FAZ2002b 189f.

¹²² Janic1997 177f.

interessiert ihn dennoch seine gesamte Flugreisedauer, t_r . Diese enthält die Zeit zum ein- und auschecken, t_c , die plangemäße Flugdauer, t_f , die Umsteigezeit, t_u , die Wartezeit, t_w , und die eventuelle Verspätungsdauer, t_d .

$$t_r = t_c + t_f + t_u + t_w + t_d \quad (52)$$

Die tatsächliche Reisedauer von Tür zu Tür, t_j , beinhaltet zusätzlich noch die Anreisezeit zum Flughafen und die Abreisezeit vom Flughafen, in Summe t_a :

$$t_j = t_r + t_a \quad (53)$$

Bei einem Direktflug ist $t_u = 0$, bei einem Umsteigeflug setzt sich die Flugdauer, Wartezeit und Verspätung aus ihrer Summe der einzelnen Flüge, i , zusammen¹²³:

$$t_f = \sum_i t_{f,i} \quad \text{und} \quad t_w = \sum_i t_{w,i} \quad \text{und} \quad t_d = \sum_i t_{d,i} \quad \text{und} \quad t_u = \sum_{i=1} t_{u,i} \quad (54)$$

Für die Gesamtumsteigezeit, t_u , ist über einen Term weniger zu summieren. Eine Fluggesellschaft hat Einfluss auf die Ein- und Auscheckzeit. Die Wahl des Fluggeräts und der angebotenen Route, bestimmt durch die Lage des Hubs, determiniert die Flugdauern. Die Wartezeiten werden durch die angebotenen Frequenzen und deren Abstimmung aufeinander beeinflusst, die Umsteigedauer durch die Effektivität und Geschwindigkeit der Vorgänge am Umsteigeort, und die Verspätungsdauer ist, neben weiteren Größen, von der Überlastung des Umsteigeflughafens abhängig. Der Standort des Flughafens ist maßgeblich für die An- und Abreisezeit.

Diese Möglichkeit der Fluggesellschaft, ihr Gerät effektiv einzusetzen, und gleichzeitig die Wartedauer und damit den Komfort für den Kunden zu erhöhen, wird auch bei den Netzwerkfluggesellschaften zunehmend wahrgenommen. So hat beispielsweise die Lufthansa begonnen, verbesserte Daten über ihre Aktivitäten am Flughafen aufzunehmen, um damit die Grundlage für eine Verbesserung ihrer Boden-

¹²³ Aharoni2002 6.

prozesse zu erreichen¹²⁴. Dies wird dazu führen, dass auch bei den Netzwerkcarriern die Bodenprozesse weiter beschleunigt und damit Wartezeiten in Zukunft tendenziell kürzer werden und der Auslastungsgrad steigt. Allerdings sind bei der Minimierung der Vorgangsdauern der Bodenvorgänge prinzipielle Grenzen gesetzt, die in der Menge an Operationen, die durchgeführt werden müssen, und der Verzögerung durch die Bündelung von Verkehrsströmen, die vor allem bei den Netzwerkcarriern anfallen, begründet sind.

Ausgehend von einer Gleichverteilung der Ankunftszeiten der Passagiere und einem periodischen Flugangebot für eine Strecke mit der Periodenlänge von t_b ergibt sich die durchschnittliche Wartezeit,

$\bar{t}_w$:

$$\bar{t}_w = \frac{t_b}{2} \quad (55)$$

In Wirklichkeit verfügen aber die Kunden in aller Regel über eine Vorinformation bezüglich der planmäßigen Abflugszeit und werden von sich aus daran interessiert sein, ihre Wartezeit möglichst zu verringern. Dies führt dazu, dass ihre tatsächliche durchschnittliche Wartezeit geringer sein wird, da sie nicht gleichverteilt am Flughafen ankommen werden. Allerdings ist es möglich, dass sie am Ankunftsort zu einer bestimmten Zeit sein möchten, dann würde dort eine entsprechende Wartezeit auftreten.

Im Falle der Billigfluggesellschaften sind die meisten Flüge Direktflüge und werden in regelmäßigen Intervallen geflogen, dann ist die entsprechende Gesamtreisedauer:

$$t_j = t_a + t_c + t_f + t_w + t_d \quad (56)$$

Häufig benutzen die Billigfluggesellschaften Flughäfen, die etwas ungünstig bezüglich der Nachfrage liegen, aber geringe Gebühren verlangen und wenig überfüllt sind. Da es sich um Direktflüge handelt, tritt keine Umsteigezeit auf und die Flugdauer ist für die gewählte Relation gering. Dies hat zur Folge, dass unter den Zeitaspekten t_a und t_w die größte Bedeutung haben. So kann eine unglückliche Lage der Start- und Zielflughäfen eine lange und eventuell unbequeme An- und Abreise zum und vom Flughafen zur Folge haben. Neben der Wahl der Flughäfen ist zusätzlich noch die durchschnittliche Wartezeit und damit die Dauer zwischen zwei Flügen von großer Bedeutung für die Dauer der Reise. Eine Billigfluggesellschaft

¹²⁴ Theis2002 225ff.

sellschaft wird deshalb in der Regel versuchen, zu geringen Preisen mit einer hohen Auslastung ein oder mehrere zeitlich versetzte Flugzeuge eine Relation hin und herfliegen zu lassen.

Abbildung 28 zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf zweier Flugzeuge auf einer Relation. Das erste Flugzeug startet (roter Kreis) zu Beginn am Flughafen A, fliegt von dort zum Flughafen B, benötigt eine gewisse Zeit bis zum nächsten Start und fliegt dann wieder zurück zum Flughafen A. Zeitlich versetzt beginnt das zweite Flugzeug (grüner Kreis) seine Reise am Flughafen B und pendelt anschließend zwischen A und B hin und her. Die Anzahl auf einer Relation eingesetzter Flugzeuge, o , bestimmt das Intervall zwischen zwei Flügen:

$$t_b = \frac{2(t_f + t_g)}{o} \quad (57)$$

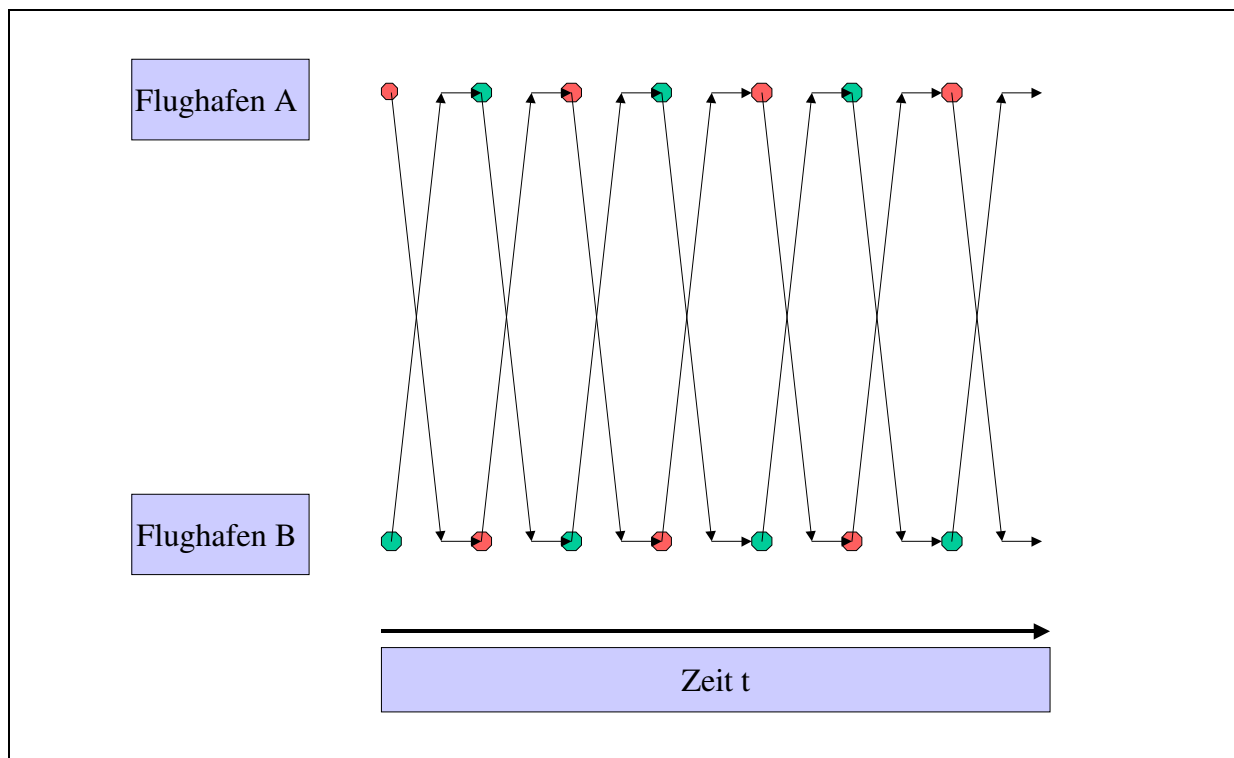


Abb. 28: In einem Direktflugnetz, wie bei den Billigfluggesellschaften häufig anzutreffen, fliegen die Flugzeuge häufig zwischen zwei Flughäfen hin und her (Hier dargestellt für zwei Flugzeuge, welche die Relation parallel bedienen). Rote Kreise entsprechen den Starts des einen, grüne denen des anderen Flugzeugs. [Eigene Darstellung]

Neben der Anzahl der Flugzeuge und der Flugdauer ist auch hier die Zeit von Bedeutung, die ein Flugzeug auf dem Boden des Flughafens verbringt, t_g . Da die Flugdauer und die minimale Dauer des Flugzeugs am Boden nicht in größerem Maße beeinflusst werden können, versuchen die Fluggesellschaften die Anzahl der eingesetzten Flugzeuge auf einer Relation möglichst hoch zu wählen. Wirtschaftlich-

keitsaspekte erzwingen aber eine hohe Auslastung der Flugzeuge, was aufgrund der nur begrenzten Nachfrage nach den Reisen zur Folge hat, dass hauptsächlich kleine bis mittelgroße Flugzeuge eingesetzt werden. Benutzt man zusätzlich noch eine homogene Flugzeugflotte, ist es möglich, Flugzeuge bei Bedarf zu kombinieren oder zu tauschen. So ist beispielhaft in Abbildung 28 dargestellt, dass beide Flugzeuge am Ende des Intervalls am jeweils anderen Flughafen befindlich sind. Handelt es sich um gleiche Flugzeuge, hat dies keinen Belang. Auch andere Synergien ergeben sich im Kostenbereich, wie Wartung, Ausbildung, etc. durch eine homogene Flugzeugflotte und bei Berücksichtigung der Austauschmöglichkeiten im gesamten Streckennetz.

Wesentlich anders verhält es sich bei den großen Netzwerkfluggesellschaften. Bei diesen sind die meisten Reisen mit ein- oder mehrmaligem Umsteigen verbunden. Im Falle eines einmaligen Umsteigens, was vor allem für die kontinentalen Flüge zutrifft, ergibt sich für die Gesamtreisedauer:

$$t_j = t_a + t_c + t_{f,1} + t_{f,2} + t_u + t_{w,1} + t_{w,2} + t_{d,1} + t_{d,2} \quad (58)$$

In aller Regel ist die An- und Abreisezeit zum/vom Flughafen hier geringer als bei den Direktfluggesellschaften. Dafür treten zwei Flugdauern auf, sollte die geographische Lage des Hubs aber nicht sehr ungünstig in bezug auf die gewählte Relation sein, dürfte die höhere Gesamtflugdauer nicht erheblich über der des entsprechenden Direktflugs liegen. Im Gegensatz zu diesem tritt aber eine Umsteigezeit auf, die prinzipiell nicht vermieden werden kann, aber durch gute Organisation möglichst gering gehalten wird. Ähnliches trifft für die Wartezeit auf den Anschlussflug zu. Bei einer guten Synchronisation der Flüge fällt diese nur gering aus. Ein Vorteil des Hubs ist die hohe Frequenz zu den verschiedenen Destinationen, was dazu führt, dass die Wartezeiten relativ gering ausfallen¹²⁵.

Abbildung 29 zeigt eine Darstellung der üblichen zeitlichen Folge der Wellen eines europäischen Hubs. Dieser versucht eine optimale Bündelung und Synchronisation der Flugströme zu erreichen. Kurzstreckenflüge werden aufgrund des geringeren Umfangs zu größeren Einheiten und damit in einer geringeren Frequenz gebündelt als die Langstreckenflüge. Ankünfte am Hub sind als rote, Abflüge als grüne Pfeile dargestellt. Ein kontinuierlich arbeitender Hub mit sehr vielen Wellen benötigt eine besonders hohe Menge an Passagieren und tritt vor allem an großen Flughäfen wie in Atlanta auf¹²⁶.

Einfacher stellt sich dies beim interregionalen Hub dar. Dort existiert nur eine geringe Menge an Kurzstreckenflügen, was dazu führt, dass lediglich die Langstreckenflüge aufeinander abgestimmt werden

¹²⁵ Janic1997 177ff.

¹²⁶ Dennis2000 75ff.

müssen. Ein oder mehrmals täglich, je nach Nachfragemenge, kommen erst sämtliche eingehenden Flüge und etwas verzögert beginnt folgend die Welle der ausgehenden Flüge. Dies wiederholt sich periodisch.

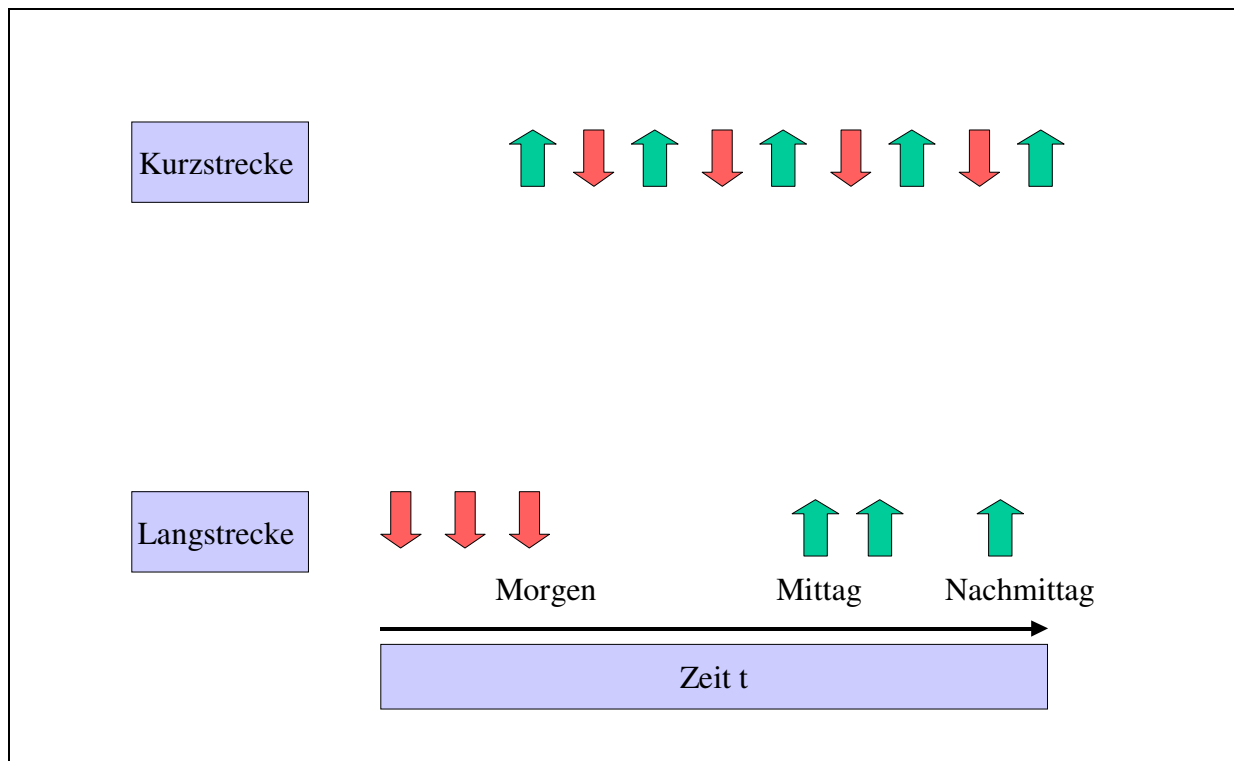


Abb. 29: Ein typischer (europäischer) Hub erhält morgens eine Welle von Passagieren aus dem Langstreckenbereich und bietet selbst solche Starts um einige Stunden verspätet mittags an. Anders ist es im Kurzstreckenbereich, hier wechselt (zumeist stündlich) die Eingangs- und Ausgangswelle am Flughafen. [Quelle: Hanlon1996 114., Figure 5.1]

Besonders wichtig für die Attraktivität des Hubs in bezug auf die zeitliche Komponente ist die geographische Lage relativ zur betrachteten Relation, die im ungünstigen Fall zu einem großen Umweg führen kann, die Synchronisation der Flüge, die einen wichtigen Einfluss auf die Wartezeiten hat, und die Größe des Flughafens, der mit zunehmender Passagierzahl mehr Flüge und damit höhere Frequenzen anbieten kann. Generell sind aber die zwei Flugdauern im Vergleich zu einer beim Direktflug und die Umsteigezeit nicht vermeidbar. Ein Passagier, der eine kurze Reisezeit anstrebt, wird deshalb den Direktflug vorziehen. Ein solcher, der möglichst genau zu einem bestimmten Zeitpunkt ankommen möchte, wird häufig das Angebot mit vielen Frequenzen vorziehen. Dies erklärt schon, warum gerade sehr zeitsensible Geschäftsreisende im Falle eines Direktflugangebots geringer Frequenz lieber den Umweg über den Hub wählen.

1.5. Nachfrageentwicklung

Wie in Abschnitt 1.1.2 beschrieben, existiert eine starke Wechselwirkung zwischen der ökonomischen Entwicklung und der Menge beruflich motivierter Reisen. Berücksichtigt man neben der wirtschaftlichen Entwicklung der Quell- und Zielregionen der Reise noch die Rahmenbedingungen für Austausch auf internationaler politischer, sozialer und ökonomischer Ebene unter der Beachtung der Entwicklung des Transportmittels selbst, so kann die allgemeine Entwicklung der Geschäftsreisen durch ihre Korrelation zum Bruttosozialprodukt der Quell- und Zielregionen gut abgeschätzt werden.

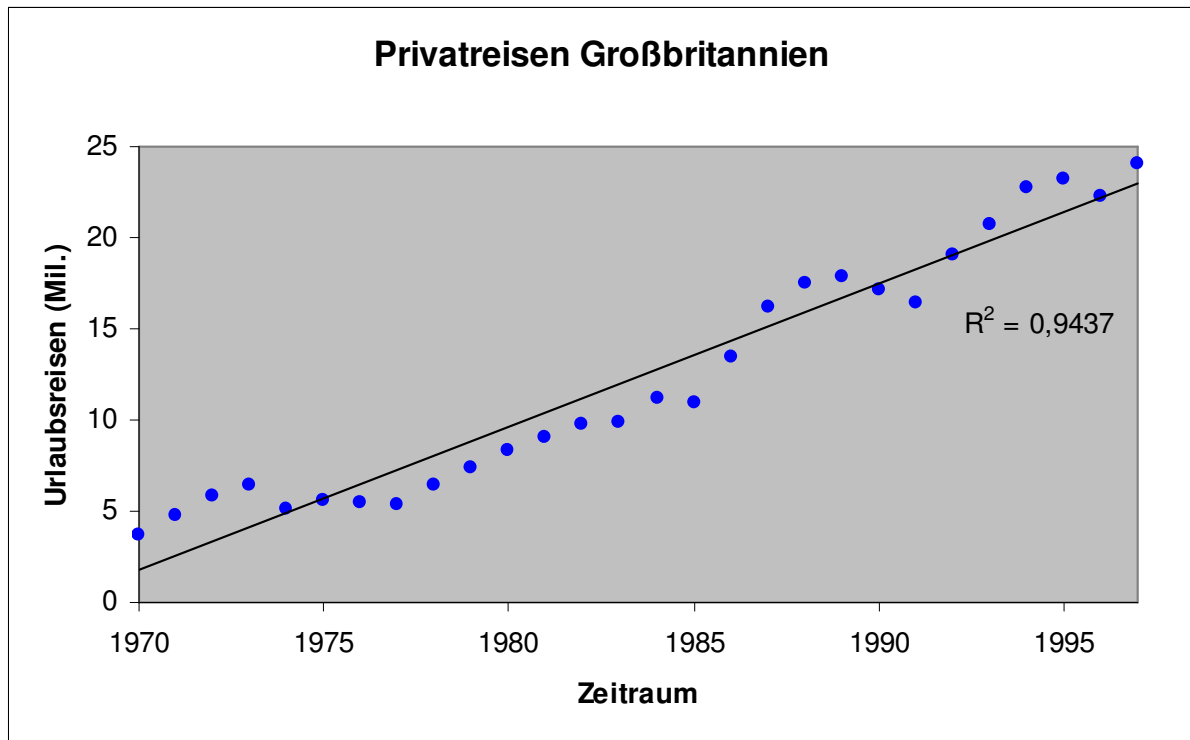


Abb. 30: In den Jahren von 1970 bis 1997 stieg die Nachfrage nach Privatreisen in Großbritannien nahezu linear um etwa 0,79 Mil. Reisen pro Jahr. Auffällig ist eine zyklische Schwankung und das letzte Tief 1991, im Jahr des Golfkriegs. Eine Sättigung des Markts ist noch nicht zu erkennen. [Datenquelle: Graham2000 113, Fig.1, selbstständige Einfügung einer linearen Regression]

Anders verhält sich dies beim internationalen Tourismus, hier ist die Einkommensentwicklung des Reisenden, wie im Abschnitt 1.1.3 erläutert, gerade auch relativ zu der Entwicklung der Preise und Serviceleistungen wesentlichster Einflussfaktor der Reishäufigkeit im Flugverkehr. Graham geht von einer Abhängigkeit der Passagierzahlen im Privatreisebereich, N_p , in Form einer Potenzfunktion aus¹²⁷:

$$N_p = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot \dots \cdot x_n^{b_n} \cdot \exp(u) \quad (59)$$

b_0 ist hier eine Konstante größer gleich Null, x_1 bis x_n stellen die n berücksichtigten Einflussvariablen dar, die mit den entsprechenden Potenzen b_1 bis b_n einfließen und u wird als Fehlerterm bezeichnet. Ein Einfluss des Preises konnte nicht nachgewiesen werden, Haupteinflussvariable war vielmehr das Einkommen, In :

$$N_p = a \cdot In^b \quad (60)$$

a und b sind auch hier wieder Konstanten, wobei a - genau wie b_0 in Gleichung (59) - größer oder gleich Null ist. Zusätzlich ist eine Abhängigkeit von a von der Bevölkerungszahl, B , zu erwarten:

$$a \propto B \quad (61)$$

Kalibrierung lieferte für den Privatflugreisemarkt Großbritanniens in den Jahren 1970 bis 1998 $b \approx 2,42$ und für die Jahre von 1984 bis 1998 ein geringeres $b \approx 2,15$. Diese Werte liegen deutlich über eins und werden in Zusammenhang mit der Potenzfunktion als Anzeichen dafür gewertet, dass der Markt des Privatflugreiseverkehrs noch nicht im Stadium der Sättigung ist, sich diesem aber annähert¹²⁸. Dennoch ist die Wahl der Potenzfunktion und die Definition des Einkommens als einziger Variable axiomatisch nicht leicht begründbar.

Aharoni erwähnt die sich verändernde Altersstruktur als wichtige Komponente der Nachfrage der Privatreisenden¹²⁹. Gerade die Zunahme der Lebenserwartung in den entwickelten Ländern führt zu einer Erhöhung der Nachfrage nach Privatreisen aber auch zu einer Veränderung der Gewichtung einzelner Reiseziele.

Wie Abbildung 30 zeigt, ist eine Sättigung im privat motivierten Luftverkehr, hier am Beispiel Großbritanniens, nicht oder nur sehr begrenzt zu erkennen. Dieses Ergebnis dürfte, da Großbritannien als Inselstaat eine historisch und geographisch bedingte höhere Nachfrage nach Luftverkehr aufweist, erst

¹²⁷ Graham2000 113f.

¹²⁸ Graham2000 114f.

¹²⁹ Aharoni2002 5.

recht für Deutschland gelten. Über den dargestellten Zeitraum von 1970 bis 1997 kann von einem nahezu konstanten linearen Wachstum von etwa 0,79 Millionen zusätzlichen Reisen pro Jahr ausgegangen werden.

International existiert in den Vereinigten Staaten eine sehr ausgeprägte Nutzung des Luftverkehrs, die neben dem hohen Einkommen und Bruttosozialprodukt pro Kopf auch mit der geographischen Größe des Landes zu begründen ist. Aus ähnlichen Gründen ist das Luftverkehrsaufkommen pro Kopf auch im australischen Raum, in Japan und Großbritannien sehr hoch. Tendenziell werden für die Entwicklung der Nachfrage folgende Elemente von großer Bedeutung sein:

- Das Anwachsen des Anteils des Flugverkehrsaufkommens des asiatisch-pazifischen Raums relativ zu dem anderer Regionen und Relationen.
- Die zunehmende Sättigung des Luftverkehrsmarkts in Nordamerika und (West)Europa.
- Eine Erhöhung des touristisch oder allgemein privat motivierten Anteils an Flugreisen.
- Eine Zunahme der durchschnittlichen Flugstreckenlänge.

Betrachtet man das Flugaufkommen eines Landes oder einer beliebig ausgewählten Region, so kann die Anzahl der transportierten Personen, $N(\Delta t)$, innerhalb eines Zeitintervalls Δt aufgeschlüsselt werden:

$$N(\Delta t) = B(\Delta t) \cdot r(\Delta t) \cdot \bar{h}(\Delta t) \quad (62)$$

Üblicherweise wird hierfür das über ein Zeitintervall von einem Jahr agglomerierte Aufkommen benutzt. $B(\Delta t)$ entspricht der mittleren Bevölkerungszahl in diesem Intervall, $r(\Delta t)$ ist die Rate an Personen aus dieser Gruppe, die innerhalb dieses Zeitraums mindestens eine Flugreise getätigt haben und $\bar{h}(\Delta t)$ deren durchschnittliche Häufigkeit einer Flugreise innerhalb des Zeitraums. Vereinfachend wird häufig für die zeitliche Entwicklung innerhalb eines einigermaßen homogenen Raums die für die Nachfrageentwicklung nach Produkten übliche S-förmige Nachfragekurve benutzt, auch wenn diese im Falle des Luftverkehrs zumeist um den abnehmenden Teil der Nachfrage nach Sättigung des Markts und bei beginnender Substitution reduziert ist^{130 131}. Möchte man methodischer die Entwicklung der regionalen

¹³⁰ Pavaux 1995 63ff.

¹³¹ Hanlon 1996 11f.

Nachfrage vorhersagen, ist eine nach den Reiseanlässen getrennte Betrachtung der drei verschiedenen Einflussgrößen Bevölkerungswachstum, Durchdringungsrate und mittlere Flughäufigkeit nötig.

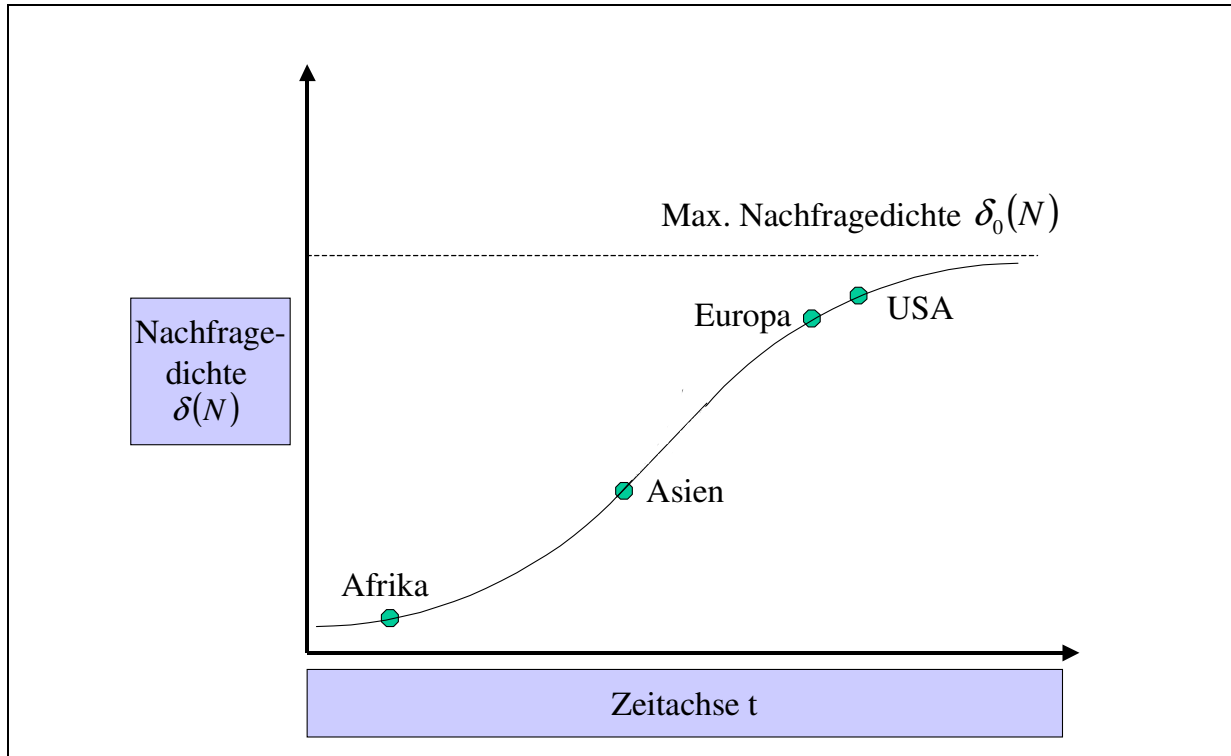


Abb. 31: Die Nachfragedichte ist in den USA und Europa in einem Bereich, der bereits einem hohen Sättigungsgrad entspricht. In Asien fallen die Zuwachsraten, hier entsprechend der ersten Ableitung der Nachfragedichte nach der Zeit, momentan und in den nächsten Jahren am höchsten aus. [Quelle: Hanlon1996 12., Figure 2.3, Pavaux1995 73., Figure 3.9]

In der westlichen Welt, also Nordamerika, Europa, Japan und Australien, ist nur von einem geringen Bevölkerungswachstum auszugehen, anders verhält es sich in Asien, wo ein überdurchschnittliches Bevölkerungswachstum existiert und sich in näherer Zukunft weiter fortsetzen wird. Die Durchdringungsrate ist in den USA in einer Größenordnung von etwa knapp 40%, in Europa bei etwa 30% der Bevölkerung. Ein großer Anstieg ist hier nicht zu erwarten¹³². Anders verhält sich dies in Ländern wie China, wo zunehmende Prosperität sowohl im geschäftlichen wie im privaten Bereich zu einer höheren Durchdringung vor allem der städtischen Bevölkerung mit Flugreisen führt.

Schwieriger vorherzusagen ist gerade in den eher gesättigten Märkten das Wachstum der durchschnittlichen Flughäufigkeit, da hierbei sowohl die zu einer Steigerung des privaten Flugreiseanteils führende zunehmende Freizeit¹³³ wie höhere Löhne einen gemäßigten Anstieg auch in diesen Ländern ermöglichen. Abbildung 31 zeigt international vergleichend die aktuelle Nachfragedichte $\delta(N(\Delta t))$ für unterschiedliche Regionen. Diese ist hierbei definiert als die durchschnittliche Luftreisehäufigkeit je Person:

¹³² Graham2000 112ff.

¹³³ Hanlon1996 13ff.

$$\delta(N(\Delta t)) := \frac{N(\Delta t)}{B(\Delta t)} = r(\Delta t) \cdot \bar{h}(\Delta t) \quad (63)$$

Es zeigt sich, dass Nordamerika und Europa bereits eine hohe Häufigkeit an Flugreisen je Person aufweisen, aber in Asien aufgrund der geringen Sättigung des Markts und des überdurchschnittlichen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums ein hohes regionales Wachstum im Flugverkehr auftreten wird.

1.6. Netzwerke

Ein Flugangebot setzt sich aus der Angabe einer Relation mit einem Set verschiedener Eigenschaften, wie der Route, dem Preis- und Serviceaspekten zusammen. Es beinhaltet die Wahl von Flughäfen als Start-, Umsteige- und Zielorte und einer (oder mehrerer) Fluggesellschaften zur Beförderung. Eine Beschränkung des Flugangebots entsteht sowohl durch die begrenzten Möglichkeiten der Flughäfen wie der Fluggesellschaften. In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die Netzwerke der Fluggesellschaften aussehen, wie sich diese entwickelt haben und in Zukunft weiter entwickeln werden. Eine weiterführende Betrachtung der Netzwerke von Allianzen wird im Abschnitt 1.7 vorgenommen.

Ein Flugroutennetzwerk lässt sich darstellen durch die Angabe seiner Knoten als Quellen und Senken des Luftverkehrs und die Angabe seiner existierenden Verbindungen sowie deren Frequenz. Für die Flughäfen lässt sich analog Gleichung (7), Abschnitt 1.2.2, folgende Kapazitätseinschränkung der Anzahl an Starts S_{FH} und Landungen L_{FH} machen:

$$S_{FH} \leq \frac{C_{FH}}{2} \quad \text{und} \quad L_{FH} \leq \frac{C_{FH}}{2} \quad (64)$$

Für die Beschränkung der maximalen Anzahl an Flügen einer Fluggesellschaft innerhalb eines Zeitraums, Δt , gilt ohne Berücksichtigung der wechselseitigen Implikationen des Netzwerks auf die maximal durchführbare Frequenz:

$$\Delta t \cdot \sum_i \sum_j f_{ij} \leq C_{Fg} \quad (65)$$

f_{ij} beschreibt die Frequenz der Fluggesellschaft vom Flughafen i zum Flughafen j während des Zeitintervalls Δt . C_{Fg} ist die maximale Fluganzahl der Fluggesellschaft innerhalb dieses Zeitraums. Diese ist genau betrachtet abhängig von der gewählten Netzwerkstruktur, lässt sich aber generell angeben als Summe der maximalen Anzahl an Starts $\hat{S}_F$ aller nutzbaren Flugzeuge:

$$C_{Fg} := \sum_F \hat{S}_F \quad (66)$$

Wie Abbildung 20, Abschnitt 1.4.1 zeigt, steigt die Starthäufigkeit der Flugzeuge in einer Größenordnung von etwa 1 bis 2 Prozent pro Jahr.

Kapazitätsprobleme bei Flughäfen lassen sich häufig nur maßgeblich durch Ausbau der Start- und Landebahnen verringern. Eine Erhöhung der Kapazität einer Fluggesellschaft geschieht hauptsächlich durch eine Erweiterung der genutzten Flugzeuganzahl, also durch den Erwerb und die Nutzung zusätzlicher Flugzeuge.

In Abschnitt 1.6.1 werden die wichtigsten Fluggesellschaften und Flughäfen aufgeführt, um so einen ersten Eindruck über die Zentren und die Struktur des aktuellen globalen Luftverkehrsnetzes zu gewinnen. Im Abschnitt 1.6.2 wird das Konzept der Hub and Spoke Netzwerke, dass in Folge der zunehmenden Deregulierungsprozesse entstand, am einfachsten Beispiel eines Monohubs dargestellt. Kompliziertere Multihubstrukturen werden im Abschnitt 1.6.3 besprochen, erweiterte Betrachtungen zu weltweiten Strukturen der Allianzen finden dann Platz im folgenden Abschnitt 1.7. Während die Netzwerke früher vor allem viele Direktverbindungen angeboten haben, ist diese Struktur heute nur noch selten, vor allem bei den Billiganbietern, zu finden, siehe Abschnitt 1.6.4.

1.6.1. Fluggesellschaften und Flughäfen

RANG	FLUGHAFEN	INTERNATIONALE PASSAGIERE (Mio./Jahr)
1	London Heathrow	53,147
2	Paris Charles De Gaulle	34,362
3	Frankfurt	34,161
4	Amsterdam Schiphol	33,762
5	Hong Kong International	27,209
6	London Gatwick	26,300
7	Singapur Changi	22,523
8	Tokio Narita	21,670
9	Brüssel	18,393
10	New York J. F. Kennedy International	17,750

Tab. 1: Im Jahre 1998 lagen die vier Flughäfen mit den meisten internationalen Passagieren weltweit in Europa. Drei der zehn wichtigsten internationalen Flughäfen sind im asiatisch-pazifischen Raum und J.F.K ist weltweit auf Platz 10 liegend der größte u.s.-amerikanische Flughafen. [Quelle: FS2000a, Ranking of the TOP 10 onzl. Airports]

In Folge der Deregulierung haben sich die Struktur und Eigenschaften der Fluggesellschaften und ihrer Netzwerke verändert. Neben Tendenzen wie veränderten Netzwerkstrukturen, der Bildung von Allianzen, Beteiligungen an anderen Fluggesellschaften und sonstige Kooperationen haben sich auch die

Fluggesellschaften selbst geändert. Besonders auffällig ist ein Konzentrationsprozess bei den großen Netzwerkcarriern, der auch momentan noch anhält.

Tabelle 1 zeigt, dass der mit Abstand wichtigste Flughafen im internationalen Luftverkehr, also ohne Betrachtung von Inlandsverkehr, weltweit London Heathrow ist. Dieser hat im Jahre 1998 mehr als 53 Millionen internationale Passagiere befördert. Die folgenden Flughäfen sind die von Paris, Frankfurt und Amsterdam und liegen sämtlich in Westeuropa. Erst auf dem 5. Rang folgt der erste asiatische Flughafen, Hongkong, und auf dem 10. Rang der größte amerikanische, New York J. F. K.. Dies zeigt, dass im internationalen Luftverkehr die großen europäischen Flughäfen die größte Bedeutung haben. Amerikanische Flughäfen haben dabei eine geringere internationale Passagierzahl vorzuweisen, da sich der Luftverkehr auf mehr Flughäfen aufteilt und hierbei der intensive inländische Flugverkehr unberücksichtigt bleibt. Ganz anders verhält es sich daher, wenn man die meistgenutzten Passagierflughäfen weltweit betrachtet, also zusätzlich auch inländischen Flugverkehr mit einbezieht.

RANG	FLUGHAFEN	PASSAGIERE (Mio./Jahr)
1	Atlanta Hartsfield International	73,474
2	Chicago O` Hare International	72,485
3	Los Angeles International	61,215
4	London Heathrow	60,660
5	Dallas Fort Worth International	60,483
6	Tokio International (Haneda)	51,241
7	Frankfurt	42,716
8	San Francisco International	40,060
9	Paris Charles De Gaulle	38,629
10	Denver International	36,831
11	Amsterdam Schiphol	34,420
12	Miami International	33,935
13	Newark International	32,512
14	Phoenix Sky Harbour International	31,769
15	Detroit Metro Wayne County	31,544
16	New York J. F. Kennedy International	31,436
17	Houston G. Bush Intercontinental	31,026
18	Minneapolis St. Paul International	30,348
19	Las Vegas MC Carran International	30,227
20	Seoul Kimpo International	29,429

Tab. 2: Im Jahr 1998 lagen die drei Flughäfen mit den meisten Passagieren (national und international) in den USA. Der passagierreichste europäische Flughafen war London (Rang 4 weltweit), der Asiens Tokio (Rang 6 weltweit). [Quellen: FS2000b, Ranking of the TOP 100 Airports]

Dann sind wie in Tabelle 2 dargestellt, die größten Flughäfen Atlanta und Chicago O` Hare mit im Jahre 1998 über 73, respektive über 72 Millionen Passagieren pro Jahr. Drittgrößter Flughafen ist Los Angeles. Somit liegen die drei passagierreichsten Flughäfen der Welt in den USA, je einer an der Westküste

(Los Angeles), einer an der Ostküste (Atlanta) und einer im Innenland (Chicago). Der größte europäische Flughafen ist auch in diesem Falle London Heathrow auf Rang 4, der größte asiatische Tokio auf Rang 6, der aufgrund der zusätzlichen Binnennachfrage insgesamt mehr Passagiere abfertigt als Hongkong oder Singapur.

RANG	FLUGGESELLSCHAFT	RPM (Mrd./Jahr)
1	United Airlines	128,880
2	American Airlines	116,515
3	Delta Airlines	107,782
4	Northwest Airlines	79,101
5	British Airways	73,877
6	Continental Airlines	62,314
7	Lufthansa German Airlines	58,516
8	Air France	57,044
9	Japan Airlines	55,296
10	US Airways	46,827
11	Singapore Airlines	43,991
12	Air Canada	42,380
13	Southwest Airlines	42,230
14	Qantas Airways	39,455
15	KLM Royal Dutch Airlines	37,489
16	All Nippon Airways	36,067
17	Cathay Pacific Airways	29,266
18	Thai Airways International	26,245
19	Alitalia	25,240
20	Korean Air	25,146

Tab. 3: Im Jahre 2000 waren die vier Fluggesellschaften mit den meisten belegten Passagiermeilen us-amerikanische. Die größte europäische Fluggesellschaft ist British Airways (Rang 5 weltweit), die größte asiatische Japan Airlines (Rang 9 weltweit). [Quellen: AWST2002 331.]

Ähnlich verhält es sich mit den Fluggesellschaften. Hier ist eine Einteilung gemäß der Anzahl beförderter Passagiere N oder unter zusätzlicher Berücksichtigung der zurückgelegten Kilometer nach Passagiermeilen (RPM), PKP , möglich. Die Abhängigkeit dieser beiden Darstellungen im Zeitraum Δt lässt sich beschreiben durch:

$$PKP(\Delta t) := \sum_i \sum_j s_{ij} \cdot C_F(i, j, \Delta t) \cdot S_F(i, j, \Delta t) \cdot \bar{l}(i, j, \Delta t) \quad (67)$$

s_{ij} ist der zurückzulegende Weg vom Flughafen i zum Flughafen j . $\bar{l}$ beschreibt die mittlere Auslastung des betrachteten Flugzeugtyps auf der Relation im entsprechenden Zeitraum. Dies lässt sich noch umschreiben und man erhält den einfachen Zusammenhang zwischen der Personenzahl und PKP :

$$PKP = \bar{s} \cdot N \quad (68)$$

$\bar{s}$ ist definiert als die gewichtete mittlere Flugstrecke der betrachteten Fluggesellschaft. Tabelle 3 zeigt, dass vor diesem Hintergrund United Airlines mit im Jahre 2000 über 128 Milliarden Passagierkilometern die größte Fluggesellschaft der Welt ist. Die nächstgrößeren Fluggesellschaften sind American, Delta und Northwest. Damit sind die vier größten Fluggesellschaften us-amerikanisch. British Airways auf Rang 5 ist die größte europäische und Japan Airlines auf Rang 9 die größte asiatische Fluggesellschaft.

1.6.2. Monohubnetzwerke

Für Fluggesellschaften ist es heute vielfach sinnvoll, einen oder mehrere Flughäfen, die besonders günstig bezüglich der nachgefragten Routen liegen und entsprechende Mindestkapazitäten aufweisen, zu zentralen Flughäfen zu machen. Diese Flughäfen dienen als Umsteigezentrum und sammeln so die Nachfrage. Dies hat den Vorteil, dass die Anzahl an nötigen Verbindungen für möglichst viele Relationen viel geringer wird als in einem nicht zentralisierten Netzwerk mit vielen Direktverbindungen und ermöglicht es so, viele Verbindungen mit relativ hohen Frequenzen kostengünstig anzubieten.

Ein Hub and Spoke Netzwerk ist wirtschaftlicher¹³⁴ und macht geringere Tarife möglich. In wie weit dies auch auf Direktflüge ausgehend vom Hub oder hin zum Hub übertragbar ist, wird von verschiedenen Studien unterschiedlich bewertet. Hauptnachteile sind die starke Belastung der zentralen Flughäfen, die daher verhältnismäßig schnell ihre Kapazitätsgrenze erreichen, und der Umsteigevorgang des Passagiers am Hub, der lieber direkt vom Start- zum Zielflughafen reisen würde. Die Benutzung einer Hub and Spoke Netzwerkstruktur mit vielen Destinationen setzt allerdings einen größeren organisatorischen Aufwand und entsprechende Infrastruktur voraus, dies führt dazu, dass Fluggesellschaften mit einer solchen Netzwerkstruktur relativ hohe (Fix)Kostenstrukturen aufweisen¹³⁵.

Die einfachsten Hub and Spoke Netzwerke von Fluggesellschaften sind die mit einem Hubflughafen von dem ausgehend über die Spokes alle angebotenen Flughäfen zu erreichen sind. Diese Struktur existiert in zwei Ausprägungen, die von der geographischen Lage des Hubflughafens abhängig sind. Im Falle

¹³⁴ Dennis2000 75f.

¹³⁵ Bond2002b 55.

eines zentral gelegenen Hubs innerhalb eines Gebiets relativ hoher Nachfrage, bietet es sich an, einen Hub in der Mitte dieses Gebiet zu platzieren und von dort möglichst viele Flughäfen als Ziel- respektive Startflughäfen anzubieten. Abbildung 31 zeigt einen solchen zentralen Hub¹³⁶, der seine Hauptnachfrage regional generiert und sowohl Kurzstreckenziele (national), Mittelstreckenziele (kontinental) und Langstreckenziele (global) anbietet. Typische Umstände, die eine solche Struktur begünstigen, sind verhältnismäßig kleine, klar getrennte Einzugsgebiete mit einer hohen Nachfragedichte, wie sie bei kleinen und mittelgroßen Staaten mit einem hohen Bruttosozialprodukt und Einwohnerdichte auftreten, die möglichst zentral innerhalb eines größeren Gebiets hoher Nachfragedichte gelegen. Dies trifft vor allem auf die (nationalen) Flughäfen in London, Paris, Frankfurt, Amsterdam, Brüssel und Zürich zu. London, Paris und Frankfurt haben hierbei gegenüber den Flughäfen Amsterdam, Brüssel und Zürich Größenvorteile durch die erheblich höhere Bevölkerungszahl¹³⁷.

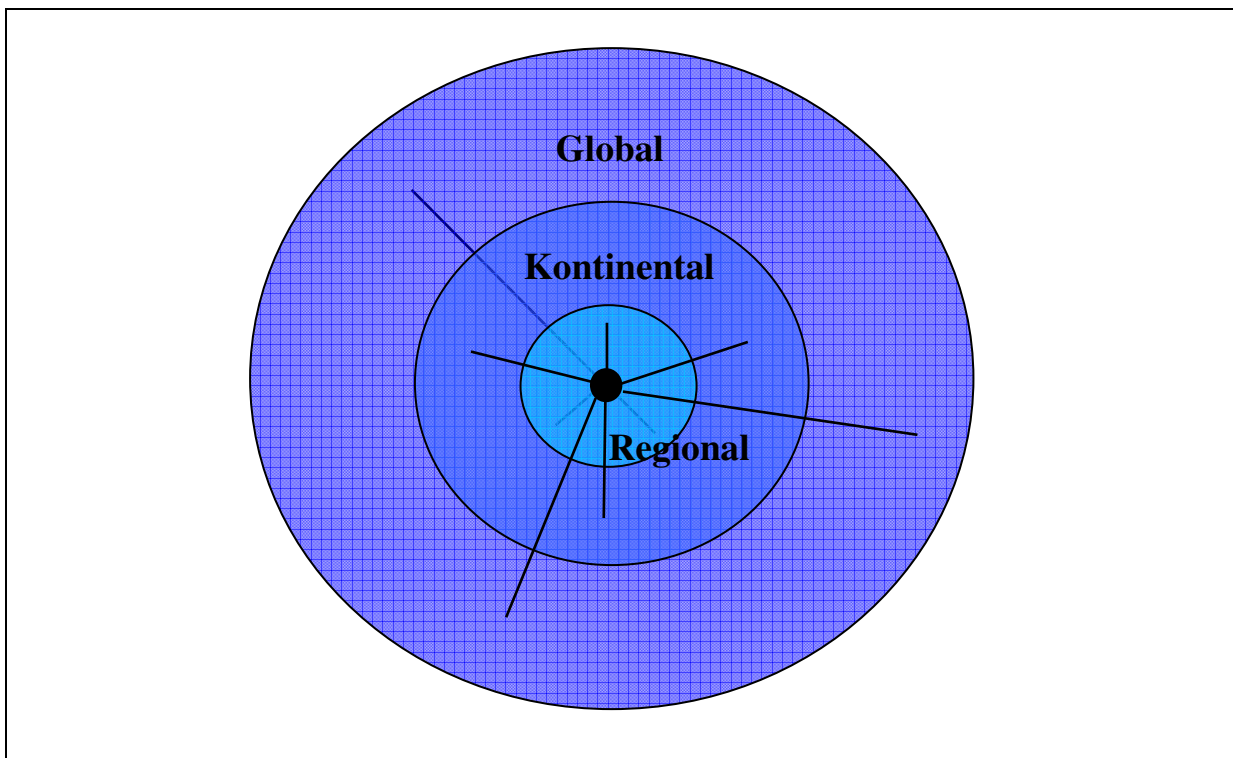


Abb. 32: Ein zentraler Hub bindet die regionale oder nationale Nachfrage (hellblau) als Umsteige- und Quellflughäfen und bedient regionale, kontinentale (mittelblau) und globale (dunkelblau) Destinationen. Analoges gilt für den internationalen Verkehr in die Region. [Eigene Darstellung]

Weniger zentral gelegene Flughäfen sind für regionale Nischenmärkte¹³⁸ oder als Element einer größeren Struktur mehrerer Hubs, wie im folgenden Abschnitt 1.6.3 genauer dargestellt, besser geeignet.

Frankfurt kann für die Lufthansa allerdings zunehmend weniger als einziger Hub gesehen werden, da seine Kapazitätsgrenze den Verkehr doch erheblich behindert. Dies hat dazu geführt, dass vor allem

¹³⁶ Hanlon1996 72f.

¹³⁷ Janic1997 169ff.

¹³⁸ Dennis2000 77f.

München, in Zukunft aber vielleicht auch noch der Großflughafen Berlin, einen zusätzlichen Hubstatus erreichen werden. Ein zentraler Hub hat die Möglichkeit D Destinationen mit gleich vielen Verbindungen A anzubieten:

$$A = D \quad (69)$$

Bei einer Anzahl von möglichen Flughafenpaaren W , inklusive der bei denen der Hub selbst ein Endpunkt der Reise ist, gilt:

$$W = \frac{D \cdot (D + 1)}{2} \quad (70)$$

Auf diese Art ist es möglich je Verbindung H Städtepaare miteinander zu verbinden:

$$H := \frac{W}{A} = \frac{D + 1}{2} \quad (71)$$

Damit ist ein zentrales Monohubnetzwerk bezüglich der Anzahl benötigter Verbindungen gerade für zunehmende Anzahlen von Zielen viel besser als ein Direktverbindungsnetz, welches einen Wert von $H = 1$ aufweist.

Neben einem zentralen Hub, den man auch bei vielen - vor allem national aufgestellten - Fluggesellschaften findet, existieren noch wichtige interregionale Hubnetzwerke. Bei diesen wird, wie in Abbildung 33 illustriert, vor allem der Verkehr zwischen zwei wichtigen Regionen hoher Nachfrage durch das Angebot eines auf dem Verbindungsweg liegenden Umsteigeflughafens gelenkt. Die Luftverkehrsnachfrage in der eigenen Region existiert, ist aber nur gering. Betrachtet man unter Berücksichtigung der Nachfrage der eigenen Region D_1 Destinationen im einen und D_2 im anderen Bereich ergibt sich für die Anzahl der benötigten Verbindungen:

$$A = D_1 + D_2 \quad (72)$$

Damit ist es möglich, erheblich mehr Flughafenpaare zu verbinden, als in einem Direktverbindungsnetzwerk:

$$W = D_1 \cdot D_2 + D_1 + D_2 \quad (73)$$

Die beiden additiven Terme am Ende der Gleichung ergeben sich durch die Relationen, bei denen der Hub selbst Ausgangs- oder Endpunkt der Reise ist. Als Wert für die Anzahl möglicher Städtepaare pro Verbindung ergibt sich bei dieser Netzwerkstruktur:

$$H = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2} + 1 \quad (74)$$

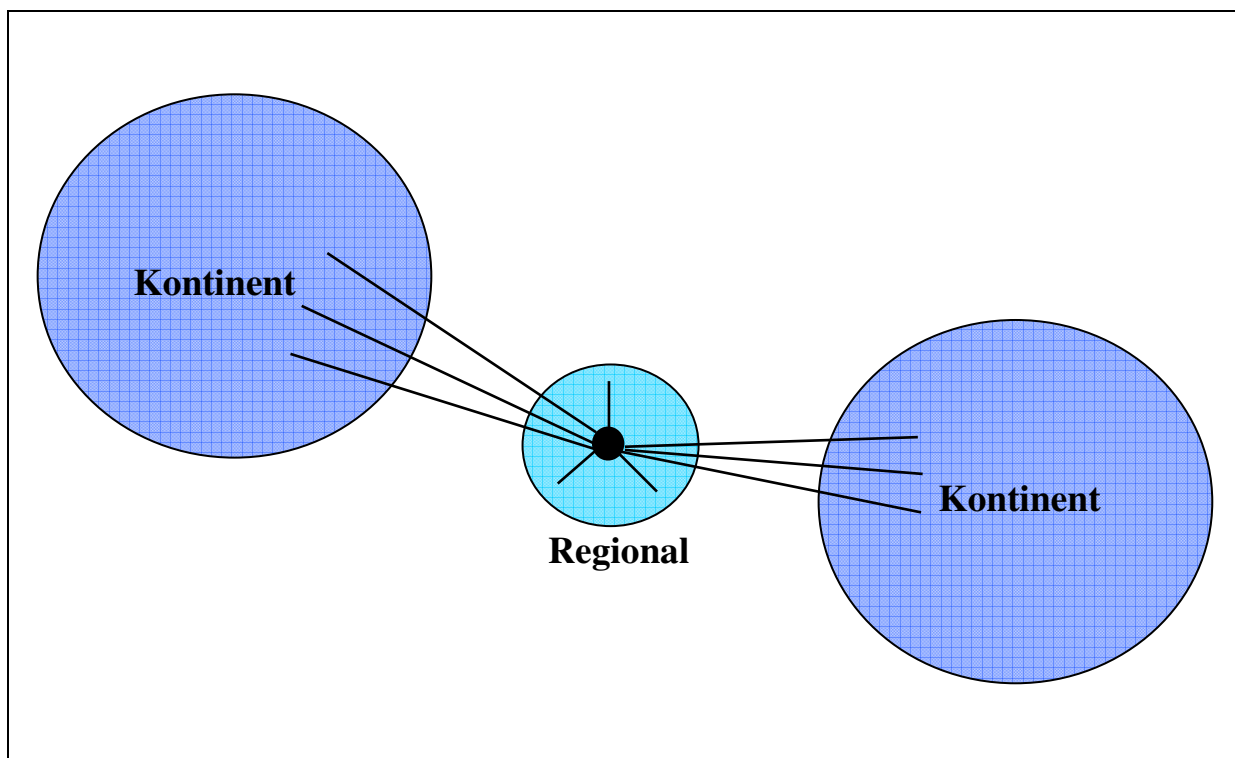


Abb. 33: Ein interregionaler Hub liegt innerhalb einer Region mit häufig nur geringer Nachfrage aber günstig auf der Verbindungslinie zwischen zwei großen Nachfrageregionen. Er ist damit ein idealer Umsteigeflughafen für den Flugverkehr zwischen diesen beiden großen Regionen. [Eigene Darstellung]

Im Falle eines nahezu symmetrischen Netzwerks mit $D_1 \approx D_2 := \frac{D}{2}$ vereinfacht sich dies zu:

$$H \approx \frac{D}{4} + 1 \quad (75)$$

Dieser Koeffizient entspricht ungefähr der Hälfte eines zentral gelegenen Hubs, wie in Gleichung (71) ermittelt.

Solche Flughäfen findet man in einem Gebiet geringer eigener Nachfrage zwischen zwei wichtigen Gebieten hoher Nachfrage. Typische Beispiele sind der Nahe Osten als Umsteigeregion zwischen Europa und Asien mit Saudi-Arabian, Emirates und Gulf Air als wichtigsten Fluggesellschaften. Ähnliches gilt für die asiatischen Stadtstaaten Singapur und Hongkong mit ihren jeweiligen Fluggesellschaften Singapore Airlines und Cathay Pacific¹³⁹.

Dennoch sind die Hubnetzwerkstrukturen einigen staatlichen Stellen ein Dorn im Auge. Üblicherweise wird argumentiert, dass die Ausbildung von Hubs zu einer Art Festung dazu führt, den Markteintritt anderer Fluggesellschaften zu behindern und damit gleichzeitig die Preise für Personen erhöht, deren Reise direkt am Hub beginnt oder endet¹⁴⁰. Allerdings ist diese Argumentation hoch umstritten und wird von den Fluggesellschaften im allgemeinen nicht geteilt.

1.6.3. Multihubnetzwerke

Nach der Deregulierung in den USA von 1978 hat sich dort beginnend das Hub and Spoke Netzwerk als die dominierende Netzwerkstruktur etabliert und stellt mittlerweile auch in den meisten anderen Regionen der Welt, wie Europa und Asien, die wichtigste Netzwerkstruktur der verschiedenen Fluggesellschaften dar. Dennoch ist ein einzelner Hubflughafen häufig nicht ausreichend. Prinzipiell lassen sich Multihubnetzwerke mit mehr als einem Hub unterteilen in solche mit einem relativ großflächigen, häufig nationalen Markt hoher Nachfragedichte und solchen in einem nur kleinflächigen Nachfragemarkt.

Innerhalb eines kleinen Gebiets macht es nur selten Sinn, mehrere Hubs zu errichten, da die Vorteile hoher Frequenzen und vieler Destinationen sich mit der Anzahl der Hubs verringern. Dennoch ist die Benutzung mehrerer Hubs in einigen Fällen angebracht. Mögliche Ursachen dafür können beispielsweise eine schwer herzustellende Verbindung der beiden Hubstandorte mittels eines anderen Transportmittels als dem Flugzeug oder das Erreichen der Kapazitätsgrenze an einem Hub sein, falls diese nicht schnell genug erhöht werden kann. Beispiele sind die beiden japanischen Hubs in Osaka und Tokio, die aufgrund des Multiinselcharakters Japans leistungsfähiger sind als ein Monohubnetzwerk und die Aufwertung weiterer nationaler Flughäfen zu einem sekundären und eventuell folgend zu einem gleichran-

¹³⁹ Solon2002c 6.

¹⁴⁰ Flint1998 1ff.

gigen Hub in Folge der Kapazitätsprobleme, wie dies beispielsweise gegenwärtig der Flughafen München in seinem Status für die Lufthansa vollzieht.

Dennoch sind die bedeutendsten Multihubnetzwerke jene in einem großflächigen Staat hoher Nachfragedichte. Wichtigstes Beispiel ist der größte nationale Luftverkehrsmarkt der Vereinigten Staaten. So weisen die vier größten Fluggesellschaften der Welt, wie sie in Tabelle 3, Abschnitt 1.6.1 aufgeführt worden sind, United, American, Delta und Northwest, alle ein Multihubnetzwerk mit mindestens zwei Hubflughäfen auf. Dies ist notwendig, weil die gesamte nationale Nachfrage zu einem möglichst hohen Teil von einer jeden dieser Fluggesellschaften prinzipiell bedient werden können sollte, was aufgrund der Größe des Landes und des begrenzten Einzugsbereichs eines Flughafens mit nur einem einzigen Flughafen nicht machbar wäre. Insofern stellen die Multihubnetzwerke dieser Fluggesellschaften den Kompromiss zwischen nötiger räumlicher Nähe zu der Nachfrage der Kunden und den Frequenz- und sonstigen Vorteilen der Hub and Spoke Netzwerke dar.

Ein gutes Beispiel für ein Multihubnetzwerk mit zwei Hubs, in einem geographisch großen Einzugsgebiet aber mit nur geringer Einwohnerdichte, ist Kanada. Air Canada hat einen Hub an der Westküste Nordamerikas in Vancouver, der international vor allem die Routen nach Asien bedient, und einen an der Ostküste in Toronto, das stärker landeinwärts liegt und deshalb geographisch attraktiver ist als Montreal, der bedeutend für die Flüge nach Europa ist. Bei der Konstruktion eines Multihubnetzwerks wird man diese so legen, dass:

- Kapazitätsprobleme möglichst ohne große Auswirkung bleiben.
- Die Orte der Hubflughäfen eine hohe Nachfragedichte aufweisen.
- Sich deren Einzugsgebiete nicht überlappen.
- Alle Hubstandorte möglichst zentral orientiert sind und somit als regionale Drehkreuze für die Achsen Nord-Süd und Ost-West fungieren können.

Eine Betrachtung der größten Flughäfen der Welt, wie in Tabelle 2, Abschnitt 1.6.1, weist als wichtigste Hubflughäfen in einem Multihubnetzwerk die Flughäfen Atlanta (für Delta Airlines) und Chicago (für United Airlines und American Airlines) aus. Auch wenn Los Angeles einen Flughafen mit sehr hohem Aufkommen aufweist, ist es dennoch ein hervorragendes Beispiel dafür, dass sogar ein Flughafen mit sehr hoher Nachfragedichte, wenn er zu peripher liegt, nicht als Hubflughafen genutzt wird¹⁴¹.

Abbildung 34 illustriert die Struktur eines Multihubnetzwerks beispielhaft mit zwei Flughäfen. Bei einer solchen Struktur ist es sinnvoll, die Lage der Flughäfen so zu wählen, dass beide für ihren jeweiligen Einzugsbereich relativ zentral liegen. Zwischen beiden Flughäfen sollte eine Flugverbindung hoher Fre-

quenz existieren, eine Funktion, die im Falle einer mittleren räumlichen Entfernung auch von einem Hochgeschwindigkeitszug übernommen werden könnte. Von beiden Hubflughäfen aus sind regionale Zubringerflüge zur Vergrößerung des Einzugsbereichs sowie entsprechend der geographischen Lage und der regionalen Nachfrage ausgewählte überregionale und globale Destinationen anzubieten.

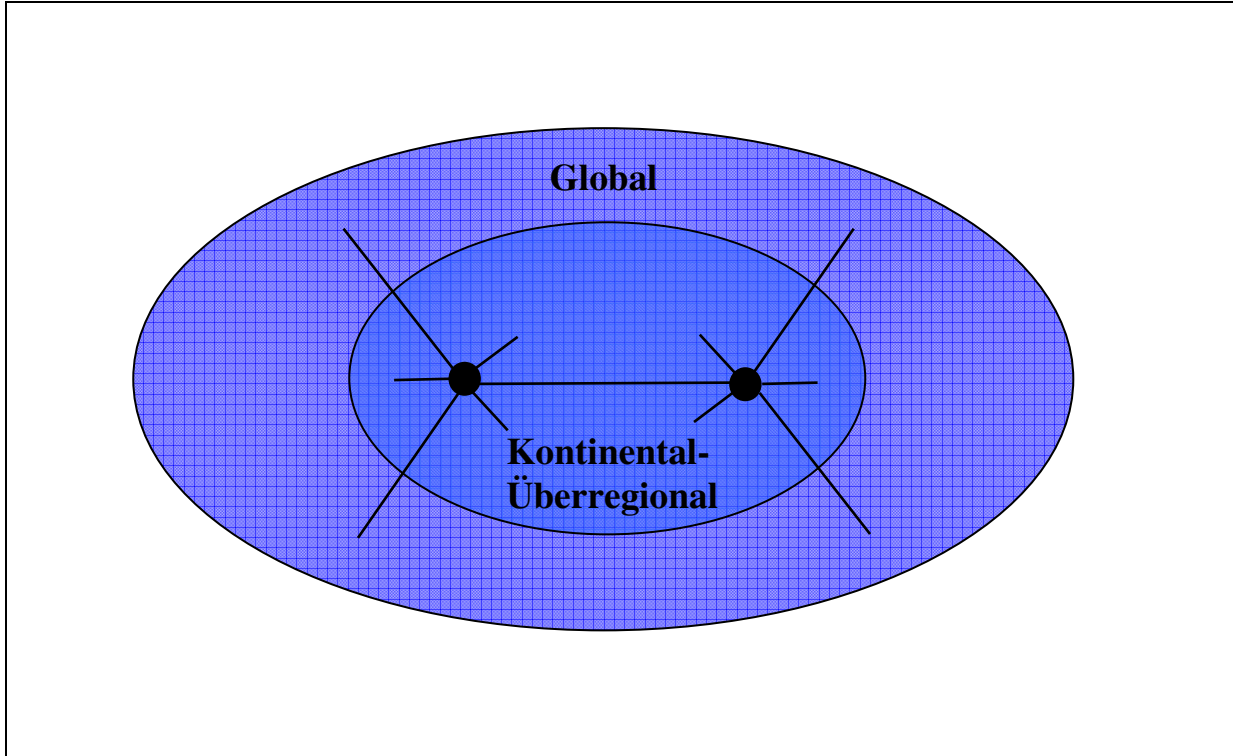


Abb. 34: Im Falle eines großen Gebiets mit hoher Nachfragedichte bietet sich die Einrichtung einer Netzwerkstruktur mit mehreren Hubs an, deren Einzugsgebiete sich möglichst wenig überlappen und gleichzeitig das Nachfragegebiet gut überdecken. Die Hubs sind miteinander verbunden und bieten Destinationen in ausgewählte regionale, kontinentale und globale Ziele an. [Eigene Darstellung]

1.6.4. Direktverbindungsnetze

Neben den großen Fluggesellschaften existieren die sogenannten Billigfluggesellschaften (Low Cost Carrier). Historisch kann 1971 als der Beginn der Billigfluggesellschaften angesehen werden, als Southwest Airlines noch vor der Deregulierung ein neues sehr preisorientiertes Konzept entwickelte. Nach der Deregulierung von 1978 entstanden in den USA viele weitere Billigfluggesellschaften, konnten sich aber nur selten im Markt etablieren. Heute ist Southwest der einzige große nordamerikanische Billigfluggesellschaft und lag im Jahre 2000 mit weiter aufsteigender Tendenz auf Rang 13 der weltweit größten Fluggesellschaften, wie Tabelle 3, Abschnitt 1.6.1 zeigt.

In Europa begann die Deregulierung etwa ein Jahrzehnt später mit der ersten Liberalisierungsstufe im Jahr 1988. Erster Billigfluggesellschaft in Europa war im Jahre 1991 die irische Fluggesellschaft Ryanair durch das Einführen sehr günstiger Preise für die Relation Dublin-London, die immerhin die internatio-

¹⁴¹ Levine1998 1.

nale Flugstrecke mit der weltweit höchsten Passagierzahl ist. Billigfluggesellschaften zeichnen sich dadurch aus, dass zumeist¹⁴²:

- Nur eine Klasse existiert.
- Kein oder wenig kostenloser Service, wie Nahrungsmittel oder Zeitungen, angeboten wird.
- Häufig ohne Flugscheine gereist werden kann.
- Keine Kundenbindungsprogramme existieren.
- Eine einheitliche Flotte benutzt wird, wobei besonders stark auf die Boeing 737 zurückgegriffen wird.
- Zumeist regionale Flughäfen benutzt werden.
- Relationen pendelnd hin und zurückgefliegen werden.

Diese Fluggesellschaften versuchen auf möglichst vielen Feldern Kosten zu sparen¹⁴³. Neben den vom Kunden direkt wahrnehmbaren Serviceaspekten umfasst dies auch Kosten gegenüber dem Flughafen, was einerseits häufig einem Discounttarif entspricht, aber auch dazu führt, dass ansonsten selten genutzte regionale Flughäfen benutzt werden, die nicht so gut an das allgemeine Verkehrsnetz angebunden sind, dafür aber auch nicht überfüllt sind und deren Slotvergabe nicht durch Großvaterrechte an die großen nationalen Fluggesellschaften blockiert ist.

Für das gesamte Routennetzwerk wird eine möglichst homogene Luftflotte benutzt, dies reduziert Trainings- und Wartungskosten und erhöht die Flexibilität beim Einsatz der Flugzeuge auf unterschiedlichen Strecken. Für das Flugangebot hat dies zur Folge, dass sehr günstige Preise¹⁴⁴ mit dafür wenig Serviceleistungen angeboten werden können. Ein weiterer Aspekt, der dafür sorgt, dass Southwest so erfolgreich ist - und der häufig bei der Analyse vernachlässigt wird -, besteht in dem besonderen Umgang mit seinen Mitarbeitern. Die Führungsspitze besteht nahezu komplett aus Personen der Gründungszeit und kennt das Unternehmen bereits seit etwa dreißig Jahren. Die Mitarbeiter werden besser bezahlt als bei konkurrierenden Unternehmen, gut ausgebildet und ausgewählt. Dies führt dazu, dass diese bei Southwest hochmotiviert sind und Fluktuationen in der Belegschaft geringer sind. So ist ein weiterer Grundstein gelegt, um mit motivierten Mitarbeitern Service nahe an den Kunden heranzubringen und eine hohe Effektivität der einzelnen Mitarbeiter zu erreichen¹⁴⁵.

¹⁴² FRBSF2002 4.

¹⁴³ Barrett2000 16ff.

¹⁴⁴ Janigan2001 2.

¹⁴⁵ Cordle2002 13.

Abbildung 35 zeigt, dass in Europa das Angebot der Billigfluggesellschaften stark ansteigt. Unklar ist, bis zu welchem Grade diese Entwicklung ausbaufähig ist und ob die großen Netzwerkcarrier durch entsprechende Maßnahmen diesen Prozess auch wieder umkehrbar machen können.

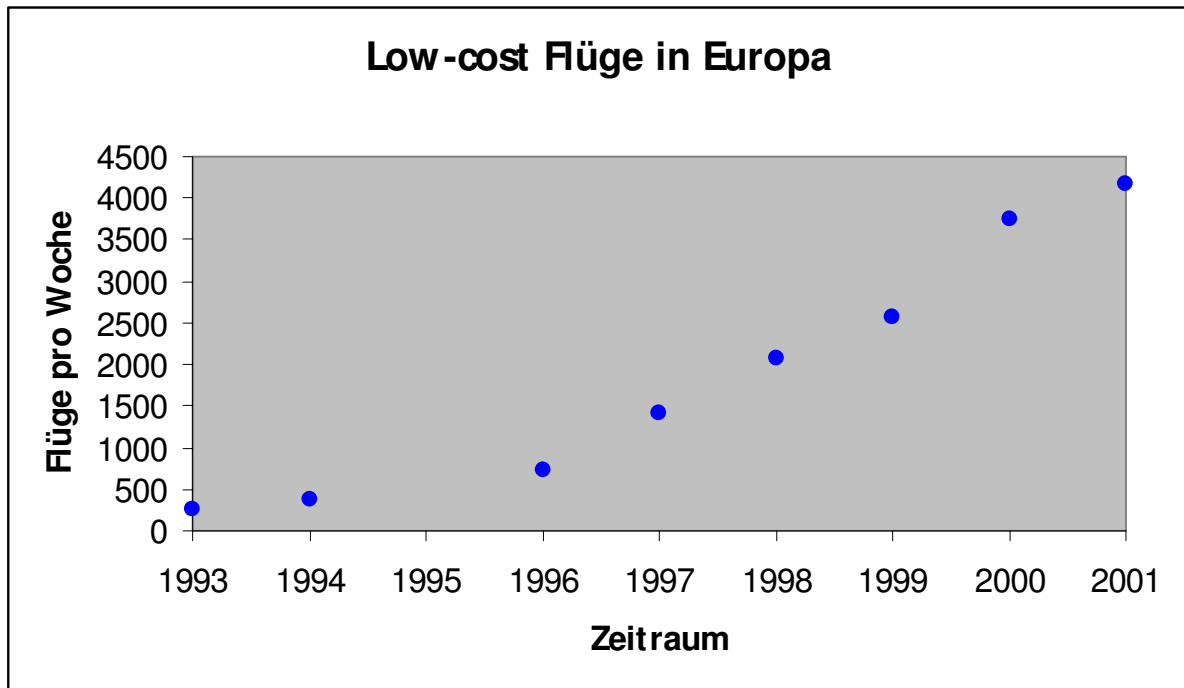


Abb. 35: Das Angebot der Billigfluggesellschaften in Europa hat sich seit etwa 1994 stark erhöht. So ist seit etwa 1996 eine jährliche Steigerung der Flughäufigkeit pro Woche von knapp 600 Flügen zu erkennen. [Quelle: Löffler2002 Anhang3.]

Auch wenn sich das zukünftige Verhältnis von Netzwerkcarriern und Billigfluggesellschaften nur schwer vorhersagen lässt, spricht die Marktkapitalisierung zur Zeit doch eine deutliche Sprache. So ist diese von Southwest, der Nummer 13 in Bezug auf die Menge der Reisen weltweit, siehe Tabelle 3, Abschnitt 1.6.1, höher als die der aktuell großen sieben us-amerikanischen Netzwerkcarrier zusammen¹⁴⁶. Dies spricht deutlich dafür, dass allgemein davon ausgegangen wird, dass das Billigpreiskonzept von Southwest in Zukunft weiter wirtschaftlich erfolgreich sein wird. Billigfluggesellschaften haben eine andere Betriebsvergangenheit und Unternehmenskultur, die es ihnen mittelfristig erlaubt, eine höhere Rentabilität als klassische Fluggesellschaften zu erzielen¹⁴⁷.

Hauptnachfrager der Billigfluggesellschaften sind Privatreisende und zunehmend auch preissensitive Teilbereiche der Geschäftsreisenden. Mittlerweile ist bereits etwa die Hälfte der Kunden der Billigfluggesellschaften Geschäftsreisende, deren Gruppe zunehmend Inhomogenitäten aufweist. So gibt es unter diesen einen für die Fluggesellschaften hoch attraktiven Teil, der bereit ist, zu hohen Preisen zu reisen und entsprechend hohen Service und attraktive Kundenbindungsprogramme erwartet. Zusätzlich

¹⁴⁶ Swelbar2002 10.

¹⁴⁷ Jarillo2003 55.

existiert aber auch ein wachsender Anteil, der es wünscht, zu einem günstigen Preis gerade kürzere bis mittlere Strecken zurückzulegen.

Sehr zeit- und servicesensible Geschäftsreisende werden nur im nahen Umfeld von Regionalflughäfen deren Angebote wählen, wenn ein konkurrierender Hubflughafen nicht weit entfernt liegt. Umgekehrt stellt sich dies bei den sehr preissensitiven Privatreisenden dar. Wie Abbildung 36 zeigt, fliegen nur Privatreisende in unmittelbarer Umgebung des Hubflughafens von diesem aus. Dies führt zu einer Unterteilung des Gebiets um zwei konkurrierende Flughäfen, wie beispielsweise Frankfurt/Main und Hahn, bei dem nur ein geringer Teil des dazwischen liegenden Gebiets eindeutig einem der beiden Flughäfen zuzuordnen ist. Tatsächlich wählen die meisten Reisenden je nach ihrer individuellen Zeit- und Preissensitivität einen bestimmten Flughafen aus.

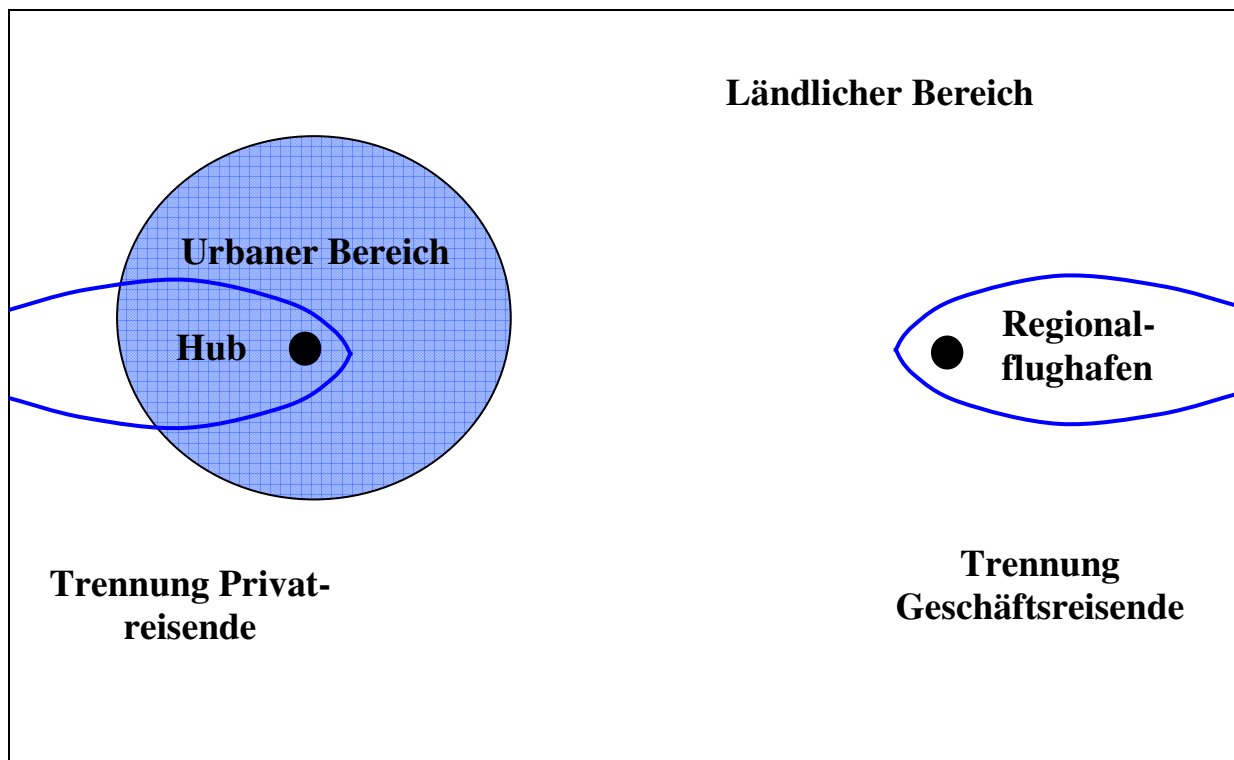


Abb. 36: Für einen großen stadtnah gelegenen Hubflughafen und einen ländlich gelegenen Regionalflughafen ergeben sich unterschiedliche Einzugsgebiete für Geschäfts- und Privatreisende. Links ist die Trennung des Einzugsbereichs für Privatreisende, rechts die für Geschäftsreisende angegeben. [Eigene Darstellung]

Billigfluggesellschaften treten nicht nur in Wettbewerb mit den Netzwerkcarriern sondern auch mit dem Zug und dem Auto. Eine Zunahme des Luftverkehrs im Billigflugbereich geht daher nicht nur auf Kosten der Netzwerkcarrier, sondern betrifft auch den Modal-Split, verringert also den Anteil an Bahn- und Autofahrten¹⁴⁸.

¹⁴⁸ Hartung2002b 55.

Daher führen Billigflugangebote zu einer Erhöhung der Gesamtflugmenge, während dies aus Wettbewerbssicht politisch gewollt ist, ist die Steigerung der Attraktivität des Luftverkehrs auf Kurzstrecken in Konkurrenz zum Bahnverkehr schon aus ökologischer Sicht politisch eher ungewollt.

FLUGGESELLSCHAFT	RPK (Mil.)	ÄNDERUNG RPK (%)	GEWINN (Mil.\$)
Southwest Airlines	67,966	+15,7	625,0
EasyJet	4,730	+79,4	34,4
Ryanair	4,656	+37,5	94,9
Virgin Express	4,016	-5,9	-60,1
Go	3,081	+51,0	4,1

Tab. 4: Vergleichend sind das Reisevolumen, seine Änderung sowie der Konzerngewinn im Jahre 2000 für die größte Billigfluggesellschaft der Welt, Southwest Airlines, und die bedeutendsten europäischen Gesellschaften dargestellt. Auffällig ist, dass die europäischen Fluggesellschaften eine viel geringere Größe aufweisen und bis auf die Gesellschaft Virgin Express alle großen Billigfluggesellschaften Gewinne erwirtschaften und gleichzeitig expandieren. [Quelle: AB2001a 62ff.]

1.7. Kooperationen und Allianzen

Auch im Luftverkehr hat sich gezeigt, dass es einen bedeutenden Effekt der economies of scale gibt¹⁴⁹ (siehe Abschnitt 1.4.3). Doch aufgrund der überdurchschnittlich hohen Regulierung des Luftverkehrsmarkts, der diesen noch immer zu hohen Teilen in nationale Märkte unterteilt, ist eine beliebige Vergrößerung der Fluggesellschaften nicht ohne weiteres möglich. So ist der Kauf oder die Fusion mit den existierenden nationalen Fluggesellschaften häufig praktisch oder gar rechtlich ausgeschlossen. Um dennoch Größenvorteile nutzen zu können, ist es in der Vergangenheit bereits zu begrenzten Fusionen und zur Bildung von Kooperationen gekommen. Die Fusionen bezogen sich hierbei im wesentlichen auf die nationalen Märkte vor allem der Vereinigten Staaten. Nachdem nach Beginn der Deregulierung die Fluggesellschaften anfangen, durch eine Umstrukturierung ihres Netzwerks zu einem Hub and Spoke Netzwerk und Fusionen eine gute Marktstellung zu erreichen, versuchen die so etablierten Fluggesellschaften durch vertikale, aber vor allem auch horizontale Kooperation mit anderen Fluggesellschaften, ihre Situation zu verbessern und zusätzliche Synergiepotentiale zu erschließen.

Im Jahre 1989 kam es zu der ersten global orientierten Allianz zwischen Northwest und KLM. Gegenwärtig haben sich, neben einigen regionalen Allianzen¹⁵⁰ und Kooperationen auf niedrigerem Niveau, vier global ausgerichtete Allianzen gebildet, wobei trotz der teilweise hohen Fluktuation der Mitglieder der Allianzen prinzipiell von einer strategischen Partnerschaft gesprochen werden muss.

Je nach Intensität der Allianz werden diese in verschiedene Varianten unterteilt. Wichtigste Kriterien der Unterscheidung sind die Menge der gemeinsam praktizierten und aufeinander abgestimmten Prozeduren, die Langfristigkeit der Kooperation, die Umkehrbarkeit der Teilnahme an der Allianz und die Intensität mit welcher der Name der Allianz als eigener (Marken)Name herausgehoben wird.

Die Hauptziele der Allianzen sind die Reduktion von Kosten¹⁵¹, eine Erhöhung der Reisemenge und eine Steigerung der Attraktivität des Angebots für Kunden. Die Allianzen sollen es ermöglichen, gemeinsame Kundenbindungsprogramme zu benutzen, abgestimmte globale Streckennetze und Flugzeiten anzubieten, die eine Fluggesellschaft derzeit unmöglich selbstständig bewältigen könnte, Code-sharing zu praktizieren, gemeinsam Tickets zu verkaufen, durch ihre Nähe im Terminal für den Kunden eine attraktivere Umsteigemöglichkeit zu bilden und gemeinsam Routen, Hubflughäfen oder CRS zu dominieren. Auch in den weiteren Bereichen, wie der Wartung der Flugzeuge, Training der Piloten und ähnli-

¹⁴⁹ Weber2000 51.

¹⁵⁰ Ott2002 63.

¹⁵¹ Stuart2001 80ff.

chem, ist ein Zusammenarbeiten und damit einhergehend eine eventuelle Kostenreduzierung möglich¹⁵².

Eine Studie von Cap Gemini, Ernst & Young und Airline Business ergab, dass aus der Sicht der entscheidenden Manager der Fluggesellschaften innerhalb einer Allianz die gemeinsame Produktdefinition die größte Bedeutung hat, gefolgt von gemeinsamen Kundenbindungsprogrammen und IT-Möglichkeiten sowie nachgeordnet einer Abstimmung des Scheduling. Andere Elemente sind von geringerer Bedeutung.

Für den Kunden hat dies zur Folge, dass eine globale Reise für ihn in der Regel mit einem Flug zum Hub im Startgebiet, einem Interhubflug zum Hub des Zielgebiets und einem von dort zum Zielflughafen verbunden ist. Der Vorteil eines solch umfangreichen Umsteigens ist die hohe Bündelung des Verkehrs einhergehend mit hohen Frequenzen¹⁵³, was mit nur geringen Umsteigezeiten verbunden ist. Neben den hohen Frequenzen sind weitere positive Effekte für den Passagier eine höhere Anzahl an möglichen Destinationen, eine bessere Abstimmung der einzelnen Flüge aufeinander im Falle eines nötigen Umsteigens und ein erweitertes Kundenbindungsprogramm. Nachteilig kann sich die Preisbildung auswirken, die durch den weltweit geringer werdenden Wettbewerb zu höheren und unübersichtlich vielen Tarifen führen kann.

Globale Allianzen sind auf die Erfordernisse internationalen (Geschäfts)Reisens optimiert¹⁵⁴, für nationalen Flugverkehr sind sie nur von untergeordneter Rolle, hier können regionale Kooperationen oder Allianzen für den Kunden von größerer Bedeutung sein.

Die Netzwerke der Allianzen sind aufeinander abgestimmt, vorherig auf eine einzelne Fluggesellschaft optimierte Netzwerke werden stetig besser auf die Erfordernisse der Allianz angepasst. Dies führt zu einer erhöhten Abstimmung der Flugwellenzeiten¹⁵⁵ an den Hubflughäfen und einer gemeinsamen Gestaltung des Flugroutennetzwerks. Dieses Flugroutennetzwerk ist in seinem Wesen global und sollte dabei möglichst komplett den ganzen Bereich potentieller Nachfrage abdecken. Wichtigste Regionen sind auch hier der nordamerikanische, europäische und asiatische Bereich. Wichtig ist ein internationales Flugroutennetzwerk, dass mindestens über je einen Hub in Europa, den USA und Asien verfügt¹⁵⁶. Ein solches Netzwerk ist dargestellt in Abbildung 37.

Aufgrund der Multihubstruktur der großen amerikanischen Fluggesellschaften ist eine us-amerikanische Fluggesellschaft ausreichend zur Abdeckung des nordamerikanischen Markts. In Europa existieren vor allem die drei großen Fluggesellschaften Lufthansa, British Airways und Air France. Diese sind die att-

¹⁵² Gibson1998 3.

¹⁵³ Weber2000 53.

¹⁵⁴ Brueckner2000 part2.

¹⁵⁵ Dennis2000 76ff.

raktivsten Partner für eine Allianz. Auch KLM lässt sich, allerdings in etwas geringerem Maße, zu diesen hinzuzählen. Da die europäischen Fluggesellschaften aufgrund der kleinen Fläche ihrer Nationen nur einen begrenzten Nachfragebereich abdecken und nahezu eine Monohubstruktur aufweisen, verfügen die meisten Allianzen über mehrere europäische Fluggesellschaften als Mitglieder, wobei hier je nach geographischer Lage nord-, süd-, west-, ost-, und zentraleuropäischen Fluggesellschaften unterschiedliche Bedeutung zukommt. Während die zentralen Hubs als Hauptflughäfen zu sehen sind, dienen die peripheren für die Bedienung bestimmter Relationen. Auch im asiatischen Raum ist es wichtig, möglichst mindestens eine größere Fluggesellschaft innerhalb der Allianz aufzuweisen, wobei die Struktur der europäischen ähnlich ist und deshalb manche Allianzen auch zur Einbindung mehrerer asiatischer Fluggesellschaften neigen.

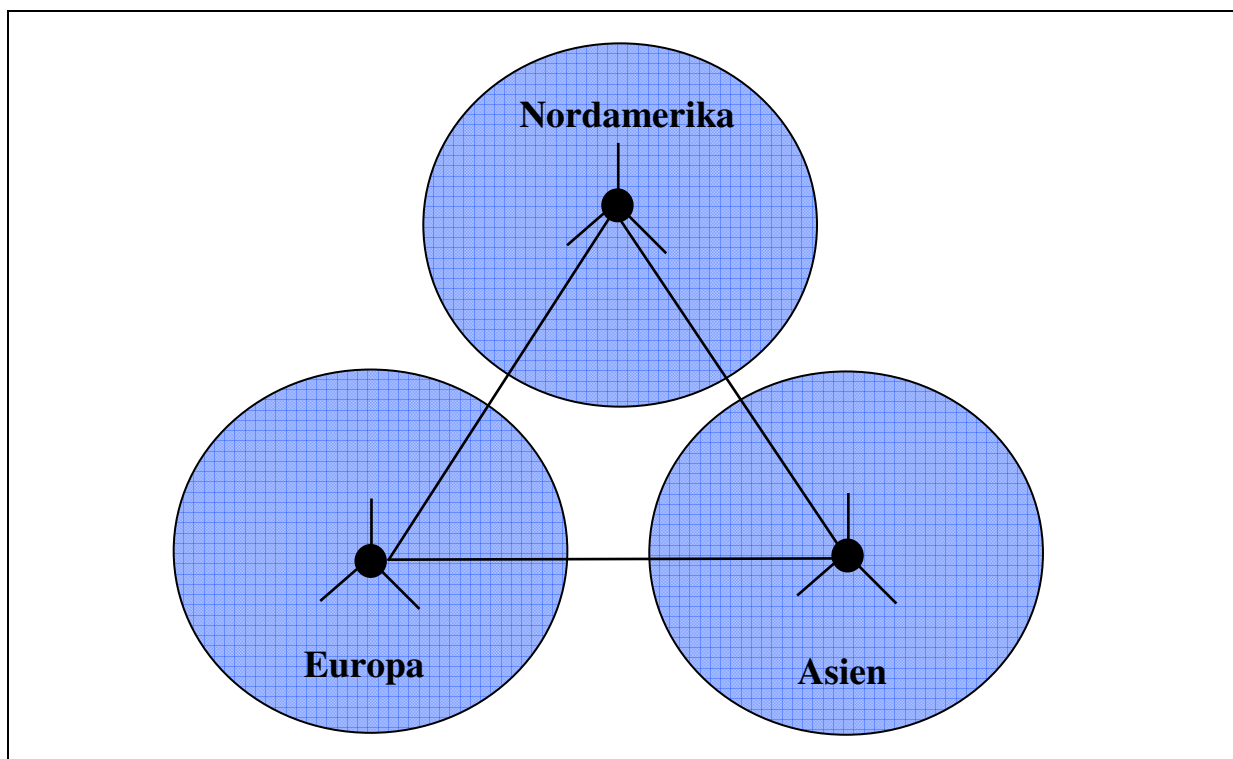


Abbildung 37: Eine internationale Allianz sollte in den drei wichtigsten Nachfragebereichen Nordamerika, Europa und Asien über ein funktionierendes, aufeinander abgestimmtes Hubsystem verfügen. [Eigene Darstellung]

Südamerika spielt in den globalen Allianzen keine so große Rolle, Afrika ist nahezu ohne jede Bedeutung.

Da es in Europa, Amerika und Asien jeweils etwa drei bis fünf große, dominierende Fluggesellschaften gibt, verwundert es nicht, dass die Anzahl globaler Allianzen, wie in Tabelle 5 dargestellt, zur Zeit vier

beträgt. Der Anteil dieser vier Allianzen am weltweiten Flugverkehr betrug im Jahre 2000 etwa 56,9%¹⁵⁷ und steigt weiter an¹⁵⁸. Damit kommt diesen Allianzen eine dominierende Rolle zu.

Region	Star Alliance	Skyteam	Oneworld	Wings
Europa	Lufthansa	Air France	British Airways	KLM
USA	United	Delta	American	Northwest
Asien	Singapore	Korean	Cathay	
Europa	Tyrolean, SAS, Austrian, Lauda, British Midland	Alitalia, Czech	Aer Lingus, Finnair, Iberia	
Nordamerika	Air Canada			
Asien	Thai, ANA			
Südamerika	Mexicana, Varig	Aero Mexico	Lan Chile	
Australien	ANZ		Qantas	

Tab. 5: Derzeit existieren vier global auftretende Allianzen: Star Alliance, Skyteam, Oneworld und KLM/Northwest. Diese verfügen sämtlich über eine große amerikanische und europäische Fluggesellschaft. Ergänzend sind vor allem asiatische, aber auch weitere europäische, südamerikanische oder australische Fluggesellschaften eingebunden. [Quelle: Star2002, Skyteam2002, Oneworld2002, KLM2002]

So sind die vier größten (amerikanischen) Fluggesellschaften Delta, United, American und Northwest, je Mitglied in einer dieser vier Allianzen. Gleiches gilt für die vier größten europäischen Fluggesellschaften: Lufthansa, British Airways, Air France und KLM. Lediglich für den asiatischen Bereich trifft dies nicht genauso zu, was zu einem Großteil an dem geringeren Grad bereits umgesetzter regionaler Deregulierung in dieser Region liegt. Hier ist besonders auffällig, dass die bedeutendste japanische Fluggesellschaft JAL nicht Mitglied in einer Allianz ist. Allerdings sind alle weiteren großen Fluggesellschaften Asiens wie ANA, Singapore, Cathay, Thai und Korean Mitglied einer Allianz. Für die Zukunft wird gerade auch der Einbindung Chinas mit seinen derzeit drei international tätigen Fluggesellschaften eine große Bedeutung zukommen.

Allianz	Destinationen	Frequenzen (Tsd.)	Anteil Eur.-Asi. (%)	Anteil N.am.-Asi. (%)	Anteil Eur.-N.am. (%)
Star	721	73	33,8	31,2	27,7
Oneworld	568	60	18,0	9,8	25,6
Skyteam	507	53	11,1	8,0	16,8
Wings	306	21	6,1	9,6	7,9

Tab. 6: Ein Vergleich der vier großen Allianzen zeigt, dass Star die größte bezüglich der Anzahl an Destinationen und Frequenzen ist. Von den wichtigen Luftverkehrsmärkten zwischen den drei Regionen Asien, Europa und Nordamerika hat Star jeweils einen Anteil von etwa einem Drittel, dieser ist für die anderen Allianzen teilweise deutlich kleiner. [Quelle: Pinkham2002b 48. Alliance network comparison]

Gegenwärtig ist Star die größte und erfolgreichste Allianz. Sie weist die meisten Frequenzen und die höchste Anzahl an Destinationen auf. Wings als kleinste und älteste der vier Allianzen hat dahingegen

¹⁵⁷ LEES2000 4.

¹⁵⁸ Solon2002b 11.

den höchsten Integrationsgrad. Wie Tabelle 6 zeigt, hat Star auch den größten Marktanteil innerhalb der drei großen interkontinentalen Hauptmärkte zwischen Asien, Europa und Nordamerika. Star hat das weltweit ausgeglichenste Netzwerk mit nur kleineren Lücken, vor allem im australisch-pazifischen Raum und China.

Anders ist es bei den anderen Allianzen: Die Hauptschwäche von Skyteam ist die schlechte Verbindung Asiens und Nordamerika¹⁵⁹, die aus ihrer Hubstruktur resultiert. Wings kann wegen ihrer geringen Größe bei nur zwei Mitgliedern nicht als globale Allianz bezeichnet werden und Oneworld hat neben einem zu kleinen Anteil am nordamerikanisch-asiatischen Markt einige Lücken in ihrem Netzwerk, die durch neue Mitglieder, beispielsweise in Europa, geschlossen werden müssten.

Die Konzentrierung auf wenige Allianzen und eine Fokussierung auf den Wettbewerb zwischen diesen und weniger zwischen den einzelnen Fluggesellschaften führt zu einer wachsenden öffentlichen und kartellrechtlichen Diskussion der Wettbewerbswirkung dieser Zusammenarbeit¹⁶⁰. Kartellrechtliche Einschränkungen führen dazu, dass die Gestaltung eines gemeinsamen Angebots in vielen Fällen Preisabsprachen nicht beinhalten darf¹⁶¹, dies stellt eine wesentliche Einschränkung des Nutzens der Allianzen für die einzelnen Fluggesellschaften dar. Innerhalb der Allianzen wird weiter ein Wettbewerb der Fluggesellschaften um die attraktiven Relationen vorhanden sein und so gute Angebote für die Kunden gewährleisten. Die Anzahl, Gestalt und Stabilität der Allianzen wird in Zukunft wesentlich von den verschiedenen kartellrechtlichen Institutionen geprägt sein¹⁶². Geringerer Wettbewerb sollte zu einer verbesserten Kooperation zwischen Fluggesellschaften und zu einer Reduzierung der Preise führen. Brueckner hat ausgehend von einer Unterteilung möglicher Kooperationen in drei Stufen - code-sharing, gemeinsame Mitgliedschaft in einer Allianz und kartellrechtliche Immunität, die eine vollständige gemeinsame Absprache zusammen genutzter Routen betrifft - eine deutliche Preissenkung bei Flügen auf gemeinsamen Routen mit Umsteigevorgang ermittelt¹⁶³. Gleichzeitig ist keine wahrnehmbare Veränderung der Preise auf einer Relation zwischen zwei Hubs unterschiedlicher kooperierender Fluggesellschaften festgestellt worden. Wenig plausibel ist allerdings der additive Ansatz der Preisveränderung in den Fällen, bei denen von den drei oben angegebenen Kooperationsmöglichkeiten mehr als nur eine gleichzeitig genutzt worden ist. Eine weitere Untersuchung desselben Autors kommt zu qualitativ ähnlichen Ergebnissen¹⁶⁴.

¹⁵⁹ Pinkham2002b 49.

¹⁶⁰ FAZ2002b 189f.

¹⁶¹ Stuart2001 81.

¹⁶² Agusdinata2002 205f.

¹⁶³ Brueckner2001 2f.

¹⁶⁴ Brueckner1999 1ff.

1.8. *Prognosebedeutung der Einflussfaktoren*

Nachdem in den Abschnitten 1.1 bis 1.7 ausführlich die Bedeutung der verschiedenen Einflussfaktoren für den Luftverkehr sowie deren Entwicklung in der Vergangenheit und Trends für die Zukunft vorgestellt wurden, wird in diesem Abschnitt die Bedeutung der einzelnen Faktoren auf den Bereich der Prognose verdichtet. Wie in der Einleitung bereits erwähnt, unterteilt sich die Prognose routenspezifischer Passagierzahlen in vier Teilbereiche: Die Prognose der zukünftig möglichen sinnvollen Flugrouten für die betrachtete Relation, deren Gesamtnachfrage entsprechend der jährlichen Passagierzahl für die Relation, die Bestimmung der jeweiligen repräsentativen Angebote auf allen Routen und der jährlichen routenspezifischen Passagierzahlen (siehe Abb. 1).

Mit Hilfe der Tabelle 7 wird unterteilt, welche Einflussfaktoren auf welche der vier Elemente der Prognose welchen Einfluss hat. Hierbei steht ein „++“ für einen besonders hohen und ein „+“ für einen geringeren, aber dennoch wichtigen, Einfluss des entsprechenden Faktors auf die zu ermittelnden Größen.

Die hier dargestellten Ergebnisse stellen somit eine große Hilfe für die Erstellung der vier verschiedenen Prognoseelemente dar und zeigen, auf welche Einflussvariablen bei dem jeweiligen Teil besonders zu achten ist. Sie bilden damit die inhaltliche Grundlage für die folgende Umsetzung der Modellierung der Prognose. Während die bisherigen Abschnitte das Ziel hatten, wichtige Einflussfaktoren im Bereich des Luftverkehrs umfassend und möglichst formal darzustellen – in einer Gesamtheit und Verdichtung wie dies bisher in der Literatur nicht der Fall ist – soll im folgenden erstmalig eine Konzentration auf die Bedeutung der Einflussfaktoren für die Bestimmung (und Prognose) routenspezifischer Passagierzahlen hergeleitet werden. Dies existiert in der Literatur bisher in keiner Weise. Grundlage für die Klassifizierung der Einflussfaktoren sind im wesentlichen die Argumentationen der vorhergehenden Abschnitte.

Die sozio-politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen, auf die im Abschnitt 1.1 eingegangen wurde, sind ein wichtiges Element bei der Generierung der Gesamtnachfrage. So bestehen die einfachsten Modelle der Verkehrsstromgrößengenerierung aus der Berücksichtigung des BSP und eventuell zusätzlich noch der Bevölkerungsgröße oder der Gewinnentwicklung der Fluggesellschaften. Sie definieren die Rahmenbedingungen für die Attraktivität und den Preis des Gutes Flugreise, auf routenspezifische Elemente haben sie daher nur geringen Einfluss.

Die technischen Rahmenbedingungen, die im Abschnitt 1.2 betrachtet wurden, beeinflussen hauptsächlich die (routenspezifische) Angebotsentwicklung und in geringerem Maße auch deren Bedeutung für

die Entscheidung, umgesetzt in der routenspezifischen Nachfrage. Da es sich hierbei im wesentlichen um routenspezifische Eigenschaften handelt, ist ihr Einfluss auf relationsbezogene Größen begrenzt.

Wirkung der Einflussfaktoren

Einflussvariablen	Flugrouten- prognose	Relationssp. Nachfrage	Routensp. Angebot	Routensp. Nachfrage
Ölpreis		++	+	
BSP		++		
Einkommen		++		+
Sicherheit, Terrorismus		++	+	+
Demographie		++		+
Geopolitik	+	++	+	
CRS			++	++
Emissionen	+	++	+	
On-Board Service			++	++
Flugzeuggröße			++	+
Geschwindigkeit			++	++
Kapazitäten, Verspätungen	+		++	++
Hochgeschwindigkeitszüge	+	++		
Videokonferenzen		++		
Internet		+	++	+
Deregulierung	+	++	+	
Gewinnentwicklung FG		++	+	
Auslastungsgrad	+		++	
Preisgestaltung		++	++	++
KBP		+	++	++
Frequenz		++	++	++
Tourismusentwicklung	+	++	+	+
Sättigung		++		
FG	++		++	
FG-Netzwerke, Hubs	++		++	
Billigfluggesellschaften	++	++	++	
Allianzen	++		++	
Allianzen-Netzwerke, Hubs	++		++	

Tab. 7: Dargestellt ist der Einfluss (+) und Haupteinfluss (++) der verschiedenen im Kapitel 1 behandelten Einflussfaktoren des Luftverkehrs auf die vier verschiedenen Bereiche der Prognose: Routengenerierung, Gesamtnachfrage, Angebotsbestimmung und jeweilige routenspezifische Nachfrage. [Darstellung eigener Analyseergebnisse]

Technische Alternativen zum Luftverkehr, wie in Abschnitt 1.3 behandelt, haben ihren wesentlichen Einfluss in einer Reduktion der Gesamtnachfrage. Damit ist ihr wesentlicher Einfluss in der möglichen Reduzierung relationsspezifischer Passagierzahlen zu sehen.

Die Entwicklung des Angebots, Abschnitt 1.4, hat hauptsächlich eine große Bedeutung für die Angebotsgestaltung, zusätzlich aber damit einen großen Einfluss auf die Gesamtnachfrage. Je nachdem, ob es sich hierbei um routenspezifische Angebotsaspekte (wie die Frequenz) oder globalere Angebotseinflüsse handelt (wie Deregulierungsmaßnahmen) besteht ihr Haupteinfluss entweder in der Veränderung des routenspezifischen Angebots und/oder in der Beeinflussung der relationsspezifischen Nachfrage.

Die in Abschnitt 1.5 illustrierte Nachfrageentwicklung hat ihren Haupteinfluss auf die Gesamtnachfrage. Damit hat sie ihren wesentlichen Einfluss im Bereich der relationsspezifischen Nachfrage.

Die Struktur der Netzwerke, Abschnitt 1.6, und der Allianzen, Abschnitt 1.7, wirken sich hauptsächlich auf die allgemeine Angebotsentwicklung, also sowohl auf die Struktur sinnvoll verfügbarer Flugrouten wie auf die Service- und Preiseigenschaften der möglichen Flugrouten, aus. Daher ist dieser Bereich der wichtigste für die Vorhersage zukünftiger Routenstrukturen. Zusätzlich aber hat er noch eine größere Bedeutung für die routenspezifische Angebotsseite.

2. Flugroutenprognose

Die Modellierung der routenspezifischen Nachfrage zerfällt in vier Teile (siehe Abb.1), von denen einer die Generierung zukünftig angebotener Flugrouten darstellt. Diese bilden die Grundlage und Struktur der möglichen Alternativen, die sich einem Flugreisenden in Zukunft zur Auswahl stellen. Möglich sind hierbei sowohl Direkt- wie Umsteigeflüge, siehe Abbildung 38. Direktflüge haben in aller Regel die Eigenschaft, die geringste Reisedauer aufzuweisen, Umsteigeflüge dauern länger und können nur aufgrund alternativer Aspekte für den Nachfragenden attraktiver sein. In den meisten Fällen reicht es für die Abbildung realer Flugrouten aus, bei Umsteigeflügen von Routen auszugehen, die einen (oder maximal zwei) Umsteigeorte beinhalten.

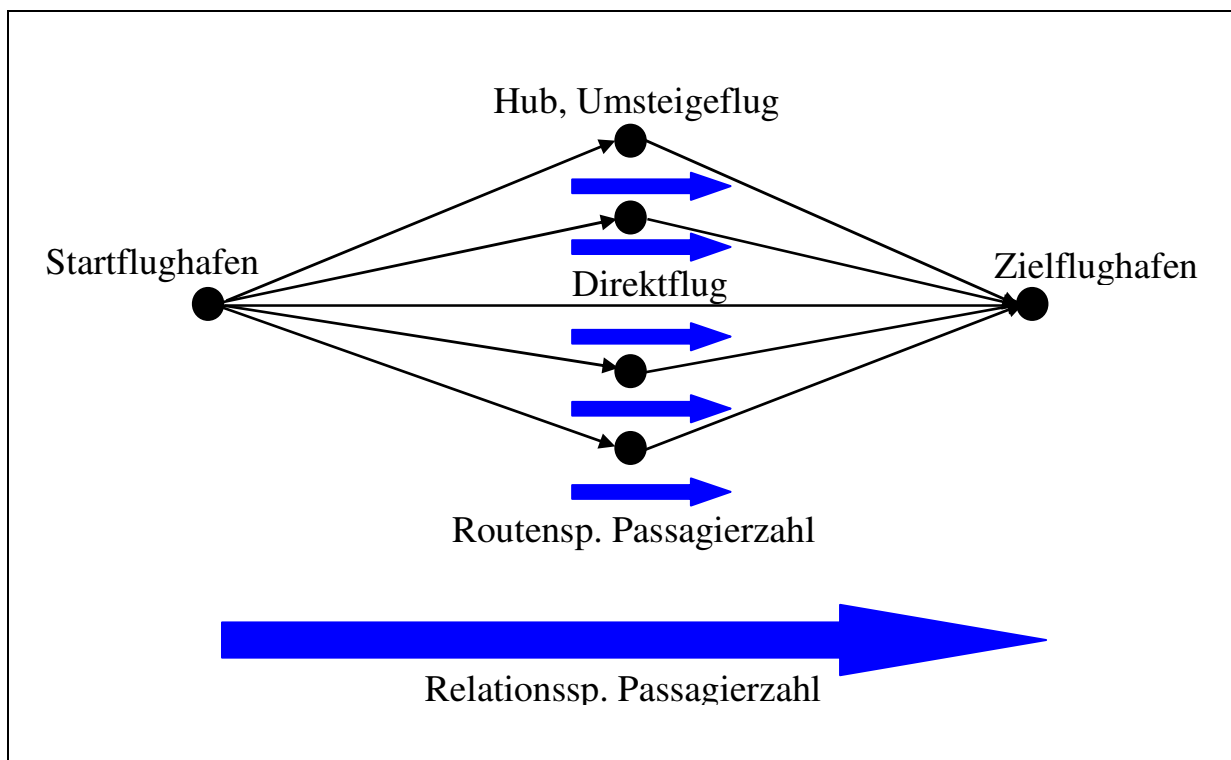


Abb. 38: Die Vorhersage routenspezifischer Passagierzahlen setzt die Angabe der relationsspezifischen Gesamtnachfrage und der zugrundeliegenden Routenstruktur voraus. Diese bestehen aus Direkt- und Umsteigeflügen. Vorherzusagen ist, ob ein Direktflug möglich ist und über welche Flughäfen relevante Umsteigemöglichkeiten existieren, hier dargestellt für ein Beispiel mit existierendem Direktflug und vier alternativen Flugrouten mit einem Umsteigevorgang. [Eigene Darstellung]

Nachdem im Kapitel 1 allgemein die Entwicklung vielfältiger Einflussfaktoren des Luftverkehrs vor allem in der Vergangenheit analysiert worden ist, werden in diesem Kapitel die erwarteten Veränderungen der wichtigsten Einflussfaktoren bezüglich der möglichen Flugrouten dargestellt.

Wie der Abschnitt 1.8 zeigt, sind die wichtigsten Elemente der Routengenerierung die Entwicklung der Fluggesellschaften, der Netzwerkcarrier und Billigfluganbieter, der Flughäfen und ihrer Kapazitäten, allgemein der Netzwerke der Fluggesellschaften und der Allianzen. Ausgehend von einer allgemeinen Betrachtung der Fortentwicklung dieser Einflussfaktoren in Abschnitt 2.1 wird beispielhaft die Wirkung für den innereuropäischen und transatlantischen Luftverkehr der Bundesrepublik Deutschland abgeleitet. Dazu wird im Abschnitt 2.2 die zukünftige Entwicklung des Luftverkehrs und seiner Infrastruktur, der Flughäfen und Fluggesellschaften, im Bereich der Bundesrepublik Deutschland betrachtet. Folgend wird in den Abschnitten 2.3 und 2.4 exemplarisch die aktuelle und zukünftig zu erwartende Flugroutenstruktur des innereuropäischen und transatlantischen Luftverkehrs entwickelt, der seinen Ursprung oder sein Ziel im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland aufweist.

2.1. Allgemeine Flugroutenprognose

2.1.1. Einfache mathematische Ansätze

Naheliegender wäre es, eine Prognose zukünftiger Routen durch eine geschickte mathematische Modellierung zu erreichen. Tatsächlich gibt es im mathematisch-methodischen Bereich einige Ansätze, welche die Güte von Netzwerken bemessen und so für eine Prognose zukünftiger Netzwerkstrukturen nutzbar sind. Allerdings ist das System der Netzwerke aufgrund der Schwierigkeiten der Angabe zukünftiger Nachfrage, Preise und Kosten, Allianzen und Konkurrenzen, äußerer Einwirkungen, wie Gesetzgebungen, Regulierungen, Internationalisierung, ökonomischer Entwicklung und Wachstum, Fusion oder Bankrott von konkurrierenden Fluggesellschaften so schwer zu prognostizieren, dass die zu treffenden Annahmen und die Beschaffung der benötigten Datenmengen einerseits schnell willkürlich erscheinen, andererseits aber auch in ihrem Umfang unmöglich zu bewerkstelligen sind.

Aus der Größe Europas und der Anzahl an Hubs der großen amerikanischen Fluggesellschaften lässt sich ableiten, dass die optimale Anzahl an Hubs im Raum Europa ohne Berücksichtigung herausragender Probleme durch Überlastung der Flughäfen in einer Größenordnung von etwa zwei bis vier Flughäfen liegt. Im großflächigeren Bereich der USA beträgt diese Zahl etwa drei bis sechs Hubflughäfen. Aufgrund der geringeren Gesamtnachfrage und der kleineren Fläche ist für Europa von einer etwas kleineren Anzahl als für Nordamerika auszugehen. Mit zunehmender Nachfrage und Überlastung der Flughäfen könnte diese Zahl ansteigen, durch bessere Zuführung der Passagiere zu den Hubflughäfen, beispielsweise per Bahn- und Hochgeschwindigkeitsbahnanbindung, aber auch abnehmen. Es ist daher zu erwarten, dass sich diese Zahl in den nächsten Jahren oder ein bis zwei Dekaden nicht erheblich verändern wird. Da der us-amerikanische Luftverkehrsmarkt ein nationaler Markt ist und schon seit 1978 liberalisiert ist, haben sich dort bereits umfassende nationale Netzwerke bei den großen Fluggesellschaften etabliert. Dies ist auch der Grund, warum nur eine große us-amerikanische Fluggesellschaft Mitglied in je einer Allianz ist und warum die Anzahl an globalen Allianzen jener der großen us-amerikanischen Fluggesellschaften entspricht.

Für Europa gibt es deswegen zwei wichtige Fragestellungen bei der Beurteilung von Hubstandorten: Die der Lage des einen optimalen Hubs und die eines zweiten Hubs für den Fall, dass bereits ein erster Hubflughafen existiert.

Bei der Bestimmung des optimalen Standorts eines idealen Hubs, werden zwei unterschiedliche Rahmenbedingungen, die das Problem charakterisieren, untersucht: Die einer bestmöglichen Befriedigung der europäischen Gesamtnachfrage nach Flugverkehr und die nach der für vorgegebene Destinationen. Beim einen Fall handelt es sich um die in Abbildung 39 dargestellte Frage, wo der ideale Hubflughafen Europas liegt, wenn es nur diesen als Hubflughafen gäbe, beim anderen um den praktischen, firmenbezogenen Fall, dass bestimmte Destinationen zu bedienen sind und dazu neben dem bereits existierenden Hubflughafen ein zusätzlicher auszuwählen ist. Auch wenn sich diese Fragestellungen theoretisch anhören, zeigt doch beispielsweise die Verlagerung des Haupthubflughafens der Alitalia von Rom nach Mailand, dass eine solche (nationale) Verlagerung möglich und sinnvoll sein kann.

Mathematisch entspricht die erste Fragestellung einem klassischen Weberproblem der Minimierung des Integrals gewichteter Abstände. Als Gewichtungen treten hierbei die Nachfragedichten pro Fläche, α_N , auf. Der Abstand, die Flugdauer oder die Kosten einer Verbindung zwischen dem Ort des Flughafens, $\tilde{O}$, und dem der Nachfrage, O , werden allgemein durch eine Metrik $s(O, \tilde{O})$ beschrieben. Hierdurch erhält man dann den optimalen Hubstandort durch Minimierung:

$$\min_{\tilde{O}} \int_{Europa} \delta(N(O)) \cdot s(O, \tilde{O}) dO \quad (76)$$

Mit:

$$\delta(N(O)) \geq 0 \forall O \quad \text{und} \quad s(O, \tilde{O}) \geq 0 \forall O, \tilde{O} \quad (77)$$

Hierbei wird beispielsweise als einfache Metrik der euklidische Abstand in der Ebene benutzt:

$$s(O, \tilde{O}) = |O - \tilde{O}| \quad (78)$$

Eine zweite Möglichkeit ist die Wahl des Flughafenstandorts unter der Nebenbedingung, dass eine bestimmte Menge von D Destinationen an den Orten, $\tilde{d}$, in einer gewissen Häufigkeit, $f_{d, \tilde{O}}$, erreicht werden soll:

$$\min_{\tilde{O}} \sum_{d=1}^D f_{d,\tilde{O}} \cdot s(\tilde{d}, \tilde{O}) \quad (79)$$

Auch hier mit:

$$f_{d,\tilde{O}} \geq 0 \forall d, \tilde{O} \quad \text{und} \quad s(\tilde{d}, \tilde{O}) \geq 0 \forall \tilde{d}, \tilde{O} \quad (80)$$

Auch bei dieser Minimierung handelt es sich wieder um ein klassisches Weberproblem. Im Unterschied zu Gleichung (76) tritt hier allerdings eine einfache Summierung über die Destinationen statt der Integration über eine ausgewählte Fläche der Ebene auf. Damit ist dieses Problem leichter zu lösen als das vorgehende.

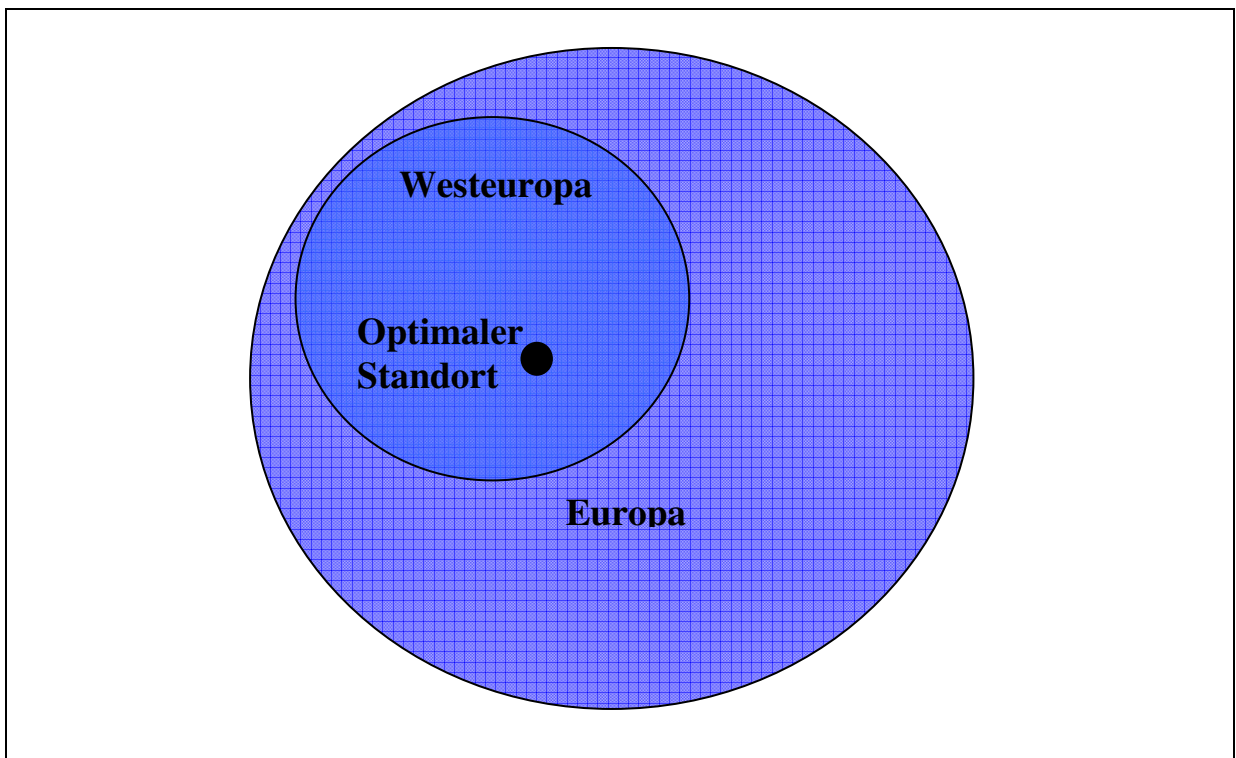


Abb. 39: Im Falle Europas ist aufgrund der besonders hohen Nachfragedichte nach Luftverkehr in den Ländern Großbritannien, Frankreich, Deutschland, Belgien, Niederlande der nachfrageoptimale Standort eines Hubflughafens westlich vom geographischen Zentrum Europas, etwa im Gebiet zwischen den wichtigen Hubflughäfen Brüssel, Amsterdam, Frankfurt und Paris, was ungefähr der Region entspricht, in dem auch die meisten Institutionen der EU angesiedelt sind. [Eigene Darstellung]

Bei den in den Gleichungen (76) und (79) dargestellten Minimierungen handelt es sich um starke Vereinfachungen des Problems der Auswahl eines idealen Standorts. Hierbei ist unter anderem die Frage zu beantworten, ob über virtuelle Flughafenstandorte oder nur über die Menge existierender Flughäfen optimiert werden soll, wodurch die Menge aller zu berücksichtigen möglichen Lösungen bestimmt wird.

Betrachtet man zusätzlich noch weitere Einschränkungen der potenziellen Flughafenstandorte durch Berücksichtigung zusätzlicher Restriktionen, wie Kapazitäten oder flughafenspezifische Kosten, so reduziert sich die Anzahl tatsächlich zu analysierender Flughäfen schnell auf eine sehr geringe Anzahl. Dies macht weiter deutlich, dass eine dermaßen axiomatisch eingeschränkte Optimierung bei einer so geringen Anzahl an Flughäfen nur selten die angemessene Form der Modellierung darstellt.

Es existieren auch Modellierungen für die Auswahl eines sekundären Hubs, $\tilde{O}_2$, unter der Annahme der Existenz eines bereits vorhandenen Hubs, $\tilde{O}_1$. Hier wäre zum einen ein analog zu Gleichung (76) minimierender Ansatz möglich:

$$\min_{\tilde{O}_2} f_{\tilde{O}_1, \tilde{O}_2} \cdot s(\tilde{O}_1, \tilde{O}_2) + \sum_{d=1}^D f_{d, \tilde{O}} \cdot (s(\tilde{d}, \tilde{O}_1) \cdot \beta_1(\tilde{d}, \tilde{O}_1) + s(\tilde{d}, \tilde{O}_2) \cdot \beta_2(\tilde{d}, \tilde{O}_2)) \quad (81)$$

In diesem Fall ist über die Flüge vom existierenden und vom neuen sekundären Hub sowie für die Verbindungsflüge zwischen den beiden Hubs das Produkt der Frequenzen mit den Metriken zu summieren. Vereinfachend wird die nicht von der Allokation abhängige Frequenz mit der eine Destination angeflogen wird als $f_{d, \tilde{O}}$ bezeichnet. Die Frequenz zwischen den beiden Flughäfen stellt einen Serviceparameter des Netzwerks dar. Zusätzlich tauchen binäre Variablen β_1 und β_2 auf, die das Allokationsproblem lösen, also die Frage beantworten, von welchem Flughafen aus welche Destination angeflogen werden soll:

$$\beta_1(\tilde{d}, \tilde{O}_1), \beta_2(\tilde{d}, \tilde{O}_2) \in \{0, 1\} \quad \text{und} \quad \beta_1(\tilde{d}, \tilde{O}_1) + \beta_2(\tilde{d}, \tilde{O}_2) = 1 \quad \forall \tilde{d} \quad (82)$$

Analog Gleichung (80) gilt die Nichtnegativität der Frequenzen und Metriken:

$$f_{\tilde{O}_1, \tilde{O}_2}, s(\tilde{O}_1, \tilde{O}_2) \geq 0 \quad \text{und} \quad f_{d, \tilde{O}} \geq 0 \quad \forall d \quad \text{und} \quad s(\tilde{d}, \tilde{O}_1), s(\tilde{d}, \tilde{O}_2) \geq 0 \quad \forall \tilde{d} \quad (83)$$

Zielfunktionen wie in den Gleichungen (76), (79) und (81) haben den Nachteil, nur über gewichtete Metriken, also Kosten, Zeiten oder Entfernungen zu optimieren. Tatsächlich sind bei der Auswahl eines Hubflughafen viele Kriterien zu berücksichtigen. Eine Methode, mit der man versucht, optimale Ent-

scheidungen für den Fall vieler Kriterien zu treffen, ist die Multi-Criteria Analyse. Eine Möglichkeit ist die Addition der verschiedenen Einflussfaktoren, E , multipliziert mit den diesen zugeteilten Gewichtungen, v_E . Hier lässt sich die Zielfunktion, z , darstellen als:

$$z := \sum_E v_E \cdot E \quad (84)$$

Dieser Ansatz hat die Eigenschaft, leicht anwendbar zu sein. Die Auswahl der wichtigen Einflussparameter, die lineare Verknüpfung, das Fehlen von Wechselwirkungen der Einflussfaktoren und vor allem die Bestimmung der Gewichtungsfaktoren stellen jedoch bedeutende Nachteile und Schwierigkeiten dieser Methode dar. Etwas allgemeiner benutzbar ist die Ersetzung des linearen Zusammenhangs durch eine allgemeine Funktion $x(E)$, die für jedes Entscheidungskriterium einzeln zu bestimmen ist. Dann wird die Zielfunktion:

$$z := \sum_E v_E \cdot x(E) \quad (85)$$

Janic geht davon aus, dass als wichtigste Elemente für eine Fluggesellschaft bei der Auswahl und Schaffung eines ergänzenden Hubs folgende Kriterien zu berücksichtigen sind: Die Anzahl der Personen im Einzugsbereich des Flughafens, ihr Einkommen, die Flughafengröße, die Zugänglichkeit zu anderen Verkehrsmodi, die Kosten des Zugangs zum Flughafen, operative Kosten des entstehenden Multihubnetzwerks, die Kosten je Flughafenservice und die Kapazität des Flughafens¹⁶⁵. Geht man davon aus, dass die Gewinnsituation einer Relation im wesentlichen von der Nachfrage, den Preisen und Kosten abhängt und nimmt gleichzeitig an, dass die Preise und Kosten vor allem streckenlängenabhängig sind, lässt sich für eine Fluggesellschaft eine streckenlängenabhängige Mindestgesamtnachfragemenge, N_{od} , definieren, ab der Profitabilität möglich ist und damit eine Route angeboten wird¹⁶⁶. Analoges gilt für die Nachfrage nach Flügen der Fluggesellschaft, $N_{od}(Fg)$, mit einem Anteil an der Gesamtnachfrage von $r_{od}(Fg)$:

¹⁶⁵ Janic2001b 6ff.

¹⁶⁶ Urbatzka1999 A2f.

$$N_{od}(Fg) = N_{od} \cdot r_{od}(Fg) \quad (86)$$

Eine Route wird aufgenommen, sobald eine Nachfrage nach Flügen der Fluggesellschaft eine gewisse streckenlängenabhängige Konstante, $c(Fg, s)$, überschreitet:

$$N_{od}(Fg) \geq c(Fg, s) \quad (87)$$

Diese Konstante kann betrachtet werden als das Produkt der minimal benötigten Frequenz, $f_{\min}$, des minimalen Auslastungsgrads, $l_{\min}$, und der kleinsten auf dieser Strecke verwendbaren Flugzeugkapazität, $C_{F,\min}$ ¹⁶⁷:

$$c(Fg, s) = f_{\min}(Fg, s) \cdot l_{\min}(Fg, s) \cdot C_{F,\min}(Fg, s) \quad (88)$$

Man erhält individuell für jede Fluggesellschaft, dass eine Route dann zum bestehenden Streckennetz hinzugefügt wird, wenn die Nachfrage eine bestimmte, entfernungsabhängige Schwelle überschreitet. Hierbei ist die benötigte Nachfrage mit zunehmender Entfernung größer, da mit zunehmender Streckenlänge die Rentabilität abnimmt. Dieses Modell geht von einigen wesentlichen Vereinfachungen aus: Einer starken Homogenisierung der verschiedenen Routen, einem idealisierten Kosten- und Preisgefüge, einer statischen Nachfrage und einer fehlenden oder bestenfalls impliziten Wechselwirkung zwischen Angebot und Nachfragemenge.

Im Falle eines Netzwerkcarriers existieren eine (geringe) minimale Frequenz und streckenlängenabhängige Flugzeugkapazitäten und Ladefaktoren. Bei einem Billigfluggesellschaft ist aufgrund der Homogenität des Fluggeräts die Flugzeugkapazität vorgegeben, Frequenz und Ladefaktor sind streckenlängenabhängig und im Vergleich zum Netzwerkcarrier sehr hoch. Dies hat zur Folge, dass die minimal benötigte Nachfrage einer Billigfluggesellschaft tendenziell höher als die eines Netzwerkcarriers ausfällt.

¹⁶⁷ Urbatzka 1999 A2f.

2.1.2. Entwicklungen in Asien

Da sich die folgenden Abschnitte 2.3 und 2.4 auf die Zielregionen Europa und Nordamerika konzentrieren, erfolgt ergänzend in diesem Abschnitt eine kurze Darstellung der zukünftigen Entwicklung des Luftverkehrsbereichs Asiens, dem eine wachsende Bedeutung zukommt. Es folgt in Tabelle 8 eine Übersicht der international wichtigen Flughäfen, hier mit Mainport bezeichnet, deren Größe, gemessen durch die Anzahl der beförderten Passagiere, und die Nutzung als Hub. Die meisten asiatischen Länder haben eine nationale Fluggesellschaft in einem hoch regulierten Markt, die gerade im Falle der kleinen Länder häufig wirtschaftlich ineffizient agiert. Viele der größeren Fluggesellschaften sind Mitglied in einer der globalen Allianzen. Wichtige Ausnahmen sind der Luftverkehrsmarkt und die Fluggesellschaften Japans, Chinas und Koreas.

Japan hatte lange Zeit drei große Fluggesellschaften: JAL, JAS und ANA. Nach der Fusion von JAL und JAS zur größten japanischen Fluggesellschaft hat sich der nationale Wettbewerb auf zwei etwa gleichgroße Wettbewerber verteilt. International ist allerdings die neue Fluggesellschaft der eher national ausgelegten Fluggesellschaft ANA weit überlegen. Besonders am japanischen Markt ist die Existenz zweier Hubflughäfen, von denen Tokio-Haneda der weitaus bedeutendere ist. Diese sind begründet in der Bevölkerungsverteilung und dem Inselcharakter Japans. Beide großen Fluggesellschaften weisen ihre Hubs in den selben beiden Flughäfen auf. Da weder JAL noch JAS bisher Mitglieder in einer Allianz waren, ist auch die neue Fluggesellschaft noch keiner Allianz zugeordnet, dennoch ist langfristig mit einer solchen Entwicklung zu rechnen. Bedingt durch die sehr gut positionierten alternativen Verkehrsmittel, vor allem den Hochgeschwindigkeitsschienenverkehr, existieren inländisch nur wenige attraktive Flugstrecken, die aufgrund der hohen Nachfragedichte praktisch komplett von Tokio-Haneda ausgehen. Billigfluggesellschaften haben es in dieser Situation mit einem dominierenden, teuren und überfüllten Hubflughafen bisher sehr schwer gehabt, größere Marktanteile oder wirtschaftliche Erfolge zu erzielen¹⁶⁸.

Der chinesische Luftverkehrsmarkt weist derzeit das größte Wachstum weltweit auf und eine Fortsetzung dieses Trends ist auch mittelfristig noch zu erwarten¹⁶⁹. China besitzt aufgrund seiner Größe und seiner Historie eine Vielzahl an Fluggesellschaften. Neben einigen inländischen existieren drei international tätige Fluggesellschaften mit jeweils einem Hub: Air China mit Hub in Peking, China Eastern mit Hub in Schanghai und China Southern mit Hub in Guangzhou. Für die Zukunft wird eine weitere Konsolidierung des Markts mit weniger Fluggesellschaften und Regulierungen sowie effektiveren Flugroutennetzwerken erwartet^{170 171}. Neben den drei oben erwähnten Fluggesellschaften wird Hainan Airlines von einer regionalen Fluggesellschaft zu einer auch international operierenden ausgebaut, eine Entwicklung

¹⁶⁸ Sekigawa2002 36f.

¹⁶⁹ Ionides2002b 85.

¹⁷⁰ Dennis2001b 36.

die nicht nur aus politischen Gründen, sondern auch wegen des erfolgreichen wirtschaftlichen Auftretens dieser Fluggesellschaft bisher, begründet ist¹⁷². Keine der chinesischen Fluggesellschaften ist momentan Mitglied in einer globalen Allianz, allerdings ist für den wichtigen chinesischen Markt mit sehr vielen Einwohnern und hohem Luftverkehrswachstum in der Zukunft eine Konzentration der Fluggesellschaften und die zukünftige Mitgliedschaft in einer Allianz zu erwarten¹⁷³.

Stadt (Flughafen)	Passagiere Rang weltweit	Mainport	Hub Fluggesellschaft
Tokio (Int., Narita)	6 und 32	+	JAL/JAS, ANA
Seoul	20	+	Korean, Asiana
Hongkong	23	+	Cathay
Bangkok	28	+	Thai
Singapur	34	+	Singapore
Sydney	39	+	Qantas, ANZ
Osaka (Kansai, Itami)	44 und 64	+	JAL, JAS, ANA
Fukuoka	48		
Peking	50	+	Air China
Sapporo	51	+	
Taipei (CKS, Kaohsiung)	58 und 78	+	EVA
Kuala Lumpur	63	+	Malaysia
Melbourne	66	+	
Schanghai	67	+	China Eastern
Guangzhou	73		China Southern
Manila	75	+	Philippine
Bombay	80		
Brisbane	84		
Okinawa	85		
Jakarta	97	+	Garuda
Delhi	>100	+	Air India
Karachi	>100	+	Pakistan
Nagoya	>100	+	

Tab. 8: Dargestellt sind die wichtigsten Flughäfen des asiatisch-pazifischen Raums. Neben dem Rang des Flughafens, gemessen in seiner Passagierzahl, sind seine Bedeutung als wichtiges internationales Drehkreuz und sein Status als Hub der entsprechenden Fluggesellschaft aufgeführt. [Quelle: FS2000b Ranking of the TOP 100 Airports, Schiphol2001 63f. (List of Mainports)]

Da es für eine Allianz positiv sein wird, den Bereich Chinas zu den von ihnen angebotenen Destinationen hinzuzufügen, ist das kritische Element einer Mitgliedschaft der chinesischen Fluggesellschaften in den Allianzen ihr eigener, tatsächlicher Mehrnutzen. Aufgrund des starken nationalen Konzentrationsprozesses mit vielen nötigen Umstellungen und einer hauptsächlich regionalen Luftverkehrsnachfrage

¹⁷¹ Dennis2001c 90.

¹⁷² Dennis2001c 90.

¹⁷³ Toole2002b 11.

nach Destinationen innerhalb Asiens, wird alternativ mit begrenztem Code-sharing oder einer regionalen asiatischen Allianz geliebäugelt¹⁷⁴. Zusätzlich existieren noch die internationalen Fluggesellschaften Cathay Pacific mit Hub in Hongkong und die taiwanesishe Fluggesellschaft EVA mit Hub in Taipei. Südkorea hat momentan zwei große Fluggesellschaften am selben Hub in der Hauptstadt Seoul. Beide sind Mitglied in unterschiedlichen Allianzen, was die Möglichkeit einer Stabilisierung dieser Koexistenz erhöht. Für viele anderen der nationalen kleineren Fluggesellschaften ist für die Zukunft bei zunehmender Liberalisierung ein erhöhter Konzentrationsprozess zu erwarten¹⁷⁵. Die starke Einbindung in politische Vorstellungen und die höhere Regulierung als in Nordamerika und Europa wird langfristig die Wettbewerbssituation asiatischer Fluggesellschaften schwächen. Unklar ist in wie weit dies durch das überdurchschnittliche Wachstum in dieser Region kompensiert oder gar überkompensiert werden kann. Allerdings wird die stärkere geographische Zersplitterung Asiens¹⁷⁶ im Vergleich zu Europa oder Nordamerika die Konkurrenzfähigkeit kleinerer regionaler Fluggesellschaften als Folge des starken Inselcharakters und vieler schwerpassierbarer Regionen erhöhen.

¹⁷⁴ Dennis2002 71.

¹⁷⁵ Flottau2001 45.

¹⁷⁶ Pinkham2002a 31.

2.2. Deutschland als Quell- und Zielgebiet

Da in dieser Arbeit der Schwerpunkt auf Flüge von und nach Deutschland gelegt wird, stellt die Frage spezifischer Entwicklungen des Personenluftverkehrs in Deutschland ein wichtiges Element zur Bestimmung entsprechender Passagierzahlen dar. Die wichtigsten Komponenten der Entwicklung des Personenluftverkehrs in Deutschland sind die seines Angebots und seiner Nachfrage, die stark an die Entwicklung des Bruttosozialprodukts gekoppelt ist und sich daher verhältnismäßig gut vorhersagen lässt.

Eine Veränderung des Angebots hängt wesentlich von der Entwicklung der Fluggesellschaften in Deutschland, ihrer Routennetzwerke, ihres Gesamtangebots sowie der Einschränkungen des Luftverkehrs durch ökologische, wirtschaftliche und vor allem kapazitative Restriktionen ab. Daher befasst sich dieser Abschnitt hauptsächlich mit der Entwicklung der Fluggesellschaften in Deutschland, Abschnitt 2.2.1, also der Lufthansa als einzigem großen Netzwerkcarrier und der regionalen und Billigfluggesellschaften. Anschließend wird auf die Entwicklung und Grenzen zukünftiger kapazitiver Beschränkungen insbesondere der Flughäfen, sowie deren allgemeine Entwicklung eingegangen, Abschnitt 2.2.2.

Von zusätzlicher Bedeutung sind politische, wirtschaftliche und soziale Rahmenbedingungen, wie ökologisch motivierte nationale oder lokale Gesetzgebungen oder Veränderungen im Bereich der Verkehrsträger, wie die zunehmende Kooperation zwischen der Lufthansa und der Deutschen Bahn. Allerdings lehrt die Vergangenheit bezüglich der Entwicklung der Routenstruktur, dass eine Veränderung im Bereich des Hochgeschwindigkeitsschienenverkehrs zu einer Reduzierung der Nachfrage nach Personenluftverkehr aber nicht zur Einstellung der Flüge dieser Relation geführt hat¹⁷⁷. Auch die Gesamtentlastung der Flughäfen durch Hochgeschwindigkeitsschienenverkehr ist nur bescheiden, führt aber tendenziell zu einer Verringerung des Luftverkehrs auf kurzen und zu einer Erhöhung auf langen Strecken.

2.2.1. Fluggesellschaften in Deutschland

Der deutsche Luftverkehrsmarkt weist einige spezifische Eigenschaften auf: Er liegt zentral in Europa, verfügt über relativ gute Schienen- und Autobahnangebote, einen großen Netzwerkcarrier, ein verhältnismäßig niedriges Preisniveau und eigenständige Charterfluggesellschaften. Dies sind sämtlich Umstände, die es Billigfluggesellschaften erschweren, in diesem Markt erfolgreich zu operieren. Allerdings existieren durch die regionale Struktur des deutschen Flughafenwesens, der Konversion von alten Mili-

¹⁷⁷ ADV1999 1.

tärlugplätzen und mehrere regionale Ballungsgebiete Elemente, die für Billigfluggesellschaften von Vorteil sind.

Nach dem Erfolg der Billigfluggesellschaften in Irland und Großbritannien sowie den Anfangserfolgen vor allem von Ryanair in Deutschland stellt sich die Frage nach der Zukunft der Billigfluggesellschaften in diesem Gebiet. Derzeitig überlegen einige Fluggesellschaften, wie sie sich in Zukunft am besten positionieren. Nach der Übernahme von Go durch EasyJet¹⁷⁸ bilden sich in Europa mit Ryanair zwei große Billigfluggesellschaften, die beide versuchen, sich in Deutschland erfolgreich zu etablieren.

Ryanair benutzt die Flughäfen in Lübeck und Hahn bereits relativ erfolgreich und hat vielen Konkurrenten Mut gemacht, sich als Billigfluggesellschaften in Deutschland zu engagieren. Die Deutsche BA, ehemals Tochter von British Airways überlegt, sich zu einem Billigfluggesellschaft zu entwickeln, allerdings mit einigen Umstellungsschwierigkeiten und ohne bisher wirklich erfolgreich zu operieren¹⁷⁹. Die TUI, erfolgreicher Urlaubsanbieter und derzeit im Chartermarkt tätig, erwägt eine Expansion in Deutschland durch Einrichten einer eigenen Billigfluggesellschaft. Bisher geltende Leasingverträge mit der Germania wurden bereits aufgekündigt¹⁸⁰. Hierbei stellt sich die Frage nach der Vereinbarkeit eines hochsaisonalen Charterverkehrs mit der hohen notwendigen, kontinuierlichen Nachfragedichte eines Billigfluggesellschafts. Ein Einstieg der TUI in den Billigflugbereich ist daher mit hohen Risiken verbunden¹⁸¹. Auch die Germania, bisher sowohl durch ihre Leasingangebote sowie als Anbieter von Regionalflügen bekannt, steht unter starkem Marktdruck und beabsichtigt daher einen stärkeren Einstieg in den Billigflugmarkt¹⁸².

Die drei Faktoren, die den zukünftigen Erfolg der Billigfluggesellschaften in Deutschland wesentlich beeinflussen werden, sind die wirtschaftliche Entwicklung - global und lokal -, die Reaktion der Lufthansa auf ihre neue Konkurrenz und mögliche rechtliche Einschränkungen des Wettbewerbs, welche die Rahmenbedingungen zu Gunsten oder Ungunsten der Billigfluggesellschaften verändern können.

Eine Besserung der wirtschaftlichen Lage macht Kunden weniger preissensitiv und verbessert damit die Marktposition der Lufthansa gegenüber den Billigfluggesellschaften. Nicht zufällig ist die derzeitige Phase nur schwachen ökonomischen Wachstums die Zeit, in der die Billigfluggesellschaften große Erfolge erzielen. Die Lufthansa wird durch eine in ihrem Umfang begrenzte Preissenkung¹⁸³ und eine eventuelle Einbeziehung ihrer Tochtergesellschaft Eurowings die Marktsituation zu ihren Gunsten verbessern können¹⁸⁴, wobei die höhere Finanzkraft im Vergleich zu den wesentlich finanzschwächeren Billigfluggesellschaften ein großer Wettbewerbsvorteil ist. Voraussichtlich wird sich die Lufthansa auf ihre Kern-

¹⁷⁸ Hartung2002b 55f.

¹⁷⁹ Jegminat2002b 60

¹⁸⁰ Schmidt2002c 69.

¹⁸¹ Hildebrandt2002 3.

¹⁸² FAZ2002a 220f.

¹⁸³ Hartung2002b 55.

kompetenzen konzentrieren. Diese sind ihr gut ausgebautes Netzwerk, ihr Kundenbindungsprogramm, ihr hoher Service, ihr positives Image, die Sicherheit und ihre erfolgreiche Arbeit in der Star Alliance¹⁸⁵. Zusätzlich versucht sie, ähnlich wie die anderen großen europäischen Netzwerkcarrier, sich langsam zu einer europäischen Fluggesellschaft weiterzuentwickeln¹⁸⁶, so die Nachteile einer nationalen Beschränkung loszuwerden und auch in den Nachfragegebieten ihrer wichtigsten Konkurrenten, British Airways oder Air France stärker vertreten zu sein. Allerdings ist die Fähigkeit der Lufthansa, ihre Preise zur Abwehr der Konkurrenz zu senken, durch rechtliche Regelungen begrenzt¹⁸⁷. Dies macht es ihr teilweise unmöglich, gleichhohe oder niedrigere Preise als ihre Konkurrenten anzubieten.

Neben einer Senkung des allgemeinen Preisniveaus wird die stärkere Präsenz der Billigfluggesellschaften die Routenstruktur durch ein vermehrtes Anbieten von Flügen im Kurzstreckenbereich, die wirtschaftlich operabel sind, verändern¹⁸⁸. Dies steigert die regionale Gesamtnachfrage und führt dazu, dass zusätzliche Direktflugverbindungen entstehen werden, die aber auf einige Quellflughäfen mit Ziel im Inland oder nahen Ausland beschränkt sein werden. Im Bereich des internationalen Luftverkehrs sind die Folgen relativ gering.

2.2.2. Flughäfen in Deutschland

Bei der Analyse und Prognose der Entwicklung von Flughäfen sind aus Sicht der Veränderungen des Luftverkehrsaufkommens sowie der angebotenen Destinationen und Frequenzen zwei Haupteinflussbereiche festzustellen: Die Veränderung der Zuordnungen von Fluggesellschaften zu Flughäfen und die Entwicklung der Kapazitäten der Flughäfen.

Der Einsatz neuer, größerer Flugzeuge an den Hubflughäfen ermöglicht es, die personenbezogene Kapazität eines Flughafens zu erhöhen. So wird der neue große Airbus gerade von dem hochausgelasteten Hub der Lufthansa in Frankfurt aus fliegen, benötigt aber neue Baumaßnahmen am Flughafen¹⁸⁹. Eine Verbesserung der Kooperation von Bahn und Schiene verlagert Verkehr von den Kurz- auf die Langstrecken und erhöht so die Kapazität hochfrequentierter Flughäfen. Auch dies hat seine größte Bedeutung in Deutschland am Hubflughafen in Frankfurt¹⁹⁰. Für die anderen Flughäfen ist vielmehr eine gute Erreichbarkeit von Landseite zur Generierung einer höheren Nachfrage durch besseren Service von Bedeutung¹⁹¹.

¹⁸⁴ Hartung2002c 3.

¹⁸⁵ Toole2002a 33.

¹⁸⁶ Fan2001 356ff.

¹⁸⁷ Lufthansa2002c 176f.

¹⁸⁸ BMVBW1999 9f.

¹⁸⁹ Fraport2002b 201f.

¹⁹⁰ Lufthansa2002b 3.

¹⁹¹ Psaraki2002 91.

Eine weitere Reaktion auf die Kapazitätsengpässe ist gerade in Frankfurt und Düsseldorf der sensiblere Umgang mit Lärm und Emissionen im Umfeld des Flughafens. Durch deren Reduktion versuchen die Flughäfen ihre Kapazitäten zu erhöhen. Dies betrifft einerseits bauliche Maßnahmen zur Verringerung der Wahrnehmung¹⁹² wie regulative¹⁹³ zur Verhinderung der Entstehung von Lärm.

Die wichtigste derzeitige Veränderung der Flughafen- und Netzwerkstruktur Deutschlands ist der zunehmende Ausbau des beliebten Flughafens München zu einem weiteren Hub der Lufthansa und der Star-Alliance. München ist ein relativ neuer Flughafen und verfügt aufgrund seiner günstigen verkehrstechnischen Platzierung über geringere Kapazitätsrestriktionen als vergleichbare Flughäfen. Dieser Vorteil soll durch einen Ausbau des Terminals weiter erhöht werden. Mittelfristig wird München damit zu einem gleichwertigen Mitglied bedeutender europäischer Hubflughäfen wie London (Heathrow), Paris (CDG), Frankfurt oder Amsterdam¹⁹⁴. Hierbei ist es für die Lufthansa wichtig, eine sinnvolle Aufgabenteilung zwischen ihren beiden Hubflughäfen zu erzielen¹⁹⁵.

Für die anderen Allianzen ist es sinnvoll, sich an einem deutschen Flughafen konzentriert zu präsentieren, um so innerhalb dessen Einzugsgebiets ein möglichst attraktives Angebot erzielen zu können. Aufgrund der hohen Belastung des Flughafens Frankfurt sind hierfür München oder - nach Fertigstellung des neuen Hauptstadtflughafens - Berlin geeignet¹⁹⁶.

Vor allem regional ist die Entwicklung der Streckennetze der Billigflug- und Regionalanbieter, ihr möglicher Markteintritt in zusätzliche Destinationen und ihre Ansiedlung an bestimmte Hauptflughäfen von großer Bedeutung. Ein aktuelles Beispiel dafür ist die starke Veränderung des Luftverkehrs auf den Regionalflughäfen Hahn und Lübeck, nachdem der Billigfluggesellschaft Ryanair diese als seine zentralen deutschen Flughäfen ausgewählt hat. Aber auch wenn die Entwicklung der regionalen Flughäfen sich durch die Billigfluggesellschaften stark verändern kann, hat dies im Vergleich zu den hohen Aufkommen der Hubstrukturen der großen Netzwerkcarrier noch stark untergeordnete Bedeutung¹⁹⁷.

Dennoch ist mit dem Erfolg der Billigfluggesellschaften und dem Erreichen der Kapazitätsgrenzen bei den großen Flughäfen ein überdurchschnittliches Aufkommenswachstum regionaler Flughäfen in Deutschland zu erkennen und wird als Analogon zur föderalen Struktur des Landes auch vielfach politisch gefördert. Der Nachteil der Regionalflughäfen ist die Beschränkung durch ein bevölkerungsbezogen begrenztes Quellgebiet, da hier nicht wie bei den Hubs von überregionalen Einzugsgebieten gezehrt werden kann und diese häufig auch nur eine begrenzte Menge urbaner Regionen in ihrer unmittelbaren

¹⁹² Fraport2002c 159.

¹⁹³ Lufthansa2002d 228.

¹⁹⁴ Schiphol2001 64.

¹⁹⁵ Dennis2000 78ff.

¹⁹⁶ Dennis2000 80.

¹⁹⁷ Schmidt2002b 61.

Nachbarschaft aufweisen. Als Einzugsgebiet eines Regionalflughafens kann daher (maximal) eine Ein-Stunden-Isochrone angesehen werden. Diese umfasst genau die Gebiete, die von Landseite aus in maximal einer Stunde den Flughafen erreichen können¹⁹⁸. Damit bleibt den Regionalflughäfen die Möglichkeit als Zulieferer der großen Hubflughäfen zu fungieren, sich auf Charterverkehr zu spezialisieren oder Heimat eines Billigfluggesellschafters zu werden.

Flughafen	Passagiere (Tsd.)	Passagierzahlanderung (%)
Frankfurt	48560	-1,6
München	23647	2,3
Düsseldorf	15393	-4,0
Berlin-Tegel	9909	-4,2
Hamburg	9490	-4,6
Stuttgart	7632	-6,2
Köln/Bonn	5706	-9,3
Hannover	5158	-6,7
Nürnberg	3196	1,5
Leipzig/Halle	2174	-4,5
Berlin-Schönefeld	1915	-13,3
Bremen	1820	-5,1
Dresden	1643	-6,6
Münster/Osnabrück	1607	-8,9
Paderborn/Lippstadt	1288	-5,5
Dortmund	1064	48
Berlin-Tempelhof	774	2,2
Saarbrücken	480	-0,5
Erfurt	472	-2,1
Hahn	438	15,3
Friedrichshafen	423	6,1
Augsburg	296	-4,9
Lübeck	231	25,2
Karlsruhe/Baden-Baden	191	3,0
Kiel	168	15,8
Mönchengladbach	166	-9,3
Rostock-Laage	111	10,8

Tab. 9: Die Luftverkehrsaufkommenentwicklung deutscher Flughäfen im Jahre 2001 zeigt eine Zunahme des Anteils Münchens am Hubaufkommen der Lufthansa, eine regionale Zunahme in Hahn und Lübeck durch Ryanair und die Auswirkung der Fertigstellung einer Startbahnverlängerung in Dortmund, die dort zu einer Erhöhung des Aufkommens und in seinem Umfeld zu einer Verringerung desselben führt. [Quelle: Schmidt2002b 61. Passagierzahlen der größten deutschen Airports 2001]

Aufgrund des großen Einflusses des (Luft)Verkehrs auf die wirtschaftliche Entwicklung wird der Bereitstellung nötiger Infrastrukturen und Kapazitäten große Bedeutung beigemessen¹⁹⁹. Hierbei wird auf na-

¹⁹⁸ VCD2002 2.

¹⁹⁹ ADV1999 2f.

tionaler Ebene gerade der regionale Charakter des deutschen Luftverkehrssystems gefördert, aber auch die Hubflughäfen sollen in Zukunft mit nötigen Kapazitäten versorgt werden²⁰⁰.

Flughafen	Bahnauslastung 2000 (%)	Bahnauslastung 2015 (%)	Terminalauslastung 2000 (%)	Terminalauslastung 2015 (%)
Berlin-Schönef.	53	73	49	95
Berlin-Tegel	92	142	109	211
Berlin-Tempelhof	53	77	51	98
Bremen	53	77	58	113
Dresden	47	63	50	97
Düsseldorf	118	187	100	194
Erfurt	41	55	60	117
Frankfurt	126	205	99	191
Hamburg	72	113	92	178
Hannover	43	67	65	126
Köln/Bonn	71	112	52	102
Leipzig/Halle	38	55	65	126
München	85	138	93	179
Münster-Osnabr.	68	100	118	228
Nürnberg	77	117	70	136
Saarbrücken	50	65	121	234
Stuttgart	90	140	110	213

Tab. 10: Für die derzeitigen Flughäfen ist im Falle fehlender Kapazitätsveränderungen die Belastung der Flughäfen im Jahre 2000 und 2015 vergleichend gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass in diesem Falle bis auf wenige Ausnahmen alle internationalen Flughäfen Deutschlands über oder an ihrer Kapazitätsgrenze operieren müssten. [Quelle: Baum2002 19, Abbildung10]

Ein Ausbau der Kapazitäten des Luftverkehrs in Deutschland ist politisch beschlossen. Als wichtigste Elemente bis zum Jahre 2015 sieht das BMVBW eine Kapazitätserhöhung des Flughafens Frankfurt/Main auf bis zu 120 Bewegungen pro Stunde, eine Erhöhung der Terminalkapazität für München auf insgesamt 30 Millionen Passagiere pro Jahr und eine Erweiterung der Flughäfen Düsseldorf auf 30 Millionen Passagiere pro Jahr bei uneingeschränktem Interkontinentalverkehr, sowie 20 Millionen Passagiere pro Jahr für Berlin und die Möglichkeit zum Interkontinentalverkehr für den Flughafen Münster/Osnabrück²⁰¹. Der zukünftige Ausbau der Kapazitäten beinhaltet den wichtigsten Flughafen in Frankfurt, dennoch wird sich auch nach einer solchen Baumaßnahme bald ein Zustand erneuter Überlastung einstellen²⁰². Die Geschwindigkeit, in der dies umgesetzt wird, ist allerdings derzeit nicht ausreichend, um die Fähigkeiten des Luftverkehrssystems auf dem aktuellen Niveau zu halten, vielmehr werden sich Engpässe weiter verschärfen²⁰³. Vor allem die Flughäfen München und Berlin, aber auch

²⁰⁰ BMVBW1999 4ff.

²⁰¹ BMVBW1999 6ff.

²⁰² Baum2002 18ff.

²⁰³ Infoletter2002 3f.

Hamburg, Köln oder Stuttgart werden zusätzlich stark unter den Folgen der Kapazitätsengpässe leiden²⁰⁴. Wichtigstes Bauprojekt in Deutschland ist der geplante Groß- und Hauptstadtflughafen Berlin-Brandenburg. Allerdings sollen nach seiner Einführung die anderen drei derzeitigen aktiven Flughäfen Berlins geschlossen werden. Als Folge wird auch der Flughafen Berlin-Brandenburg bald an seine Kapazitätsgrenze stoßen.

Tabelle 10 zeigt die geschätzte Entwicklung des Aufkommens der Flughäfen für das Jahr 2015 und stellt dieser die derzeitigen verfügbaren Kapazitäten an Start- und Landebahnen gegenüber. Ausgehend von der Annahme, dass sich in den 15 Jahren von 2000 bis 2015 keine Veränderungen der Kapazitäten ergäben, ist die zukünftige Belastung der einzelnen Flughäfen aufgezeigt. Auch wenn der Vergleich eines zukünftigen Aufkommens mit einer aktuellen Kapazität leicht irreführend wirkt, wie gerade das Beispiel Berlin zeigt, illustriert sie doch den hohen Bedarf neuer Kapazitäten in den nächsten 15 Jahren.

²⁰⁴ Baum2002 18ff.

2.3. Innereuropäischer Flugverkehr

Der innereuropäische und transatlantische Luftverkehr werden als pars pro toto in dieser Arbeit zur Analyse und als Test der Prognosemethoden besonders intensiv betrachtet. Das liegt daran, dass die entsprechenden Ströme diejenigen sind, die - mit ihrem Ursprung in Deutschland - international den höchsten Anteil am Gesamtaufkommen aufweisen. Eine Übertragbarkeit der Prognosemethoden und -ergebnisse auf andere Teilmärkte des internationalen Luftverkehrs ist dabei möglich.

Der innereuropäische weist den größten Anteil internationalen europäischen Luftverkehrs auf. Er ist dabei länderübergreifend und enthält aufgrund der begrenzten Größe Europas nur Kurz- und Mittelstreckenflüge. Die wichtigsten Veränderungen im Bereich der Routenstruktur des innereuropäischen internationalen Luftverkehrs Europas werden sich durch die Entwicklung der Fluggesellschaften und ihrer Flugroutennetzwerke sowie der Flughäfen und ihrer Kapazitäten ergeben.

Zusätzlich existieren aber vielfältige weitere Einflüsselemente, die vor allem von äußeren, beispielsweise politischen, Rahmenbedingungen ausgehen. So sind die fortschreitende Liberalisierung Europas, das Erhöhen der Kapazitäten durch Schaffung eines europäischen Luftraums²⁰⁵, die Bildung einer europäischen Flugsicherheit und europäischer statt bilateraler Abkommen wichtige Elemente einer zukünftigen, weniger nationalen Luftverkehrslandschaft. Auch die Geschwindigkeit des Wachstums der EU und ihrer faktischen Integration wird alle Bereiche europäischer Verflechtungen politisch, sozial, kulturell, wirtschaftlich und natürlich auch des Luftverkehrs tangieren²⁰⁶. Die Geschwindigkeit der Umsetzung einer EU-Osterweiterung ist schwer vorherzusehen und erhöht gerade im Bereich des innereuropäischen Luftverkehrs das Fehlerpotential einer Verkehrsprognose²⁰⁷.

Mittel- und langfristig ist neben der Entwicklung der EU vor allem die Veränderung der Wirtschaft, sowie der sozialen, politischen, kulturellen und auch militärischen Orientierung Russlands von großer Bedeutung für den Verkehr in Europa. Hierbei sind vor allem Moskau und Leningrad als große, westlich orientierte Städte wichtig für das europäische Luftverkehrsnetzwerk²⁰⁸. Diese sind gleichzeitig auch die Hubflughäfen der drei größten aktuellen russischen Fluggesellschaften Aeroflot, Pulkovo und Vnukovo²⁰⁹. Derzeitig ist das Luftverkehrsaufkommen Russlands als Folge des Zusammenbruchs der Sowjetunion stark gesunken. Dies liegt an dem generellen wirtschaftlichen Abschwung Russlands, dem Zurückge-

²⁰⁵ ADV2002 1.

²⁰⁶ Hartung2002e 66.

²⁰⁷ Pfaffenbichler2002 1.

²⁰⁸ Cline1998 17.

hen der internationalen politischen, sozialen, kulturellen, militärischen und wirtschaftlichen Bedeutung, der stärkeren Regionalisierung und dem Aufheben der besonderen staatlichen Förderung des Luftverkehrs, die unter anderem zu einem wesentlichen Anstieg der Preise geführt hat²¹⁰. Gegenwärtig zeichnet sich in Folge erster wirtschaftlicher Besserung und eines professionellen und weniger politisch ausgerichteten Managements der wichtigsten Fluggesellschaft Aeroflot jedoch bereits der Beginn einer Trendwende hin zu höherem Luftverkehrsaufkommen ab, die der Bedeutung und Größe des Landes gerecht wird. Zusätzlich sollte die geographische Lage zwischen Europa und Asien vor allem Moskau als interkontinentalem Hub Auftrieb geben²¹¹.

2.3.1. Europäische Fluggesellschaften

Bei der Betrachtung der Entwicklung europäischer Fluggesellschaften ist zwischen den Billigfluggesellschaften und den Netzwerkcarriern zu unterscheiden. Bei den Billigfluggesellschaften hat ausgehend vom Erfolg Ryanairs ein echter Boom in Europa begonnen. Der Anteil des Billigflugverkehrs in Europa wird sich weiter erhöhen²¹². Die Wachstumsgeschwindigkeiten dieser Fluggesellschaften sind derzeit enorm²¹³.

Derzeit existieren zwei große Billigfluggesellschaften in Europa: Ryanair und EasyJet/Go, beide bedienen leicht differierende Teilmärkte. Während Ryanair traditionell touristische Ziele von sehr preiswerten und dafür ungünstig gelegenen Flughäfen aus anfliegt, bedient EasyJet/Go eher eine Klientel, die von attraktiver gelegenen Flughäfen zu einem etwas höheren Preis fliegen möchte und spricht damit zunehmend auch Geschäftsreisende an. Diese Marktstrategie entspricht tendenziell eher dem, was Southwest in den USA so erfolgreich gemacht hat²¹⁴. Dieser Effekt der economies of scale und der Wunsch, sich einen möglichst großen Teil vom attraktiven neuen Billigflugmarkt in Europa fest zu erobern, führt gegenwärtig auch zu ersten Fusions- und Konzentrationsprozessen im Bereich europäischer Billigfluggesellschaften mit den größten Vertretern EasyJet und Ryanair²¹⁵.

In Europa existieren derzeit drei große Netzwerkcarrier und werden, falls keine unerwarteten Fusionen auftreten, auch in Zukunft als dominierende europäische Netzwerkcarrier nebeneinander konkurrenzfähig existieren²¹⁶. Alle anderen europäischen Netzwerkcarrier sind gezwungen einen Weg zu finden, der die Notwendigkeit ihrer Existenz rechtfertigt. Sind derzeit die meisten kleineren Netzwerkcarrier noch

²⁰⁹ Endres2001b 33.

²¹⁰ Endres2001b 32f.

²¹¹ Endres2001a 30.

²¹² Sparaco2002d 36f.

²¹³ Hartung2002b 54ff.

²¹⁴ FAZ2002a 220f.

²¹⁵ Sparaco2002d 36f.

²¹⁶ AB2001b 9.

national politisch gewollt und unterstützt, wird sich dies in Zukunft abschwächen. Die Geschwindigkeit dieser Entwicklung ist allerdings verhältnismäßig niedrig und regional unterschiedlich. Dennoch wird langfristig eine Ausdünnung des Markts der kleinen und mittleren europäischen Netzwerkcarrier zu beobachten sein. Langfristig ist ein kleiner oder mittlerer Netzwerkcarrier nur überlebensfähig, wenn er sein individuelles Marktsegment gefunden hat. Da aber die pure Größe eines Netzwerkcarriers in vielen Bereichen - wie der Attraktivität gegenüber dem Kunden und der Kostenstruktur - ein Vorteil ist (siehe Abschnitt 1.4.3), wird die Kooperation mit anderen Fluggesellschaften bis zur Möglichkeit der Fusion sowie die Konzentration auf ein begrenztes räumliches oder serviceorientiertes Marktsegment die Palette der möglichen Alternativen zum Überleben auf dem europäischen Luftverkehrsmarkt für eine solche Fluggesellschaft darstellen. Dies ergibt vier praktikable Strategien für das Überleben eines solchen Netzwerkcarriers: Den Eintritt in eine attraktive Allianz²¹⁷, die Fusion mit einer anderen Fluggesellschaft, die Reduktion auf ein regionales Flugnetz und das Angebot eines besonderen Servicekonzepts, beispielsweise sehr preiswert (Wandel zum Billigfluggesellschaft) oder serviceorientiert (wie dies gegenwärtig Singapore sehr erfolgreich praktiziert). Alle kleinen oder mittleren Netzwerkfluggesellschaften werden diese Entscheidung zu treffen haben. Allerdings existiert bei den kleinen Netzwerkcarriern schon seit längerem die Erkenntnis, dass man nicht selbstständig die komplette Palette eines großen Netzwerkcarriers an Destinationen aufrechterhalten kann. Diese Fluggesellschaften suchen daher bereits nach einer Nischenstrategie. Anders bei den mittelgroßen Fluggesellschaften: Sabena, Swissair und KLM mussten sich langfristig von ihrer bisherigen Strategie lösen.

KLM versuchte ein Konzept einer eigenen Allianz war dabei auf der Suche nach einer sinnvollen Fusion. Langfristig konnte diese Fluggesellschaft in dieser Konstellation nicht erfolgreich agieren, dafür ist die Größe ihrer Allianz den anderen drei großen zu offensichtlich unterlegen. Swissair ist gescheitert. Neben der Möglichkeit zur Bildung einer regionalen Fluggesellschaft war die Umstrukturierung zu einer Billigfluggesellschaft eine Alternative. Die erneute Bildung eines ähnlichen Netzwerkcarriers zeigt nationale Interessen. Swiss in seiner gegenwärtigen Form als Netzwerkcarrier mit Sitz in der Schweiz und dem Anspruch eines umfassenden Flugroutennetzwerks wird langfristig nicht erfolgreich operieren können²¹⁸. Der Kauf durch die Lufthansa bietet zwar Synergiepotentiale, verringert aber die Schwächen der Netzwerkausrichtung der Swiss nur begrenzt. Sabena als belgischer Netzwerkcarrier ist genauso gescheitert wie Swissair, jedoch wurden dort die Lektionen gelernt²¹⁹. Jetzt existieren eine nationale Regionalfluggesellschaft mit Sitz in Brüssel, zusätzliche attraktive Billigfluggesellschaften und eine Hochgeschwindigkeitsbahnanbindung an die großen Drehkreuze in Paris und Frankfurt. Dies stellt eine intelligente und langfristig praktikable Strategie dar.

²¹⁷ Aharoni2002 16f.

²¹⁸ Waser2002 90.

²¹⁹ Baker2002 19.

Die drei großen Netzwerkfluggesellschaften haben einerseits die Optimierung ihrer Kooperationen und Allianzen andererseits ihre bestmögliche Aufstellung gegenüber den Billigfluggesellschaften zu finden. Hier ist eine ausgewogene Mischung zwischen Marktanteil²²⁰ und Rendite zu wählen, was nur durch die Definition einer langfristigen Strategie und die Besinnung auf die Kernkompetenzen zu verwirklichen ist. Als Elemente einer Reaktion auf die Billigfluggesellschaften ist eine Reduzierung der Preise gerade im unteren und mittleren - besonders preissensitiven - Marktsegment zu erwarten, was eine Erhöhung des Gesamtaufkommens, aber auch eine Verringerung der Einnahmen pro Kunden zur Folge haben wird. Damit einhergehend sind Kosten zu senken, erste Ansätze einer solchen Strategie sind die Erhöhung der Anzahl von Billigtarifen je Flugzeug, eine Flexibilisierung der Tarife und Veränderung der Verkaufsstruktur hin zu weniger Distributionskosten und einem geringeren Servicegrad²²¹.

Die Herausforderungen an die großen europäischen Netzwerkfluggesellschaften sind für British Airways am größten. Das Scheitern einer verstärkten Kooperation mit American Airlines, die lokal sehr hohe Konkurrenz durch Billigfluggesellschaften in Großbritannien, die periphere Lage in Europa und der Blockadeversuch des eigenen Hubflughafens London (Heathrow) gerade für amerikanische Mitbewerber erschweren die Randbedingungen eines erfolgreichen Operierens für diese Fluggesellschaft besonders. Zusätzlich ist British Airways - aufgrund der umfangreichen Palette an angebotenen Transatlantikflügen - von den großen europäischen Netzwerkfluggesellschaften am stärksten von den Anschlägen des 11. September betroffen. Die Einführung einer Liberalisierung des europäischen oder gar transatlantischen Luftraums würde zusätzlich ihre Sonderstellung in London (Heathrow) weiter gefährden. Daher ist eine erweiterte Kooperation mit kontinentaleuropäischen Partnern für British Airways besonders wichtig²²².

2.3.2. Europäische Flughäfen

In Europa existieren analog zu den Fluggesellschaften drei große Flughäfen: Frankfurt, Paris (CDG) und London (Heathrow). Alle drei haben Probleme, mit ihren Kapazitäten auszukommen. Auch wenn für Frankfurt in Zukunft mit einem Startbahnausbau gerechnet werden kann, verschiebt Lufthansa zunehmend Teile ihres Verkehrs nach München. Zusätzlich ist damit zu rechnen, dass nach Bau des neuen Großflughafens Berlin-Brandenburg dieser als Hub, beispielsweise einer konkurrierenden Allianz, fungieren könnte.

In Frankreich ist aufgrund der zentralen Struktur des Landes mit Bündelung vieler Vorgänge in der Hauptstadt eine Struktur mit zwei dominierenden Flughäfen in Paris, darunter dem größeren, Paris,

²²⁰ Hartung2002d 76.

²²¹ Jegminat2002c 85.

²²² Jegminat2002d 91.

Charles de Gaulle, als Hubflughafen der Air France entstanden. Gegenwärtig wird über den Bau eines dritten Flughafens in der französischen Hauptstadt nachgedacht²²³.

Großbritannien hat einen großen Hubflughafen von British Airways in Heathrow. Zusätzlich existieren zwei weitere Flughäfen im Bereich London und ein sekundärer Hubflughafen in Manchester. Allerdings liegen diese Flughäfen im Vergleich zu Paris oder Frankfurt aufgrund ihrer nördlichen, leicht peripheren Lage etwas ungünstiger für den innereuropäischen Verkehr.

Wichtige weitere europäische Flughäfen sind die Hubflughäfen der KLM in Amsterdam, von Alitalia in Mailand, von Swiss in Basel und von SAS in Kopenhagen²²⁴. Eine geringere Bedeutung haben noch Brüssel, Dublin und Wien. Durch den Konkurs von Swissair und Sabena haben Brüssel und Zürich wesentlich an Bedeutung eingebüßt.

Neben der Zuordnung der Fluggesellschaften zu ihren Hubflughäfen ist deren Kapazitätsbeschränkung von besonderer Bedeutung. Alle großen europäischen Hubflughäfen leiden unter einer Überlastung und den damit verbundenen Verspätungen. Die Abweichungen in der Intensität der Verspätung sind bei den verschiedenen großen Hubflughäfen London (Heathrow), Frankfurt, Paris (CDG), Amsterdam und Brüssel nur gering. 2001 betrug der Anteil der Verspätungen durchschnittlich etwas über 20 Prozent, die Dauer der Verspätungen 20 Minuten und die gemittelte Verspätung aller Flüge vier bis fünf Minuten.

Flughafen	Flugzeuggröße (Personen)	Verspätungen Anteil (%)	Verspätung verspätete Flüge (min.)	Verspätung al- ler Flüge (min.)
London (Heathrow)	136	19,8	20,3	4,01
Frankfurt	104	20,1	19,2	3,86
Paris (CDG)	92	23,0	19,7	4,51
Amsterdam	90	24,7	20,8	5,15
Brüssel	64	26,5	19,0	5,04

Tab. 11: Im Jahre 2001 wiesen die wichtigsten europäischen Hubflughäfen ungefähr gleiche Verspätungsintensitäten auf. Auffallend ist die Benutzung größerer Flugzeuge bei wachsendem Passagieraufkommen. [Quelle: Givoni2001 4. Table3]

Tabelle 11 zeigt die unterschiedliche Reaktion, mit den auftretenden Nachfragemengen und der verfügbaren Kapazität umzugehen. Größere Flughäfen benutzen größeres Fluggerät als kleinere Flughäfen, so ist die durchschnittliche Flugzeuggröße in London (Heathrow) mehr als doppelt so groß wie in Brüssel.

²²³ Handelsblatt2002a 211f.

²²⁴ Veldhuis1997 181.

2.3.3. Innereuropäische Netzwerkstrukturen

Die Netzwerkstrukturen in Europa sind relativ stabil²²⁵. Dies liegt daran, dass die meisten Fluggesellschaften traditionell national aufgestellt waren und so bereits lange über ein Monohubnetzwerk verfügen. Das hat sich in den letzten Jahren nur geringfügig verändert.

Bedingt durch Kapazitätsprobleme bei den großen Netzwerkfluggesellschaften existieren Tendenzen zur Bildung sekundärer Hubs. Kleinere und mittlere Netzwerkfluggesellschaften versuchen, beispielsweise in Allianzen, die Rolle eines regionalen Hubs zu übernehmen. Bei den verbleibenden europäischen Netzwerkfluggesellschaften stellt sich die Frage, ob sie mit einem vollständigen Netz von Destinationen auch in Zukunft aussichtsreich in Konkurrenz zu den Großen treten können.

Bedingt durch den Konkurs der Fluggesellschaften Sabena und Swissair und die Bildung von Allianzen hat der Wettbewerb zwischen den Netzwerkfluggesellschaften im innereuropäischen Raum etwas nachgelassen. Dieser Trend wird sich in Zukunft weiter fortsetzen. Hauptunsicherheiten bleiben die langfristige Strategie einer Einbindung der Swiss und KLM. Allerdings nimmt gleichzeitig in Europa die Konkurrenz durch Billigfluggesellschaften zu. Da Europa ein relativ kleiner Kontinent mit einer hohen Bevölkerungsdichte ist, haben viele Strecken die nötige Attraktivität für Billigfluggesellschaften. Mittelfristig wird dies dazu führen, dass in Europa nur drei oder vier große Netzwerkcarrier miteinander konkurrieren werden, die auf innereuropäischen Strecken häufig nicht oder nur wenig profitabel arbeiten. Dennoch sehen sie ihren Marktanteil in diesem Segment als einen wichtigen Teil ihres Gesamtangebots an. Die Billigfluggesellschaften werden langfristig vor allem die Routen erobern, die nicht von einem Hub ausgehen, vornehmlich von preissensitiven Reisenden benutzt werden und eine hohe Mindestnachfrage sicherstellen.

Wenn europäische Fluggesellschaften tendenziell größer und internationaler werden, stellt sich die Frage nach den Strukturen so entstehender Netzwerke. Ausgehend von aktuellen nationalen Monohubstrukturen wird das Ziel ein möglichst stark flächendeckendes Multihubnetzwerk sein. Als optimal ist für Europa, wie in Abschnitt 2.1.1 dargestellt, von etwa zwei bis vier Hubflughäfen (Aharoni rechnet mit drei bis vier²²⁶) auszugehen. Die Entwicklung hin zu einem solchen System ist nicht mit einem Schlag zu erwarten, vielmehr wird der erste logische Schritt in Europa die Bildung effektiver überregionaler Doppelhubsysteme²²⁷ sein. Das Einbinden zweier der fünf zentralen Hubflughäfen in Europa in ein Netzwerk macht nur dann Sinn, wenn eine möglichst geringe Übereinstimmung in den bestehenden Netzwerken existiert. Dies gilt vor allem für London (Heathrow) als einzigem nicht kontinentalem Hub und Frankfurt als am weitesten südöstlich gelegenen Hub. Abbildung 40 zeigt die Ergebnisse einer Unter-

²²⁵ Janic1997 179.

²²⁶ Aharoni2002 18ff.

²²⁷ Dennis2000 77ff.

suchung von Janic, nach welcher der optimale zweite Flughafen einer Fluggesellschaft mit Hub in Mailand in London (Heathrow) oder Paris (CDG) zu suchen wäre. Ein peripherer Hub hat einen zentralen Hub als optimalen Partner, wobei für einen südlichen Flughafen die optimale Lage möglichst nördlich ist, was erklärt, dass von den drei großen Hubflughäfen Frankfurt in diesem Fall am unattraktivsten ist²²⁸.

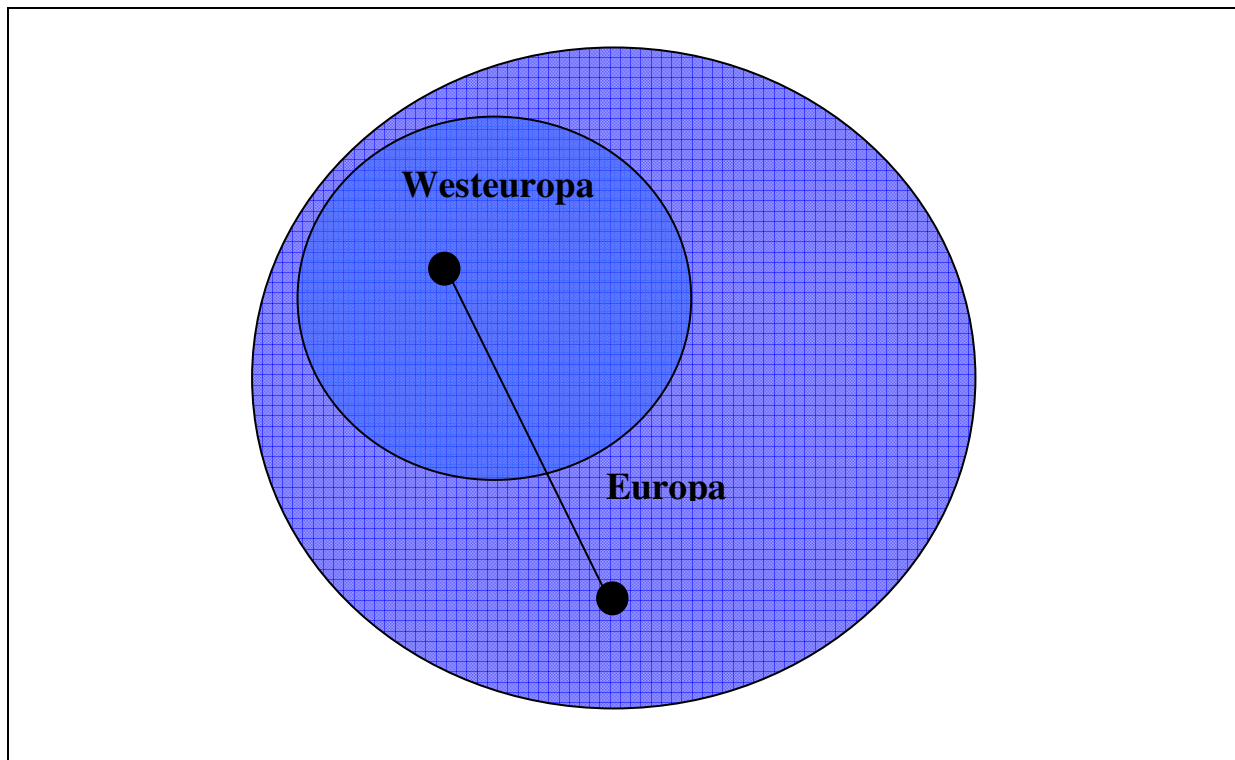


Abb. 40: Europäische Doppelhubnetzwerke sind dann am effektivsten, wenn sie entweder eine Unterteilung West-Ost oder Nord-Süd aufweisen und wenn einer der Flughäfen in der zentralen Region hoher Nachfragedichte in Deutschland, Belgien, Niederlande, Frankreich oder Großbritannien und der andere in einer peripheren Region liegt. [Eigene Darstellung]

Eine Veränderung der Strukturen des europäischen Luftverkehrs mit Bildung weniger größerer Netzwerke impliziert eine Abnahme der maximal möglichen Anzahl an Konkurrenten. Die von diesen angebotenen Routenstrukturen sollten jedoch konkurrenzfähig sein und so in einem Zusammenspiel mit Nischenvertretern wie Billigfluggesellschaften und regionalen Anbietern genügend Wettbewerb zulassen. Aber auch wenn in den meisten Fällen mehrere Alternativen für den Kunden zur Auswahl stehen, ist in Zukunft mehr noch als jetzt zu erwarten, dass einige regionale Märkte oder Relationen von einer oder sehr wenigen Fluggesellschaften dominiert werden.

Wie Tabelle 12 zeigt, ist Amsterdam der am stärksten auf den innereuropäischen Markt fokussierte große europäische Hubflughafen. So kann KLM den europäischen Raum abdecken, wohingegen der Allianzpartner Northwest die Nachfrage von und nach Nordamerika bedient. Eine globale Orientierung wie für London, Frankfurt oder Paris ist im Falle Amsterdams weniger gegeben. Auffällig ist auch die stark

²²⁸ Janic2001b 4.

europäische Ausprägung Zürihs, was sich durch die europäische Fokussierung der Qualifier Allianz begründen lässt, deren Mitglied Swissair und Sabena im Jahr 2000 waren. Anders stellt es sich vor allem für London (Heathrow) dar. Aufgrund seiner ungünstigen peripheren Lage ist dieser Flughafen sehr gut für interkontinentale Verbindungen - vor allem nach Nordamerika - aber weniger günstig für innereuropäische Routen, die nicht ihren Ursprung oder ihr Ziel in Großbritannien aufweisen, gelegen.

Flughafen	Europäische Destinationen	Passagiere Rang weltweit
Amsterdam	69	11
Frankfurt	53	7
Zürich	50	43
Paris CDG	49	9
München	42	42
Brüssel	41	46
Kopenhagen	36	52
London Heathrow	31	5

Tab. 12: KLM hat mit ihrem Hub in Amsterdam die stärkste Fokussierung auf innereuropäische Destinationen. London (Heathrow) dient aufgrund seiner peripheren Insellage vor allem als interkontinentaler Hub. [Quelle: Dennis2000 84. Table9]

Betrachtet man die Änderung der Angebote der europäischen Hubflughäfen im Jahre 2001, wie in Tabelle 13 dargestellt, so fällt vor allem die Zunahme des Luftverkehrs ausgehend von den sekundären Hubs München und Manchester auf. Gleichzeitig stagniert aus Kapazitätsgründen das Angebot Frankfurts. Mittelfristig ist es aus Effizienzgründen möglich, dass der Anteil der Kurzstrecken bei den Netzwerkfluggesellschaften weiter zurückgehen wird. Dies liegt daran, dass dieses Marktsegment für die großen Netzwerkcarrier weniger profitabel als das der Langstrecken betrieben werden kann. Eine Zunahme der Direktangebote auch durch Regional- und Billigfluggesellschaften ist in Zukunft damit weiter zu erwarten.

Hubflughäfen werden mittlerweile nicht mehr nur von den Fluggesellschaften selbst, sondern auch zunehmend koordiniert von den Fluggesellschaften der entsprechenden Allianz benutzt. Der größte Anteil der Heimallianz der größeren europäischen Hubflughäfen ist in Kopenhagen, wo SAS und die Star Alliance das Angebot beherrschen. Ein verhältnismäßig geringer Anteil liegt hingegen bei den britischen Hubs in London (Heathrow) und Manchester vor.

Der innereuropäische Verkehr mit Ursprung oder Ziel in Deutschland wurde im Jahr 2000 wesentlich dominiert von der Lufthansa und ihren Partnerfluggesellschaften der Star Alliance.

Eine Übersicht über gegenwärtige Entwicklungen im Bereich des Einrichtens zusätzlicher Hubs für europäische Fluggesellschaften zeigt Tabelle 14. Darin sind bereits umgesetzte und Pläne für potentielle ergänzende Hubs aufgeführt. In der Mehrzahl handelt es sich dabei um kleinere Netzwerkcarrier oder

Billigfluggesellschaften, die drei großen europäischen Fluggesellschaften versuchen momentan ihre internationale Aufstellung hauptsächlich durch die Teilnahme in Allianzen und den Erwerb von Minderheitsanteilen kleinerer europäischer Fluggesellschaften zu erzielen.

Stadt Rang MMX	Frequenz/Änderung 2001 (Flug/Woche)	Destinationen/ Än- derung 2001	Heimallianz/Änderung (An- teil %)
London	1505/38	67/0	47/-2
Paris	820/46	60/2	51/-1
Frankfurt	733/-11	64/3	68/3
Amsterdam	549/49	55/0	76/0
Zürich	328/15	43/-1	74/3
Mailand	231/-2	31/-4	69/8
Brüssel	157/-2	23/0	54/-5
München	117/13	24/5	59/10
Manchester	119/12	17/0	24/5
Kopenhagen	103/1	16/0	92/6

Tab. 13: Dargestellt ist die Anzahl der Frequenzen und Destinationen sowie der Anteil der Heimallianz an den europäischen Hubflughäfen im Jahr 2001. Auffällig ist die Zunahme des Verkehrs ausgehend von den sekundären Hubflughäfen München und Manchester. [Quelle: Schiphol2001 64.]

Fluggesellschaft	Alter Hub	Ergänzender Hub	Potentieller Hub
Iberia	Madrid		Frankfurt oder Amsterdam
Finnair	Helsinki		Stockholm
SAS	Kopenhagen, Stockholm, Oslo		?
KLM	Amsterdam		Mailand (Malpensa)
Virgin Express	Brüssel		Paris (CDG)
Ryanair	London (Stansted)	Brüssel (Charleroi)	
British Midland	East Midland	London (Heathrow)	Manchester
Lufthansa	Frankfurt	München	
Alitalia	Rom	Milan (Malpensa)	

Tab. 14: Der Anteil europäischer Fluggesellschaften mit mehr als einem Hub wächst. Dargestellt sind bereits umgesetzte oder geplante sekundäre Hubs. Auffällig ist, dass der Anteil der drei großen Fluggesellschaften an dieser Form der Internationalisierung eher spärlich ausfällt.

Die Aussagekraft vorstehender Analysen für die konkrete Routensituation des deutschen innereuropäischen Luftverkehrs ist jedoch begrenzt. Aus diesem Grund wurden etwa 100 innereuropäische Relationen auf ihre Routenstrukturen eigenständig untersucht. Datenquelle war hierfür [StaBu2000]. Die entsprechende Passagierzahlen der Routen wurden hierbei gemäß ihrer Höhe sortiert. Als Ergebnis zeigt sich, wie Tabelle 15 verdeutlicht, dass die wichtigste Flugroute nach dem – selbstverständlich attraktivsten Direktflug - der Umsteigeflug über Frankfurt war. Aufgrund der hohen räumlichen Nähe und des häufig preisgünstigen Angebots war die Flugroute über Brüssel die zweitattraktivste Umsteigeroute.

Dies wird sich durch die Pleite der Fluggesellschaft Sabena und die Aufgabe Brüssels als Hubflughafen einer Netzwerkfluggesellschaft in Zukunft wesentlich ändern. Nächstattraktiver Umsteigeort war der sekundäre Hubflughafen der Lufthansa in München. In der Gunst der Passagiere folgen Amsterdam und Paris, die neben einem großen Netz an Destinationen auch relativ günstig, zentral in Europa und nah an Deutschland liegen.

Rang	Route 2000	Allianz
1	Direkt	Star
2	Via Frankfurt	Star
3	Via Brüssel	Qualiflier
4	Via München	Star
5-6	Via Amsterdam	Wings
5-6	Via Paris	Skyteam
7-8	Via London	Oneworld
7-8	Via Zürich	Qualiflier

Tab. 15: Im Jahre 2000 waren die wichtigsten Routen einer innereuropäischen Flugreise mit Start oder Ziel in Deutschland die Direktflugroute und folgend die Umsteigerouten über Frankfurt, Brüssel und München. London und Zürich waren aufgrund des Angebots und der geographischen Lage von geringerer Bedeutung. [Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der Daten des [StaBu2000]]

Weniger erfolgreich bei innereuropäischen Flugrouten von und nach Deutschland waren Swissair und British Airways, was unter anderem in ihrer eher ungünstigen Lage, aber auch in ihrem Ruf als eher hochpreisige Gesellschaften begründet liegen dürfte.

Derzeit ist die Konkurrenz auf innereuropäischen Strecken, auf denen keine Billigfluggesellschaften präsent sind, gering. Es existieren zumeist nur ein oder zwei Anbieter für einen Direktflug auf einer innereuropäischen Relation²²⁹. Aus Zeitgründen ist der Direktflug - wenn angeboten - die attraktivste Route, folgend sind im innereuropäischen Flugverkehr fast vollständig nur Routen mit maximal einem Umsteigeort von genügend hoher Attraktivität. Dies wird dazu führen, dass abgesehen vom Direktflug auch in Zukunft der Umsteigeflug über Frankfurt die attraktivste Route sein wird. Durch eine Stärkung der Position als sekundärer Hub wird die Bedeutung Münchens weiter zunehmen. Amsterdam wird der wichtigste inner-europäische Hub von Wings, Paris (CDG) von Skyteam und London (Heathrow) von Oneworld bleiben.

Berücksichtigt man auf Basis der Ergebnisse der Tabelle 15 die vorherig in diesem Abschnitt 2.3 beschriebenen Trends, lässt sich eine Prognose zukünftiger innereuropäischer Routenstrukturen abgeben. Wie aus Tabelle 16 ersichtlich ist, wird vor allem aus geographischen Gründen nach den deutschen Hubs in Frankfurt und München ein Umsteigeflug über Amsterdam und Paris die attraktivste Alternative darstellen. Aufgrund seiner ungünstigen Lage kommt London (Heathrow) auch in Zukunft für dieses Marktsegment eine geringere Bedeutung zu. Weiter werden sich in den Allianzen kleinere Hubs

²²⁹ Aharoni 2002 18f.

mit regionalem Einflussbereich stärker konturiert herausbilden und so ihre interne Rolle definieren. Dies sind vor allem die Hubs in Mailand und Kopenhagen, hier als regionale Hubs I bezeichnet, aber auch jene kleineren, regionalen Hubs II, in Manchester, Dublin, Wien²³⁰, Madrid und Helsinki.

Innereuropäische Routenstrukturen

Rang 2010	Route	Allianz
1	Direkt	Star
2	Via Frankfurt	Star
3	Via München	Star
4-5	Via Amsterdam	Wings
4-5	Via Paris	Skyteam
6	Via London	Oneworld
Regionaler Hub I	Mailand	Skyteam
Regionaler Hub I	Kopenhagen	Star
Regionaler Hub I	Basel	
Regionaler Hub II	Manchester	Oneworld
Regionaler Hub II	Dublin	Oneworld
Regionaler Hub II	Wien	Star
Regionaler Hub II	Madrid	Oneworld
Regionaler Hub II	Helsinki	Oneworld

Tab. 16: Mittelfristig wird sich die Routenstruktur des innereuropäischen Flugverkehrs mit Start oder Ziel in Deutschland nur wenig ändern. Nach dem Direktflug werden folgend die Umsteigeflüge über Frankfurt, München, Amsterdam und Paris am attraktivsten sein. [Quelle: eigene Prognose, auf Basis der Analyse der Tab. 15]

Unklar bleibt die mittel- und langfristige Strategie der Einbindung der Swiss in die Strategie der Lufthansa. Zusätzlich sollte sich vor allem langfristig die Ausbildung weiterer und wichtiger regionaler Hubs in Osteuropa in Folge der verstärkten Integration und des Wachstums der EU verstärken. Dennoch bleibt die Anzahl attraktiver konkurrierender Routen im innereuropäischen Flugverkehr aufgrund der geringen Größe Europas und der wenigen großen Netzwerkfluggesellschaften auf etwa fünf bis höchstens zehn beschränkt. Diese Konzentration wird sich tendenziell weiter leicht verstärken.

²³⁰ Hartung2002e 65f.

2.4. *Transatlantischer Flugverkehr*

Der transatlantische Luftverkehr ist schon wenige Jahre nach dem 21. Mai 1927, als Charles Lindbergh erstmalig den Atlantik überquerte, der wichtigste und größte interkontinentale Luftverkehrsmarkt geworden und bis heute geblieben. Er verbindet die beiden Erdteile, die in ihrer technologischen und wirtschaftlichen Entwicklung besonders weit fortgeschritten sind und auch zu der Geburt der Luftfahrt die größten Beiträge geleistet haben. Dieser Markt stellt trotz oder gerade wegen seiner hohen Sättigung das wichtigste Element im interkontinentalen Verkehrsbereich dar. Dies gilt umso mehr aus europäischer oder spezifisch deutscher Sicht. Die bedeutendsten Einflussvariablen der Entwicklung der Luftverkehrsstruktur zwischen Nordamerika und Europa sind die der Fluggesellschaften, Flughäfen und Allianzen, die sämtlich von großem Einfluss auf die möglichen Hub- und Routenstrukturen dieses Netzwerks sind.

Neben diesen Einflüssen sind vor allem wirtschaftliche, politische (auch terroristische) und wettbewerbsregulierende Veränderungen als Ursachen für mögliche Umstrukturierungen denkbar. Besondere Bedeutung kommt hierbei den bisher wesentlich bilateralen Abkommen zwischen den USA und den Staaten der EU zu, die durch die mögliche Schaffung eines gemeinsamen Luftraums abgelöst würden und zu wichtigen Veränderungen der Wettbewerbsbedingungen der europäischen und us-amerikanischen Fluggesellschaften führen würden. Für die USA ist hierbei gerade der bessere Zugang us-amerikanischer Fluggesellschaften zu dem wichtigen Markt nach London (Heathrow) von Bedeutung. Entsprechend versuchen British Airways und Großbritannien, eine solche Veränderung zu verhindern oder zumindest zu verzögern²³¹. Momentan steht man in Europa vor dem Problem, dass geltendes EU-Recht, das Chancengleichheit aller Fluggesellschaften aus Staaten der EU fordert, mit den bilateralen Abkommen im Widerspruch liegt. Der Ausgang eines Verfahrens, das gegenwärtig vor dem europäischen Gerichtshof anstellig ist und diese Problematik klären soll, wird daher von großem Einfluss auf die Entwicklung des innereuropäischen und transatlantischen Luftraums sein²³².

2.4.1. **Nordamerikanische Fluggesellschaften**

Der transatlantische Luftverkehr wird zum größten Teil von den großen amerikanischen und europäischen Netzwerkfluggesellschaften und ihren Allianzen bedient. Billigfluggesellschaften kommt, aufgrund der höheren Komplexität des Verkehrs zwischen zwei Kontinenten bei fehlender einheitlicher Regelung

²³¹ Baker2001b 18.

des transatlantischen Luftraums und einer Bevorzugung der nationalen Netzwerkcarrier innerhalb der bilateralen Abkommen, nur eine Nischenbedeutung zu. Zusätzlich erschweren die langen Flugdistanzen sowie die häufig nur geringen interregionalen Nachfragen das erfolgreiche Agieren in diesem Marktsegment ohne eine Bündelung der Verkehrsströme durch Hub and Spoke Netzwerke. Wichtigste Ausnahme ist Virgin Atlantic, das von London (Heathrow) aus gegenwärtig acht nordamerikanische Städte direkt anfliegt. London ist als Flughafen einer transatlantischen Strecke aufgrund seiner räumlichen Nähe zu den USA, seiner Insellage, der großen eigenen Nachfrage durch eine hohe Bevölkerungszahl im Einzugsbereich des Flughafens und eine hohe wirtschaftliche Entwicklung der Region sowie der weit überdurchschnittlichen Kostenstruktur des konkurrierenden Netzwerkcarriers besonders attraktiv für einen Billigfluggesellschaft. Für den Billigfluggesellschaft Virgin Atlantic eignen sich als Destinationen vor allem solche Flughäfen, die eine hohe Eigennachfrage nach Flügen nach London aufweisen. Dies sollten Städte mit einer großen Bevölkerung und hoher wirtschaftlicher und technologischer Bedeutung sein, die möglichst keinen aktuellen Hubflughafen der großen amerikanischen Fluggesellschaften aufweisen. Hierbei sind insbesondere die Hubflughäfen der wichtigsten konkurrierenden Allianzen in den USA als Zielflughäfen zu vermeiden. Dies betrifft vor allem den Haupthub von American Airlines, Chicago. Von den acht us-amerikanischen Flughäfen, die Virgin Atlantic bedient, hat momentan tatsächlich nur ein einziger den Status eines Hubflughafens: Miami, das sekundärer Hub von American Airlines ist. Für dieses Ziel scheint eine genügend hohe Nachfrage - preissensitiver Passagiere - zu existieren, was sich wahrscheinlich in dem Charakter Miamis als Hauptflughafen der touristischen Region Floridas begründen lässt.

Gegenwärtig steckt der transatlantische ähnlich wie der nationale Luftverkehr der USA in einer tiefen Krise. So sind derzeit alle drei großen us-amerikanischen Netzwerkcarrier vom Konkurs bedroht, wenngleich in unterschiedlichem Maße. Neben den Folgen eines geringeren Flugvolumens und höherer Kosten durch Versicherungen und Sicherheitsmaßnahmen in Folge des Anschlags, ist auch ein Rückgang der Gesamtmenge der Geschäftsreisenden zu beobachten, verbunden mit einer abnehmenden Bereitschaft, dafür hohe Tarife zu bezahlen. Politische, gewerkschaftliche und kartellrechtliche Interessen haben eine umfassende Neugliederung des nordamerikanischen Luftverkehrs verhindert²³³. Der wirtschaftliche Abschwung zusammen mit den Folgen des 11. Septembers deckt diese Problematik schonungslos auf und stellt die Existenz jedes Netzwerkcarriers in Frage.

Generell ist zu erwarten, dass im Bereich der Netzwerkcarrier der Konzentrationsprozess fortschreitet. Bei gegenwärtig drei großen Fluggesellschaften²³⁴ ist eine wesentliche Abnahme aus kartellrechtlichen Gründen nicht möglich. Jedoch könnten verstärkt Kooperationen oder Fusionen zwischen den großen

²³² Gallagher2002 17.

²³³ Reuter2002 3.

und den kleinen bis mittleren Konkurrenten zu einer weiteren Erhöhung des Marktanteils der Netzwerkfluggesellschaften führen.

Außer einer Konzentrierung²³⁵ ist vor allem im nationalen Luftverkehrsmarkt der USA von einer gestiegenen Nischenbildung nationaler Kurz- und Mittelstreckenflüge durch Billigfluggesellschaften auszugehen. Neben einer weiter erfolgreichen Entwicklung des Unternehmensgewinns und Marktanteils von Southwest sind auch andere kleinere Fluggesellschaften dabei, diesen Zeitpunkt der Schwäche der großen Netzwerkcarrier für eine erfolgreiche Aufstellung auszunutzen.

Zusätzlich zur Entwicklung der Finanzsituation der großen Netzwerkfluggesellschaften ist für das transatlantische Routennetzwerk auch die Veränderung oder Intensivierung von Kooperationen von besonderer Bedeutung. Hierbei verdienen die Kooperation von American Airlines und British Airways und die von United und US aktuell die vergleichsweise größte Beachtung. Eine Intensivierung der Kooperation zwischen BA und American ist aus kartellrechtlichen Gründen gescheitert, was wieder wesentlich in der Abschottung des Hubflughafens London (Heathrow) begründet ist. Diese Entwicklung ist von großem Einfluss auf die oneworld-Allianz. Auch im Falle von United und US ist eine stärkere Kooperation an kartellrechtlichen Bedenken gescheitert. Dennoch arbeiten beide Firmen weiter an einer erfolgreichen Umsetzung. US würde nicht nur das Netzwerk von United gerade an der Ostküste der USA sinnvoll ergänzen, eine Einbindung in die Star Alliance wird bereits diskutiert und würde deren Attraktivität im us-amerikanischen und transatlantischen Markt wesentlich erhöhen²³⁶.

2.4.2. Nordamerikanische Flughäfen

Auch die meisten größeren nordamerikanischen Flughäfen sind Hubflughäfen mindestens eines Anbieters. Die drei großen Netzwerkfluggesellschaften sind American, Delta und United, die sämtlich Mitglied in einer globalen Allianz sind und deshalb größere Bedeutung im Bereich des interkontinentalen Luftverkehrs haben. Auch die kleinere Northwest ist Mitglied in einer Allianz mit KLM. Weitere Netzwerkfluggesellschaften sind US und Continental, hinzu kommt die dominierende kanadische Gesellschaft Air Canada mit ihren Hubflughäfen in Toronto und Vancouver. Diese sieben prägen zusammen mit dem großen Billigfluggesellschaft Southwest wesentlich die Luftverkehrsstrukturen Nordamerikas.

Air Canada ist trotz seiner Verknüpfungen mit den USA im wesentlichen eine kanadische Fluggesellschaft. Dies ist auch der Grund, warum sie zusammen mit einer großen us-amerikanischen Fluggesellschaft ohne größere Überschneidungen des Routennetzwerks in einer Allianz sind.

²³⁴ AB2001b 9.

²³⁵ Bond2002d 44.

²³⁶ Bond2002a 50.

Flughafen	Passagiere Rang weltweit	Mainport	Hub Fluggesellschaft
Atlanta	1	+	Delta
Chicago	2	+	American, United (US)
Los Angeles	3	+	
Dallas/Ft. Worth	5	+	American
San Francisco	8	+	United (US)
Denver	10	+	United (US)
Miami	12	+	American
Newark	13	+	
Phoenix	14	+	
Detroit	15	+	Northwest
NY: JFK, La Guardia	16 und 36	+	Continental
Houston	17	+	Continental
Minneapolis/St. Paul	18	+	Northwest
Las Vegas	19		
St. Louis	22	+	American
Orlando	24	+	
Toronto	25	+	Air Canada
Boston	26	+	
Seattle	27	+	
Philadelphia	33	+	United (US)
Charlotte	35	+	United (US)
Honolulu	37		
Cincinnati	38	+	Delta
Pittsburgh	40	+	United (US)
Salt Lake City	41 und 90		Delta
Washington, R. Reagan	56	+	United (US)
Vancouver	59	+	Air Canada
Cleveland	74		Continental
Memphis	87		Northwest
Montreal	>100	+	
Calgary	>100	+	

Tab. 17: Dargestellt sind die wichtigsten nordamerikanischen Flughäfen nebst ihres weltweiten Rangs bezüglich der Passagierzahl, ihrer Rolle als international bedeutenden Mainports und ihrer eventuellen Hubfunktion. [Quelle: FS2000b Ranking of the TOP 100 Airports, Schiphol2001 63. (list of mainports), Pavaux1995 94., Table 4.3, Janigan2001 2.]

Die us-amerikanischen Fluggesellschaften haben sämtlich ein Hub and Spoke Netzwerk. Unterschiedlich ist die Intensität, Größe und Anzahl ihrer Hubflughäfen. Größte amerikanische Hubs sind Atlanta und Chicago, die auch gleichzeitig die primären Hubs der drei großen Netzwerkcarrier sind. Im Unterschied zur Situation in Europa ist aufgrund der Aufteilung auf viele Flughäfen eine andere, geringere

Form der Überlastung zu beobachten²³⁷, die auch eine Reglementierung der Zugangsmöglichkeit durch Slots wie in Europa auf Ausnahmen reduziert.

Die Menge us-amerikanischer Hubflughäfen wird wesentlich geprägt durch die dominierenden Fluggesellschaften. Da diese nicht wie in Europa national ausgerichtet sind, ist die Auswahl möglicher Hubs für eine Fluggesellschaft in den USA größer als in Europa, was dazu führt, dass nach Umstrukturierungen oder Fusionen Hubflughäfen verändert werden oder wegfallen. Allerdings ist im Umfeld der beiden großen Flughäfen Atlanta und Chicago eine solche Infrastruktur aufgebaut, dass davon auszugehen ist, dass diese auch in Zukunft, unabhängig von der Entwicklung einzelner Fluggesellschaften ihren besonderen Status beibehalten werden. Tabelle 17 zeigt die wichtigsten amerikanischen Flughäfen, ihre Größe, ihre Bedeutung und ihre Rolle als Hubflughafen einer Fluggesellschaft.

Die Bedeutung kanadischer Flughäfen ist im Vergleich zu den us-amerikanischen in der Anzahl wie in der Größe des Passagieraufkommens bescheiden.

2.4.3. Allianzen und der transatlantische Luftverkehr

Der transatlantische Luftverkehr ist gegenwärtig das wichtigste Element der globalen Allianzen. Allianzen schöpfen ihre größten Vorteile im internationalen und vor allem interkontinentalen Verkehr. Hier hat eine Kooperation zweier Fluggesellschaften mit ihren jeweiligen Hub and Spoke Strukturen den größten Vorteil bei der Bündelung des Verkehrs über die Hubflughäfen der Start- und der Zielregion. Durch verbesserte Koordination und Bündelung der Ströme können die beiden beteiligten Fluggesellschaften mehr und effektiver Nachfrage bedienen, als sie in einem nicht kooperierenden Fall in der Lage wären. Die Bedeutung des transatlantischen Verkehrs für Allianzen lässt sich beispielweise daran erkennen, dass sich die Allianz zwischen KLM und Northwest, also einer us-amerikanischen und europäischen Fluggesellschaft, wesentlich auf die Koordinierung der Luftverkehrsströme über dem Atlantik konzentriert und keine weiteren Partner beinhaltet.

Im transatlantischen Bereich umfassen alle vier großen Allianzen eine us-amerikanische und eine große europäische Netzwerkfluggesellschaft. Sieht man von Lufthansa ab, die ihren sekundären Hubflughafen in München zunehmend - vor allem aus Kapazitätsgründen - aufwertet, hat die beteiligte große europäische Fluggesellschaft eine Mono- und die us-amerikanische Fluggesellschaft eine Multihubstruktur.

Wie Abbildung 41 darstellt, sind die wichtigsten Flugstrecken jene zwischen dem europäischen und den nordamerikanischen Hubflughäfen. Diese sollten eine hohe Frequenz und gute Koordination aufweisen. Zusätzlich werden für Relationen hoher Nachfragedichte Direktflüge angeboten.

²³⁷ Button2002 185.

Der gemeinsame Anteil der Allianzen am gesamten Luftverkehr beträgt über 50%, der am internationalen Luftverkehr etwa 60%, im transatlantischen Bereich ist dieser, wie Tabelle 6, Abschnitt 1.7, zeigt, mit ungefähr 78% am höchsten^{238 239}.

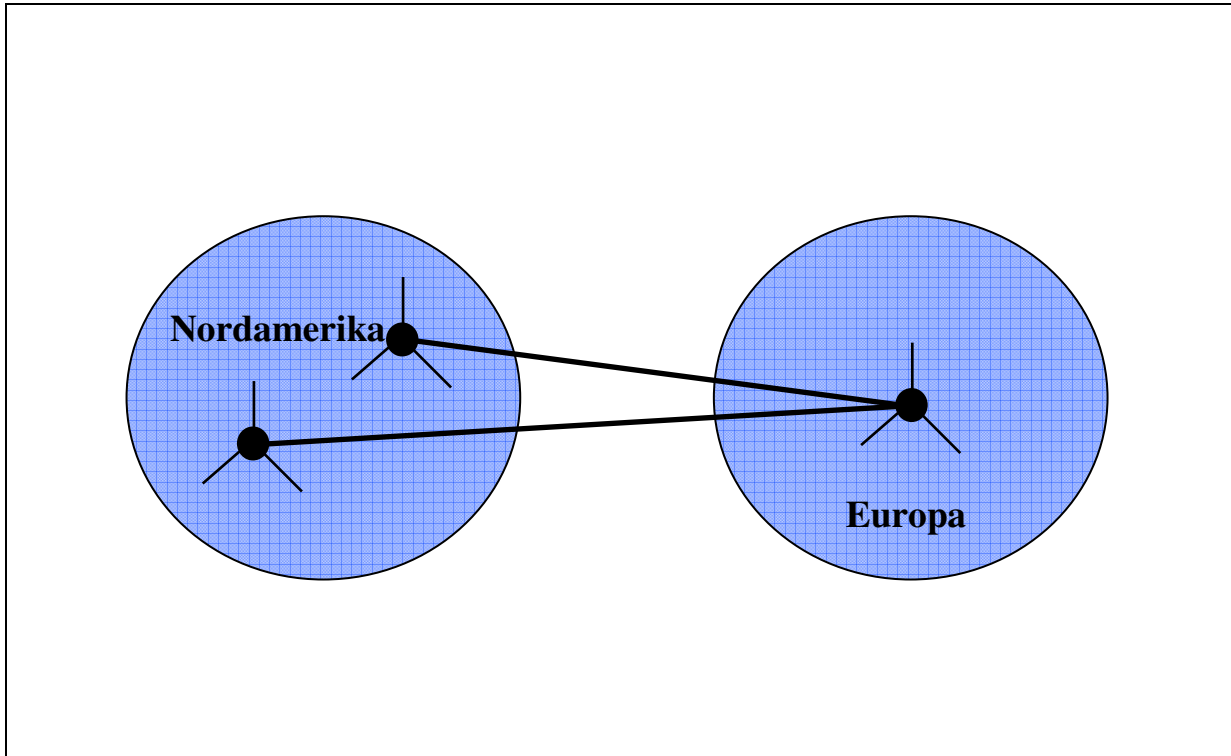


Abb. 41: Der transatlantische Luftverkehr wird zu großen Teilen von den Allianzen bedient. Hierbei hat die dominierende europäische Fluggesellschaft eine Mono- und die us-amerikanische Fluggesellschaft eine Multihubstruktur. Neben einigen attraktiven Direktflügen werden vor allem interkontinentale Flüge zwischen den Hubflughäfen der unterschiedlichen Gesellschaften mit hoher Frequenz angeboten. [Eigene Darstellung]

Der Marktanteil der anderen europäischen und nordamerikanischen Netzwerkfluggesellschaften, die nicht Mitglied einer globalen Allianz sind, sowie der Billigfluggesellschaften, wie Virgin Atlantic, liegt damit beim transatlantischen Luftverkehrsmarkt bei insgesamt nur 22%. Hierbei ist tendenziell durch weiteres Wachstum der Allianzen und verbesserte Angebote eine Zunahme der Bedeutung der Allianzen im transatlantischen Bereich zu erwarten²⁴⁰. Eine Analyse zukünftiger Routenstrukturen des transatlantischen Luftverkehrs ist damit noch viel stärker als im innereuropäischen Verkehr an die Entwicklung der Allianzen geknüpft.

Während bei den interkontinentalen Verbindungen nach Asien die Star Alliance deutlich dominierend ist, sind auf den transatlantischen Routen vor allem Oneworld und Skyteam konkurrenzfähig, auch wenn das Angebot von Star etwas attraktiver scheint und den höchsten Marktanteil generiert²⁴¹.

²³⁸ Solon2002b 11ff.

²³⁹ Pinkham2002b 48.

²⁴⁰ Dennis2000 78ff.

²⁴¹ Pinkham2002b 48f.

Allerdings ist der für die Fluggesellschaften hochattraktive transatlantische Markt, der von vielen Geschäftsreisenden frequentiert wird, für die Allianzen eine interne Herausforderung. Denn auch wenn die einzelnen Anbieter der Allianzen kooperieren, treten sie innerhalb einer Allianz doch auch als Konkurrenten auf, gerade dann, wenn der jeweilige europäische und nordamerikanische Partner bei den Flügen über den Atlantik unterschiedliche Preis- oder Servicekonzepte verfolgen²⁴². Hier ist Skyteam aufgrund seiner kartellrechtlich ermöglichten, erhöhten Kooperationsfähigkeit im Preisbildungsbereich gegenüber den anderen Allianzen im Vorteil.

Für die Routenstruktur wird vor allem die Veränderung der Zusammensetzung der europäischen und nordamerikanischen Fluggesellschaften in einer Allianz von Bedeutung sein.

2.4.4. Transatlantische Netzwerkstrukturen

Transatlantische Routen haben ihren Ursprung und Endpunkt zum einen Teil in Europa, zum anderen in Nordamerika. Je nach Art der Flughäfen besitzen sie eine unterschiedliche charakteristische Anzahl an Umsteigevorgängen:

- Routen, die auf beiden Seiten des Atlantiks in einem Hubflughafen beginnen und enden, beinhalten je nach Zuordnung der Flughäfen – vor allem zu den Allianzen - keinen oder maximal einen Umsteigevorgang.
- Routen, die von einem Hub- zu einem Nicht-Hubflughafen oder umgekehrt verlaufen, weisen zumeist einen Umsteigevorgang auf. In einigen Fällen können auch zwei nötig sein.
- Routen von einem Nicht-Hubflughafen zu einem weiteren Nicht-Hubflughafen umfassen nahezu immer zwei Umsteigevorgänge.

Hierbei führt die Benutzung von Kundenbindungsprogrammen zu einer leichten Erhöhung der repräsentativen Anzahl an Umsteigevorgängen. Routenstrukturen im interkontinentalen Relationsbereich hängen wesentlich von der Hubstruktur der Fluggesellschaften und ihrer Mitgliedschaft in den Allianzen ab.

Wichtigste nationale Drehkreuze sind Atlanta und Chicago. Ihnen kommt auch im transatlantischen Verkehr eine große Bedeutung zu, allerdings haben für diese Relationengruppe zusätzlich gerade die beiden New Yorker Flughäfen Newark und J.F.K. eine besonders wichtige Stellung. Tabelle 18 zeigt die wichtigsten amerikanischen Hubflughäfen und die Marktanteile der dominierenden Fluggesellschaften. Die meisten großen Fluggesellschaften verfügen zur Abdeckung des gesamten Landes über mehrere wichtige Drehkreuze. Diese liegen möglichst zentral zu einer Region attraktiver potentieller Ziele.

²⁴² Reuter2002 3.

Flughafen	Fluggesellschaft	Marktanteil FG (%)
Atlanta	Delta	80
Charlotte	US/United	91
Cincinnati	Delta	90
Dallas Ft. Worth	American	71
Denver	United/US	73
Detroit	Northwest	78
Houston International	Continental	83
Memphis	Northwest	75
Minneapolis	Northwest	80
Philadelphia	US/United	73
Pittsburgh	US/United	89
Salt Lake City	Delta	72
St. Louis	TWA/American	76
Chicago	United/US	50
Cleveland	Continental	50
Miami	American/TWA	56
New York Newark	Continental	61
Oakland	Southwest	68
San Francisco	United/US	53

Tab. 18: In den USA existiert eine Vielzahl an Hubflughäfen, die jeweils wesentlich von einer Fluggesellschaft dominiert werden. [Quelle: Cooper2001 10., exhibit1]

Abbildung 42 zeigt die Veränderung der angebotenen Frequenzen und Verbindungen für die großen europäischen Fluggesellschaften und die Allianzen auf dem Gebiet der transatlantischen Relationen. Zwei Trends sind bemerkenswert: Die Angebote der Allianzen erhöhen sich stärker als die der einzelnen Fluggesellschaften und die Frequenzen steigen wesentlich deutlicher an als die Anzahl der Direktverbindungen.

Die großen nordamerikanischen und europäischen Fluggesellschaften wählen ihr transatlantisches Netzwerk so, dass ausgehend von ihren Hubflughäfen bevorzugt die des oder der kooperierenden Partner in der Allianz angeflogen werden. Hinzu kommen weitere Direktflüge zu Flughäfen, die eine genügend hohe Nachfragedichte erzeugen. Beobachtbar ist eine Konzentration auf wesentliche wichtige Verbindungen mit möglichst hoher Frequenz.

Die Konzentration der Märkte ist gerade im inneramerikanischen Markt erheblich²⁴³. Dies gilt in relativer Form auch für transatlantische Routen. Konkurrenz tritt nicht auf identischen Routen auf, sondern wird durch eine Steigerung der Attraktivität eigener Hubs erreicht. Das Auflegen zusätzlicher Direktflugverbindungen ist lediglich eine Ergänzung zu dieser Strategie.

²⁴³ Cooper2001 1ff.

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass sich die Fokussierung der Fluggesellschaften innerhalb der Allianzen weiter fortsetzen wird. Dabei wird für die einzelnen Hubflughäfen eine Menge an Direktverbindungen geschaffen, die es aus der Perspektive der Allianz ermöglicht, dass der Gesamtmarkt an Relationen mit einer möglichst hohen Frequenz erreichbar ist. Entsprechend findet bei den Hubflughäfen einer Allianz in Europa eine Aufgabenteilung auf jeweils besonders attraktive Zielflughäfen statt.

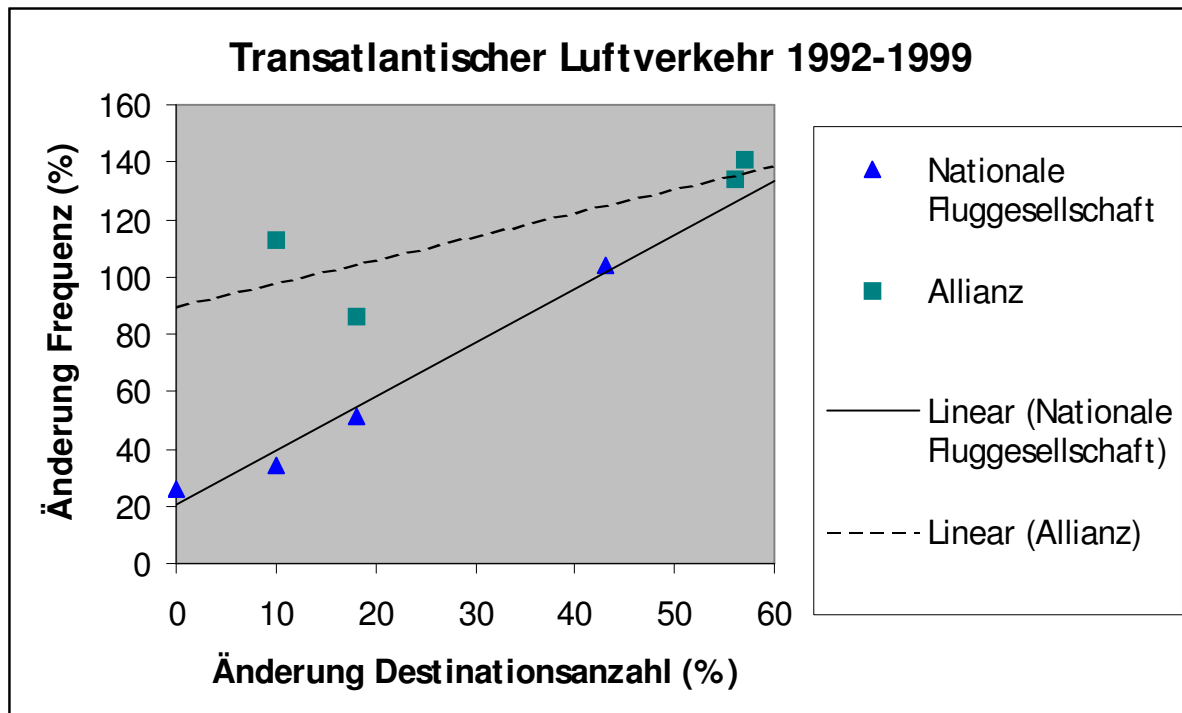


Abb. 42: In den Jahren von 1992 bis 1999 haben die großen Fluggesellschaften und Allianzen die Menge der abgebotenen Routen und Flugfrequenzen erhöht. Der Anstieg der Frequenzen übersteigt dabei den der Verbindungen wesentlich. [Datenquelle Dennis2000 79. Table4, eigenständige verdichtete linearisierte Darstellung]

Analog zu der Analyse des Abschnitts 2.3.3 für den innereuropäischen Luftverkehr wurden auch für den transatlantischen Luftverkehr etwa 100 Relationen auf die Größe der routenspezifischen Passagierzahlen exemplarisch untersucht. Datenquelle war dazu [StaBu2001]. Hierbei wurden die routenspezifischen Passagierzahlen nach ihrer Größe sortiert. Tabelle 19 zeigt als Ergebnis dieser Analyse die wichtigsten transatlantischen Flughäfen Nordamerikas für eine Relation beginnend oder endend in Deutschland. Die wichtigsten Flughäfen sind Newark, New York J.F.K. und Washington, also jene, die in den Metropolen New York und Washington direkt an der Ostküste liegen. Damit haben diese aufgrund der Eigennachfragegenerierung und ihrer geographischen Lage für die betrachtete Relationenmenge eine besondere Attraktivität. Auch Atlanta und Chicago kommt aufgrund ihres vielfältigen Flugangebots im inneramerikanischen Flugverkehr nachfolgend noch eine große Bedeutung zu. Aber auch Toronto und Philadelphia als Hubflughäfen der Star Alliance, die gerade für den Transatlantikverkehr mit dem Quell- oder Zielgebiet Deutschland dominierend ist, haben aufgrund ihrer günstigen Lage an der Ostküste Nordamerikas noch eine überdurchschnittliche Ausrichtung auf transatlantische Routen und Relationen.

Rang 2001	Hub USA	Allianz
1	Newark	(Continental)
2	Washington	Star
3	New York JFK	Skyteam
4	Chicago	Oneworld, Star
5-7	Atlanta	Skyteam
5-7	Philadelphia	Star
5-7	Toronto	Star

Tab. 19: Die wichtigsten transatlantischen Hubflughäfen Nordamerikas sind noch vor den größten Hubs in Atlanta und Chicago die Flughäfen der Metropolen der Ostküste, die damit geographisch besonders attraktiv liegen, also Newark, New York J.F.K. und Washington. [Quelle: Eigene Berechnungen, als Datenquelle diente [StaBu2001]]

Diese Ergebnisse ändern sich nur unwesentlich, wenn man das Quell- oder Zielgebiet Deutschland auf Gesamteuropa erweitert. Für solche Relationen hat eine Untersuchung im Auftrag des Flughafens Schiphol von Amsterdam aus dem Jahr 2001 ergeben, dass die wichtigsten nordamerikanischen Ziele aus europäischer Sicht die Flughäfen New York J.F.K., Chicago, Toronto, Newark und Washington sind. Diese befinden sich sämtlich unter den wichtigsten Umsteigeflughäfen deutsch-nordamerikanischer Relationen²⁴⁴.

In der Bundesrepublik existiert nur eine begrenzte Anzahl an Flughäfen, die transatlantische Ziele als Direktflüge anbieten. Als Ergebnis der gleichen Analyse zeigt sich, dass hier der Haupthubflughafen in Frankfurt dominierend ist. Wie Tabelle 20 zeigt, bietet er attraktive Direktangebote zu nahezu allen wichtigen us-amerikanischen Flughäfen an. Allerdings liegt der Fokus dabei auf den beiden Flughäfen in New York. München als sekundärer Hub der Lufthansa hat ebenfalls viele Direktflugangebote. Allerdings werden diese in geringerer Zahl und Frequenz als für Frankfurt angeboten. Die Bedeutung Münchens als internationaler Flughafen und damit auch für Transatlantikflüge steigt aufgrund der Kapazitätsengpässe in Frankfurt. Düsseldorf und Berlin-Tegel bieten jeweils eine attraktive, ergänzende Direktverbindung an.

Rang	Hub BRD	Hauptziele	Zusatzziele	Allianz
1	Frankfurt	Newark, JFK	Washington, Cincinnati, Chicago, Toronto	Star
2	München	Newark, JFK	Washington, Philadelphia	Star
3	Düsseldorf	Newark		Star
4	Berlin-Tegel	Washington		

Tab. 20: Frankfurt und München sind die wichtigsten deutschen Flughäfen für Transatlantikflüge. Bedeutendste Destinationen sind Newark und New York J.F.K.. [Quelle: Eigene Berechnungen, als Datenquelle diente [StaBu2001]]

Als Ergebnis der Analyse zeigt sich für die europäischen Umsteigeflughäfen: Abgesehen von Frankfurt sind die wichtigsten europäischen Umsteigeflughäfen für Relationen, wie Tabelle 21 illustriert, zwischen

²⁴⁴ Schiphol2001 63.

Deutschland und Nordamerika Paris CDG und London Heathrow. Atlanta ist der wichtigste Hub von Delta, das genau wie Air France Mitglied der Allianz Skyteam ist. Für diese Allianz ist daher Atlanta wichtigster nordamerikanischer und Paris CDG wichtigster europäischer Umsteigeflughafen für Transatlantikflüge.

Ergänzend ist für London Heathrow der andere große Hubflughafen der USA in Chicago das Hauptziel von Direktverbindungen. Paris-Atlanta, London-Chicago und Frankfurt-New York sind damit die wichtigsten transatlantischen Direktverbindungen. Die Fluggesellschaften wählen ihre Hauptverbindungen also so, dass sowohl in Europa wie in den USA ein attraktives Drehkreuz komplementär genutzt wird. Diese drei Verbindungen und ihre Hubflughäfen stehen dabei stellvertretend für die Hauptverbindungen der Allianzen.

Zusätzlich benutzt Star noch Verbindungen von den regionalen nord- und osteuropäischen Hubs in Kopenhagen und Wien nach New York und Oneworld den Flughafen London Gatwick zur Bedienung vor allem des Drehkreuzes Atlanta. Während Star also vor allem eine Fokussierung auf die Flughäfen New Yorks betreibt, versucht Oneworld durch die Benutzung des Flughafens London Skyteam an dessen US-amerikanischem Haupthub direkt Konkurrenz zu machen. Aber auch andere europäische Flughäfen haben eine größere Bedeutung als Drehkreuze für Transatlantikflüge. Hier ist vor allem Amsterdam als europäischer Hub der Allianz Wings, aber auch nachfolgend Zürich und Brüssel zu sehen.

Rang	Hub Europa 2001	Allianz	Hauptziel
1	Paris CDG	Skyteam	Atlanta
2	London Heathrow	Oneworld	Chicago
3	Amsterdam	Wings	New York JFK
4	Zürich	Qualiflier	Atlanta
5	Brüssel	Qualiflier	Chicago
6	Kopenhagen	Star	Newark
7	Wien	Star	New York JFK
8	London Gatwick	Oneworld	Atlanta

Tab. 21: Die wichtigsten europäischen transatlantischen Hubflughäfen außerhalb Deutschlands sind Paris CDG und London Heathrow. [Quelle: Eigene Berechnungen, als Datenquelle diente [StaBu2001]]

Insgesamt existieren viele europäische Flughäfen, die - häufig auch politisch gewollt - Transatlantikrouten anbieten²⁴⁵. Hierbei ist in Zukunft eine stärkere Abstimmung innerhalb der Allianzen zu erwarten, andere Fluggesellschaften, wie beispielsweise Iberia, können dann nur noch regionale Nischen bedienen oder aber, wie die neue SN Brussels, Zulieferer für die großen Fluggesellschaften und Drehkreuze werden.

²⁴⁵ Aharoni2002 22ff.

Reisende von Deutschland nach Nordamerika steigen je nach Wahl ihrer Start- und Zielflughäfen in aller Regel zwischen null und zweimal um.

Rang	Hub 2001	Allianz
1	Frankfurt	Star
2	Paris CDG	Skyteam
3	London Heathrow	Oneworld
4	Amsterdam	Wings
5	Zürich	Qualiflier
6-7	Brüssel	Qualiflier
6-7	Newark	(Continental)
8-12	Washington	Star
8-12	Düsseldorf	Star
8-12	München	Star
8-12	Kopenhagen	Star
8-12	Wien	Star

Tab. 22: Die wichtigsten (ersten) Umsteige Flughäfen für Relationen von Deutschland nach Nordamerika sind Frankfurt, Paris CDG und London Heathrow. [Quelle: Eigene Berechnungen, als Datenquelle diente [StaBu2001]]

Die wichtigsten (ersten) Umsteige Flughäfen einer Flugreise von Deutschland nach Nordamerika sind Frankfurt, Paris CDG und London Heathrow. Paris und vor allem London haben damit, wie Tabelle 15, Abschnitt 2.3.3 belegt, für den Transatlantikverkehr als Umsteigeort eine erheblich größere Bedeutung als für den innereuropäischen Flugverkehr. Umgekehrt nimmt vor allem für München und Brüssel die Bedeutung als Umsteige Flughafen für den Transatlantikverkehr wesentlich ab. Nach den drei großen europäischen Hubflughäfen sind nachfolgend Amsterdam, Zürich, Brüssel und Newark die wichtigsten Umsteige Flughäfen.

Berücksichtigt man die Analyseergebnisse der Tabelle 22 und extrapoliert die zusätzlich bedeutsamen Einflüsse, die vorstehend in Abschnitt 2.4 dargestellt wurden, lässt sich auch hier eine Prognose der wichtigsten transatlantischen Routenstrukturen für das Jahr 2010 abgeben.

Auch 2010 wird der attraktivste Umsteige Flughafen einer Relation Deutschland-Nordamerika Frankfurt sein. Folgen werden die großen europäischen Hubflughäfen Paris CDG und London Heathrow. Durch den Konkurs von Swissair und Sabena wird die Bedeutung Zürichs und vor allem Brüssels wesentlich abnehmen. Profitieren werden die sekundären Hubs in München und London Gatwick, genau wie die regionalen Hubflughäfen in Wien und mehr noch in Kopenhagen. Auch Madrid hat die Chance, für ausgewählte Relationen attraktiver Umsteigeort zu sein. Der Neubau des Flughafens Berlin-Brandenburg wird zu einer Verbesserung des transatlantischen Flugangebots der deutschen Hauptstadt führen.

Transatlantische Routenstrukturen

RANG 2010	Hub	Allianz
1	Frankfurt	Star
2-3	Paris	Skyteam
2-3	London Heathrow	Oneworld
4	Amsterdam	Wings
5	München	Star
Europäischer Hub	Zürich	
Europäischer Hub	Brüssel	
Europäischer Hub	Kopenhagen	Star
Europäischer Hub	Wien	Star
Europäischer Hub	London Gatwick	Oneworld
Europäischer Hub	Berlin-Brandenburg	
Nordamerikanischer Hub	Newark	
Nordamerikanischer Hub	New York JFK	Skyteam
Nordamerikanischer Hub	Washington	Star
Nordamerikanischer Hub	Atlanta	Skyteam
Nordamerikanischer Hub	Chicago	Oneworld

Tab. 23: 2010 werden die Flughäfen Frankfurt, Paris CDG und London Heathrow die wichtigsten Umsteigeflughäfen für Transatlantikflüge bleiben. Die Bedeutung von München wird sich wesentlich erhöhen, die von Brüssel und Zürich verringern. [Eigene Prognose auf Basis der Analyseergebnisse der Tabelle 22]

In Nordamerika werden vermehrt weitere Hubflughäfen zu interkontinentalen Hubflughäfen ausgebaut. Dies betrifft für den Transatlantikverkehr vor allem die wichtigen Flughäfen New York J.F.K., Newark, Washington, Atlanta und Chicago, aber auch Toronto kann abhängig von der Ausrichtung von Air Canada weiter an Bedeutung gewinnen.

3. Relationsnachfrageprognose

3.1 State of the art der Relationsnachfrageprognose

3.1.1 Einleitendes und Implikationen der vorhergehenden Kapitel

Eine ideale Verkehrsprognosemethode beantwortet die Frage nach den zukünftigen Stromgrößen inklusive Routen- und Modiwahl auf beliebiger zeitlicher, räumlicher und personengruppenspezifischer Aggregation. Ein solcher Ansatz ist praktisch jedoch aus Gründen der immens hohen Komplexität und gewaltiger nötiger Datenmengen nicht umsetzbar. Daher beschränkt sich die hier vorgestellte Modellierung auf ihren Schwerpunkt, den Luftverkehr, der aufgrund seiner spezifischen Transporteigenschaften nur in begrenztem Umfang in Wechselwirkung mit anderen Verkehrsmodi tritt.

Eine Vereinfachung der Reise von der Tür des „Startpunkts“ bis zur Tür des „Zielpunkts“ wird in dieser Modellierung räumlich auf den Verkehr vom Start- zum Zielflughafen aggregiert. Analog wird zur Glättung saisonaler jährlicher Schwankungen eine zeitliche Aggregation über ein Jahr gewählt. Dies hat nicht nur den Vorteil des Ausgleichs jahreszeitlicher Fluktuationen, sondern entspricht auch der üblichen Intervallbildung aller wichtigen Prognosen des Luftverkehrs.

Ein Element der Vorhersage zukünftiger routenspezifischer Passagierzahlen ist die Gesamtzahl aller während des Prognosezeitraums auf der Relation fliegenden Personen, auf die sich im folgenden dieses Kapitel konzentriert. Wie Abbildung 1 zeigt, ist dieses Element der Prognose der Marktentwicklung von Angebot und Nachfrage logisch vorgelagert, obwohl weitere Wechselwirkungen zwischen diesen bestehen. Dennoch soll hier, wie allgemein in der Verkehrsnachfrageprognose und –beschreibung üblich, eine sukzessive Modellierung vorgenommen werden. Üblicherweise wird bei der Modellierung und Prognose von Reiseverhalten in vier sequentiellen, nachgeschalteten Schritten vorgegangen: Die Bestimmung des Gesamtquellreiseaufkommens eines Bereichs, dessen Umlegung auf die verschiedenen Ziele, die Verteilung der Reisemodi und die der Routen²⁴⁶. In diesem Kapitel wird ein Modell vorgestellt, dass die Elemente der ersten beiden Stufen vereinigt und so den Gesamtverkehr einer Relation bestimmt.

²⁴⁶ DoT1977 1-22.

Eine Wahl der Modi wird hier nicht berücksichtigt, da nur die Teilreise von Flughafen zu Flughafen betrachtet wird, damit ist das Flugzeug das alleinige Transportmittel dieser Teilstrecke.

Die Modellierung der Verteilung des in Kapitel 3 ermittelten Gesamtstroms auf die verschiedenen Routen erfolgt durch eine Ermittlung der relevanten Routen, für die in Kapitel 2 wichtige Grundlagen gelegt wurden, und der Vorstellung eines Routenwahlmodells in den Kapiteln 4 bis 6.

Die meisten aktuellen Verkehrsmodelle beziehen sich auf den Straßenverkehr. Historisch galt eine ähnliche Konzentration zu Beginn der modernen Verkehrsforschung für den Schienenverkehr. Die Unterteilung der Routenmodellierung in einen Teil der Generierung und einen der Wahl ist untypisch für die den Modi Auto oder Schiene angepassten allgemeinen Verkehrsmodelle, da bei diesen das Wegesystem sehr starr und damit leicht zu prognostizieren ist. Im Luftverkehr ist eine Route die Verknüpfung zweier Flughäfen durch Einsetzen mindestens eines Flugzeugs zwischen diesen beiden Orten. Straßen oder Schienenwege müssen nicht geschaffen werden, daher ändern sich diese Routen erheblich schneller als bei vergleichbaren Verkehrsmitteln. Damit ist die allgemeine theoretische Grundlage für den Bereich des Luftverkehrs gering und es ist wichtig, eventuelle Ansätze des Straßenverkehrs kritisch auf eine Übertragbarkeit für den Luftverkehr zu überprüfen.

Die sukzessive Modellierung der Verkehrsentscheidung der Verkehrsteilnehmer ist allgemein anerkannter Standard, auch wenn nicht klar ist, ob der Mensch diese Entscheidungen ebenfalls sukzessiv oder gleichzeitig trifft. Eine Vermischung paralleler und sukzessiver Elemente zur Reduzierung des Komplexitätsgehalts scheint hier die anthropologisch naheliegende Antwort zu sein²⁴⁷.

Da bei der Modellierung aus Gründen der Modularität angebotsspezifische Elemente möglichst vermieden werden, wird eine anschließende Klärung der Bedeutung von Kosten-, Service- und Sicherheitsaspekten auf die Gesamtreisemenge notwendig sein.

Eine ausschließliche Modellierung eines Reisemodus macht es nötig, dass bei der Prognose der Gesamtmenge der Flugreisenden Konkurrenzeffekte durch alternative Reisemöglichkeiten wie Auto, Schiff und vor allem Hochgeschwindigkeitszüge mitberücksichtigt werden.

Wie Tabelle 7, Abschnitt 1.8 zeigt, sind für die Generierung der Gesamtnachfrage einer Relation vor allem die Entwicklung ökonomischer und politischer Rahmenbedingungen von Bedeutung. Aber auch (vor allem konkurrierend wirkenden) technischen Entwicklungen und der Angebotsgestaltung, gerade im Bereich der Preisentwicklung, kommt ein größerer Einfluss zu.

²⁴⁷ DoT1977 1-38.

Eine Betrachtung der bisherigen Ergebnisse der Nachfragegenerierung, die zur Beschreibung der Verhältnisse der Gegenwart und Vergangenheit gedient haben, kann bei der Entwicklung eines Modells allgemeiner Nachfragegenerierung von großem Wert sein.

So lieferte Gleichung (2), Abschnitt 1.1.2, als Ansatz der ICAO für die Weltgesamtnachfrage:

$$N \propto BSP^{b_1} \quad (89)$$

Die Konstante b_1 ist hierbei aus kausalen Gründen allgemein größer null zu wählen. Eigene Betrachtungen, wie beispielsweise Gleichung (1) oder vergleichend Abbildung 6, lassen einen Exponenten von etwa eins vermuten. Dieser lineare Zusammenhang zwischen dem Bruttosozialprodukt und der Nachfragemenge ist auch allgemeiner Konsens der Luftverkehrsmengenbetrachtung²⁴⁸ - siehe auch die Bemerkung von Aharoni, Abschnitt 1.1.2.

Damit lässt sich Gleichung (89) vereinfachend schreiben:

$$N \propto BSP \quad (90)$$

Unklar ist allerdings die Übertragung der weltweiten Personennachfrage, die Gleichung (90) beschreibt, auf die interregionale, relationsspezifische Nachfrage. Eine Modellbildung wird zu klären haben, ob die weltweite Entwicklung des BSP, der Quell- respektive Zielregion oder eine Kombination zu verwenden ist (Cline bestimmte für den Luftverkehr Kirgisiens eine etwa lineare Wechselwirkung zwischen der Entwicklung des Bruttosozialprodukts des Landes und seinem Luftverkehr²⁴⁹).

Wie in Abschnitt 1.4.2, Gleichung (24) sowie Abbildungen 23 und 24 bereits erwähnt, existiert eine komplizierte Wechselwirkung zwischen Preis und Nachfrage, die gut durch eine exponentielle Abhängigkeit dargestellt werden kann:

$$N \propto \exp(-b_2 \cdot p) \quad (91)$$

²⁴⁸ Agusdinata2002 203.

²⁴⁹ Cline1998 17f.

b_2 ist in diesem Fall aus kausalen Gründen eine Konstante größer Null. Allerdings bezieht sich diese Gleichung auf die Nachfragemenge einer Route, eine Übertragung auf relationsspezifische Nachfragemengen bleibt zunächst unklar, da hier die Definition eines repräsentativen Preises schwerfällt.

Die Abschnitte 1.6.4 und 2.3.1 zeigen, dass das Auftreten einer Billigfluggesellschaft auf einer Relation zu einer Erhöhung der relationsspezifischen Nachfrage führt. Dieser Sachverhalt kann durch die Preiselastizität der Nachfrage erklärt werden.

Zusätzlich kommt der Abschnitt 1.3 unter anderem zum Ergebnis, dass die Einführung einer Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke auf einer Relation zu einer erheblichen Absenkung des Luftverkehrs beitragen kann. Wie sich dieser quantifizieren lässt, wird dabei offen gelassen.

Die private Nachfrage, wie sie der Ansatz von Graham in Gleichung (60) erklärt, ist hauptsächlich abhängig von der Einkommensentwicklung der Privatpersonen:

$$N_p \propto In^{b_3} \quad (92)$$

Auch für b_3 ist einleuchtend, dass es sich hierbei um einen Wert größer null handeln muss. Die Struktur der Gleichung und gerade die Erklärung der Größe des Exponenten sind unklar. Diese Gleichung beschreibt die Menge des Quellverkehrs eines Landes in Abhängigkeit des durchschnittlichen Einkommens seiner Einwohner. Eine Übertragung auf relationsspezifische Größen muss hierbei noch vorgenommen werden.

Ausführlich wird in den Abschnitten 1.1.3 und 1.5 auf die Abhängigkeit der Nachfrage vom Einkommen eingegangen, siehe auch Abbildung 7. Handelt es sich bei der Größe In um das durchschnittliche Prokopfeinkommen ist eine zusätzliche lineare Abhängigkeit der Gesamtnachfrage von der Menge der Nachfragenden einleuchtend, Gleichung (61):

$$N_p \propto B \quad (93)$$

Die Gleichung beschreibt die Größe des Quellverkehrs. Ob diese Linearität auf relationsspezifische Stromgrößen übertragen werden kann, hat eine Modellierung zu klären und zu begründen.

Eine Analyse der generierten Verkehrsströme von Rhode Island ergab (im Bereich des – häufiger untersuchten - Automobilverkehrs) ebenfalls eine proportionale Beziehung der Menge erzeugter Reisen zur Bevölkerungszahl der Herkunftsregion²⁵⁰.

Ferner zeigte der Abschnitt 1.5, dass es auch im Luftverkehr erste Anzeichen der Sättigung gibt und damit auch bei diesem Markt von der üblichen s-kurvenförmigen Entwicklung der Nachfrage ausgegangen werden kann.

Ein Modell der relationsspezifischen Nachfrageentwicklung sollte die Gleichungen (89) bis (93) erklären und auf den entsprechenden Kontext übertragen können. Ferner ist eine kausale Abhängigkeit der Nachfragemengen vom BSP, dem durchschnittlichen Einkommen und der Bevölkerungszahl zu erwarten. Die zusätzliche Einbeziehung der Preisentwicklung (Billigfluggesellschaften) und eventuell auftretender Hochgeschwindigkeitsbahnstrecken ist wünschenswert.

3.1.2 Einfache Methoden: Darstellung und kurze Bewertung vor dem Hintergrund der betrachteten Zielstellung

Relationsspezifische Prognosen haben einem Strom von einer Quelle zu einem Ziel eine bestimmte Größe zuzuschreiben. In der Verkehrsmodellierung wird - wie in Abbildung 43 dargestellt - ein solcher allgemein durch seinen Quell- und Zielverkehr sowie die Wechselwirkung zwischen beiden beschrieben. Die Zerlegung des eigentlichen Problems in drei leichter zu analysierende Teile vereinfacht zusätzlich eine allgemeine Übertragbarkeit auf beliebige Relationen.

Eine Beschreibung des Quellverkehrs gibt die Größe des Gesamtverkehrs einer aggregierten Gruppe von Personen innerhalb eines gewählten Zeitintervalls ausgehend vom Startort an. In einigen Fällen sind auch weitergehende Beschreibungen über seine bloße Intensität hinaus möglich.

Analog bestimmt der Zielverkehr die Verkehrsgrößen zum Zielort. Um die Wechselwirkungen zwischen Quell- und Zielort anzugeben, ist zusätzlich noch eine relationsspezifische Kopplung nötig. Diese kann Faktoren wie Reisekosten, Reisedauer und kulturelle, wirtschaftliche oder politische Verflechtungen zwischen Start und Zielgebiet beinhalten, um so die Intensität der Kopplung der Verkehre vom Start zum Zielort abzubilden.

Eine einfache geometrische Betrachtung ergibt: Seien N_{od} die gesuchte Anzahl der Reisenden vom betrachteten Quellort, o , zum Zielort, d und $N_{o,ges}$ der gesamte Quellverkehr ausgehend von o zu allen beliebigen Destination, sowie $N_{ges,d}$ der komplette Zielverkehr zum Zielort d . Dann sind:

²⁵⁰ Murthy1998 89.

$$N_{o,ges} := \sum_i N_{o,i} \quad \text{und} \quad N_{ges,d} := \sum_j N_{j,d} \quad (94)$$

Hierbei ist über alle möglichen Ziele, i , und alle Quellen, j , zu summieren. Da sämtliche Teilströme nichtnegativ sind, folgt:

$$N_{o,d} \leq N_{o,ges} \quad \text{und} \quad N_{od} \leq N_{ges,d} \quad (95)$$

Dies lässt sich auch in einer Ungleichung zusammenfassen:

$$N_{o,d} \leq \min\{N_{o,ges}, N_{ges,d}\} \quad (96)$$

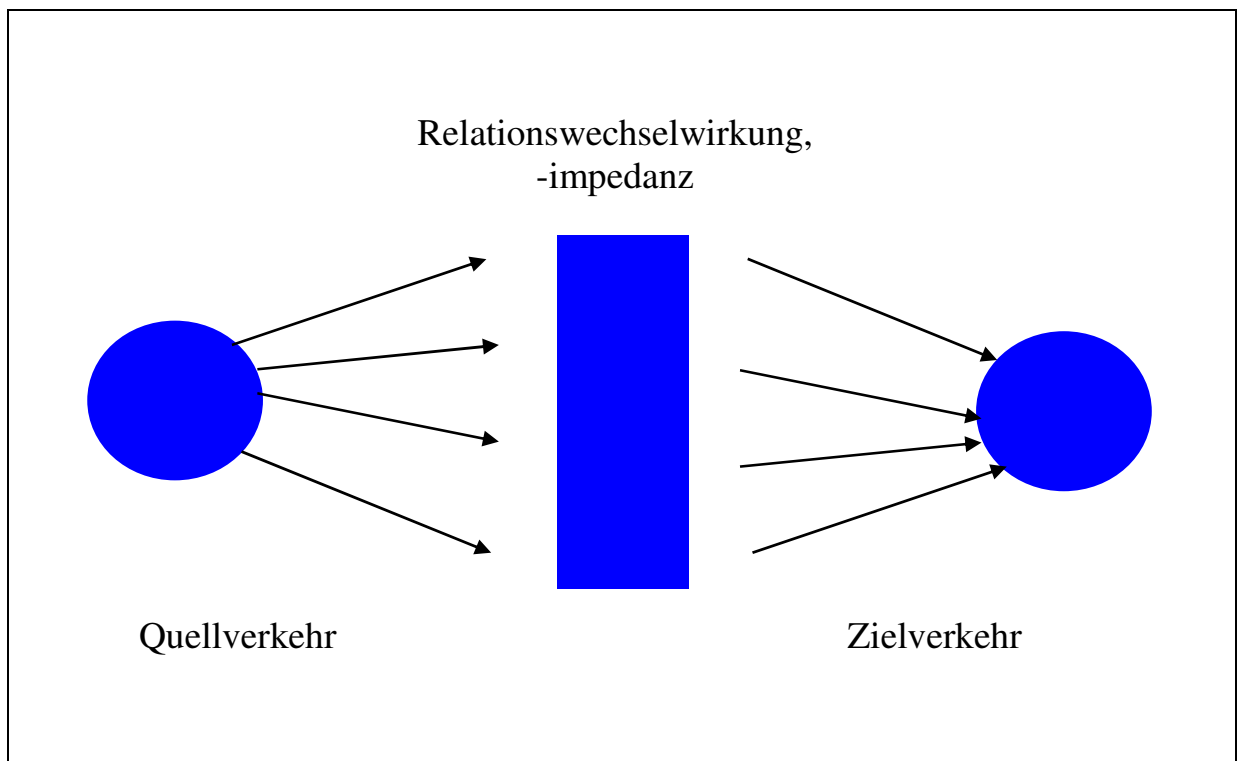


Abb. 43: Eine Möglichkeit der Beschreibung der relationsspezifischen Reisemengen ist die einer Kopplung zwischen Quell- und Zielverkehr. [Eigene Darstellung]

Bei der Verkehrsmodellierung wird allgemein entsprechend der Dreiteilung des Problems davon ausgegangen, dass die relationsspezifische Stromgröße von der des Quell- und Zielverkehrs sowie einer Verkehrsimpedanz, $\text{Im}(o,d)$, zwischen den Regionen abhängig ist. Die Annahme einer Impedanz als

Wechselwirkung zwischen Quelle und Senke ist die Standardmodellierung von Verkehrsmengen auf größerer Agglomerierungsebene und man erhält:

$$N_{o,d} = f(N_{o,ges}, N_{ges,d}, \text{Im}(o, d)) \quad (97)$$

Betrachtet man ein geschlossenes Gebiet, das keine Ströme von oder nach außen zulässt, erhält man für die agglomerierte Reisemenge des gesamten Gebiets, N_{geb} :

$$N_{geb} := \sum_o \sum_d N_{od} = \sum_d N_{ges,d} = \sum_o N_{o,ges} \quad (98)$$

Hierbei wird über alle Destinationen, d , respektive Quellen, o , summiert. Die Gesamtreisemenge ergibt sich in einem abgeschlossenen System als Summe der Ziel- und Quellströme.

Lässt man Wechselwirkungen des Verkehrs mit sich selbst unberücksichtigt, ist eine Proportionalität der Reisendenanzahl einer Relation zu jener der Quellströme der Ursprungsregion wie der der Zielsverkehrsströme des Zielgebiets plausibel. Eine Veränderung des entsprechenden Ziel- oder Quellverkehrs bedingt eine proportionale Veränderung der relationsspezifischen Stromgröße.

Dies ist nur dann möglich, wenn keine Wechselwirkung zwischen den einzelnen Reisenden unterstellt wird, was exakt sicher nicht richtig ist. So bedingen Kapazitätsprobleme auf der betrachteten Relation einen geringer als linear ausfallenden Anstieg der Relationsströme im Vergleich zu dem Teil des Quell- oder Zielverkehrs, der unbehindert fließen kann. Umgekehrt führen Effekte der economies of scale und der economies of density zu einem tendenziell mehr als proportionalen Anstieg auf solchen Relationen, die davon überdurchschnittlich profitieren.

Beispiele für kapazitätsbeschränkte Routen, die tendenziell weniger stark ansteigen, sind solche einer (europäischen) Netzwerkfluggesellschaft über ihren stark kapazitätsbeschränkten Hubflughafen. Umgekehrt steigt die Personenzahl auf Routen, die von einer starken Auslastung profitieren und diese im Angebot über höhere Frequenzen und niedrigere Preise an den Kunden weitergeben, überproportional an. Dies findet momentan vor allem bei den Direktflügen der Billigfluggesellschaften statt.

Sieht man aber von solchen Aspekten ab - oder verschiebt diese Effekte in den Impedanzterm - so lässt sich Gleichung (97) präzisieren:

$$N_{od} = f(N_{o,ges} \cdot N_{ges,d}, \text{Im}(o, d)) \quad (99)$$

Betrachtet man den Impedanzterm an dieser Stelle als eine Art inverse Leitfähigkeit, ist eine naheliegende Verknüpfung mit den Stromgrößen die Multiplikation. Dies ermöglicht eine lineare Wechselwirkung der Stromgröße mit der Leitfähigkeit, eine Gleichungsstruktur und Definition, die aus der Physik wohlbekannt ist. Daraus folgt:

$$N_{od} \propto \frac{N_{o,ges} \cdot N_{ges,d}}{\text{Im}(o, d)} \quad (100)$$

Zu beachten ist, dass f eine Stromgröße darstellt. Nimmt man die Impedanz als einheitenlosen Widerstandskoeffizienten an, ist auf der rechten Seite noch durch eine Stromgröße zu teilen. Bei einer geeigneten Wahl kann die Impedanz so definiert werden, dass keine weitere Konstante nötig ist, um die Proportionalität (100) als Gleichung umzuschreiben.

Hierbei müsste diese Stromgröße Elemente des Quell- und des Zielverkehrs enthalten und gleichzeitig auf einer höheren Aggregierungsstufe sein. Diese Bedingung wird einzig durch die Gesamtstromgröße des Gebiets, N_{geb} , erfüllt:

$$N_{od} = \frac{N_{o,ges} \cdot N_{ges,d}}{N_{geb} \cdot \text{Im}(o, d)} \quad (101)$$

Betrachtet man hier als Impedanz die Identität $\text{Im}(o, d) \equiv 1$ für alle möglichen Relationen, so erfüllt diese Gleichung die Normierungsbedingung:

$$\sum_o \sum_d N_{od} = \sum_o \sum_d \frac{N_{o,ges} \cdot N_{ges,d}}{N_{geb} \cdot \text{Im}(o, d)} = N_{geb} \quad (102)$$

Gleichung (101) erfüllt die Normierungsbedingungen und stellt die gewünschten Proportionalitäten des Relationsverkehrs zum Quell- und Zielverkehr dar. An dieser Stelle ist es wichtig, eine geeignete Formulierung der Impedanz zu finden. Eine konstante Impedanz, $\text{Im}(o, d) \equiv 1$, wie in der Gleichung (102) angenommen, entspricht sicher nicht der Realität und ist lediglich dann sinnvoll als erste Näherung zu benutzen, wenn der Raum der betrachteten Relationen relativ homogen bezüglich der Elemente der Impedanz ist. Dies setzt beispielsweise eine homogene räumliche Struktur, respektive Entfernung der betrachteten Relationen voraus.

Eine solche Modellierung mit konstanter Impedanz wird in der Literatur als Zufallsmodell bezeichnet. Für diesen, im Luftverkehr sicher nicht anwendbaren Fall, erhält man dann²⁵¹:

$$N_{od} = \frac{N_{o,ges} \cdot N_{ges,d}}{N_{geb}} \quad (103)$$

Das Zufallsmodell ist die einfachste Beschreibung relationsspezifischer Ströme bei bekannten Quell- und Zielverkehrsströmen.

Auch bei der Darstellung relationsspezifischer Verkehrsströme gibt es die Möglichkeit, sich einer Trendmodellierung zu bedienen, wozu beispielsweise eine Trendextrapolation aus einer Zeitreihe der vergangenen, relationsspezifischen Passagierzahlen bestimmt wird. Vorteile sind dabei: Die Daten sind für die meisten Relationen verfügbar, der nötige Aufwand ist gering und eine Prognose relationsspezifischer Passagierzahlen mit Hilfe einer so einfachen Modellierung ist aufgrund der höheren Agglomeration angebrachter als bei der routenspezifischen Passagierzahlen.

Bewertung: Eine eigenständige Analyse der relationsspezifischen Passagierzahlen wie sie das Statistische Bundesamt jährlich zur Verfügung stellt (siehe beispielsweise [StaBu2000] oder [StaBu2001]) zeigt, dass für die meisten Relationen langfristig etwa lineare Trends eines Zuwachses in einer Größenordnung von etwa 5% existieren. Die Schwankung liegt damit hier im Bereich weniger Prozentpunkte, sieht man von wichtigen äußeren Umständen für einzelne Routen und wesentliche Angebotsänderungen ab. Das ist bei den routenspezifischen Passagierzahlen, die ebenfalls jährlich vom Statistischen Bundesamt als Passagierstrommatrix in Papierform herausgegeben (und bei denen die Relationsgrößen sich als Summe der Routen lesen lassen) werden, anders, denn dort führt eine wesentliche Veränderung des Angebots auf dieser Route zu einer Veränderung in der Größenordnung der Stromgröße selbst. Eine Verdopplung einer routenspezifischen Passagierzahl innerhalb eines oder weniger Jahre ist

²⁵¹ Vrtic2001 4f.

keine Seltenheit. Die Angabe eines allgemein gültigen Trends für eine Route ist daher nur sehr begrenzt möglich.

Neben dieser Methode der Trendnachbildung gibt es noch eine zweite Variante: Die Trendfaktorenmodelle. Bei diesen wird ausgehend von einer bekannten Matrix aller relationsspezifischen Passagierzahlen des betrachteten Gebiets auf einen zukünftigen Zeitpunkt projiziert. Die einfachste Form ist hier die Einheitsfaktorenmethode, bei der die zukünftigen relationsspezifischen Passagierzahlen, $N_{od}(t_p)$, durch Multiplikation der des Status quo, $N_{od}(t_s)$, mit dem prognostizierten durchschnittlichen Wachstumskoeffizienten, $\bar{a}(t_p, t_s)$, ermittelt werden:

$$N_{od}(t_p) = N_{od}(t_s) \cdot \bar{a}(t_p, t_s) \quad (104)$$

Dies gilt gleichzeitig für alle Relationen des gewählten Gebiets. t_s steht hierbei für den Zeitpunkt des Status quo. Das Verfahren hat neben allen prinzipiellen Nachteilen der Trendmethodik auch noch den einer Homogenisierung der gesamten betrachteten Relationen und ist damit für praktische Prognosen gerade für einen mittleren bis größeren Zeitraum völlig ungeeignet.

Etwas besser ist die Durchschnittsfaktorenmethode, bei der durch iterative Berechnungen individuelle Faktoren zur Prognose berechnet werden. Hier wird das Wachstum der verschiedenen Quellregionen vorgegeben und daraus die relationsspezifischen Wachstumsfaktoren, $a_{od}(t_p, t_s)$, ermittelt.

$$N_{od}(t_p) = N_{od}(t_s) \cdot a_{od}(t_p, t_s) \quad (105)$$

Nachteilig ist die Vorgabe der allgemeinen quellregionsspezifischen Wachstumszahlen und die einfache Wechselwirkung der Iteration, die komplizierte Veränderungen des Verkehrs ausklammert. Dennoch ist diese Methode der Einheitsfaktorenmethode vorzuziehen.

Neben den üblichen Nachteilen einer Trendmodellierung enthält eine Modellierung mit Trendfaktorenmodellen die weitere Schwäche, dass alle relationsspezifischen Passagierzahlen und Strukturdaten des Status quo und der Zukunft bekannt sein müssen. Hierbei ist eine Betrachtung nur für den Fall möglich, dass das Verkehrsverhalten sowie das Verkehrsangebot in ihrem Wesen gleich bleiben.

Bewertung: Trendmodellierungen können in diesem Fall nur einen Teil der gesamten Modellierung und Prognose darstellen, die in ihrer Struktur einfach und damit wenig zeit-, arbeits- und datenintensiv sind. Zu den Trendmodellierungen lässt sich daher feststellen, dass diese für die betrachtete Fragestellung nicht geeignet sind. Eine Betrachtung mittels eines vorgenannten (kausalen) Impedanzterms ist dazu viel eher geeignet.

3.1.3 Nutzenmaximierungsmodelle bei Wahlentscheidungen im Verkehrsbereich

Nutzenmaximierungsmodelle werden für die Abbildung der verschiedenen Entscheidungen im Verkehrsbereich häufig benutzt. Eine intensive Darstellung erfolgt im folgenden Kapitel 4 (eine ergänzende Darstellung zu Theorie und Axiomatik ist daher dort zu finden). Auch für den Bereich der Ermittlung der Relationsstromgrößen werden Nutzenmaximierungsmodelle benutzt.

Im vorliegenden Fall der Bestimmung relationsspezifischer Passagierzahlen werden die Quellverkehrsströme auf die möglichen Ziele aufgeteilt. Ein entsprechendes, logisches Analogon ist die Aufteilung der Zielverkehrsströme auf die möglichen Quellen.

Nutzenmaximierungsmodelle gehen davon aus, dass ein repräsentativer Nutzen, u_{od} , einer Reise auf dieser Relation für die Menge der betrachteten Personen als Funktion verschiedener Einflussvariablen, x_i , dargestellt werden kann:

$$u_{od} = f(x_1, \dots, x_I) \quad (106)$$

Unterstellt man additive Separierbarkeit und agglomeriert die Funktion in einen positiven Bruttonutzen der Reiserelation, br_{od} , und eine Art negativen Nutzen, der oft als verallgemeinerte relationsspezifische Kostenfunktion, k_{od} , bezeichnet wird, lässt sich dies vereinfachen zu:

$$u_{od} = br_{od} - k_{od} \quad (107)$$

Auf diese Weise erhält man für alle Teilströme des Quellverkehrs relationsspezifische Nutzen. Die Wahrscheinlichkeit, sich im Fall einer Routenentscheidung ausgehend vom Ort o für die Relation od zu entscheiden, wird mit Hilfe des Multinomialen Logit Modells (MNL) angegeben als:

$$P_{od} = \frac{\exp(u_{od})}{\sum_j \exp(u_{oj})} \quad (108)$$

Hierbei ist über die verschiedenen möglichen Zielorte im Nenner zu summieren. Die Art der Gestaltung des Nenners zeigt, dass die Normierungsbedingung bezüglich des Quellverkehrs erfüllt wird. Welche Implikationen gerade diese Wahrscheinlichkeitsverteilung als Abbildung der Nutzenfunktion auf den Vorgang der Wahlentscheidung beinhaltet, wird detailliert in Kapitel 4 dargestellt.

Da es sich hierbei um eine stochastische Modellierung handelt, erhält man für den Erwartungswert der relationsspezifischen Passagierzahlen, $E\langle N_{od} \rangle$:

$$E\langle N_{od} \rangle = N_{o,ges} \cdot \frac{\exp(u_{od})}{\sum_j \exp(u_{oj})} \quad (109)$$

Analog kann eine solche Betrachtung für die eingehenden Ströme im Zielverkehr vorgenommen werden. Es ergibt sich:

$$E\langle N_{od} \rangle = N_{ges,d} \cdot \frac{\exp(u_{od})}{\sum_l \exp(u_{ld})} \quad (110)$$

Ein Vergleich der Gleichungen (109) und (110) zeigt, dass eine Lösung nur dann möglich ist, wenn für alle Kombinationen von Quell- und Zielverkehr im betrachteten Gebiet gilt:

$$\frac{N_{o,ges}}{N_{ges,d}} = \frac{\sum_j \exp(u_{oj})}{\sum_l \exp(u_{ld})} \quad (111)$$

Die Gleichungen (109) bis (111) zeigen, dass eine Berechnung der relationsspezifischen Passagierzahlen die Kenntnis über deren Nutzen und zusätzlich entweder die Quell- oder Zielströme voraussetzt.

Eine gleichzeitige Angabe aller Quell- und Zielströme würde, falls deren Angabe eine Lösung möglich macht, alle relationsspezifischen Nutzenwerte bis auf eine Konstante eindeutig festlegen.

Gleichzeitig zeigen die Gleichungen (109) und (110), dass die relationsspezifischen Passagierzahlen proportional zum Quell- und Zielverkehr der betrachteten Relation sind, was auf andere Art bereits im Abschnitt 3.1.2, Gleichung (97) hergeleitet worden ist.

Die Bestimmung der relationsspezifischen Stromgrößen vereinfacht sich, wenn unter Betrachtung von Gleichung (107) für alle Ziele von einem identischen Bruttonutzen ausgegangen wird, was einer gleich hohen Attraktivität aller betrachteten Ziele entspricht. Falls keine bedeutenden Attraktivitätsunterschiede beispielsweise aus touristischen Gründen bekannt sind, ist dies eine zulässige Vereinfachung. Dann lässt man den Vorgang der Reise unberücksichtigt und betrachtet nur seinen Endpunkt. In diesem Falle wäre für beliebige Relationen $b_{od} \equiv \bar{b}$.

Damit lässt sich der Erwartungswert der Stromgröße schreiben als:

$$E\langle N_{od} \rangle = N_{o,ges} \cdot \frac{\exp(-k_{od})}{\sum_j \exp(-k_{oj})} \quad (112)$$

Diese Gleichung vereinfacht die Interpretation, da in diesem Fall nicht mehr der tatsächliche Nutzen einer Reise, sondern nur noch ihre verallgemeinerten Kosten untersucht werden müssen. Häufig wird die verallgemeinerte Kostenfunktion durch ihre Abhängigkeiten bezüglich Reisekosten, p_{od} , Reiseentfernung, s_{od} , und Reisedauer, t_{od} , beschrieben:

$$k_{od} := f(p_{od}, s_{od}, t_{od}) \quad (113)$$

Hiermit sind die wahrgenommenen Unannehmlichkeiten einer solchen Reise gemeint. Zeit und Weg der Reise stehen bei Definition der mittleren Reisegeschwindigkeit, $\bar{v}_{od}$ in folgendem Zusammenhang:

$$\bar{v}_{od} := \frac{s_{od}}{t_{od}} \quad (114)$$

Geht man zusätzlich von einer identischen Durchschnittsgeschwindigkeit, $\bar{v}_{od} \equiv v$, auf allen Relationen im betrachteten Gebiet aus, was für eine identische Reiseart mit nur geringer Näherung gilt, kann (162) vereinfacht werden:

$$k_{od} = f(p_{od}, t_{od}) \quad (115)$$

Mit gleicher Berechtigung kann die Zeitdauer hier durch die Entfernung, s_{od} , substituiert werden. In aller Regel wird diese Funktion durch Separabilität und additive Verknüpfung weiter spezialisiert und man erhält:

$$k_{od} = a_1 \cdot p_{od} + a_2 \cdot t_{od} \quad \text{mit } a_1, a_2 \geq 0 \quad (116)$$

Preise für Reisen nehmen in der Regel mit zunehmender Entfernung zu. In der Regel ist ihr Anstieg aufgrund der Fixkostendegression etwas geringer als linear. Häufig wird dieser Umstand jedoch vernachlässigt und man benutzt linearisierte Preise²⁵².

Dann gilt ganz allgemein:

$$k_{od} = f(s_{od}) \quad (117)$$

Nimmt man weiter an, dass der Mensch die Unannehmlichkeiten von Kosten und Reisezeiten etwa linear bewertet, führt dies mit der Konstante c zu der speziellen Funktion:

$$k_{od} = c \cdot s_{od} \quad \text{mit } c \geq 0 \quad (118)$$

Für kleinere Teilströme, bei denen der Nenner der Gleichungen (109), (110) oder (112) bei einer kleinen Variation der Reisedauer etwa identisch bleibt - dies entspricht weit entfernten Zielen -, ergibt sich dann die ungefähre Abhängigkeit von der Reiseentfernung:

$$E\langle N_{od} \rangle \approx \exp(-c \cdot s_{od}) \quad (119)$$

In diesem Kontext kommt der Konstanten c die Intensität der Bedeutung der Reiseentfernung und damit implizit der Kosten und Reisedauer zu. Ein größeres c führt dazu, dass Personen seltener weit entfernte Ziele aufsuchen.

Für nahe Ziele ist die Degression der Passagierzahlen mit zunehmender Entfernung geringer, da hier eine Veränderung des Nenners diese Abschwächung teilkompensiert.

In der Literatur existieren einige gute mathematisch-formale Betrachtungen zu den Nutzenmodellen bei Verkehrswahlentscheidungen (und damit auch der Relationsgrößenbestimmung). Diese begannen in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts und begründen sich wesentlich auf die Arbeiten von Ben-Akiva (siehe beispielsweise [Ben-Akiva1985], [Ben-Akiva1999]) und Mc Fadden (siehe [Fadden1976], [Fadden1977], [Fadden1973], eine sehr gute Übersicht liefert [Fadden2000]). Diese wurden später durch diverse Arbeiten vor allem vom MIT und aus Berkeley und neuerdings auch einigen neueren israelischen Arbeiten beispielsweise von Adler (siehe beispielsweise [Adler2002], [Adler2001]) ergänzt (eine aktuelle Darstellung findet man beispielsweise auch in [Bierlaire2004]).

Allerdings werden einige dieser Ergebnisse zuweilen aus dem Kontext gerissen, so dass beispielsweise Elemente der Nutzenmaximierung und des Gravitationsmodells (siehe auch den folgenden Abschnitt) ohne Berücksichtigung der jeweiligen Axiomaten vermischt werden. Teilweise treten bei einigen großenteils ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen aber auch einfache formale Fehler wie Fehlindizierungen etc. auf. Beispiele für einfache Indizierungs- - und teilweise auch schwerwiegendere - Fehler sind so zu sehen bei [Vrtic 2001], ([Huntsville2002] siehe Indizierung bei 4-6.), ([DoT1977] siehe 4-3. und Folgefehler), ([Murthy1998] siehe Indizierung der Formel für Trip Distribution bei 90.). So existiert auch eine Formulierung des Gravitationsmodells, bei der bei der Stromgröße mit dem stochastischen Charakter des Erwartungswertes nicht korrekt umgegangen wird ([Thakuriah2000] siehe 258ff.). Diese Fehler beschränken sich jedoch sämtlich auf Arbeiten, die als fallbezogene Anwendung bestehender Theorien zu sehen sind. Innerhalb der grundlegenden mathematisch-methodischen Arbeiten tauchen solche Fehler nicht auf.

3.1.4 Gravitationsmodell - Bisherige Ansätze

Als wesentliches Ergebnis sind in Abschnitt 3.1.2 die Impedanz zwischen zwei Regionen sowie in Abschnitt 3.1.3 die generalisierten Kosten und damit auch die Entfernung als wichtige Einflussvariablen der Verkehrsmenge bei Relationen hergeleitet worden.

Die ersten wissenschaftlichen Ursprünge einer methodischen Betrachtung allgemeiner relationsspezifischer Verkehrsmengen sind die Arbeiten Lill's (1889 und 1891) zum Eisenbahnverkehr. Er bestimmte eine Abhängigkeit des Verkehrs von der Entfernung im Lill'schen Reisegesetz (siehe [Lill1891]):

$$N_{od} = \frac{c}{s_{od}} \quad (120)$$

c bezeichnet in diesem Fall einen spezifischen Reisewert²⁵³. Eine interessante geometrische Interpretation des Lill'schen Reisegesetzes ist der Effekt, dass in einen beliebigen infinitesimalen Kreisring um den Startort - unter der Annahme eines homogenen Attraktionspotentials des Raums - identisch viele Reisen unternommen werden unabhängig von dem Radius des Kreises. Dieser Effekt entsteht als direkte Folge der reziproken Abhängigkeit der Reisenanzahl von der Entfernung.

Weitere frühe Grundlagen in diesem Bereich wurden 1858 von Carey und 1885 von Ravenstein gelegt, der sich hierbei auf Anwendungsbereiche der Migration bezog (siehe [Carey1858], [Ravenstein1885]).

Eine erste Modellierung des Verkehrs erfolgte durch den Vergleich mit einem aus der klassischen Mechanik bekannten Analogon. Dazu wurde die Attraktion zwischen zwei Körpern benutzt, wie sie aus dem Gravitationsgesetz - und in ähnlicher Form auch in der Elektrodynamik für das Coulombgesetz - bekannt ist. Hier ist der Betrag der Anziehungskraft, $|F|$, zweier (idealer punktförmiger) Massen, m_1 und m_2 , abhängig von ihrem Abstand zueinander, s_{12} :

$$|F| = c \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{s_{12}^2} \quad (121)$$

²⁵³ Gunnarsson2000 5.

In der Physik wird diese Gleichung aus dem Jahr 1687 als Newtonsches Gesetz und die Konstante c als Gravitationskonstante bezeichnet. Auch Verkehrsströme zwischen zwei Regionen können als Wirkung einer wechselseitigen Attraktion gedeutet werden²⁵⁴.

Doch bleiben einige Fragen unklar:

- Welche Größe ist Ursache der Attraktion und entspricht der Masse?
- Welche Bedeutung kommt der Konstanten zu? Ist diese universell oder abhängig von bestimmten Einflussvariablen?
- Warum ist die Kraft das logische Analogon der Verkehrsströme und nicht beispielsweise das Potential, für das eine Abhängigkeit von der Entfernung mit einer Proportionalität zum nur einfachen inversen Abstand auftritt?
- Führt die Übertragung eines Gesetzes aus einem dreidimensionalen physikalischen Raum auf eine zweidimensionale Körperoberfläche zu einer Verzerrung der Entfernungsabhängigkeit?

Schlums hat sich im Jahre 1929 als erster intensiver mit diesem Ansatz auseinander gesetzt. Allerdings hat er explizit nur eine dieser Fragen beantwortet, nämlich die nach der Analogie zur Masse, die für ihn in der Bevölkerungsanzahl der beiden Orte, B_o und B_d , zu sehen war. Damit erhält man:

$$N_{od} = c \cdot \frac{B_o \cdot B_d}{s_{od}^2} \quad \text{mit } c > 0 \quad (122)$$

Dieser Ansatz wird auch in späterer Zeit noch häufiger ohne größere Modifikation verwendet²⁵⁵. In diesem Fall ist c eine nicht näher definierte Konstante der Verkehrsgenerierung. Die Entfernung zwischen zwei Regionen ist sicher eine Haupteinflussgröße der relationsspezifischen Passagierzahlen, aber die Methode von Schlums kann letztendlich weder kausal noch befriedigend plausibel geometrisch diese spezielle Form der Entfernungsabhängigkeit erklären. Außerdem steht sie in deutlichem Widerspruch zum Lill'schen Reisegesetz, Gleichung (120). Daher hat sich schon bald eine Verallgemeinerung dieses Ansatzes durchgesetzt:

²⁵⁴ Huntsville2002 4-3.

²⁵⁵ Quandt1972a 1.

$$N_{od} = c \cdot \frac{B_o \cdot B_d}{s_{od}^a} \quad \text{mit } a, c > 0 \quad (123)$$

a repräsentiert die Bedeutung der Entfernung für die Anzahl der Reisenden im jeweiligen Kontext. Man hat damit bei dieser Modellierung zwei Kalibrierungsparameter, auf welche die Funktionenschar für ein gegebenes Problem ausgelegt wird.

Häufig werden zur Bestimmung der Verkehrsströme auch multiplikative Verknüpfungen der potenzierten Bevölkerungszahlen oder anderen Funktionen von B_o und B_d benutzt²⁵⁶. Diese sind aus kausalen Gründen jedoch abzulehnen und bieten lediglich den „Vorteil“ einer erhöhten Zahl an Kalibrierungsparametern.

Aber auch eine Benutzung der Bevölkerungszahl als Interpretation des Attraktionsursprungs ist bald einer allgemeineren Darstellung gewichen. Sicher ist die Bemessung der Anzahl potentieller Reisender im Falle einer ohnehin simplifizierten, linearisierten Modellierung naheliegend. Allerdings tun sich erhebliche Probleme auf, wenn die Eigenschaften und Möglichkeiten der Personen im Raum der betrachteten Ziele und Quellen inhomogen werden. In diesem Fall ist die Bevölkerungszahl durch andere plausible, kausale Größen zu ersetzen.

Der allgemeine, formale, erweiterte und heute häufig benutzte Ansatz abstrahiert von der Attraktionseigenschaft und benutzt repräsentativ seine Gesamtgröße, die Quell- und Zielströme²⁵⁷:

$$N_{od} = N_{o,ges} \cdot N_{ges,d} \cdot \sigma_{od} \quad (124)$$

Im Vergleich zu Gleichung (123) wurden die Bevölkerungszahlen durch die Quell- und Zielströme ersetzt und die Entfernungsabhängigkeit wird als Leitfähigkeitsterm, σ_{od} , benutzt, in den mehr aus ästhetischen Gründen die Konstante c einbezogen werden kann.

In der Literatur wird zumeist die Konstante c weiter explizit benutzt und σ_{od} als Widerstandsfunktion bezeichnet, was aufgrund der multiplikativen Verknüpfung logisch falsch ist und nur bei Division korrekt wäre.

²⁵⁶ Quandt1972a 1.

²⁵⁷ Cambridge2001 2-5ff.

Bei den Gleichungen (121) bis (123) galt $N_{od} = N_{do}$. Dahingegen ist für den Fall, dass unter Berücksichtigung des Gesamtverkehrs resultierende Quellen und Senken des Verkehrs möglich sind, Gleichung (124) nicht zwangsläufig symmetrisch in den Zielverkehrsströmen.

Sie beinhaltet - bei anderer Notation - die gleiche Abhängigkeit der relationsspezifischen Verkehrsströme vom Quell- und Zielverkehr sowie der Hemmung zwischen den beiden Regionen, wie dies auch bei Gleichung (101) in Abschnitt 3.1.2 deutlich wird.

Das Gravitationsgesetz wird häufig zur Abbildung des Straßenverkehrs genutzt, und es liegen eine Vielzahl an Untersuchungen, Anwendungen und Computersoftware zu diesem Bereich vor (siehe beispielsweise [Dugge2000], [Cambridge2001]). Konzeptionell lässt es sich aber auch in jedem anderen Verkehrsbereich verwenden und wird darüber hinaus sogar in modifizierter Form zur Beschreibung von Migration benutzt.

Auch im Bereich des Luftverkehrs sind Modelle in Anlehnung an das Gravitations- oder an Nutzenmaximierungsmodelle üblich. Der Luftverkehr nimmt aber nur einen sehr geringen Anteil am Bereich der Verkehrsmodellierung ein. Daher existiert auch praktisch keine, die aktuelle Situation berücksichtigende, detaillierte Modellierung, die über die allgemeinen Ansätze der Verkehrsmodellierung hinausgeht.

Auf Basis einer Verallgemeinerung des Gravitationsmodells, das auf Wilson zurückgeht, wird häufig folgender Ansatz gewählt. Er stellt dabei den Versuch dar, das Problem der Unabhängigkeit irrelevanter Alternativen, auf das im folgenden Kapitel 4 intensiv eingegangen wird, zu reduzieren und bezieht den Aggregierungsgrad in die Normierung als zusätzlichen Faktor mit ein²⁵⁸.

In seiner im Bereich der Verkehrsprognose verwandten Darstellungsform werden hierbei aber nicht mehr die Aggregierungen der Alternativen, sondern die Größen der Quell- oder Zielströme in die Normierung einbezogen. Häufigste Darstellungsform ist die quellseitige Einbeziehung der Normierung unter Berücksichtigung der Zielströme:

$$N_{od} = N_{o,ges} \cdot \frac{B_d \cdot \sigma_{od}}{\sum_j B_j \cdot \sigma_{oj}} \quad (125)$$

Diese Gleichung erfüllt zwar die Normierung genau wie folgend Gleichung (130), weist aber nicht mehr die Struktur auf, die das Logitmodell wie in den Gleichungen (109) und (112) kausal begründet hat. Es

²⁵⁸ Fadden1976 308ff.

handelt sich damit um eine formale Alternative zur vorgeschlagenen Modellierung, die aber in ihrer Struktur die Kausalität bricht und nicht mit einem Nutzenmaximierungsansatz kompatibel ist.

Zusätzlich existiert eine zieleitige Einbeziehung der Normierung nach Wilson:

$$N_{od} = N_{ges,d} \cdot \frac{B_o \cdot \sigma_{od}}{\sum_l B_l \cdot \sigma_{ld}} \quad (126)$$

Zuweilen wird in diesen Gleichungen die Attraktionsfähigkeit der Regionen gleich durch ihre resultierenden Gesamtströme ersetzt, und man erhält quelseitig:

$$N_{od} = N_{o,ges} \cdot \frac{N_{ges,d} \cdot \sigma_{od}}{\sum_j N_{ges,j} \cdot \sigma_{oj}} \quad (127)$$

Oder zieleitig:

$$N_{od} = N_{ges,d} \cdot \frac{N_{o,ges} \cdot \sigma_{od}}{\sum_l N_{l,ges} \cdot \sigma_{ld}} \quad (128)$$

Mit einem solchen intermodalen Modell hat Pfaffenbichler die Auswirkungen einer EU-Osterweiterung auf den Luftverkehr zwischen Zentral- und Osteuropa untersucht. Ergebnis ist eine leichte Reduzierung des Luftverkehrs, bedingt durch kürzere Wartezeiten des Kraftwagenverkehrs an den Grenzen und damit einer erhöhten Attraktivität des Automobilverkehrs²⁵⁹. Allerdings berücksichtigt dieser Ansatz nur Konkurrenzeffekte zwischen den verschiedenen Modi, nicht aber neu entstehenden Verkehr durch die stärkere soziale, politische und kulturelle Verknüpfung der beiden Regionen. Die Wahl des Ansatzes nach Wilson, die nicht berücksichtigte zusätzliche Verkehrsgenerierung in Folge der EU-Osterweiterung und ein axiomatisch nicht begründeter Ansatz des Leitfähigkeitsterms erzeugen erhebliche Zweifel an den Ergebnissen dieses Modells für den Luftverkehr. Tendenziell wäre vielmehr eine Erhöhung des

²⁵⁹ Pfaffenbichler 2002 3ff.

Luftverkehrs zwischen den Regionen und eine stärkere Einbindung osteuropäischer Ziele in die Netzwerkstrukturen der großen Allianzen zu erwarten.

Dieses Modell wird in einigen Fällen noch spezialisiert. Dort wird die hier allgemein angegebene Leitfähigkeit durch das Produkt eines Friktionsterms mit einem sozioökonomischen Justierungsfaktor ersetzt^{260 261}.

Dies ist vor allem im Bereich von wirtschaftlich induzierten Strömungen wie bei der Wirtschaftsmigration oder dem innerstädtischen Straßenverkehr mit inhomogener sozialer Bevölkerungsstruktur von zusätzlicher Bedeutung, wird aber im Bereich des Luftverkehrs generell vernachlässigt.

Tatsächlich ist es aber möglich, dass die Luftverkehrsnachfrage neben den Elementen, die in dem Term der Leitfähigkeit bisher benutzt werden, von zusätzlichen Einflussvariablen abhängt. Dies kann zum einen durch eine Erweiterung des Leitfähigkeitsterms, zum anderen - unter der Annahme zusätzlicher Separabilität - auch durch Einfügen eines zweiten, sozioökonomischen Faktors erreicht werden. Ein Beispiel ist die unterschiedliche Nachfrage nach Luftverkehr in West- und Ostdeutschland entstehend durch die unterschiedliche historische, kulturelle, politische und soziale Prägung.

Allerdings ist es dabei wichtig, dass solche zusätzlichen Faktoren sorgfältig auf Kausalität und Plausibilität geprüft werden und nicht nur als weitere Kalibrierungsparameter zur Anpassung des Modells an vorgegebene Daten und zur Verringerung des auftretenden Fehlers benutzt werden. Letzteres ist wohl der Fall bei [Murthy1998 90.].

Wilson hat alternativ ein Modell entwickelt, dass der beidseitigen Berücksichtigung der Normierungsbeziehungen bei der Quelle und am Zielort Rechnung trägt. Dort ergibt sich:

$$N_{od} = a_o \cdot b_d \cdot N_{o,ges} \cdot N_{ges,d} \cdot \sigma_{od} \quad (129)$$

a_o und b_d sind in diesem Fall gekoppelte, normierende Faktoren. Grundlage der Modellierung von Wilson ist eine Entropiebetrachtung des Systems (siehe [Vries2000], [Wilson1967], [Wilson1972]).

Die von Wilson vorgeschlagenen Modelle sind trotz ihrer fehlenden Übereinstimmung mit den entscheidungstheoretisch akzeptierten Logitmodellen im Bereich der Verkehrsgenerierung die am häufigsten verwandten (Anwendungsbeispiele sind [Vrtic 2001], [Huntsville2002], [Vries2000]).

²⁶⁰ Uidaho2002a The Gravity Model.

²⁶¹ DoT1977 4-7f.

Gegenwärtig existieren im Bereich der Theoriebildung Versuche, die Abbildung mit diesen Modellen, die häufig auch als Spatial Interaction Models (SIMs) bezeichnet werden, zu verallgemeinern²⁶².

Ein Ergebnis ist die von Alonso seit 1973 entwickelte Theorie einer generellen Modellierung von Bewegungsvorgängen und Interaktionen. Diese kann als erweiterte Theorie Wilsons betrachtet werden, da sie jene als Spezialfall enthält. Für den Wunsch einer kausalen Verkehrsprognose sind jedoch sowohl die SIM wie die Modellbildung nach Alonso völlig ungeeignet.

²⁶² Vries2000 2ff.

3.2 Eigene Modellbildungen zur Relationsnachfrageprognose

3.2.1 Erweiterungen zum bisherigen Gravitationsmodell

In vielen Arbeiten zum Gravitationsmodell werden Elemente eingebunden, die auch Teil der Nutzenmaximierungsmodelle sind. Diese erfüllen wichtige formale Bedingungen wie die Normierungsbedingungen der Gesamtströme, entsprechen aber in ihrem Summierungsteil nicht der kausal interpretierbaren Axiomatik der Nutzenmaximierungsmodelle.

Alternativ ist daher folgende einfache quellspezifische Gleichung aufzustellen:

$$N_{od} = N_{o,ges} \cdot \frac{\sigma_{od}}{\sum_j \sigma_{oj}} \quad (130)$$

Hierbei ist über alle relevanten Zielorte j zu summieren, analog erhält man durch Einfügen der ziel-spezifischen Normierungsrestriktion bei Betrachtungen aller Quellorte l :

$$N_{od} = N_{ges,d} \cdot \frac{\sigma_{od}}{\sum_l \sigma_{ld}} \quad (131)$$

Ein Vergleich der Gleichungen (130) und (131) zeigt, dass gemäß Gleichung (111) eine Lösung nur existiert, wenn für beliebige Quell- und Zielströme gilt:

$$\frac{N_{o,ges}}{N_{ges,d}} = \frac{\sum_j \sigma_{oj}}{\sum_l \sigma_{ld}} \quad (132)$$

Damit hat ein relationsspezifisches Verkehrsmodell auf Basis dieses verallgemeinerten Gravitationsansatzes zwei Probleme zu klären: Die Bestimmung aller Quell- und Zielströme und der Form der Leitfähigkeit.

Die Gleichungen (130) bis (132) erfüllen die nötigen quell- und zieleitigen Normierungen, sind kausal aus dem Logitmodell abgeleitet und verwenden den verallgemeinerten Grundgedanken des Gravitationsmodells. Dennoch tauchen sie in der Literatur so nicht auf.

Vielmehr existiert dort eine Verallgemeinerung des Gravitationsmodells, das auf Wilson zurückgeht, dabei aber in seiner Struktur die Kausalität bricht und unvereinbar mit der entscheidungstheoretischen Axiomatik des Logitmodells ist.

Aufgrund der Übereinstimmung mit den - auch in den Kapiteln 4 und 5 benutzten - kausalen Ergebnissen des Logitmodells wird zur Bestimmung der relationsspezifischen Passagierzahlen im folgenden nicht, wie üblich, das auf Wilson zurückgehende Modell benutzt, sondern auf die - plausiblen und kausalen - Gleichungen (130) bis (132) zurückgegriffen.

Hier kommt der Leitfähigkeit eine besondere Bedeutung zu, für deren Bestimmung viele Ansätze existieren, die häufig aber nur durch ihre empirische Übereinstimmung mit realen Vergleichsfällen begründet werden. Eine allgemeine einheitliche Theorie der Bestimmung der Leitfähigkeit existiert nicht. Lediglich durch Vergleich mit dem Multinomialen Logitmodell kann die Angabe der Leitfähigkeit auf die Basis einer axiomatisch abgerundeten Theorie des Verkehrsverhaltens gestellt werden.

Setzt man für die Leitfähigkeit die inverse Potenz des Abstands, $\sigma_{od} = c \cdot s_{od}^{-a}$, mit den Konstanten $a, c > 0$ in Gleichung (124) ein, erhält man das klassische Gravitationsgesetz, ähnlich Gleichung (123):

$$N_{od} = \frac{N_{o,ges} \cdot N_{ges,d}}{c \cdot s_{od}^a} \quad (133)$$

Eine alternative Darstellung unter Einbeziehung der verschiedenen Quellteilströme ist:

$$N_{od} = \frac{N_{o,ges} \cdot s_{od}^{-a}}{\sum_j s_{oj}^{-a}} \quad (134)$$

Eine wichtige Eigenschaft dieses Ansatzes ist, dass die relativen Stromgrößen als Funktion der Entfernungen nur noch abhängig sind von ihrem relativen Verhältnis. Es ergeben sich damit identische Verhältnisse für Ziele, die ein und zwei Kilometer entfernt sind, wie für solche, die einhundert und zweihundert Kilometer entfernt sind. Die psychologische Untersuchung des menschlichen Entscheidungsverhal-

tens zeigt aber, dass Menschen der Differenz zweier Größen stärkere Bedeutung zumessen als ihrem Verhältnis. Diese Erkenntnis berücksichtigt der exponentielle Ansatz unter Verwendung der generalisierten Kosten, $\sigma_{od} = c \cdot \exp(-k_{od})$, mit der Konstante $c > 0$:

$$N_{od} = \frac{N_{o,ges} \cdot N_{ges,d}}{c \cdot \exp(k_{od})} \quad (135)$$

Auch dies lässt sich ohne die Konstante durch Einbeziehen der Normierung umformulieren, und man erhält bei Summierung über alle möglichen Quellrouten:

$$N_{od} = \frac{N_{o,ges} \cdot \exp(-k_{od})}{\sum_j \exp(-k_{oj})} \quad (136)$$

Diese Leitfähigkeit hat die Eigenschaft, bei den relativen Anteilen der Ströme nur die Differenz der verallgemeinerten Kosten unabhängig von ihrer absoluten Größe zu berücksichtigen.

Gleichzeitig wurde eine Verteilung der Ströme erzeugt, wie dies auch das Logitmodell in Abschnitt 3.1.3, Gleichung (112) erreicht. Jedoch wird bei dieser Modellierung nicht explizit auf den stochastischen Charakter der Entscheidung eingegangen, der in Gleichung (112) noch die Benutzung des Erwartungswerts nötig machte.

Eine Verallgemeinerung der exponentiellen Leitfähigkeit ist der – ebenfalls von Wilson entwickelte - Ansatz (allerdings dort für die im Abschnitt 3.1.3 aufgeführte Normierung):

$$\sigma_{od} = c \cdot \exp(-b \cdot k_{od}) \quad \text{mit } b, c > 0 \quad (137)$$

Hier wird die verallgemeinerte Kostenfunktion noch zusätzlich mit einer positiven Konstanten multipliziert. Allerdings würde eine Transformation der Kostenfunktion selbst zu einem identischen Ergebnis führen. Die wesentliche Eigenschaft, dass das Verhältnis der Stromgrößen nur vom Unterschied der Kostenfunktion abhängig ist, bleibt bei dieser verallgemeinerten Version der Exponentialfunktion erhalten. Im folgenden Abschnitt wird bei der Entwicklung einer luftverkehrsspezifischen Bestimmung der

Passagierströme auf Relationen diese - mit dem Logitmodell abgestimmte - Form der Darstellung der Leitfähigkeit benutzt.

Neben diesen Ansätzen existieren (für das Modell nach Wilson) in der Literatur noch eine Vielzahl von Funktionen für die Leitfähigkeit im Bereich der Verkehrsnachfrageabbildung, deren häufigst verwandte sind:

$$\sigma_{od} = k_{od}^{-a \cdot \exp(-b \cdot k_{od})} \quad \text{mit } a, b > 0 \quad (138)$$

$$\sigma_{od} = \left((1 + k_{od})^{\frac{a}{1 + \exp(b)}} \right)^{-1} \quad \text{mit } a, b > 0 \quad (139)$$

$$\sigma_{od} = k_{od}^{-a} \quad \text{mit } a > 0 \quad (140)$$

$$\sigma_{od} = k_{od}^{-a} \cdot \exp(-b \cdot k_{od}) \quad \text{mit } a, b > 0 \quad (141)$$

$$\sigma_{od} = \exp(-a \cdot k_{od}^2) \quad \text{mit } a > 0 \quad (142)$$

Diese sind kausal aber sämtlich schwer zu begründen. Daher wird im folgenden die Gleichung (136) als Basis für weitere Bestimmungen der Relationsstromgrößen als Folge der Unterschiede der generalisierten Kosten benutzt.

Analog wäre selbstverständlich neben dieser quellseitigen Modellierung auch eine Betrachtung aus Sicht der Senke zu benutzen.

3.2.2 Entwicklung eines Luftverkehrsnachfragegenerierungsmodells

Wie die bisherigen Abschnitte dieses Kapitels zeigen, existieren im wesentlichen zwei Gedankenansätze zur Bestimmung relationsspezifischer Passagierzahlen: Solche, die bekannte Gesamtströme auf verschiedene Relationen verteilen und daher häufig auch als Verkehrsverteilungsmodelle bezeichnet werden und diejenigen, die von der Ausprägung der verkehrsverursachenden Faktoren auf den Verkehr der Relation schließen.

Ziel dieses Abschnitts ist es, ein aktuelles, auf den Luftverkehr mit seinen wichtigsten spezifischen Einflussfaktoren bezogenes, kausales, erweitertes Gravitationsmodell zu entwickeln. Anschließend werden davon ausgehend im Abschnitt 3.2.3 die Quellverkehrsströme des deutschen Luftverkehrs bestimmt und vor dem Hintergrund der Modellbildung dieses Abschnitts bewertet.

Auf diese Weise ist die Grundlage zur späteren Bestimmung relationsspezifischer Passagierzahlen anhand der Verkehrsverteilungsmodelle unter Berücksichtigung einer speziellen Leitfähigkeit geschaffen.

Zusätzlich kann damit die entwickelte, kausale Modellierung auf ihre empirische Übereinstimmung überprüft werden.

Verbindet man die Gleichungen (123) und (124) lässt sich das Gravitationsmodell des Verkehrs als Produkt der Bevölkerungszahlen, welche die Attraktionsquellen abbilden, und einer Leitfähigkeit, die die Wechselwirkung der zusätzlichen Einflussfaktoren auf die Stromgenerierung berücksichtigt, schreiben:

$$N_{od} = c \cdot B_o \cdot B_d \cdot \sigma_{od} \quad \text{mit } c > 0 \quad (143)$$

Dieser Ansatz ist für die Verkehrsgenerierungsmodellierung öfters benutzt worden, jedoch hauptsächlich für den Bereich des Straßenverkehrs (und seltener des Schienenverkehrs). In Folge wird daher eine eigenständige Erweiterung an die spezifischen Eigenschaften des Luftverkehrs entwickelt, um so ein generelles Grundmodell der Luftverkehrsnachfragegenerierung zu erhalten.

Möchte man eine solche Modellierung auf den heutigen Luftverkehr übertragen, ist es notwendig, sich die auslösenden Faktoren, die Gründe und Ursachen für den Luftverkehr genauer anzusehen und abhängig von den Ergebnissen eine etwas feinere Körnigkeit der Agglomeration der Reiseströme bezüglich ihrer Ursachen zu wählen.

Gewöhnlich wird im Luftverkehr zwischen Privatverkehr und Geschäftsverkehr unterschieden. Diese Trennung ist sinnvoll, da sowohl der Anlass wie die Wahl der Ziele, die Dauer der Reise, aber auch die Empfindlichkeit der Personen bezüglich der Eigenschaften der Reise - vor allem des Preises und der Dauer - deutlich differieren. Weiter ist diese Unterscheidung relativ scharf. Eine Trennung in hauptsächlich private oder geschäftliche Motivierungen ist häufig schon daran zu erkennen, wer die Reise bezahlt.

Für den Geschäftsverkehr sind wirtschaftliche Prozesse entscheidend zur Generierung der Reisen, weniger private Interessen. Dies führt dazu, dass wirtschaftliche Parameter die geeignetsten zur Beschreibung des Attraktionspotentials zwischen zwei Regionen sind.

Wie Abschnitt 1.1 – insbesondere 1.1.2 - zeigt, ist unter den wirtschaftlichen Kenngrößen das Bruttosozialprodukt das wichtigste, was durch eine hohe Korrelation zum Luftverkehrsaufkommen unterstrichen wird^{263 264}.

Der geschäftliche Luftverkehr auf einer Relation, $N_{od}(g)$, lässt sich daher in Abhängigkeit vom Bruttosozialprodukt der Regionen und der personengruppenspezifischen Leitfähigkeit, $\sigma_{od}(g)$, schreiben als:

$$N_{od}(g) \propto BSP_o \cdot BSP_d \cdot \sigma_{od}(g) \quad (144)$$

Diese Proportionalität entspricht der Erfahrung der Vergangenheit und ist zu Beginn von Kapitel 3 in den Gleichungen (89) und (90) bereits beschrieben worden.

Nimmt man zusätzlich die Ergebnisse des Logitmodells, erhält man in der verallgemeinerten Schreibweise nach Wilson für den Leitfähigkeitsterm (allerdings bei diesem unter anderer Normierung benutzt) durch Einsetzen von Gleichung (137):

$$N_{od}(g) \propto BSP_o \cdot BSP_d \cdot \exp(-a \cdot k_{od}(g)) \quad \text{mit } a > 0 \quad (145)$$

$k_{od}(g)$ ist die verallgemeinerte Kostenfunktion in der Beurteilung der Geschäftsreisenden. Diese sind nur sehr begrenzt preissensitiv. Als wesentlich unangenehmeren Teil der Reise empfinden sie den Zeitverlust durch die Reisedauer. Nimmt man die Wahrnehmung der Zeit in ihrer Beurteilung durch den Geschäftsreisenden als linear an und geht von einer konstanten Geschwindigkeit für beliebige Relationen aus, lässt sich dies analog zur Gleichung (119) vereinfachen:

$$N_{od}(g) \propto BSP_o \cdot BSP_d \cdot \exp(-a \cdot s_{od}) \quad \text{mit } a > 0 \quad (146)$$

Die Verkehrsmenge des Geschäftsverkehrs wächst mit dem wirtschaftlichen Potential der Quell- und Zielorte und nimmt mit ihrem zunehmenden Abstand ab.

²⁶³ Aharoni2002 5.

²⁶⁴ Profildis2000 96.

Im Bereich der privat motivierten Reisen ist es möglich, diese nach den zwei wichtigsten privaten Reiseanlässen aufzuschlüsseln: Die Urlaubsreisen und den Besuch von Bekannten und Verwandten. Diese beiden verschiedenen Reisearten können in ihrem Umfang beschrieben werden durch die Intensität ihres Attraktionspotentials an den möglichen Zielorten.

Den größten Teil privat motivierter Flugreisen bilden Urlaubsreisen. Das Potential der Quellregion kann durch ihre Bevölkerungszahl, B_o , oder ihr Einkommen, In_o , repräsentiert werden. Hier ist es naheliegend, ähnlich wie in dem klassischen Gravitationsmodell, Gleichung (143), die Bevölkerung als direkte, kausale Ursache und das Einkommen als Element der Impedanz, $\sigma_{od}(pr, Ho)$, zu interpretieren. Das Attraktionspotential des Ziels wird durch seine Attraktivität für den Urlauber, Ho_d , dargestellt. Damit erhält man für den Reisestrom der Urlaubsreisenden, $N_{od}(pr, Ho)$, unter der Annahme einer multiplikativen Verknüpfung:

$$N_{od}(pr, Ho) \propto B_o \cdot Ho_d \cdot \sigma_{od}(pr, Ho) \quad (147)$$

Unter Benutzung des Logitmodells als kausaler Grundlage existiert eine exponentiale Verknüpfung von verallgemeinerter Kostenfunktion, $k_{od}(pr, Ho)$, und der Leitfähigkeit aus der Sicht der Urlaubsreisenden. Damit erhält man:

$$N_{od}(pr, Ho) \propto B_o \cdot Ho_d \cdot \exp(-b \cdot k_{od}(pr, Ho)) \quad \text{mit } b > 0 \quad (148)$$

Die verallgemeinerte Kostenfunktion ist aufgrund der hohen Preissensitivität vor allem eine Funktion des Einkommens der Bewohner der Quellregion, In_o , des Preises der Reise, p_{od} , und der Flugentfernung:

$$k_{od}(pr, Ho) = f(In_o, p_{od}, s_{od}) \quad (149)$$

Diese Funktion fällt mit zunehmendem Einkommen und steigt mit dem Preis und der Reisedauer:

$$\frac{\delta f}{\delta n_o} < 0 \quad \text{und} \quad \frac{\delta f}{\delta s_{od}} > 0 \quad \text{und} \quad \frac{\delta f}{\delta p_{od}} > 0 \quad (150)$$

Eine detaillierte, axiomatische und kausale Methode der Beschreibung einer verallgemeinerten Kostenfunktion im Luftverkehr wird in den folgenden Kapiteln 4 und 5 ausführlich dargestellt.

Der Urlaubsverkehr nimmt mit zunehmender Bevölkerung, steigendem Durchschnittseinkommen und der Urlaubsattraktivität des Reiseziels zu. Wichtigste Eigenschaft ist die Proportionalität dieses Verkehrs zur Bevölkerungszahl, die dem ursprünglichen Ansatz von Schlums, Gleichung (122) entspricht, aber einen höheren Detaillierungsgrad der Beschreibung aufweist.

Der zweite, kleinere private Reiestrom ist der Besuch bei Freunden, Verwandten und Bekannten. Hier ist eine Proportionalität zum Produkt der Bevölkerungszahlen im Quell- und Zielgebiet gleichbedeutend mit der Proportionalität zur möglichen Anzahl an Relationen zwischen zwei Personen aus dem Quell- und Zielgebiet. Damit ergibt sich für den Reiseverkehr der Besucher, $N_{od}(pr, VFR)$:

$$N_{od}(pr, VFR) \propto B_o \cdot B_d \quad (151)$$

Zusätzlich ist noch die Leitfähigkeit des Stroms für diese Personengruppe, $\sigma_{od}(pr, VFR)$, und die Wahrscheinlichkeit, dass sich zwei Personen aus den beiden Gebieten kennen und besuchen können, zu berücksichtigen. Diese sollte neben geopolitischen und geosozialen Verhältnissen auch von der Entfernung zwischen den Regionen abhängen. Vereinfacht man diese Wahrscheinlichkeit dermaßen, dass sie politische Wechselwirkung unberücksichtigt lässt, kann sie ausschließlich als Funktion des Abstands geschrieben werden, $Vi(s_{od})$, und man erhält bei multiplikativer Verknüpfung:

$$N_{od}(pr, VFR) \propto B_o \cdot B_d \cdot Vi(s_{od}) \cdot \sigma_{od}(pr, VFR) \quad (152)$$

Über die genaue Struktur von $Vi(s_{od})$ lässt sich ohne axiomatische Grundlage oder empirische Daten wenig aussagen. Sicher ist aber, dass die Wahrscheinlichkeit mit der Entfernung abnimmt, höchstens aber gleich bleibt:

$$\frac{\delta Vi(s_{od})}{\delta s_{od}} \leq 0 \quad (153)$$

Auch für den privaten Besuchsstrom ist von einer allgemeinen, exponentiellen Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und der verallgemeinerten Kostenfunktion auszugehen:

$$N_{od}(pr, VFR) \propto B_o \cdot B_d \cdot Vi(s_{od}) \cdot \exp(-c \cdot k_{od}(pr, VFR)) \quad \text{mit } c > 0 \quad (154)$$

Da es sich bei dem Besuchs- und Urlaubsverkehr um sehr ähnliche bis identische Personengruppen handelt und man vor allem davon ausgehen kann, dass für die Entscheidung dieser Personen in beiden Fällen ähnliche Präferenzen gelten, kann ohne große Einschränkung die verallgemeinerte Kostenfunktion für alle Privatreisenden, $k_{od}(pr)$ als gleich angesehen werden:

$$k_{od}(pr, VFR) = k_{od}(pr, Ho) := k_{od}(pr) \quad (155)$$

Weiter können dann die normierenden Bewertungsfaktoren, b und c , beider Privatreiseströme als übereinstimmend angenommen werden. Damit lässt sich der gesamte Privatreiseverkehr $N_{od}(pr) := N_{od}(pr, VFR) + N_{od}(pr, Ho)$ unter Berücksichtigung zweier positiver Konstanten des Urlaubsverkehrs, a_{Ho} , und des Besuchsverkehrs, a_{VFR} , der Gleichung (148) und (154) addieren:

$$N_{od}(pr) = B_o \cdot \exp(-b \cdot k_{od}) \cdot [a_{Ho} \cdot Ho_d + a_{VFR} \cdot B_d \cdot Vi(s_{od})] \quad \text{mit } b, a_{Ho}, a_{VFR} > 0 \quad (156)$$

Wesentlichstes Ergebnis ist die Linearität des privaten Reiseverkehrs zur Bevölkerungszahl und der exponentielle Eingang der verallgemeinerten Kostenfunktion, die das Einkommen mit einbezieht und daher zeigt, dass eine lineare Beziehung zwischen dem Einkommen der Bevölkerung und ihrer privaten Nachfrage nicht zu erwarten ist.

Für die Entscheidung des Privatreisenden stellen sein Einkommen^{265 266} und die ihm zur Verfügung stehende Zeit wichtige Ressourcen dar^{267 268}. Daher ist die Veränderung der Beziehung zwischen Einkommen und Preis der Reise sowie der Freizeitmenge und der Reisedauer eine wichtige Einflussgröße der Nachfrageentwicklung im privaten Flugreisebereich. Dies ist durch entsprechende Modellierung der verallgemeinerten Kostenfunktion umzusetzen.

Gleichung (156) ist damit als eine kausale, detaillierte Erweiterung der einfachen Abhängigkeit der Gleichung (92) zu Beginn dieses Kapitels zu interpretieren, die diesen Zusammenhang der Vergangenheit zu erklären vermag.

Vergleicht man das Ergebnis des privaten Reiseverkehrs mit dem des Geschäftsverkehrs wird deutlich, dass hier die Bevölkerungszahl, dort das Bruttosozialprodukt der Quellregion wesentliche Triebkräfte des Luftverkehrs sind. Für den Geschäftsverkehr gilt:

$$N_{od}(g) = a_g \cdot BSP_o \cdot BSP_d \cdot \exp(-c \cdot s_{od}) \quad \text{mit } c, a_g > 0 \quad (157)$$

Auffällig ist die unterschiedliche Gestalt der verallgemeinerten Kostenfunktion, die bei den Privatreisen vom Einkommen und Preis der Reise dominiert wird, bei den Geschäftsreisenden hingegen von der Reisedauer. Mit den Gleichungen (156) und (157) ist eine erste, einfache, kausale Modellierung der Passagierströme aufgeteilt nach Reiseanlass geschaffen, die als Grundlage wesentlich nur Elemente der Nutzungsmaximierungsmodelle und des Gravitationsmodells benutzt. Eine ausführliche Beschreibung der Möglichkeiten und Grenzen der Nutzenmaximierungsmodelle folgt später in Kapitel 4 und 5.

Weiter stellen die Gleichungen (156) und (157) die Grundlage für eine einfache Modellierung der Wechselwirkung des Angebots von Billigfluggesellschaften und Hochgeschwindigkeitszügen auf die Passagierzahlen dar.

Billigfluggesellschaften erzeugen keinen neuen Geschäftsverkehr, sie können zwar einen Teil von diesem für sich gewinnen, werden ihn aber nicht steigern. Das liegt daran, dass der Geschäftsflugverkehr von der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der Region getragen wird, und der Preis nur einen weniger wichtigen Teil der verallgemeinerten Kostenfunktion darstellt.

Ähnliches zeigt die Erfahrung für den Hochgeschwindigkeitszugverkehr. Auch dieser erzeugt keinen zusätzlichen Geschäftsverkehr, im Gegensatz zu dem Angebot durch Billigfluggesellschaften hat er aber ein er-

²⁶⁵ Aharoni2002 26.

²⁶⁶ DoT1977 3-3.

²⁶⁷ Graham2000 110ff.

heblich geringeres Abwerbungspotential. Gleichung (157) kann daher als verallgemeinerte, kausale Modellierung der Luftverkehrsgenerierung im Geschäftsverkehr auch für den Fall existierender Alternativen durch Billigfluggesellschaften und Hochgeschwindigkeitszüge benutzt werden.

Für den privaten Reiseverkehr ist eine Übertragung der Gleichung (156) - wie die Erfahrung belegt - nicht ohne Modifikation möglich. Ausgehend von der bisherigen Modellierung ist eine quantitative Beschreibung des privaten Flugreiseverkehrs in einem solchen komplexeren Umfeld möglich.

Im Bereich der Privatreisen wird durch eine Reduzierung des Preises die Nachfrage erhöht²⁶⁹. Dies ist im Abschnitt 1.4.2 ausführlich beschrieben. Unter Benutzung einer generalisierten Kostenfunktion ergibt sich beim Logitmodell ein exponentieller Zusammenhang zur Passagierzahl, wie ihn beispielsweise Gleichung (156) zeigt.

Dies hat zur Folge, dass der Quotient der Nachfrage zweier Angebote, N_1 und N_2 , für ansonsten gleiche Eigenschaften durch seine verallgemeinerte Kostenfunktionen, k_1 und k_2 , ausgedrückt werden kann:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\exp(-b \cdot k_1)}{\exp(-b \cdot k_2)} \quad \text{mit } b > 0 \quad (158)$$

Weiter ist die Annahme naheliegend, dass in die verallgemeinerten Kosten der Preis der Reise linear eingeht. Berücksichtigt man, dass in Gleichung (158) effektiv nur die Differenz der Kostenfunktionen auftaucht und wählt ein repräsentatives Angebot stellvertretend für den gesamten Verkehr der Relation, so ergibt sich - bei einem vorherigen Preis p_{od} ohne die Konkurrenz eines Billigfluggesellschafters und einem Preis p_{bil} nach dessen Markteintritt - auf dieser Strecke ein Zuwachs des Verkehrs um den Faktor F_{bil} mit:

$$F_{bil} \approx \exp(a_p \cdot (p_{od} - p_{bil})) \quad \text{mit } a_p > 0 \quad (159)$$

²⁶⁸ Profilidis2000 96f.

²⁶⁹ VCD2002 9.

a_p kennzeichnet die Bedeutung des Preises für die Entscheidung der Privatreisenden. Dieses Ergebnis entspricht der Struktur der Gleichung (91) zu Beginn dieses Kapitels, die als ein Erfahrungswert der Vergangenheit und Element des Logitmodells entstanden ist.

Der Zuwachs des Luftverkehrs einer Relation durch das Angebot eines Billigflughanbieters führt zu einem zusätzlichen Passagieraufkommen von Privatreisenden auf dieser Relation, deren Größe exponentiell abhängig ist von der Differenz des Preises vor und nach Markteintritt des Billigflughanbieters.

Geht man von einer homogenen Routenstruktur und einem ähnlichen Preisangebot der verschiedenen Netzwerkfluggesellschaften - respektive der verschiedenen Billigfluggesellschaften - aus, deren Preis wesentlich von den eigenen Kosten, der Reisedauer und der Nachfrage abhängt, kann diese Differenz für den innereuropäischen Markt nahezu als Konstante angesehen werden. Damit eignet sich diese zur Abschätzung einer ungefähren, allgemeinen Größenordnung des entstehenden Wachstums des privaten Luftverkehrs auf einer Relation nach Markteintritt des Billigflughanbieters. Dennis beziffert, dass bei einem Auftauchen eines Billigflughanbieters auf einer Route innerhalb Europas etwa 58% seiner Passagiere als neu generierte Reisende interpretiert werden können, die übrigen sind von anderen Anbietern abgeworbene Reisende²⁷⁰.

In Abschnitt 3.2.1 wurde der Einfluss eines konkurrierenden Angebots bei der Aufteilung der Nachfrage durch eine exponentielle Normierung, beispielsweise in den Gleichungen (125), (126) und (136) dargestellt.

Geht man im Konkurrenzfall alternativer Verkehrsmodi wie Luft- und Hochgeschwindigkeitsbahnverkehr von einem unwesentlichen Einfluss der Bahn auf die Verkehrsgenerierung aus, lässt sich der Verlust von potentiellen Passagieren an die Hochgeschwindigkeitsbahnen aus dem privaten Bereich durch den Faktor F_{HSR} darstellen. Hierbei ist für den Schienenverkehr die entsprechende spezifische verallgemeinerte Kostenfunktion, $k_{od}(HSR)$, zu benutzen, und man erhält aus dem Logitmodell:

$$F_{HSR} \approx \frac{\exp(-b \cdot k_{od})}{\exp(-b \cdot k_{od}) + \exp(-b \cdot k_{od}(HSR))} \quad \text{mit } b > 0 \quad (160)$$

Das Logitmodell wird häufig beim Vergleich konkurrierender Modi verwendet²⁷¹. Kürzen mit dem Zähler liefert die elegantere Schreibweise:

²⁷⁰ Dennis2001a 14.

²⁷¹ DoT1977 5-20.

$$F_{HSR} \approx \frac{1}{1 + \exp(-b \cdot (k_{od}(HSR) - k_{od}))} \quad (161)$$

Die Schiene vermag dem Luftverkehr einen Anteil an der gesamten relationsbezogenen Nachfrage zu entziehen, deren Größe abhängig ist von der Differenz der jeweiligen verallgemeinerten Kostenfunktionen bei den Privatreisenden.

Turner nennt als wesentliche Elemente der Modiwahl die Reiseeigenschaften (beispielsweise Reiseanlass, Reisezeitpunkt), die Charaktere des Reisenden (wie Einkommen, Alter) und des Transportsystems (etwa die relativen Zeiten der verschiedenen Modi)²⁷². Während die Eigenschaften der Transportsysteme explizit in die verallgemeinerte Kostenfunktion des Logitmodells eingehen, müssen die allgemeinen Reiseeigenschaften und vor allem die der Reisenden in diese für verschiedene Gruppen getrennt einbezogen werden oder aber eine geschickte grobere Agglomeration gewählt werden.

Fasst man alle Ergebnisse der Verkehrsgenerierung zusammen, erhält man für den Geschäftsverkehr:

$$N_{od}(g) = a_g \cdot BSP_o \cdot BSP_d \cdot \exp(-c \cdot s_{od}) \quad \text{mit } c, a_g > 0 \quad (162)$$

Dieses Ergebnis stimmt mit der Gleichung (157) überein, da eine Einführung von Hochgeschwindigkeitsschienenverbindungen und Billigflügen keine wesentliche Nachfrage bei den Geschäftsreisenden generiert.

Komplizierter ist es bei den Privatreisenden. Ein zusätzliches Einbeziehen potentieller Konkurrenz durch Hochgeschwindigkeitszüge oder des Markteintritts eines Billigfluggesellschafters führt unter Beachtung von Gleichung (159) und (161) und Einsetzen in Gleichung (156) zu:

$$N_{od}(pr) = B_o \cdot \exp(-b \cdot k_{od}) \cdot [a_{Ho} \cdot Ho_d + a_{VFR} \cdot B_d \cdot Vi(s_{od})] \cdot (1 + \delta_{HSR} \cdot \exp(-b \cdot (k_{od}(HSR) - k_{od})))^{-1} \cdot (1 + \delta_{bil} \cdot (\exp(a_p \cdot (p_{od} - p_{bil})) - 1)) \quad (163)$$

mit $b, a_{Ho}, a_{VFR}, a_p > 0$

²⁷² Turner 1997 8.

δ_{HSR} und δ_{bil} sind hier binäre Variablen, die gleich eins sind, falls eine Hochgeschwindigkeitsverbindung auf dieser Strecke existiert, respektive falls ein Billigflughanbieter diese Relation anbietet, und gleich null sonst:

$$\delta_{HSR} = \begin{pmatrix} 1 & \text{falls HSR existiert} \\ 0 & \text{sonst} \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \delta_{bil} = \begin{pmatrix} 1 & \text{falls Billigflugangebot existiert} \\ 0 & \text{sonst} \end{pmatrix} \quad (164)$$

Der Umfang des privaten Luftverkehrs ist damit von mehr Einflussvariablen wesentlich abhängig als der Geschäftsverkehr, der hauptsächlich von der wirtschaftlichen Entwicklung der Quell- und Zielregion bedingt wird.

Die Gleichungen (162) und (163) sind eine weitgehende und kausale relationsspezifische Erweiterung des Gravitationsmodells unter Einbeziehung der Ergebnisse des Logitmodells für den Luftverkehr.

Eine ähnlich detaillierte und gleichzeitig kausale, mathematische Beschreibung der Nachfragegenerierung im Luftverkehr existiert in der Literatur bisher nicht.

Zum Vergleich wird ein Modell von Blackburn kurz vorgestellt, das versucht, wichtige Einflussvariablen wie Bevölkerungszahlen und Einkommen mit der Idee der generalisierten Kosten zu verknüpfen. Es ist damit in seiner Plausibilität im Vergleich zu den wenigen anderen Ansätzen als besonders hoch anzusehen. Jedoch ist die Anzahl der berücksichtigten Elemente der Entscheidung von Personen bei der Verkehrsgenerierung im Luftverkehr, wie ein Vergleich mit obigem Modell aufzeigt, sehr begrenzt. Blackburn hat ein Verkehrsgenerierungsmodell entwickelt, dass a priori von folgender Struktur ausgeht²⁷³:

$$N_{od} \propto B_o \cdot B_d^{a_1} \cdot In^{a_2} \cdot \exp(-b \cdot k_{od}) \quad \text{mit } a_1, a_2, b > 0 \quad (165)$$

Die Art der Verknüpfung der Einflussfaktoren der Bevölkerungszahl und des durchschnittlichen Einkommens erinnert an den Ansatz von Graham, Abschnitt 1.5, Gleichungen (59) und (60).

Es scheint nicht plausibel, dass die Bevölkerungszahl des Ursprungsgebiets mit einer anderen Potenz in die Verkehrsgenerierung eingeht als die des Zielgebiets. Ferner bleibt unklar, wieso die Verknüpfung mit dem Einkommen durch Multiplikation mit einer Potenzfunktion erreicht wird. Dennoch ist die Einbe-

²⁷³ Blackburn 1972a 168f.

ziehung einer generalisierten Kostenfunktion und eine Multiplikation der Bevölkerungszahlen typisch für das Gravitationsmodell.

Eine explizite Berücksichtigung etwaiger Sättigungseffekte existiert in dieser Modellierung nicht, wird aber durch eine direkte Entkopplung des Privatverkehrs vom Bruttosozialprodukt möglich. Zu erreichen ist dies durch eine verallgemeinerte Kostenfunktion, die das relevante Entscheidungsumfeld des Privatreisenden sowie seine zur Verfügung stehenden Ressourcen Zeit und Geld abbildet und so die Zunahme privat motivierten Luftverkehrs begrenzt.

3.2.3 Spezifizierung und Test für den Quellverkehr in Deutschland

Die Modellierung der Verkehrsströme im bisherigen Kapitel 3 und damit auch im Abschnitt 3.2.2, der Luftverkehrsnachfragegenerierung, geht von einer Vielzahl axiomatischer Vereinfachungen aus, die sich häufig auf Symmetrien und Homogenitäten zurückführen lassen. Tatsächlich treten in der Realität Anisotropien auf, deren Ausmaß wesentlich von der Größe der – beispielsweise räumlichen - Agglomeration abhängt. Mit zunehmend detaillierter Betrachtung wächst die Bedeutung räumlicher Sondereinflüsse und Inhomogenitäten.

Da in dieser Arbeit der Schwerpunkt auf dem Luftverkehr von und nach Deutschland liegt, ist es sinnvoll zu überprüfen, ob sich die Vereinfachungen des Abschnitts 3.2.2 für diesen Verkehr beibehalten lassen oder ob es notwendig ist, Inhomogenitäten auf methodische Ursachen zurückzuführen und das entwickelte Modell zu erweitern. Ziel ist es, dass allgemeine Modell der Luftverkehrsgenerierung für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland zu überprüfen oder falls nötig auf ein spezifisches Modell der Luftverkehrsgenerierung Deutschlands zu erweitern.

Ziel dieses Abschnitts sind damit vor allem folgende zwei Dinge:

- Bestätigung oder Falsifizierung der Hauptabhängigkeit der Passagierzahlen von dem Bruttosozialprodukt respektive der Bevölkerungszahl.
- Klärung der Frage, ob sich auf Basis empirischer Daten weitere wesentliche Einflüsse für die Luftverkehrsgenerierung von Deutschlands aus ergeben, die nicht bereits im vorigen Abschnitt berücksichtigt wurden.

Als Datengrundlage der folgenden Betrachtung dienen die Ergebnisse der Auswertung der Fluggastbefragung des ADV aus dem Jahr 1998. Diese umfasst etwa 50 Tausend Passagierbefragungen von Reisenden aus Deutschland zu Fragen wie Reiseanlass, Ziel und Ursprung der Reise sowie Moduswahl

des Flughafenreiseverkehrs. Diese Stichproben haben in ihrer Gesamtheit eine hohe repräsentative Güte in der Genauigkeit der Erfassung der Passagierströme von und nach Deutschland. Jedoch sind im Raum Berlin aufgrund der relativ gering ausfallenden Stichprobe die dort ermittelten Werte von einer geringeren Repräsentanz als für den Rest der Verkehrsströme.

Dem Institut für Luftverkehrsforschung sind die physischen Kopien der Fluggastbefragung zugekommen. Dort wurden diese weiter zu einer Matrix (in Excel) verdichtet und auf den Gesamtflugreiseverkehr linear extrapoliert, die auf Basis der Betrachtung von Regionen der BRD Aussagen über die absoluten jährlichen Flugreisen je nach Reisegrund macht. Damit stellen diese Daten für die Bestimmung der Passagierzahlen auf Basis der Regionen (und nicht der Flughäfen) für die BRD das bestmögliche verfügbare Datenmaterial dar. Nachteilig ist allerdings, dass aus Kostengründen die zugrundeliegenden Daten der Fluggastbefragung nur etwa alle 5 Jahre ermittelt werden. Für das zur Verfügung gestellte Datenmaterial des ADV ist eine Vertraulichkeitserklärung bindend, so dass in diesem Rahmen leider keine Teile des Datenmaterials veröffentlicht werden können.

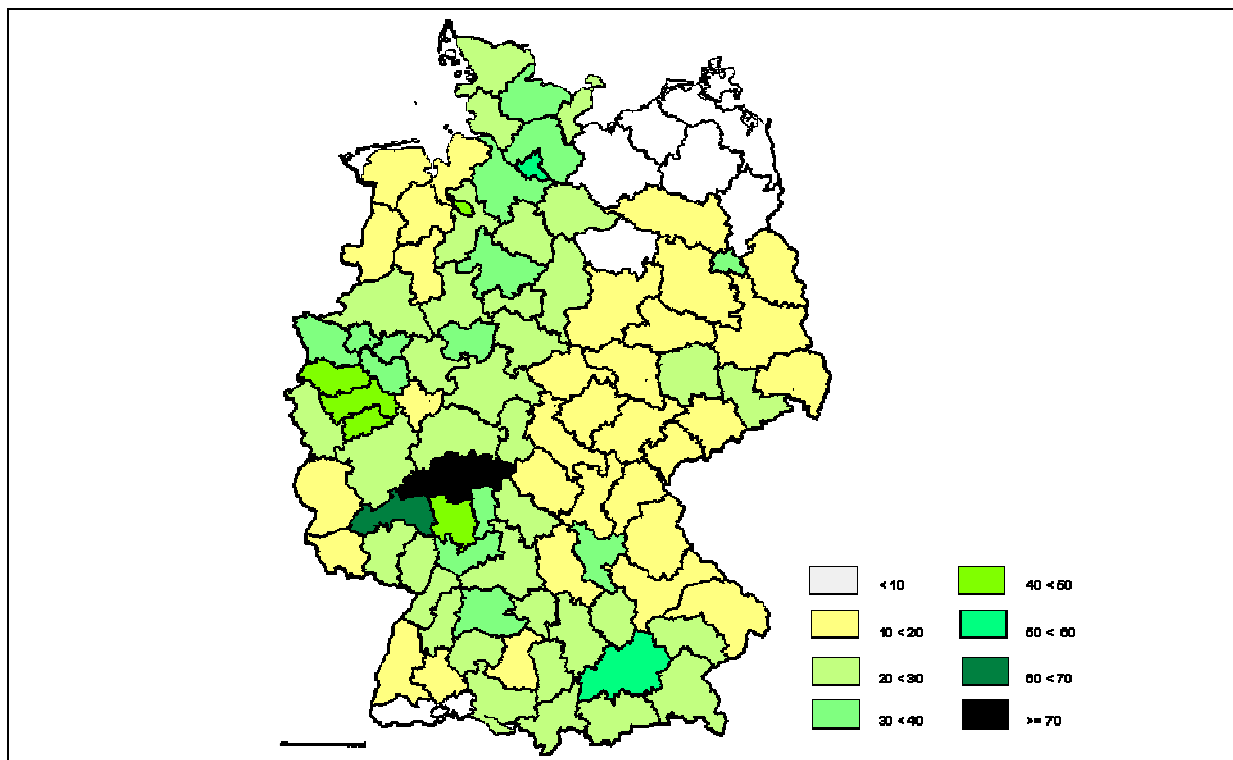


Abb. 44: Die Anzahl der Privatflüge je Einwohner ist am höchsten im Umkreis des wichtigsten Flughafens in Frankfurt. Dargestellt ist eine Abbildung auf Verwaltungsebene, die Reisehäufigkeit nimmt mit dunkler werdender Unterlegung zu. [Quelle: Zahlenmaterial entspringt Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln auf Basis der Befragung des ADV von 1998, mittels eigener graphischer Umsetzung. Die Legende gibt die durchschnittliche Reisehäufigkeit je 100 Einwohner an]

Abbildung 44 zeigt den Privatflugreisequellverkehr Deutschlands je Einwohner. Man erkennt in West- eine höhere Nachfrage als in Ostdeutschland. Die höchsten durchschnittlichen Nachfragen liegen im Bereich Rhein-Main und München. Die Ballungszentren und damit gleichzeitig die Regionen in der Nä-

he der internationalen deutschen Verkehrsflughäfen generieren ein höheres privates Luftverkehrsaufkommen als ländliche, dezentral liegende Regionen.

Wie Abbildung 45 darstellt, weist die Geschäftsquellverkehrsgenerierung je erwirtschaftetem Bruttosozialprodukt eine ganz ähnliche räumliche Struktur auf wie die Privatquellverkehrsgenerierung je Einwohner. Auch hier ist die Nachfrage in Westdeutschland höher als in Ostdeutschland und in der Nähe der internationalen Verkehrsflughäfen größer als in dezentralen, ländlichen Gebieten.

Das Rhein-Main Gebiet und jenes um München sind erneut Regionen intensiver Verkehrsgenerierung. Die höchste Geschäftsverkehrserzeugung tritt jedoch in Berlin auf, was nicht verwunderlich ist, da Berlin als Hauptstadt Deutschlands Quelle und Ziel politischer, wirtschaftlicher, sozialer und kultureller Organisationen ist.

Im allgemeinen Luftverkehrsgenerierungsmodell des Abschnitts 3.2.2 gilt - sowohl für die einfache Gleichung (144) wie für die komplettere Beschreibung (162) - für den Geschäftsquellverkehr:

$$N_{od}(g) = a_1 \cdot BSP_o \quad \text{mit} \quad a_1 > 0 \quad (166)$$

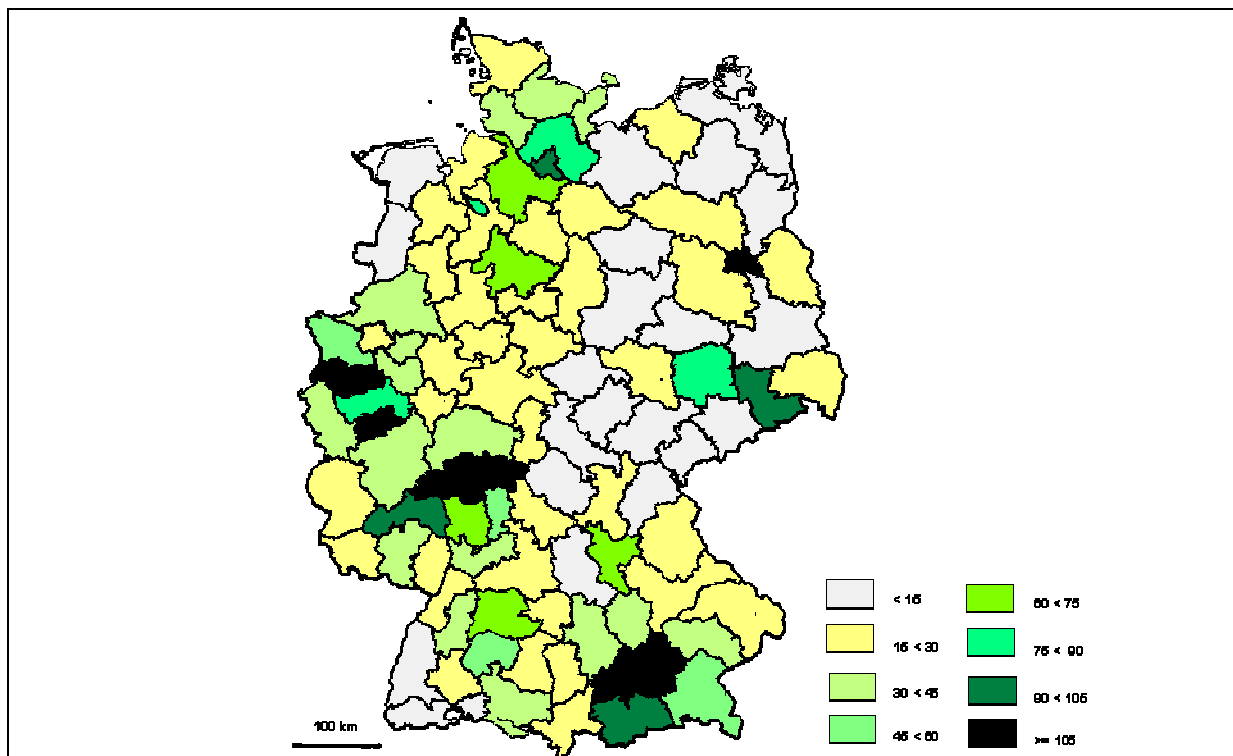


Abb. 45: Die größte Geschäftsreisetasigkeit je erwirtschaftetem BSP liegt im Umfeld der Flughäfen Berlin, Köln/Bonn und Düsseldorf, München sowie Frankfurt. Die Reisehäufigkeit nimmt mit dunkler werdender Unterlegung zu. [Quelle: Das Zahlenmaterial entspringt einer Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln auf Basis der Befragung des ADV von 1998, mittels eigener graphischer Umsetzung]

Analog für den Privatreisequellverkehr – siehe auch Gleichungen (156) und (163):

$$N_{od}(p) = a_2 \cdot B_o \quad \text{mit} \quad a_2 > 0 \quad (167)$$

Diese beiden sehr einfachen Verkehrsgenerierungsgleichungen gehen von einer homogenen Struktur der einzelnen Verkehrsgenerierungsregionen aus. Hierbei meint Homogenität nicht, dass diese Regionen in ihrer Substruktur homogen bezüglich irgendwelcher verkehrsbeeinflussender Eigenschaften sind, sondern dass die Substruktur, welche die Verkehrsgenerierung mit zu beeinflussen vermag, für alle Regionen ähnlich ist.

Substrukturen können dann die Nachfrage nach Luftverkehr wesentlich verändern, wenn sie eine starke Inhomogenität bezüglich des Nachfrageverhaltens oder der Angebotsgestaltung aufweisen. Dementsprechend sind die Gleichungen (166) und (167) für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland auf Verkehrsgenerierungsinhomogenitäten sowohl in Folge von Unterschieden im Angebots- wie im Nachfragebereich zu überprüfen.

Gründe für eine unterschiedliche Nachfragesituation, die sich in anderen subjektiven Präferenzen der Personen ausdrückt, entstehen hauptsächlich sowohl durch eine andere Form sozialer, politischer, kultureller und wirtschaftlicher Wertprägung, wie durch verschiedene Einkommensniveaus.

Diese Unterschiede sind in der Bundesrepublik vor allem durch die teilungsbedingte Historie in einer Differenzierung nach West- und Ostdeutschland wahrzunehmen. Wertesysteme, Beurteilungen und Vertrautheiten mit Werten oder Handlungsmechanismen weisen innerhalb Deutschlands die größten Unterschiede zwischen diesen beiden Gebieten auf. Hierbei ist eine relativ scharfe Trennung dieser Gebiete möglich, was eine analytische Untersuchung vereinfacht. Eine gewisse Sonderstellung nimmt lediglich Berlin als Hauptstadt Deutschlands ein.

Aber auch das Angebot ist für die verschiedenen Regionen nicht identisch. So haben Gebiete in unmittelbarer Umgebung eines internationalen Flughafens einen besseren Zugang zu Luftverkehrsangeboten und generieren daher eine durchschnittlich höhere Nachfrage.

Ein Vergleich mit Tabelle 9, Abschnitt 2.2.2, zeigt, dass der Quellverkehr besonders in der Nähe der größten deutschen Flughäfen in Frankfurt, München, Düsseldorf, Berlin, Hamburg, Stuttgart, Köln/Bonn, Hannover, Nürnberg, Leipzig/Halle, Bremen und Dresden überdurchschnittlich hoch ist.

In einem ersten Schritt ist daher zu überprüfen, ob zumindest für die Gebiete, die nicht in der Nähe eines solchen Flughafens liegen und daher nicht über ein verbessertes Flugangebot verfügen, die Gleichungen (166) und (167) als gute Näherungen benutzt werden können.

Aufgrund der unterschiedlichen Nachfragestruktur in West- und Ostdeutschland sind insgesamt vier Abhängigkeiten auf Linearität zu überprüfen: Der Privatreisequellverkehr als Funktion der Anzahl der Einwohner sowie der Geschäftsreisequellverkehr als Funktion des Bruttosozialprodukts, beide jeweils für West- und Mitteldeutschland.

Von den insgesamt 97 Regionen Deutschlands, für die vom Statistischen Bundesamt umfangreiches Datenmaterial, beispielsweise über erwirtschaftetes Bruttosozialprodukt und Bevölkerungsgröße, vorliegt, existieren 58 Regionen, die im Westen Deutschlands und gleichzeitig nicht in unmittelbarer Nähe eines Flughafens liegen. Diese Regionen machen mehr als die Hälfte des Gebiets der Bundesrepublik aus.

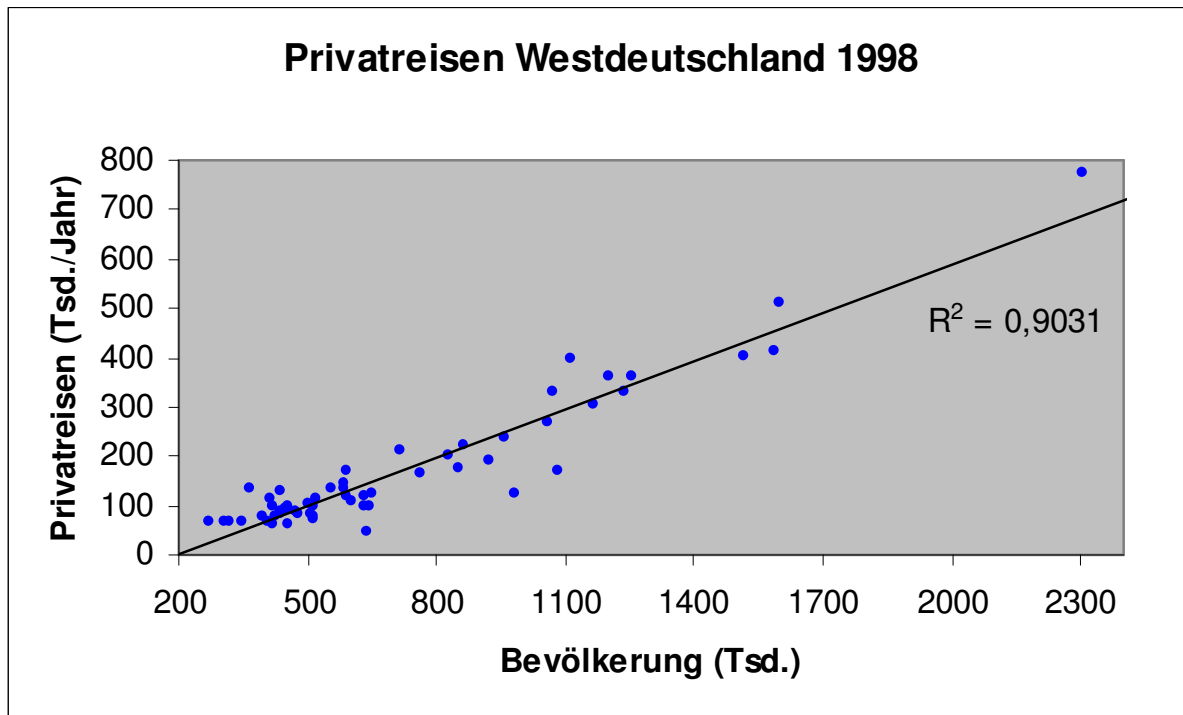


Abb. 46: Die Anzahl der Privatreisen ist etwa linear abhängig von der Bevölkerungszahl. Für 58 westdeutsche Regionen ergibt sich ein Determinationskoeffizient von etwa 0,9 bei einer jährlichen Anzahl von Privatreisen je Person von etwa 0,236. [Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln]

Abbildung 46 zeigt für diese 58 Regionen das Verhältnis der Anzahl der Privatreisen zur Bevölkerungsgröße. Der lineare Trend zusammen mit dem hohen Determinationskoeffizienten zeigt an, dass für Westdeutschland in den Gebieten, die nicht in der Nähe eines internationalen Flughafens liegen, ein etwa linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Privatreisen und der Bevölkerungszahl angegeben werden kann. Natürlich ergeben sich in strukturschwachen Gebieten mit schlechter Infrastruktur

oder niedrigem durchschnittlichen Einkommen geringere Privatreisemengen als in den anderen Gebieten. Der hohe Determinationskoeffizient zeigt jedoch, dass dieser Einfluss relativ gering ist.

Für die jährliche Nachfrage nach Privatreisen aus solchen Regionen ergibt sich nach Kalibrierung der Gleichung (167):

$$N_{od}(p) \approx 0,2363 \cdot B_o \quad (168)$$

Eine ähnliche Untersuchung lässt sich für Mitteldeutschland durchführen. Dort existieren 18 Regionen, die nicht in der Nähe eines der größeren internationalen Flughäfen in Berlin, Leipzig/Halle und Dresden liegen.

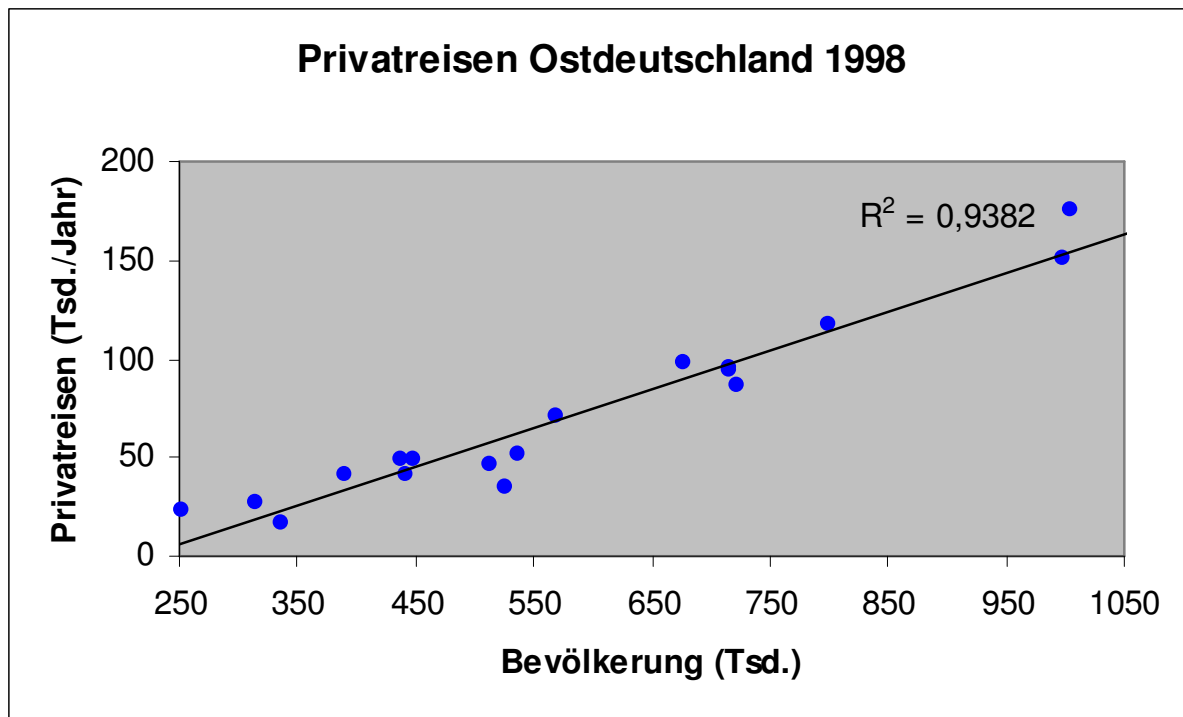


Abb. 47: Die Anzahl der Privatreisen ist etwa linear abhängig von der Bevölkerungszahl. Für 18 mitteldeutsche Regionen ergibt sich ein Determinationskoeffizient von etwa 0,94 bei einer jährlichen Anzahl von Privatreisen je Person von etwa 0,122. [Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln]

Auch für diese 18 Regionen ergibt sich, wie Abbildung 47 illustriert, ein linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Privatreisen und der Bevölkerungsgröße. Der Determinationskoeffizient ist hoch und zeigt, dass diese Näherung für das betrachtete Gebiet eine hohe Güte aufweist.

Die Erzeugung des Privatflugzeugverkehrs ist im Westen Deutschlands mit einem Faktor von etwa 1,936 erheblich höher als in Mitteldeutschland. Analog Gleichung (168) gilt für Mitteldeutschland:

$$N_{od}(p) \approx 0,1220 \cdot B_o \quad (169)$$

Definiert man für West- und Mitteldeutschland die binären Variablen:

$$\delta_{WD} = \begin{pmatrix} 1 & \text{falls Region in Westdeutschland} \\ 0 & \text{sonst} \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \delta_{MD} = \begin{pmatrix} 1 & \text{falls Region in Mitteldeutschland} \\ 0 & \text{sonst} \end{pmatrix} \quad (170)$$

Dann gilt für alle Regionen in Deutschland, die nicht in der Nähe eines Flughafens liegen, für den Privatreisequellverkehr im Jahr 1998. Auf eine Indizierung nach Region wurde hier lediglich aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet:

$$N_{od}(p) \approx B_o \cdot (0,2363 \cdot \delta_{WD} + 0,1220 \cdot \delta_{MD}) \quad (171)$$

Zusätzlich sind die beiden binären Variablen für West- und Mitteldeutschland komplementär. Daher gilt für jede Region in Deutschland – mit Ausnahme Berlins:

$$\delta_{WD} + \delta_{MD} = 1 \quad (172)$$

Möchte man ein Modell entwickeln, dass den Privatreisequellverkehr für ganz Deutschland, also auch in der Nähe der internationalen Flughäfen beschreiben kann, ist zusätzlich zu analysieren, wie die Nachfrage in den entsprechenden Regionen von den oben betrachteten abweicht.

Hierzu ist es sinnvoll, die Flughäfen gemäß ihres Angebotscharakters in einfache internationale Flughäfen und internationale Hubflughäfen zu unterscheiden. Im Jahr 1998 lag der größte deutsche Hubflughafen in Frankfurt/Main. Zweitgrößter - und sich als Hub etablierender - Flughafen war München.

Als einfache internationale Verkehrsflughäfen werden die Flughäfen von Düsseldorf, Berlin, Hamburg, Stuttgart, Köln/Bonn, Hannover, Nürnberg, Leipzig/Halle, Bremen und Dresden betrachtet. Andere, kleinere Flughäfen finden in dieser Betrachtung keine Berücksichtigung, da sie, wie eine Datenanalyse zeigt, auch nur eine unwesentlich erhöhte Verkehrsgenerierung aufweisen.

Hierbei ist vor allem zu analysieren, ob die Verkehrsgenerierungszunahme in diesen Städten homogen ist und, falls nicht, ob diese evident von der Größe des Flughafens oder der Zugehörigkeit zu West- oder Mitteleuropa abhängt.

Tabelle 24 zeigt, dass sich die Zunahme des Luftverkehrs in der Nähe dieser Flughäfen - bezogen auf den sich aus der Gleichung (171) ergebenden Wert - um durchschnittlich 1,797 erhöht. Auffällig ist, dass für alle Flughäfen mit Ausnahme Hamburgs der Faktor in einem kleinen Bereich von 1,51 bis 1,897 liegt und damit um maximal 10 Prozent vom Mittelwert abweicht.

Eine Korrelation mit der Größe des Flughafens ist nicht signifikant. Die Werte für Mitteleuropa sind aufgrund des geringeren Ausgangsniveaus tendenziell als eher überdurchschnittlich zu erwarten gewesen, dies ist jedoch nicht bestätigt worden. Vielmehr lässt sich mit einem geringen Fehler für die internationalen Verkehrsflughäfen eine durchschnittliche Steigerung des Privatverkehr um den Faktor 1,797 beobachten.

IVF	FAKTOR PRIVATVERKEHR
Düsseldorf	1,782
Hamburg	2,413
Stuttgart	1,527
Köln/Bonn	1,801
Hannover	1,627
Nürnberg	1,510
Leipzig/Halle	1,894
Bremen	1,897
Dresden	1,718
Durchschnitt	1,797

Tab. 24: In der Nähe der internationalen Verkehrsflughäfen steigert sich die Nachfrage nach privaten Reisen um etwa den Faktor 1,7 bis 1,9. [Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln]

Definiert man die binäre Variable der Zuordnung einer Region zu einem solchen internationalen Verkehrsflughafen:

$$\delta_{IVF} = \begin{pmatrix} 1 & \text{falls Region mit Internationalem Verkehrsflughafen} \\ 0 & \text{sonst} \end{pmatrix} \quad (173)$$

Dann lässt sich Gleichung (171) auf alle Regionen in Deutschland – mit Ausnahme Berlins und dem Umfeld der Hubflughäfen - erweitern zu:

$$N_{od}(p) \approx B_o \cdot (0,2363 \cdot \delta_{WD} + 0,1220 \cdot \delta_{MD}) \cdot (1 + 0,797 \cdot \delta_{IVF}) \quad (174)$$

Die Zunahme des privaten Luftquellverkehrs in der Nähe der Hubflughäfen ist größer als bei den einfachen internationalen Verkehrsflughäfen. Hierbei ist der Zuwachs aufgrund des höheren Angebots für Frankfurt größer als für München.

Eine erste Abschätzung für den allgemeinen Zuwachs der Hubflughäfen - bezogen auf das Verkehrsaufkommen aus Regionen ohne Flughafen - liefert deren Mittelwert. Dieser liegt bei 2,654 und ist damit wesentlich höher als für die kleineren internationalen Verkehrsflughäfen. Auch wenn die Hansestadt Hamburg aus wirtschaftlich und historischen Gründen einen hohen Aufkommen generiert, kann der Flughafen Hamburg jedoch nicht als Hub betrachtet werden

Definiert man hier ähnlich wie in Gleichung (173) eine binäre Variable, welche die Nähe einer Region zu einem Hubflughafen beschreibt, erhält man:

$$\delta_{HUB} = \begin{cases} 1 & \text{falls Region mit Hubflughafen} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (175)$$

Zusätzlich gilt noch die Ungleichung:

$$\delta_{HUB} + \delta_{IVF} \leq 1 \quad (176)$$

Dann lässt sich für alle Regionen in Deutschland - mit Ausnahme Berlins - die Menge des privaten Quellverkehrs abschätzen durch:

$$N_{od}(p) \approx B_o \cdot (0,2363 \cdot \delta_{WD} + 0,1220 \cdot \delta_{MD}) \cdot (1 + 0,797 \cdot \delta_{IVF} + 1,654 \cdot \delta_{HUB}) \quad (177)$$

Für Berlin lagen in dem Sample des Datenmaterials leider nicht genug Daten vor, als dass sich damit der Luftverkehr Berlins sinnvoll beschreiben liesse. Deshalb wird an dieser und folgender Stelle Berlin ausgenommen. Gleichung (177) beschreibt als Spezialisierung der Gleichung (167) den regionalen pri-

vaten Luftquellverkehr in Deutschland als Funktion der Bevölkerungszahl, der Zugehörigkeit zu West- oder Mitteldeutschland und der Nähe zu einem internationalen Verkehrs- oder Hubflughafen.

Auf ganz ähnliche Weise ist eine Konkretisierung der Gleichung (166) des regionalen Geschäftsquellverkehrs für Deutschland zu erreichen. Dieser ist eine Funktion des Bruttosozialprodukts, der Zugehörigkeit zu West- oder Mitteldeutschland und der Nähe zu einem internationalen Verkehrs- oder Hubflughafen.

Abbildung 48 zeigt für die 58 Regionen Westdeutschlands, die nicht in der Nähe eines internationalen Verkehrsflughafens liegen, die Abhängigkeit des Geschäftsverkehrs vom Bruttosozialprodukt der Region.

Der Determinationskoeffizient ist für die große Menge der betrachteten Messpunkte noch hoch aber auffällig geringer als im Falle der Wechselwirkung zwischen der Bevölkerungszahl und dem privat generierten Quellverkehr. Da der Geschäftsverkehr von Unternehmen und nicht von Einzelpersonen erzeugt wird, verwundert dies nicht. Innerhalb einer Region existieren etwa 10^6 bis 10^7 Personen, denen für die Erzeugung des privaten Luftverkehrs eine ähnlich große Bedeutung zukommt.

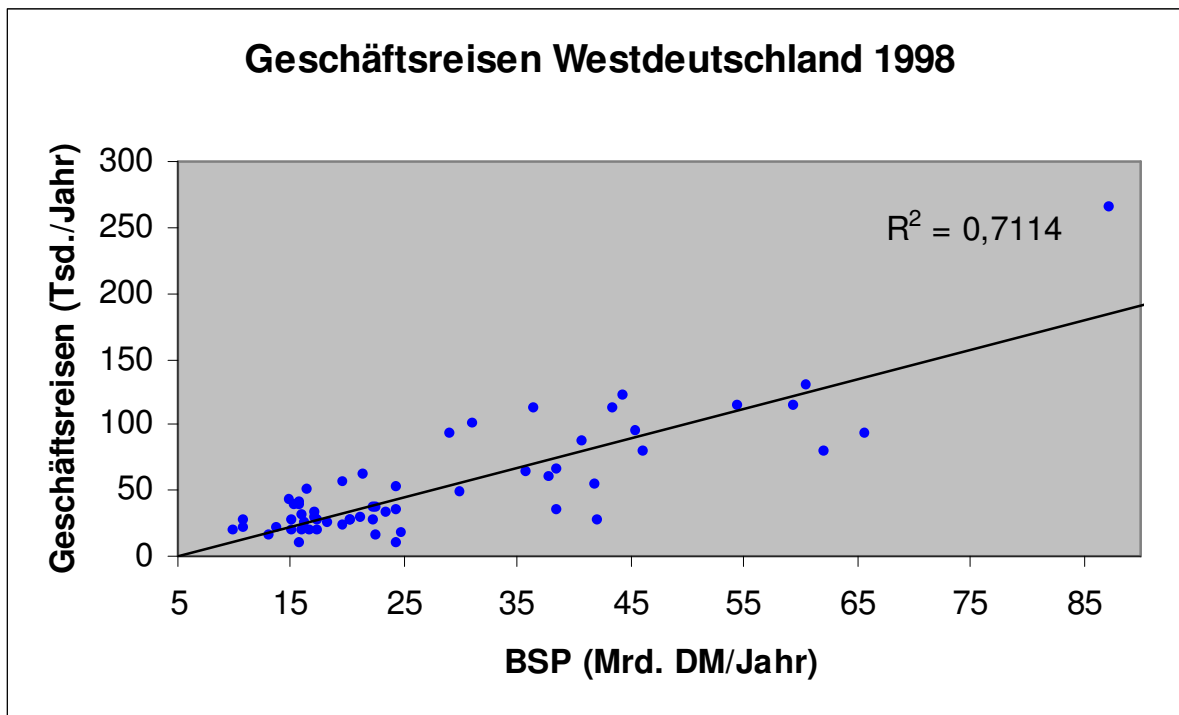


Abb. 48: Die Korrelation der Geschäftsreisen zum BSP ist nicht so ausgeprägt wie die der Privatreisen zur Bevölkerungszahl. Für 58 Regionen Westdeutschlands liegt der Determinationskoeffizient bei etwa 0,711 und je erwirtschaftetem BSP von einer Mio. DM entstehen durchschnittlich 1,855 Geschäftsreisen. [Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln]

Dahingegen gibt es in einer solchen Region nur etwa 1 bis 100 große und mittlere Unternehmen, die als wesentliche Erzeuger und Adressaten von Geschäftsluftverkehr angesehen werden können. Dass bei einer so erheblich geringeren Anzahl von Unternehmen deren individueller Charakter stärker in die

Verkehrsgenerierung eingeht als dies für Privatpersonen der Fall ist, ist naheliegend. Berücksichtigt man die geringe Größe der hier betrachteten Regionen, ist der ermittelte Determinationskoeffizient von 0,7114 eher unerwartet hoch.

Für den jährlichen Geschäftsquellverkehr in westdeutschen Regionen ohne internationalen Verkehrsflughafen erhält man:

$$N_{od}(g) = BSP_o \cdot 1,855 / Mio.DM \quad (178)$$

Für den Geschäftsverkehr Mitteldeutschlands ist die Korrelation zwischen Bruttosozialprodukt und Verkehrsmenge viel schwächer.

Wie Abbildung 49 illustriert, existiert auch in Ostdeutschland eine nur schwache Kopplung zwischen Bruttosozialprodukt und Geschäftsreiseverkehr. Eine Linearität kann aber nur als grobe Vereinfachung angenommen werden.

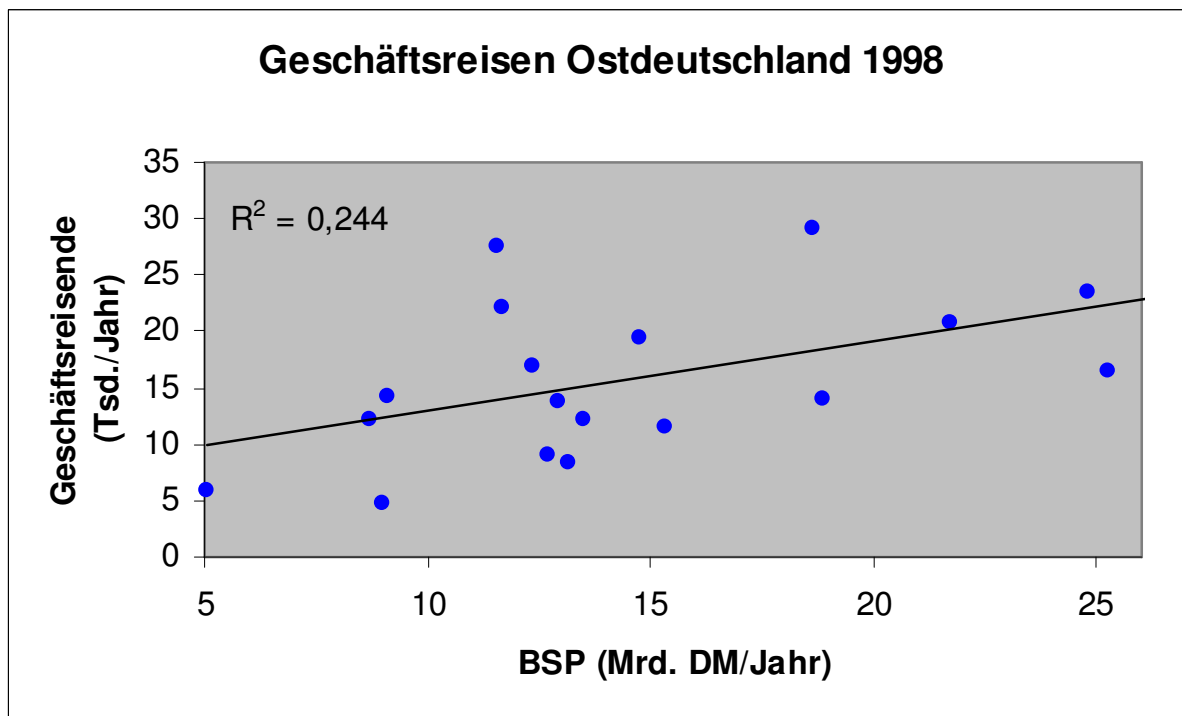


Abb. 49: Eine lineare Korrelation zwischen der Anzahl an Geschäftsreisen und dem BSP ist in Mitteldeutschland wesentlich geringer ausgeprägt als im Westen, was in dem wirtschaftlichen Umbruch der Region und der geringen Größe der Bereiche begründet ist. Je BSP von einer Mio. DM entstehen durchschnittlich etwa 1,09 Geschäftsreisen. [Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln]

Dies ist aufgrund der geringen Geschäftsflugverkehrsnachfrage von etwa 10^4 Geschäftsreisen pro Jahr und Region und einem Anteil am Gesamtflugverkehr von weniger als 20 Prozent allerdings nur von eingeschränkter Bedeutung für eine gesamtdeutsche Luftverkehrsmodellierung. Dennoch muss festgehalten werden, dass für den Bereich einer Geschäftsflugverkehrsgenerierung in Mitteleuropa eine Linearität zwischen dem Bruttosozialprodukt und der Nachfragemenge auf der feinen, räumlichen Aggregation der Regionen nur eine begrenzte Güte aufweist.

Für den Geschäftsflugverkehr in Mitteleuropa außerhalb der unmittelbaren Nähe eines internationalen Verkehrsflughafens gilt nach Kalibrierung vereinfacht:

$$N_{od}(g) = BSP_o \cdot 1,088 / \text{Mio. DM} \quad (179)$$

Auch für den Geschäftsflugverkehr ist die Erzeugungsrate in West- höher als in Mitteleuropa. Im Westen entstehen je BSP 1,704 mal höhere Geschäftsflugverkehrsraten als in Mitteleuropa.

Die Gleichungen (178) und (179) lassen sich mittels binärer Variablen zusammenfassen, und man erhält:

$$N_{od}(g) = BSP_o \cdot (1,855 \cdot \delta_{WD} + 1,088 \cdot \delta_{MD}) / \text{Mio. DM} \quad (180)$$

IVF	FAKTOR GESCHÄFTSVERKEHR
Düsseldorf	2,480
Hamburg	2,838
Stuttgart	2,323
Köln/Bonn	1,817
Hannover	1,285
Nürnberg	1,832
Leipzig/Halle	2,408
Bremen	1,843
Dresden	3,177
Durchschnitt	2,223

Tab. 25: Der Geschäftsverkehr nimmt in der Nähe internationaler Verkehrsflughäfen um einen Faktor zwischen etwa 1,8 und 2,4 zu. [Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln]

Jedoch ist zu betonen, dass gerade bei einer so feinen, räumlichen Aggregation eine lineare Wechselwirkung zwischen dem Privatverkehr und der Bevölkerungszahl genauer ist als zwischen dem

Geschäftsverkehr und dem Bruttosozialprodukt. Mit zunehmender räumlicher Aggregation nimmt diese Ungenauigkeit jedoch ab.

Sollen in das Modell der Geschäftsverkehrserzeugung auch die Gebiete in der Nähe der einfachen internationalen Verkehrsflughäfen einbezogen werden, bietet es sich - wie bei der Privatreisegenerierung - an, die Steigerungsfaktoren in der Nähe der Flughäfen zu vergleichen.

Sieht man von den Flughäfen Hamburg, Dresden und Hannover ab, liegt dieser Steigerungsfaktor in der Nähe der internationalen Verkehrsflughäfen zwischen 1,817 und 2,480, also innerhalb eines Bereichs von etwas mehr als 10 Prozent um den Mittelwert.

Vergleicht man die Ergebnisse mit den Steigerungsraten des Privatverkehrs fällt folgendes auf:

- Die zusätzliche Verkehrsgenerierung in der Nähe der Flughäfen fällt beim Geschäftsverkehr höher aus als beim Privatverkehr. Dies ist schon deshalb nicht verwunderlich, weil Unternehmen bei ihrer Ansiedlung eine Anbindung an Flughäfen viel stärker berücksichtigen als Individuen und sich daher die Unternehmen, die eine hohe Menge an Luftverkehrsaufkommen erwarten, zumeist in der Nähe der Flughäfen befinden.
- Die Schwankungen der Faktoren sind höher als beim Privatreiseverkehr. Dies ist analog zu der unterschiedlichen Genauigkeit der linearen Korrelation zwischen der Erzeugungsgröße und der Menge des entsprechenden Luftverkehrs. Ist die allgemeine Korrelation zwischen dem Bruttosozialprodukt und der Verkehrsmenge geringer als beim Privatverkehr, ist ähnliches für die Faktoren der Flughäfen logisch.
- Hamburg erzeugt überdurchschnittlich viel Privat- und Geschäftsverkehr. Dies ist zu begründen mit einer besonderen Attraktivität des Angebots oder – was noch wichtiger ist - mit einer überdurchschnittlichen Dichte von Personen und Unternehmen, die eine hohe Nachfrage nach Luftverkehr generieren. Ursache dafür ist zum einen der kosmopolitische Charakter der alten Hafenstadt, zum anderen das weit überdurchschnittliche Einkommen ihrer Bewohner.
- In Mitteldeutschland generieren Flughäfen aufgrund des geringeren Ausgangsniveaus eine überdurchschnittliche Steigerung des Luftverkehrs. Ist dieser Unterschied beim Privatverkehr noch sehr gering, ist er beim Geschäftsverkehr doch auffällig.
- Die Flughäfen Nürnberg und Hannover generieren von allen hier betrachteten internationalen deutschen Verkehrsflughäfen die geringste Luftverkehrssteigerung. Noch geringer fällt diese Wirkung bei den kleineren Flughäfen Münster/Osnabrück, Paderborn/Lippstadt und Dortmund aus. Im Jahr 1998 lag die Steigerung gegenüber dem Grundniveau im Geschäftsbereich dort bei durchschnittlich weniger als 10 Prozent und im Privatverkehr bei etwas über 20 Prozent.

Als Näherung ergibt sich für den Geschäftsverkehr – ohne Berlin und ohne das Umfeld der beiden Hubflughäfen:

$$N_{od}(g) \approx BSP_o \cdot (1,855 \cdot \delta_{WD} + 1,088 \cdot \delta_{MD}) \cdot (1 + 1,223 \cdot \delta_{IVF}) / Mio.DM \quad (181)$$

In der Nähe der beiden Hubflughäfen ist die generierte Geschäftsverkehrsmenge je BSP besonders hoch. Der Mittelwert der Faktoren beider Regionen liegt bei 3,363 und ist damit erwartungsgemäß höher als beim Privatreiseverkehr. Diese Entwicklung ist analog zu den einfachen internationalen Verkehrsflughäfen.

Frankfurt erzeugt aufgrund des besseren Angebots eine höhere spezifische Nachfrage als München. Dies ist in den folgenden Gleichungen nicht berücksichtigt. Zukünftig sollte sich der Unterschied in dem Status der beiden Flughäfen aufgrund der kapazitiven Problem Frankfurts weiter ausgleichen. Berücksichtigt man dies, lässt sich für ganz Deutschland mit Ausnahme Berlins die Geschäftsverkehrsgenerierung angeben zu:

$$N_{od}(g) \approx BSP_o \cdot (1,855 \cdot \delta_{WD} + 1,088 \cdot \delta_{MD}) \cdot (1 + 1,223 \cdot \delta_{IVF} + 2,363 \cdot \delta_{HUB}) / Mio.DM \quad (182)$$

Die Ergebnisse der Gleichungen (177) und (182) können als Beschreibung des Status quo des Luftverkehrs interpretiert werden.

ORT	FH	Einwohner (Tsd.)	BSP (Mrd. DM)	Privat (Tsd.)	Privat (%)	Geschäft (Tsd.)	Gesamt	Faktor
West	Kein	100	3,95	23,63	76,3	7,33	30,96	2,076
West	IVF	100	3,95	42,45	72,3	16,29	58,74	3,940
West	HUB	100	3,95	62,69	71,8	24,64	87,33	5,86
Mittel	Kein	100	2,49	12,2	81,8	2,71	14,91	1
Mittel	IVF	100	2,49	21,92	78,4	6,03	27,95	1,875
Mittel	HUB	100	2,49	32,38	78,0	9,12	41,5	2,783

Tab. 26: Durchschnittliche Luftverkehrserzeugung West- und Mitteldeutschlands ist wesentlich abhängig von ihrer Nähe zu Verkehrsflughäfen. In der Nähe eines Hubs nimmt sie etwa um den Faktor drei, in der Nähe eines internationalen Verkehrsflughafens um den Faktor zwei zu. [Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Exceldatei des Instituts für Luftverkehrsforschung des DLR in Köln]

Tabelle 26 illustriert am Beispiel einer Region mit 100.000 Einwohnern - ohne aktuellen Flughafen - deren zu erwartende Anzahl an Privat- und Geschäftsreisen. Westdeutsche Regionen erzeugen je Einwohner etwa doppelt soviel Verkehr wie mitteldeutsche. Das unterschiedliche Bruttosozialprodukt je Einwohner ist hierbei mitberücksichtigt.

Ein Hubflughafen verdreifacht das Verkehrsaufkommen, ein einfacher internationaler Verkehrsflughafen verdoppelt es. Diese Rechnung enthält nur die Effekte der Angebotsverbesserung. Allokationswirkungen, die zu einer zusätzlichen mittel- und langfristigen Ansiedlung von Firmen und Einwohnern führen und damit auch die Wertschöpfung je Einwohner erhöhen, sind in dieser kurzfristigen Auswirkung mit Absicht nicht miteingerechnet.

Der Anteil des Geschäftsverkehrs ist in Mitteldeutschland niedriger als im Westen, was wesentlich in der geringeren Wertschöpfung je Einwohner begründet ist. In der Nähe von internationalen Verkehrsflughäfen und - in etwas höherem Ausmaß - bei den Hubs steigt dieser weiter an.

Deutsche Personenluftquellverkehrsmodellierung

Die Gleichungen (177) und (182) sind eine mögliche Modifikation des allgemeinen Luftverkehrsnachfragegenerierungsmodells unter Berücksichtigung der in Deutschland auftretenden Inhomogenitäten - bei einer Analyse auf regionaler Strukturebene.

Eine Bestätigung der Hauptabhängigkeiten der Passagierzahlen vom Bruttosozialprodukt respektive der Bevölkerungszahl konnte erbracht und quantifiziert werden. Zusätzlich ist nachgewiesen worden, dass je nach Lage der Quelle der Reise in West- oder Mitteldeutschland und nach Erreichbarkeit und Ausmaß des Luftverkehrsangebots ergänzend zu differenzieren ist.

Damit wird dann Gleichung (162) für den Geschäftsverkehr zu:

$$N_{od}(g) = a_g \cdot BSP_o \cdot BSP_d \cdot (1 + 1,223 \cdot \delta_{IVF} + 2,363 \cdot \delta_{HUB}) \cdot (1,704 \cdot \delta_{WD} + \delta_{MD}) \cdot \exp(-c \cdot s_{od}) \quad \text{mit } c, a_g > 0 \quad (183)$$

Einsetzen der Ergebnisse für den Privatverkehr ergibt unter Annahme einer Homogenität der beiden verschieden motivierten Privatreiseströme mit Gleichung (163) für den Luftquellverkehr:

$$\begin{aligned}
 N_{od}(pr) = & B_o \cdot \exp(-b \cdot k_{od}) \cdot [a_{Ho} \cdot Ho_d + a_{VFR} \cdot B_d \cdot Vi(s_{od})] \\
 & \cdot (1 + \delta_{HSR} \cdot \exp(-b \cdot (k_{od}(HSR) - k_{od})))^{-1} \cdot \delta_{bil} \cdot \exp(a_p \cdot (p_{od} - p_{bil})) \\
 & \cdot (1 + 0,797 \cdot \delta_{IVF} + 1,654 \cdot \delta_{HUB}) \cdot (1,797 \cdot \delta_{WD} + \delta_{MD}) \\
 & \text{mit } b, a_{Ho}, a_{VFR}, a_p > 0
 \end{aligned}
 \tag{184}$$

Insgesamt konnte damit auf Basis empirischer Daten der Befragung des ADV von 1998 das Modell des vorherigen Abschnitts 3.2.2 in seiner Hauptaussage bestätigt und für die spezifische Situation Deutschlands auf der Agglomerierungsebene Region erweitert werden.

Das oben vorgestellte Modell ist dabei spezifisch auf Deutschland angepasst, da es zum einen die Folgen der ehemaligen Teilung des Landes für die Nachfrage nach Luftverkehr und zum anderen die für dieses Land typische Verfügbarkeit von Flugangeboten in drei regionalen Bereichen (Hubflughafennah, nah an einem Internationalen Verkehrsflughafen und abseits jedweden größeren Flughafens) berücksichtigt. Letzteres wäre beispielsweise für Länder wie die Niederlande oder Belgien nicht notwendig. Aus Datengründen war eine Einbeziehung Berlins in diese Modellierung leider nicht möglich.

4 *Allgemeines Verkehrswahl- und -nachfragemodell*

Die Kapitel 4 bis 5 stellen (neben Kapitel 3) den eigentlichen theoretischen Schwerpunkt dieser Arbeit dar, in dem ermittelt wird, in welchem Umfang bestimmte Eigenschaften die Stromgrößen des Luftverkehrs auf den einzelnen Routen beeinflussen. Die Bildung eines kausalen und quantitativen Modells zur Beschreibung und Prognose der Passagierzahlen auf den verschiedenen Routen lässt sich einzig erreichen durch eine kausale und quantitative Beschreibung der vielen, einzelnen, diesen Zustand bedingenden Elemente: Der Wahlentscheidungen der Passagiere. Es sind die Passagiere, die entscheiden, ob und wann sie - aus den Angeboten der Fluggesellschaften wählend - zu welchem Ziel, auf welcher Route und mit welcher Fluggesellschaft reisen. Eine Modellierung konnte bei der hohen Agglomerierung der Passagierzahlen auf Relationen in Kapitel 3 durch die Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren und einer verallgemeinerten Kostenfunktion gelöst werden.

In diesem Kapitel wird zu Beginn im Abschnitt 4.1 erklärt, wie sich die Entscheidung von Menschen beschreiben lässt und welche Vereinfachungen ein Modell zu treffen hat, um methodische und quantitative Aussagen über das Ergebnis von Entscheidungen machen zu können. Im folgenden Abschnitt 4.2 wird die Einführung einer quantitativen Verknüpfung von Bewertung, Eigenschaften der Alternativen und Präferenzen mittels einer Nutzenfunktion definiert. Diese kann als Erklärung, Substitut und übergeordnetes Element der verallgemeinerten Kostenfunktion des Kapitels 3 interpretiert werden. Anschließend wird im Abschnitt 4.3 die allgemeine Nutzenfunktion auf den konkreten Fall der Verkehrsnachfrage spezifiziert. Hierbei wird in einem ersten Teil der aktuelle Stand wissenschaftlicher Forschung aufgezeigt und in einem zweiten Teil wird dieser eigenständig so ergänzt, dass sich ein neues allgemeines Nutzenmodell für den Bereich des Travel Demand ergibt. Nachfolgend wird im Abschnitt 4.4 erklärt, wie sich die unterschiedlichen Nutzen der verschiedenen Alternativen auf die Häufigkeiten im Wahlverhalten auswirken. Dafür ist eine Übertragung der Konsequenzen des Wahlverhaltens einer Person auf eine Vielzahl von Personen mit unterschiedlichen Informationen, Erfahrungen, Situationen und Präferenzen nötig.

4.1 Der Entscheidungsprozess

Die Entscheidung ist ein wesentlicher und ständig präsenter Bestandteil menschlichen Lebens. Religion, Ethik und Politik als bestimmende Elemente menschlicher Kultur dienen unter anderem dazu, Entscheidungen durch die Nennung und Bedeutung wünschenswerter Ziele zu beeinflussen. In diesem Abschnitt wird zuerst beschrieben, wie sich eine Entscheidung vollzieht, anschließend wird darauf aufbauend ein vereinfachtes, methodisches Konzept der Abbildung menschlichen Verhaltens entwickelt. Ein Vergleich macht es möglich, anhand der Unterschiede die Näherungen der Modellierung menschlichen Verhaltens genauer zu erkennen und damit die Grenzen und Leistungsfähigkeit der Modellbildung herauszustellen.

4.1.1 Menschliches Entscheidungsverhalten: Historische Betrachtung

Die Entscheidung ist Voraussetzung zielgerichteten Handelns, ohne sie wären Erfolg und Verantwortung unmöglich. Eine erste Auseinandersetzung mit der Möglichkeit, der Art und der Bedeutung menschlicher Entscheidung liefern die Religion und die Philosophie. Viel später, seit etwa einem Jahrhundert, existiert zusätzlich eine Betrachtung der Entscheidung aus Sicht der Psychologie. Eine Entscheidungslehre als formale und auch quantitative Wissenschaft, als Teil des Operations Research entstand erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Während es bei der Religion und Philosophie um eine religiöse oder anthropologische Einbettung der Entscheidung in das Sein geht, beschreibt die Psychologie die Entscheidung als psychischen und kognitiven Prozess. Diese Ansätze sind wenig formal und in ihrer Ausprägung vor allem deskriptiv orientiert. Dahingegen bildet die Entscheidungslehre die Grundlage einer formalen, mathematischen und damit quantitativen Theorie. Sie wird im folgenden behandelt.

Die christliche Religion lässt mit dem Schöpfungsakt und der Gewährung menschlicher Freiheit dem einzelnen Menschen die Möglichkeit, sich eigenständig zu entscheiden. Gleichwohl definiert sie ein Ziel- und Wertesystem, das diesem die Grundlage und Orientierung für eine „richtige“ Entscheidung liefern soll. Damit entsteht die Möglichkeit einer Ausrichtung der Entscheidung an absoluten Werten.

In der Philosophie herrschte lange Zeit die Wahrnehmung des Menschen als einer kausalen und deterministischen Person vor. Freiheit und Wille und damit die Möglichkeit zur Entscheidung sind dem Menschen nicht oder nur geringfügig gegeben. Auch der Beginn der modernen Naturwissenschaften änderte daran nichts. Seinen Höhepunkt hat eine solche Wahrnehmung in der Anthropologie Descartes', die

das Leben als mechanischen Prozess und damit als kausal wahrnimmt. Herder, aber später auch Scheller, bilden die Grundlage zu einer erweiterten, realitätsnahen, modernen anthropologischen Darstellung des Menschen, der sich ausgehend von seiner Freiheit unter Berücksichtigung weltlicher aber auch transzendenter Wert- und Zielsetzungen zu orientieren und zu entscheiden hat.

Diese Entwicklung der Betrachtung menschlicher Entscheidung in der Philosophie geschah parallel zu einer analogen Einschätzung des Menschen durch die Naturwissenschaften, insbesondere der Physik. Die klassische Mechanik, genau wie die Elektrodynamik, stellen die Grundlagen der Physik dar, sind aber in ihrem Wesen deterministisch und kausal und lassen dabei der Freiheit des Menschen nur wenig Spielraum, wenn dieser als ein mechanisches Gebilde und sein Denken als elektromagnetische Wellen interpretiert wird. Erst die Einbindung starker stochastischer Elemente in die Physik, wie dies die Thermodynamik und später die Quantendynamik beinhalten, sowie eine Abkehr von einer strengen Kausalität liefern den Grundstein zu einem nicht determinierten Zustand menschlicher Existenz und bilden damit die Voraussetzung einer echten Entscheidungssituation.

Andere moderne, wissenschaftliche Bereiche, die sich mit der Entscheidung auseinandersetzen, sind die Sozialwissenschaft und die Hirnforschung. Bei der Sozialwissenschaft wird versucht, die Entscheidung in den Kontext der Beeinflussung durch andere zu setzen. Dies betrifft zum einen die Wertorientierung, die von Religion, Politik und sozialer Gruppe mitdefiniert wird, stellt aber dabei auch die prinzipielle Frage nach einer freien Entscheidungsfähigkeit des Individuums in der ihn normativ prägenden Gesellschaft. Die Hirnforschung bringt Vorgänge menschlichen Geistes, seine Rationalität aber auch seine Emotionen und Erfahrungen mit Regionen des Gehirns in Korrelation und hofft - aufgrund der Messbarkeit der Gehirnvorgänge als elektromagnetische Strahlen - zusätzliche empirisch messbare und auch interpretierbare Ergebnisse zu erlangen. Sie begründet dabei Zweifel an der Existenz eines freien Willens und interpretiert die Entscheidungssituation als eine so nur subjektiv wahrgenommene, die tatsächlich bloß ein eher mechanisches Reagieren auf eine äußere Situation darstellt. Eine Entscheidung wird dabei wesentlich als Reaktion des Gehirns und seiner Erfahrungen auf äußere Einflussfaktoren wahrgenommen. Für die Freiheit der Entscheidung bleibt dort wenig Raum. Nachteilig wirkt sich vor allem aus, dass die Neurobiologie und die Psychologie über kein gemeinsam akzeptiertes Sprachsystem verfügen, dass ein Zusammenfügen der Erkenntnisse und Theorien beider Disziplinen möglich machen würde.

Folgerung und Bewertung: Berücksichtigt man die Vielschichtigkeit verschiedener Ansätze zur menschlichen Entscheidungsfindung wird klar, dass jede Theorie der Entscheidung in mindestens zweifacher Weise angreifbar ist:

- Sie stellt eine wesentliche Abstraktion und Vereinfachung des Menschen und seines Verhaltens dar.

- Es ist unmöglich, eine Theorie der Entscheidungsfindung aufzustellen, ohne dabei (und sei es nur unbewusst oder ungewünscht) wesentliche Axiome und Wertungen im Bereich der Anthropologie vorzunehmen. Damit hat eine jede solche Theorie in sich einen weltanschaulichen Angriffspunkt.

Eine anthropologisch orientierte Theorie der Entscheidung hat zwei wesentliche Hauptaufgaben: Die Definition einer Begrifflichkeit, die ein möglichst exaktes wissenschaftliches Arbeiten mit dem Vorgang der Entscheidung möglich macht, sowie eine deskriptive Beschreibung der Elemente einer Entscheidung und ihrer Interdependenzen.

Am Anfang einer Entscheidung steht ein Problem, auf das mit einer Menge möglicher Handlungen reagiert werden kann. Die Ursache des Problems liegt in der Unzufriedenheit mit der aktuellen Situation begründet, in Bedürfnissen, die eine Handlung nötig machen. Die Menge möglicher, alternativer Handlungen charakterisiert die Bandbreite, mit welcher der Mensch auf diese Unzufriedenheit reagieren kann. Die Kenntnis aller Alternativen vorausgesetzt, kann eine sinnvolle Auswahl nur durch Abschätzen der jeweiligen Konsequenzen getroffen werden. Wichtig ist es daher, zu antizipieren, welches die Folgen der Wahl sind.

Aufgrund der Begrenzung des menschlichen Denkvermögens, seiner Fähigkeit zur Abstraktion, seiner Informationsverarbeitung wie auch der Abbildungsfähigkeit der realen Welt sind die Folgen prinzipiell nur mit einer gewissen Ungenauigkeit abzuschätzen. Zusätzlich können noch stochastische, vom Entscheidenden nicht beeinflussbare Einwirkungen eintreten, die eine prinzipielle Vergrößerung der Bandbreite möglicher Folgen einer Entscheidung zur Folge haben.

Ausgehend von der Antizipation der Ergebnisse einer Handlung sind diese – nicht die Handlung selbst – zu beurteilen. Diese Beurteilung beruht auf Erfahrungen, Instinkten, Emotionen²⁷⁴ aber auch rationalen Bewertungen, die sich an einer vorgegebenen subjektiven Wert- und Zielorientierungen festmachen lassen.

Wichtig ist, dass eine sinnvolle Entscheidung ein gewisses Mindestmaß rationaler Bewertung nötig macht. Dies ist eine überaus wichtige Voraussetzung für die Möglichkeit einer praktikablen, quantitativen, formalen Modellierung des Entscheidungsprozesses. Am Ende einer Bewertung steht idealer Weise der Entschluss, der das Bindeglied der emotional-geistigen Handlung des Entscheidungsprozesses zu der Außenwelt und der Umsetzung der Auswahl der subjektiv besten Alternative darstellt.

²⁷⁴ Hugo2000 355.

4.1.2 Bestehende Theorie menschlichen Entscheidungsverhaltens

Damit über menschliche Entscheidungen eine praktisch nutzbare, formale und quantitative Theorie geschaffen werden kann, sind über das Wesen der Entscheidung sinnvolle, die Komplexität der Realität reduzierende, Annahmen zu treffen. Diese sollten in ihrer Anzahl möglichst gering sein und für viele Fälle eine gute Abbildung der Realität generieren. Damit wird der Alltagsbegriff der Entscheidung wesentlich eingeengt auf eine vereinfachte Sicht, die nur für eine begrenzte Anzahl von Wahlentscheidungen berechtigt ist. Dies hat vor allem für die Fähigkeiten der Beschreibung und Voraussage menschlichen Verhaltens wichtige Auswirkungen.

Generell unterscheidet die Entscheidungslehre in präskriptive und deskriptive Modelle: Präskriptive Modelle sind streng axiomatisch aufgebaut und sehen ihr Hauptziel in der Angabe möglicher Entscheidungsregeln, die weitestgehend rational zu wählen sind und damit in ihrer Anwendung als Unterstützung menschlicher Entscheidungen dienen können²⁷⁵. Anders sind deskriptive Modelle, die sich zum Ziel setzen, tatsächliches Entscheidungsverhalten quantitativ möglichst genau zu beschreiben, erklären und vorherzusagen. Entscheidungsprämissen sind damit nicht gegebene sondern bei deskriptiven Modellen zu erklärende Größen²⁷⁶. Für eine Beschreibung und damit auch für die zeitliche Fortschreibung derselben, die Prognose, ist eine deskriptive, empirisch orientierte Modellierung zu wählen²⁷⁷ und wird daher im folgenden auch im Schwerpunkt betrachtet. Um diese jedoch sinnvoll und realitätsnah zu bestimmen, ist einerseits eine Überprüfung mit empirischen Daten notwendig, andererseits werden jedoch Elemente der präskriptiven Theorie notwendig sein, um die Gestalt der Entscheidungsabbildung plausibel zu wählen. Zusätzlich dient die präskriptive Theorie noch, sich genauer über die Axiomatik der gewählten Beschreibung klar zu werden und gleichzeitig diese kritisch auf mögliche Schwächen zu bewerten. Daher werden im folgenden an einigen Stellen Elemente der präskriptiven Theorie behandelt, allerdings nur dann, wenn es notwendig für die Erstellung oder Bewertung einer folgenden deskriptiven Theorie für Prognosezwecke ist.

Innerhalb der verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen existiert keine Übereinstimmung darüber, ob eine freie Entscheidung möglich ist, wer diese trifft und warum (siehe Abschnitt 4.1.1). Eine Abbildung der Entscheidung mit dem Ziel der Beschreibung ihrer Folgen kann dieses Problem elegant umgehen, wenn es diesen Fragen ausweicht und sich auf die Beschreibung der Auswahl der Alternativen beschränkt. Für die Prognose des Luftverkehrs ist eine Theorie gesucht, die angibt, welche Alternativen von wie vielen Personen ausgewählt werden. Ob es tatsächlich die Personen sind, die diese Auswahl treffen, wie sie auswählen und warum, ist für den beschreibenden oder prognostizierenden Beobachter

²⁷⁵ Hugo2000 356.

²⁷⁶ Bamberg2004 2f.

²⁷⁷ Bamberg2004 5f.

von untergeordneter Bedeutung. Ihn interessiert lediglich die Aggregation der Ergebnisse der Umsetzung der Entscheidung von Individuen.

Das Konzept der Entscheidungstheorie beschreibt die Art und Weise wie Einflussgrößen auf die Auswirkung der Entscheidung Einfluss nehmen, aber es ist nicht daran interessiert, vor welchem sozialen, psychologischen oder anthropologischen Kontext dies tatsächlich geschieht.

Hierbei stellt sich sehr schnell die Frage, wie Emotionen und andere, nicht rationale Elemente in die Abbildung der Entscheidung eingebracht werden können. Geht man davon aus, dass die Emotionsbehaftetheit im Prinzip eine quantitative Entscheidung nicht unmöglich macht, kann dies auf die Auswahl, Bewertung und Verknüpfung der einzelnen Zielelemente übertragen werden oder aber zu einer prinzipiellen Unschärfe einer rationalen Bewertung führen.

Dabei ist nicht klar, ob für den Menschen das Objekt der Bewertung die Alternative als solche oder das Ergebnis und die Folge der Wahl darstellt. Aus analytischen Gründen ist es sinnvoll, eine Alternative anhand ihrer (zu erwartenden) Ergebnisse zu wählen²⁷⁸. Die Elemente der Entscheidung als Handlung – dies betrifft beispielsweise Zwänge und Gefühle während des Entscheidungsaktes - werden explizit nicht berücksichtigt, sondern lediglich der Zustand nach der Wahl der Alternative. Allerdings lässt sich dies durch eine etwas andere Definition des Ergebniszustands mitberücksichtigen. Tatsächlich können Elemente wie Gewohnheit und Erfahrung dazu führen, dass eine Entscheidung im eigentlichen Sinne als bewusste, einzigartige Wahlentscheidung nicht vorliegt.

Bei der Auswahl zwischen alternativen Flugreisen einer Relation existieren nur begrenzt viele Alternativen - etwa 10 - und aufgrund der Kosten und der Zeit, die eine solche Reise verursacht, wird entsprechend intensiv an die Informationsbeschaffung herangegangen.

Neben der Güte und Vollständigkeit vorliegender Informationen ist die zur Verfügung stehende Zeit, aber auch der Zeitpunkt, wann die Entscheidung getroffen wird, von Einfluss auf die Art der Entscheidung. So bietet eine lange Betrachtungsdauer, Analyse und Bewertung der Alternative die Möglichkeit, diese ausführlich, methodisch und bewusst zu treffen. Reduziert sich diese Zeit, wird der Prozess kürzer, schneller und unterbewusster, wodurch sich eine stärkere Orientierung an Emotionen aber auch an Erfahrungen und Routine ausbildet.

In der präskriptiven Theorie wird häufig vom Entscheider als homo oeconomicus ausgegangen. Dieser ist vollständig über die Menge der Alternativen sowie die Eigenschaften ihrer Folgewirkung informiert, er

²⁷⁸ Bamberg2004 34.

ist unendlich sensibel, was einer Wahrnehmung entspricht, die sich beliebig genau und schnell vollzieht. Wahrnehmungsfehler oder Verzögerungswirkungen werden nicht betrachtet²⁷⁹.

Einflussgrößen haben zum Teil die Eigenschaft, verhältnismäßig leicht messbar zu sein - wie der Preis einer Ware -, können sich aber auch einer solchen Messung entziehen, wie beispielsweise die Ästhetik eines Produkts, oder binären Charakter haben, bei der sie eine gewisse Eigenschaft aufweisen oder eben nicht. Eine beliebige Genauigkeit der Wahrnehmung kann für den Preis ohne große Abweichung von der Realität angenommen werden. Bei den schwer messbaren Einflussgrößen besteht nicht nur in der Wahrnehmung des Entscheiders, sondern auch in der Quantifizierbarkeit im Rahmen einer allgemeinen Entscheidungstheorie ein großes Problem. Hierbei dürften die Ungenauigkeiten, die prinzipiell durch eine Modellierung solcher Größen, beispielsweise als Fuzzy-Terme, entstehen, die der Wahrnehmung des Individuums in vielen Fällen übersteigen. Damit ist diese Annahme der Definition des homo oeconomicus zwar eine prinzipielle Einschränkung der Modellierung, in ihren Folgen aber begrenzt.

Die wichtigste Eigenschaft, die diesem unterstellt wird, ist jedoch seine subjektive Rationalität. Dies bedeutet, dass das Individuum sich bezüglich der von ihm gewählten Zielsetzung mit seinen Bewertungen rational verhält, die Art und der Ursprung seiner Bewertung aber keinen absoluten Maßstäben genügen können und daher subjektiv sind.

Der Rationalität von Entscheidungen kommt eine hohe Bedeutung zu, dies führt dazu, dass verschiedene Elemente und Begriffe der Rationalität in der Literatur der Entscheidungstheorie Verwendung finden²⁸⁰. Innerhalb der präskriptiven Entscheidungstheorie wird als wichtigstes Rationalitätspostulat ein in sich widerspruchsfreies Zielsystem angenommen. In diesem Zusammenhang spricht man auch von formaler Rationalität²⁸¹. Weniger Voraussetzungen erfordert die prozedurale Rationalität. Diese umfasst eine Fokussierung auf das richtige Problem, ein sinnvoll definierter Umfang der Entscheidungsvorbereitung sowie realitätsnahe Erwartungen und eindeutig gewählte Ziele und Präferenzen²⁸². Eine darüber hinausgehende substantielle Rationalität ließe sich nur durch eine Bewertung des Zielsystems erreichen, was wiederum einen Bewertungsmaßstab erfordern würde, der aber nur schwer ohne den Verdacht philosophischer, religiöser oder politischer umsetzbar sein sollte. Daher wird in aller Regel von einer substantiellen Rationalität abgesehen. Leichter umsetzbar ist da schon die objektive Rationalität, die lediglich zusätzlich eine realistische Wahrnehmung der Entscheidungssituation durch den Entscheider erfordert, was aber aufgrund der angenommenen vollständigen Informiertheit häufig einer wesentlichen Vereinfachung einer tatsächlichen Situation entsprechen sollte. Daher bietet sich die subjektive Ratio-

²⁷⁹ Nitsch2002 8ff.

²⁸⁰ Nitsch2002 83ff.

²⁸¹ Bamberg2004 3.

²⁸² Eisenführ2003 5f.

nalität als realitätsnähere Forderung an, bei der lediglich der Entscheider rational vor dem Hintergrund der für ihn vorhandenen Informationen zu handeln hat²⁸³.

Als Folge dieser Eigenschaft ergeben sich Elemente der Entscheidungstheorie wie das Dominanzprinzip, die Transitivität, Vollständigkeit, Einheitlichkeit, Unabhängigkeit oder Vergleichbarkeit der Bewertungsfunktion und bilden damit die Grundlage für das im nächsten Abschnitt dargestellte Konzept des größten Nutzens. Allgemein wird für eine rationale Entscheidungsdurchführung eine ebensolche Konsistenz des Entscheidungsvorgangs erwartet²⁸⁴, auch wenn menschliches Verhalten tatsächlich nicht immer so konsistent erfolgt.

All diese Eigenschaften stellen nachfolgend Forderungen an eine Abbildung des Entscheidungsvorgangs, die im nächsten Abschnitt anhand einer Nutzenfunktion dargestellt werden. Der Mensch als homo oeconomicus beschrieben wählt von daher subjektiv rational unter den verfügbaren Alternativen diejenige aus, die seinen Zielen am ehesten entspricht. Er ist rational insofern, als er das Ziel einer Nutzenmaximierung aufweist und nachvollziehbar ist, und er ist subjektiv²⁸⁵ durch den Informationsstand und die Ziel- und Wertorientierung.

Dies setzt voraus, dass diese Ziele definiert werden und quantifizierbar sind. Existiert nur ein Ziel, wird gemäß des Maximierungsprinzips die Alternative gewählt, die dieses Ziel am besten erfüllt. Möchte der Entscheider gleichzeitig bei der Auswahl der Alternative mehrere Ziele berücksichtigen, sind diese nicht nur sinnvoll unabhängig und vollständig zu definieren, sondern es muss ferner eine Abbildung angegeben werden, welche die Wechselwirkung der Einflüsse verschiedener Zielgrößen und ihre Bedeutung anhand von Gewichtungen berücksichtigt. Die Bedeutung der Ziele und ihre Verknüpfung lassen sich nur begrenzt erklären, da diese subjektiv sind und von Wertanschauungen und Emotionen mitbeeinflusst werden. Sie können daher bestenfalls plausibel axiomatisch aus dem Verständnis der Wahrnehmung, Interpretation und Bewertung der betrachteten Entscheidungssituation durch einen in seinem Lebensumfeld stehenden Menschen abgebildet werden. Streng herleiten lassen sie sich, wie für eine deskriptive Theorie auch nicht anders zu erwarten, jedoch nicht. Weiter wird davon ausgegangen, dass der Entscheidende die von ihm als attraktivste bewertete Alternative im Anschluss an den Entscheidungsvorgang automatisch umsetzt.

Eine umfassende deskriptive Analyse menschlichen Entscheidungsverhaltens zeigt, dass reales menschliches Verhalten eine Vielzahl systematischer Abweichungen von dem Verhalten zeigt, dass Rationalität fordert^{286 287}. Das Konzept des homo oeconomicus und der Nutzentheorie im folgenden sind

²⁸³ Bamberg2004 4.

²⁸⁴ Eisenführ2003 6ff.

²⁸⁵ Eisenführ2003 10f.

²⁸⁶ Eisenführ2003 357ff.

²⁸⁷ Nitsch2002 123ff.

daher für die Abbildung realen menschlichen Verhaltens nur als vereinfachende Modellierung zu interpretieren.

Nimmt man den Entscheidungsprozess als rational an, besteht die wesentliche Anstrengung seiner Abbildung im Auffinden der Ziele der Personen, deren Bedeutungen und ihrem funktionalen Zusammenhang. Die Beschreibung der Güte einer Alternative mittels einer Funktion liefert die Nutzenfunktion, auf die im folgenden genauer eingegangen wird. Diese wird zuerst in ihren allgemeinen Eigenschaften dargestellt, folgend auf das Problem der Wahlentscheidung im Verkehr spezifiziert und im Kapitel 5 an die Routenwahlentscheidung im Bereich des Personenluftverkehrs angepasst. In einigen Fällen wird bei der Bezeichnung dieser Funktion, je nachdem ob es sich um ein deterministisches oder stochastisches Ergebnis der Wahlentscheidung handelt, noch begrifflich unterschieden zwischen der Wert- und der Nutzenfunktion²⁸⁸. Im folgenden wird jedoch einheitlich der Begriff der Nutzenfunktion benutzt.

²⁸⁸ Eisenführ 2003 33.

4.2 Prinzip der Nutzenmaximierung: Eine Einführung in bestehende Theorie

Geht man von einem existierenden objektiven Zustand der Welt aus und berücksichtigt ferner eine subjektiv rationale Bewertung einer Person für einen existierenden oder möglichen Zustand der Welt oder vereinfachend auch einer Teilmenge der Welt, bietet es sich – wie im Abschnitt 4.1 erwähnt – an, eine solche Bewertung durch einen funktionalen Zusammenhang zwischen dem Zustand und den Eigenschaften der Welt, eines Ergebnisses, einer Alternative und der Bewertung zu formulieren. Seien x_i mit $i = 1, \dots, I$ die verschiedenen, möglichst messbaren, Eigenschaften eines Zustands, die für eine strukturähnliche aber vereinfachende, abstrahierende Modellierung notwendig sind und ist $\mathbf{x}$ ihr Vektor, also: $\mathbf{x} := (x_1, \dots, x_I)$, dann entspricht eine solche Abbildung:

$$\mathbf{x} \rightarrow u(\mathbf{x}) \quad (185)$$

u ist hier die Nutzenfunktion des Zustands der Alternative und hat wie schon im vorstehenden Abschnitt erwähnt, die Eigenschaften der Vollständigkeit und der Transitivität zu erfüllen. Vollständigkeit bedeutet hierbei, dass für beliebige Zustände $\mathbf{x}_1$ und $\mathbf{x}_2$ eine Relationsaussage bezüglich der Präferenzen gemacht werden kann, also dann eine der drei folgenden Ungleichungen gelten muss:

$$u(\mathbf{x}_1) \geq u(\mathbf{x}_2) \quad \text{oder} \quad u(\mathbf{x}_2) \geq u(\mathbf{x}_1) \quad \text{oder} \quad u(\mathbf{x}_1) = u(\mathbf{x}_2) \quad (186)$$

Wichtig ist hierbei, dass ein höherer Wert der Nutzenrelation logisch äquivalent zu einem Zustand höheren Nutzens ist und ein gleichhoher Wert zu identischen Nutzenfunktionen führt. Hierbei kann die Gleichheit der Nutzenfunktion für zwei Zustände auch als gleichzeitiges Auftreten der ersten beiden Ungleichungen interpretiert werden. Transitivität bedeutet im Falle dreier betrachteter Zustände $\mathbf{x}_1$, $\mathbf{x}_2$ und $\mathbf{x}_3$ ²⁸⁹:

$$u(\mathbf{x}_1) \geq u(\mathbf{x}_2) \quad \wedge \quad u(\mathbf{x}_2) \geq u(\mathbf{x}_3) \quad \Rightarrow \quad u(\mathbf{x}_1) \geq u(\mathbf{x}_3) \quad (187)$$

Mit den Gleichungen (186) und (187) sind erste formale Aussagen über die Gestalt einer Nutzenfunktion gemacht. Diese haben zur Folge, dass paarweise Vergleiche jeweils zweier Zustände zu einer eindeutigen Reihenfolge der Zustände führen und sich damit insbesondere auch der Zustand mit dem höchsten Nutzen eindeutig finden lässt. Dies trifft lediglich für eine entartete Situation nicht zu, in der mindestens zwei Zustände existieren, die einen gleichhohen Nutzen aufweisen, der gleichzeitig von keinem Nutzen eines anderen Zustands übertroffen wird. Im typischen Fall bildet die Nutzenfunktion den Zustand deterministisch auf eine reale Zahl ab, Gleichungen (186) und (187) gelten dann automatisch. Über die genauen Eigenschaften einer solchen Nutzenfunktion sowie über ihre anschauliche Interpretierbarkeit lässt sich darauf beschränkt nur wenig sagen: Der Nutzen ist ein Maß einer subjektiven Güte eines Zustands und Ergebnis eines unterstellten, subjektiv rationalen Handelns. Er ist damit die subjektiv antizipierte, rationale Bewertung einer möglichen, zu wählenden Alternative.

Historisch wurde dieser Nutzen lange anschaulich als Motivator des Handelns interpretiert. Dieser beinhaltet die Antriebe menschlichen Handelns, seine Wünsche, Gefühle, Werte und Ziele. Diese eigentlich hochanschaulichen Prinzipien, die als wissenschaftliche Basis des Hedonismus, Utilitarismus oder gar der Theorien von Adam Smith herangezogen wurden, erzeugen jedoch ein gewisses wissenschaftliches Paradoxon: Geht man vom Nutzen als Antrieb der Handlung aus, lässt sich Rationalität des Verhaltens anhand einer Nutzenmaximierung nicht mehr überprüfen, da der Nutzen gewissermaßen per definitionem zu nutzenmaximierendem Handeln antreibt. Daher ist seit der Arbeit von Neumann und Morgestern aus dem Jahre 1944 von diesem anschaulichen Nutzenbegriff abgegangen worden, Nutzen ist nicht mehr der direkte Antrieb, sondern aus dem Verhalten rückwirkend erschlossenes Beschreibungselement der Entscheidungsdurchführung der handelnden Person. Eine Interpretation des Nutzens erschwert sich dadurch, lässt sich aber durch weitere Plausibilitätsforderungen verbessern.

Transitivität und Vollständigkeit ergeben, dass die Alternativen bezüglich ihres Nutzens geordnet werden können. Zusätzlich notwendig ist eine Höhenpräferenzrelation, die angibt, ob beispielsweise eine Minimierung oder Maximierung angestrebt wird²⁹⁰. Damit können noch keine Aussagen über das Ausmaß des Unterschieds des Nutzens zweier Alternativen gemacht werden, weiter existieren viele Funktionen, die eine identische Reihenfolge der Alternativen erzeugen können. Struktur und Eindeutigkeit der Nutzenfunktion bleiben damit zunächst ungeklärt. So erzeugt jede streng monoton wachsende Funktion einer einmal benutzten Nutzenfunktion, die identische Reihenfolge der Alternativen wie die ursprüngli-

²⁸⁹ Bamberg2004 36.

²⁹⁰ Bamberg2004 29.

che Funktion. Man nennt eine Nutzenfunktion, die nur bis auf eine streng monoton wachsende Funktion festgelegt ist, ordinale Nutzenfunktion²⁹¹. Dies ist formal unbefriedigend und erschwert anschauliche Interpretationen einer Nutzenfunktion.

Für eine weitergehende Analyse der Nutzenfunktion bietet es sich daher an, weitere plausible Annahmen zu treffen, um so die Eindeutigkeit zu garantieren und die Interpretierbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Dies ist vor allem dann nötig, wenn eine beobachtete Größe nicht nur davon abhängt, welche Alternative den größten Nutzen hat, sondern auch wie groß die Unterschiede zu den Nutzen der anderen Alternativen sind. Reicht mit dem Ziel der Reihenfolgenbildung der Alternativen bezüglich der Güte ihres Nutzens ein einfacher ordinaler Maßstab, ist dieser für eine weitergehende Betrachtung auch der Abstände zwischen den verschiedenen Nutzen zu erweitern. In einem ersten Schritt kann gefordert werden, dass das Verhältnis der Abstände eindeutig definiert ist, in diesem Fall ist die Nutzenfunktion invariant gegenüber Addition und/oder Multiplikation mit einem Skalar. Hinzu kann gefordert werden, dass nicht nur das relative Verhältnis der Abstände bestimmbar sein soll, sondern dass diese auch normiert sind, so dass ein Abstand in seiner Größe anschaulich interpretiert werden kann. Eine Nutzenfunktion, die dies leistet, ist translationsinvariant, erzeugt also bei Addition eines Skalars das gleiche Ergebnis. Eine solche Funktion, die in der Lage ist, nicht nur den Nutzen selbst, sondern auch ihre Differenz zu ordnen, nennt man kardinale Nutzenfunktion²⁹². Dies lässt sich noch weiter einengen, in dem die Nutzenfunktion in einem Punkt, beispielsweise dem Nullpunkt, normiert ist. Eine solche Nutzenfunktion, bei der auch die Abstände eindeutig definiert sind ist eindeutig und erlaubt neben der Angabe der Reihenfolge der Alternativen die Bestimmung der Nutzen der Alternativen und damit auch ihrer Differenzen an einer normierten fixierten Maßstabsskala. Insbesondere ist auch ein Nutzen von null eindeutig erklärt. Je nach Zielsetzung sind unterschiedliche der oben beschriebenen Arten einer Nutzenfunktion zu fordern, für die weitere Betrachtung wird aber davon ausgegangen, dass für eine erweiterte Analyse eine exakte Messung der Abstände des Nutzens unterschiedlicher Alternativen notwendig ist. Dies erfordert eine kardinale Nutzenfunktion.

Geht man von einer eindimensionalen Zustandsvektor, wie beispielsweise dem Preis einer Ware, aus, ist die Auswahl der besten Alternative, ausgehend von einer vollständigen Informiertheit, nahezu trivial. Schwierig ist es, im Falle mehrerer Zielkriterien eine optimale Lösung zu finden. Generell kann nur, wie im Abschnitt 4.1 dargestellt, eine nicht dominierte Lösung optimal sein. Allerdings kann in vielen Fällen auch unter Berücksichtigung mehrerer Ziele ein Verfahren entwickelt werden, mit der sich die subjektiv rational beste Alternative bestimmen lässt.

²⁹¹ Bamberg2004 36.

²⁹² Bamberg2004 37.

Eine häufig vorhandene Eigenschaft bei geeigneter Definition der Zielgrößen ist die Präferenzenunabhängigkeit. Diese stellt sicher, dass die Güte einer bestimmten Eigenschaft einer Alternative unabhängig ist von ihren anderen Eigenschaften²⁹³. Dies kann für viele Entscheidungen angenommen werden. Im Verkehr wird man unabhängig von anderen Eigenschaften immer einen niedrigen Preis, eine kurze Reisedauer, guten Service und hohe Sicherheit anstreben. Anders steht es bei Entscheidungen, die in Einzelentscheidungen aufgebrochen werden können und dabei stark interkorreliert sind. So ist die Wahl des idealen Gemüses abhängig vom restlichen Essen, die Farbe der Tischdecke von anderen Einrichtungsgegenständen und der Krawatte von der restlichen Kleidung. Auffällig ist aber, dass sich die bei den letzteren Beispielen angestrebten Eigenschaften nur unter genauer Definition der Umstände angeben lassen. Dies ist für die üblichen Probleme selten der Fall.

Der Zustandsvektor $\mathbf{x}$ lässt sich als Vektor der Ausprägungen seiner Eigenschaften interpretieren. Sei für eine bestimmte Ausprägung der Eigenschaften der Nutzen zweier Alternativen geordnet durch:

$$u(\hat{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_I) \geq u(x_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_I) \quad (188)$$

$\tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_I$ stellen in diesem Fall die identische Ausprägung von $I - 1$ Eigenschaften zweier Alternativen dar, die sich nur in einer Eigenschaft unterscheiden, die hier exemplarisch als erste aufgeführt ist. Eine solche starke Ähnlichkeit zweier Alternativen kann tatsächlich vorhanden sein oder auch nur als prinzipiell möglich angenommen werden. Dann ließe sich diese Ungleichung für eine eindeutige Ausprägung von Eigenschaften im Falle einer starken Präferenzenunabhängigkeit verallgemeinern zu:

$$u(\hat{x}_1, x_2, \dots, x_I) \geq u(x_1, x_2, \dots, x_I) \quad (189)$$

Diese Ungleichung ist direkte Folge der Präferenzenunabhängigkeit und der Ungleichung (188), bezieht sich aber im Unterschied zu dieser auf beliebige Ausprägungen $x_2, \dots, x_I$. Aber auch für die komplizierteren Probleme, bei denen nicht direkt Präferenzenunabhängigkeit angenommen werden kann, führt eine Umdefinition des Eigenschaftsraums durch Agglomerierung häufig doch noch zu einer Situation, die präferenzenunabhängig dargestellt werden kann. Dazu sind nur jene Objekte zu verknüpfen, die sich gegenseitig bedingen, wie Gemüse und Restgericht, Hemd und Krawatte, Tischdecke und Sitzgar-

²⁹³ Bamberg 2004 49f.

natur und können, einmal so kombiniert, als ein nun präferenzenunabhängiges Element eines größeren Entscheidungsproblems dargestellt werden.

Nur nicht dominierte Alternativen können im Falle einer Multi-Criteria Entscheidung optimal sein, die übrigbleibende Menge an Alternativen wird als Menge der effizienten Aktionen bezeichnet. Um aus den verbleibenden Alternativen eine beste auszuwählen, ist eine Spezifizierung der Zielbeschreibung nötig. Gleichung (189) legt eine Separierbarkeit der Gesamtnutzenfunktion nach den einzelnen Entscheidungselementen nahe:

$$u(x_1, x_2, \dots, x_I) = f_1(x_1) \circ f_2(x_2) \circ \dots \circ f_I(x_I) \quad (190)$$

Diese Trennung folgt nicht direkt aus der Präferenzenunabhängigkeit, ist aber verbunden mit der Unabhängigkeit der Eigenschaften und der Annahme eines Gesamtnutzens als Summe der Teilnutzen, repräsentiert durch die verschiedenen Eigenschaften, naheliegend. Unklar bleibt dabei zunächst die Auswahl der Verknüpfung und die Angabe der Funktionen f_i der einzelnen Eigenschaften x_i . Interpretiert man die Verknüpfung als Summierung der Teilnutzen, ist diese als Addition eindeutig identifiziert, in einigen Fällen ist jedoch eine andere Verknüpfung sinnvoll, beispielsweise wenn nicht nur die Summe der Einzelaspekte von Interesse ist, sondern auch Alternativen, die bezüglich einer Eigenschaft besonders schlecht sind, ausgeschlossen werden sollen. In einem solchen Fall könnte dies durch die Einführung zusätzlicher Restriktionen zur Verkleinerung des Raums effizienter Handlungen, aber auch durch eine andere, häufig multiplikative, Verknüpfung erreicht werden. Diese berücksichtigt kumulative Aspekte stärker als eine lineare Verknüpfung. Die Interpretation durch die Teilnutzen vereinfacht Gleichung (190) wesentlich und man erhält:

$$u(x_1, x_2, \dots, x_I) = \sum_{i=1}^I u_i(x_i) \quad (191)$$

Diese Formulierung setzt bereits Präferenzenunabhängigkeit²⁹⁴ und kardinale Teilnutzenfunktionen, u_i , zwingend voraus²⁹⁵. Sie geht davon aus, dass der Gesamtnutzen einer Alternative gleich der Summe der Teilnutzen der verschiedenen Eigenschaften einer Alternative ist, wobei sich dieser Teilnutzen durch kardinalen Vergleich der Bedeutung des Unterschieds zweier Eigenschaften eindeutig beschrei-

²⁹⁴ Eisenführ2003 120ff.

ben lässt. Existiert ein solcher konsistenter Paarvergleich, ist ein Teilnutzen darstellbar als subjektive aber konstante Gewichtung der Ausprägung eines normierten Teilnutzens. Weiter wird häufig zusätzlich von einer linearen Teilnutzenfunktion in bezug auf die jeweiligen Eigenschaftsausprägungen ausgegangen. Dies lässt sich zum Beispiel durch eine lineare Näherung einer beliebigen Funktion innerhalb eines Intervall veranschaulichen, setzt aber häufig voraus, dass die Teilnutzenelemente in Ihrer Ausprägung nur begrenzt variieren. Damit wird dann Gleichung (191) zu:

$$u(x_1, x_2, \dots, x_I) = \sum_{i=1}^I \alpha_i \cdot x_i \quad (192)$$

α_i ist hierbei der individuelle Bewertungsfaktor, der in seinem Betrag die Größe der Bedeutung angibt, die einer gewissen Eigenschaft (Zielgewichtung)²⁹⁶ zukommt und ist dabei in hohem Maße abhängig von der Einheit, in der die Eigenschaft x_i gemessen wird. Ein positives α_i entspricht einer Eigenschaft, die möglichst stark vorhanden sein soll (Nutzen), ein negatives einem, das so gering wie nötig zu wählen ist (Schaden). Sättigungseffekte und andere Nichtlinearitäten berücksichtigt eine solche Nutzenfunktion nicht, daher ist sie nur in einem begrenzten Intervall möglicher Eigenschaften sinnvoll²⁹⁷.

Neben der Maximierung des Gesamtnutzens existieren alternative Auswahlregeln für Multi-Criteria Probleme. Die bekanntesten sind die Zielunterdrückung oder dieser übergeordnet die lexikographische Ordnung, die Maximin-Regel sowie das Goalprogramming²⁹⁸. Für deskriptive Ansätze sind diese aber häufig wenig geeignet, daher hat die Idee der Maximierung eines Gesamtnutzens einer Alternative für die Beschreibung der Handlung von Personen herausragende Bedeutung.

Die verschiedenen Entscheidungen eines Menschen sind in der Regel interkorreliert, dies betrifft vor allem ihren Einfluss auf die nur begrenzt verfügbaren Ressourcen des Entscheidungsträgers, von denen die ihm zugänglichen finanziellen Mittel für den Menschen als Konsumenten im Bereich der Wirtschaftswissenschaften und zusätzlich dazu die ihm zur Verfügung stehende Zeit im Bereich der Verkehrsmodellierung von besonderer Bedeutung sind.

Auch ist der Nutzen, der mit dem Ergebnis einer gewissen Entscheidung verbunden ist, durchaus abhängig von analogen Entscheidungen der Vergangenheit. Diese können sich schon dadurch ändern, dass durch den vorherigen Erwerb einer Ware die Attraktivität eines weiteren Kaufs abnimmt. Abbildung

²⁹⁵ Bamberg2004 55.

²⁹⁶ Bamberg2004 55.

²⁹⁷ Eisenführ2003 117ff.

²⁹⁸ Bamberg2004 56ff.

50 zeigt die Entwicklung des Grenznutzens für eine Anzahl diskret verfügbarer Waren oder Dienstleistungen. In der Regel hat der Erwerb des ersten Produkts den größten Nutzen für den Käufer, für eine zunehmende Anzahl wird dieser immer geringer und strebt gegen einen Grenznutzen, der dem reinen Sachwert, Tauschwert oder auch Null entsprechen kann. Auch der Zeitachse kommt hierbei eine gewisse Bedeutung zu. So ist in der Regel die Reduzierung des Nutzens unmittelbar nach dem Erwerb des Produktes höher als zu einem späteren Zeitpunkt, da dann der letztmalige Kauf das Bedürfnis nach diesem Gut noch stärker abdeckt.

Für den Entscheidenden hat dies zur Folge, dass eine identische Entscheidungssituation bei generell gleich gebliebenen, subjektiven Wert- und Zielmaßstäben zu einer veränderten Entscheidung führen kann, da sich die subjektive Attraktivität der vorher gewählten Alternative verändert hat.

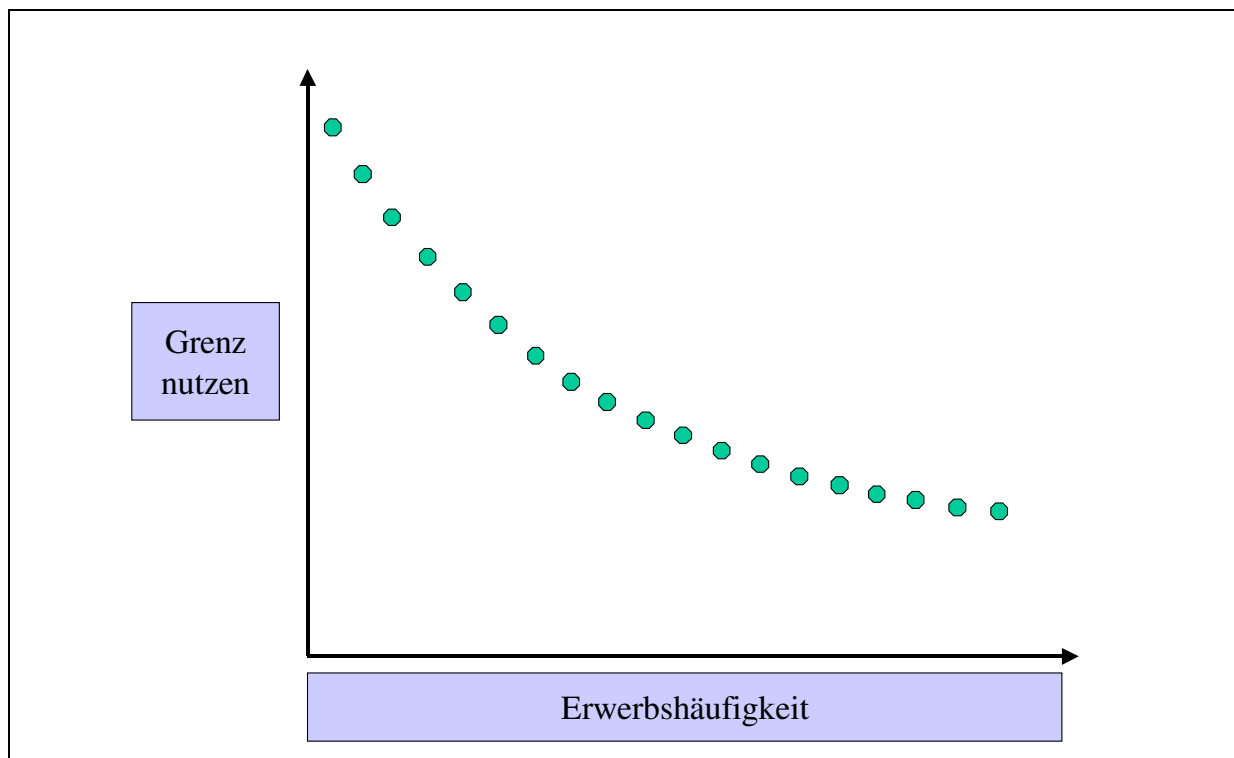


Abb. 50: Der Grenznutzen des Erwerbs eines weiteren Produkts innerhalb eines definierten Zeitraums nimmt in aller Regel für jeden Konsumenten kontinuierlich mit der Anzahl bereits erworbener Produkte oder Dienstleistungen ab. [Eigene Darstellung, hier für ein diskretes Gut]

Bemerkenswert ist, dass die Umsetzung der Abbildung menschlichen Verhaltens anhand einer deskriptiven Nutzentheorie nicht nur für den Fall einer unterstellten realen Entscheidungssituation, sondern auch für die – gerade von Hirnforschern, Soziologen und Naturwissenschaftlern, wie im Abschnitt 4.1 dargestellt - Interpretation einer Entscheidung als automatischer, gelernter Reaktion auf eine Wahlmöglichkeit, möglich ist. Dann sind die Präferenzenkoeffizienten nicht mehr interpretierbar als willentlich gewählte, sondern als durch die Erfahrung des Individuums geprägte, Gewichtungen. Auf die Anwendbarkeit einer solchen Modellbildung hat dies keine Auswirkung.

Im Bereich der routenspezifischen Verkehrsnachfragegenerierung würde allerdings eine Unterteilung der Nachfrage gemäß der Anzahl der Personen, ihrer Durchdringungsrate für Flüge insgesamt und ihrer individuellen Flughäufigkeit – wie dies in Abschnitt 1.5 erörtert wurde - zu einer Verbesserung der Modellierung führen. In wie weit nötiger Aufwand und Nutzen in einem angemessenen Verhältnis stehen, bleibt aber noch zu prüfen.

4.3 Nutzenmaximierung im Falle des Travel Demand

4.3.1 Bisherige Überlegungen zur Nutzenmaximierung im Fall des Travel Demand

Für Lancaster wählt der Mensch rational die Menge an Handlungen, die für ihn - unter der Berücksichtigung kapazitativer Einschränkungen, beispielsweise durch die zur Verfügung stehende Menge an Freizeit und Geldmitteln - in der Summe ihrer Eigenschaften ein Maximum an Nutzen erzeugen²⁹⁹. Eine Bildung des Gesamtnutzens durch einfache Summierung des Nutzens der einzelnen Entscheidungen, sowie ein linearer Zusammenhang zwischen Eigenschaftsausprägungen und ihrem Nutzen werden hierbei vereinfachend angenommen.

Train hat eine Einbettung der Verkehrswahlentscheidung in den allgemeinen Kontext entwickelt. Dabei werden die Eigenschaften einer Reise – Dauer, t_{od} , und Kosten, p_{od} - den allgemein verfügbaren Ressourcen – Einkommen, In , und Freizeit, Le , - gegenübergestellt (siehe [Train1978]). Sei $\tilde{Le}$ die reduzierte verfügbare Freizeit und $\tilde{In}$ das reduzierte Einkommen, dann ist ohne Berücksichtigung weiterer Aspekte wie beispielsweise Service- und Sicherheit, die optimale Wahl jene mit dem höchsten Nutzen:

$$\max U(\tilde{In}, \tilde{Le}) \quad \text{mit } \tilde{In} = In - p_{od} \quad \text{und } \tilde{Le} = Le - t_{od} \quad (193)$$

Diese Formulierung geht von einem nicht veränderbaren Einkommen aus. Eine allgemeinere Einbeziehung des Einkommens und seiner Konsequenzen betrachtet Ortuzar³⁰⁰. Der Kerngedanke der Gleichung (174) und weiterer spezifizierter Theorien ist die Einbettung der Verkehrsentscheidung in den Lebenskontext des Entscheidungsträgers, die dann als Grundlage einer Abschätzung der Wechselwirkung zwischen dem Einkommen der Person und ihrem Trade-off zwischen Zeit- und Kostenaspekten einer Reise dient. Derzeit ist die richtige Art der Einbeziehung des Einkommens in die Nutzenfunktion ein strittig diskutiertes Thema. Dass dem Einkommen des Entscheiders eine Bedeutung bei der Entscheidung zukommt, ist unzweifelhaft, ob dies in der Nutzenfunktion explizit oder nur implizit in den Trade-off Koeffizienten auftaucht und in welchem Ausmaß, ist aber umstritten.

²⁹⁹ Lancaster1972 23ff.

³⁰⁰ Ortuzar2002 119ff.

Geht man von einer rationalen Wahlentscheidung im Verkehr aus, ist es naheliegend, diese mit einer Abbildung durch die Nutzenfunktion des Individuums darzustellen und zu prognostizieren³⁰¹.

Während es im Abschnitt 4.2 im wesentlichen um die Beantwortung der (präskriptiven) Fragestellung geht, wie ein Modell der Entscheidungen unter Berücksichtigung bestimmter Axiomaten zu bestimmen ist, wird in diesem und im folgenden Abschnitt und vor allem im folgenden Kapitel 5 versucht, eine möglichst realitätsnahe (deskriptive) Beschreibung des tatsächlichen Entscheidungsverhaltens von Menschen im Verkehr zu entwickeln. Kapitel 6 testet dieses dann an empirischen Daten.

Der rationale Charakter einer Wahleinschätzung ist durch die einfache Abstraktionsfähigkeit der wichtigsten Reiseeigenschaften, wie Dauer und Kosten, sowie durch die große Bedeutung einer Reiseentscheidung bezüglich der knappen Ressourcen des Individuums an Freizeit und Geld gerechtfertigt.

Das Aufstellen einer Nutzenfunktion beginnt mit der Frage nach den Zielen einer Entscheidung. Hierbei sind die zu berücksichtigenden Einflussfaktoren wesentlich abhängig von der Entscheidungssituation und den möglichen Alternativen³⁰².

So ist für eine Modellbildung der Ziel-, Modus- oder Routenwahlentscheidung in der praktischen Anwendung eine jeweils modifizierte Nutzenfunktion zu entwickeln, die gleichzeitig kausal und plausibel, aber auch minimal bezüglich ihrer benötigten Datenmenge und des Lösungsaufwands ist.

Häufig lässt sich die Wahl eines Laufwegs von einer Stelle zu einer anderen mit einiger Genauigkeit durch das eindimensionale Ziel einer Weglängenminimierung angeben. Dies lässt sich wesentlich begründen mit dem Streben des menschlichen Körpers, bei einer gewissen Betätigung so wenig wie möglich Ressourcen und Energie zu verlieren.

Eine Nutzenfunktion, die dies abbildet, hat zu gewährleisten, dass mit zunehmender Weglänge, s_{od} , der Nutzen der Reise, u_{od} , abnimmt:

$$u_{od} := u_{od}(s_{od}) \quad \text{und} \quad \frac{\delta u_{od}}{\delta s_{od}} < 0 \quad (194)$$

Eine solche Nutzenfunktion kann im wesentlichen als Schadensfunktion interpretiert werden. Dies lässt sich weiter plausibel minimieren, indem ein Nutzen (oder Schaden) von null dann erreicht wird, wenn

³⁰¹ Sonesson2001 304ff.

³⁰² Tacke2001 2.

kein Weg zurückzulegen ist. Die einfachste Funktion, die beide Eigenschaften erfüllt ist die lineare Funktion:

$$u_{od} = -s_{od} \quad \text{und} \quad s_{od} \geq 0 \quad (195)$$

Ist zusätzlich neben der Berücksichtigung relativer Abstände eine Normierung der Abstände für die gewählte Beobachtungsgröße von Einfluss, ist es nötig einen weiteren Bewertungsfaktor, a , als Normierungselement einzubringen. Für das Prinzip der Nutzenmaximierung ist dies eine solche Transformation ohne jede Bedeutung. Dieser definiert die Bedeutung eines absoluten Abstands zweier alternativer Möglichkeiten auf die Bewegungsgröße. Man erhält so die allgemeinere Form:

$$u_{od} = -a \cdot s_{od} \quad \text{mit } a > 0 \quad (196)$$

Eine solche Nutzenfunktion berücksichtigt nur ein Ziel, die Weglänge, und ist eindeutig definiert. Sie macht eine plausible Interpretation eines Nutzens von Null möglich und berücksichtigt eine Messbarkeit absoluter und relativer Abstände mittels eines zusätzlichen Bewertungsfaktors, a . Sie kann als plausible Grundlage des alten Gravitationsansatzes der Gleichungen (122) und (123) für die Verkehrserzeugung, Abschnitt 3.1.4, herangezogen werden. Diese, zugegebenermaßen sehr einfach strukturierte, Nutzenfunktion der Verkehrswahlbewertung zeigt bereits die einzig praktikable Struktur einer kausalen Verkehrsmodellierung: Die Verknüpfung subjektiver Bewertungsfaktoren³⁰³ des Entscheiders, a , mit messbaren Größen der Reise, s_{od} .

Generell bietet sich die Wahl einer linearen Funktion bezüglich einer gewählten Zielgröße an. Diese hat zur Folge, dass die Beurteilung zweier Alternativen nur von der Differenz ihrer Ausprägungen abhängt, nicht aber von ihrem absoluten Wert oder relativem Verhältnis. Weiter wird die häufig eher logarithmische Wahrnehmung des Menschen nicht berücksichtigt. Diese fand erste Berücksichtigung in einer Interpretation Bernoullis des Petersburger Paradoxons aus dem Jahre 1738, wird aber auch von der modernen biophysikalischen Untersuchung der Leistungsfähigkeit menschlicher Wahrnehmung teilweise unterstützt. So zeigt sich, dass der Mensch Druck auf seiner Haut, Licht mit seinen Augen oder Töne mit seinen Ohren in ihrer Intensität etwa in einer logarithmischen Skala wahrnimmt. Dies ist der wesentliche Inhalt des Weber-Fechner Gesetzes von 1880, das einen exponentiellen Zusammenhang zwi-

³⁰³ Engelhardt2002 140.

schen einem Reiz und seiner Wahrnehmung feststellt. Dieses Gesetz wurde 1970 von Stevens noch leicht verbessert. Ein anschauliches Beispiel dieser Interpretation menschlicher Wahrnehmung lässt sich in der bekannten Skalierung der Lautstärke in Dezibel angeben, denn dies ist eines seltenen Beispiels einer logarithmischen Skalierung einer physikalischen Messgröße. Zwar ist menschliche Wahrnehmung nur begrenzt messbar, dennoch sind diese Ergebnisse plausibel, da der menschliche Körper bezüglich vieler Messgrößen unterschiedliche Größen mit einem Verhältnis von 10^6 und häufig noch viel mehr wahrzunehmen in der Lage ist. Eine lineare Wahrnehmung könnte dies nicht leisten. Dennoch zeigt sich, dass innerhalb eines begrenzten Bereichs menschliche Wahrnehmung und Beurteilung als subjektiver, aber rationaler Akt häufig gut genähert als linear betrachtet werden kann. Dies trifft gerade auf abstrakte Größen wie Zeit und Geld zu. Wird allerdings ein sehr großer Bereich überschritten, so dass das Verhältnis zweier Alternativen in einer Größenordnung von 10^2 oder mehr liegt, wird die lineare Approximation menschlicher Zielbildung zunehmend schlechter.

Das einfache obige Beispiel einer eindimensionalen Nutzenfunktion beinhaltet eine Vielzahl von Vereinfachungen, von denen die beiden wesentlichsten die einer etwa konstanten Fortbewegungsgeschwindigkeit und eines etwa gleich angenehmen und sicheren Bewegungsvorgangs für alle Alternativen sind.

Bewegt der Mensch sich nicht selbst vorwärts, nimmt die Bedeutung der realen Fortbewegungsparameter wie der Weglänge ab und die der wahrgenommenen, wie der Fortbewegungsdauer, zu.

Im Falle der Fortbewegung in einem Fortbewegungsmittel, für das ähnliche Rahmenbedingungen für Kosten, Bequemlichkeit und Sicherheit angenommen werden können, lässt sich als Hauptziel die Minimierung der Reisedauer angeben. Diese ist gewissermaßen die Übertragung der Weglängenminimierung aus dem biophysikalischen Antrieb auf einer Minimierung der Dauer eines Zustands, der Mittel aber nicht Zielcharakter aufweist und damit vom Menschen in der Regel als eher unangenehm wahrgenommen wird.

Die mittlere Reisezeit pro Tag und Mensch ist im wesentlichen eine Konstante und liegt für eine Vielzahl regionaler Untersuchungen bei durchschnittlich etwas mehr als einer Stunde und in einem Intervall von etwa 0,8 bis 1,5 Stunden. Abhängigkeiten von dem Zeitpunkt der Untersuchung, der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit, der Kultur und anderem sind - wenn überhaupt - nur in geringem Umfang wahrzunehmen^{304 305 306}. Da der Mensch häufig nicht mehr selbst eine Reise mittels physischer Anstrengung unternimmt, sondern sich moderner Fortbewegungsmittel bedient, ist die abstrakte Version der Reiseanstrengung vergangener Zeit jetzt in der Reisezeit zu sehen.

³⁰⁴ Knoflacher2002 6f.

³⁰⁵ Gunnarsson1999 3.

³⁰⁶ Gunnarsson2000 2f.

Sie ist damit neben der abstrakten Größe der Reisekosten Hauptressource für die Befriedigung eines Reisewunschs. Eine einfache Nutzenfunktion, welche die Beschreibung des Verhaltens im Automobilverkehr anhand der Reisedauer, $t_{od}(i)$, der Wahlalternative i gut beschreiben kann, ist daher:

$$u_{od}(i) = -b \cdot t_{od}(i) \quad \text{mit } b > 0 \quad (197)$$

Eine Modellierung des innerstädtischen Verkehrs wird daher häufig als Reisezeitminimierung in einem Gleichgewichtszustand aufgrund kapazitiver Wechselwirkungen gekoppelter Reisezeiten der einzelnen Verkehrsteilnehmer aller zu berücksichtigenden Wege abgebildet.

Eine eindimensionale Zielbildung ist für die meisten Probleme der Verkehrsbeschreibung und –prognose aber eine zu große Vereinfachung. Für die Fortbewegung mittels verschiedener Fortbewegungsmittel sind häufig mindestens die beiden wichtigsten Einflussfaktoren der Zeit und des Preises, k_{od} , zu berücksichtigen^{307 308 309}.

Hierbei sind häufig verschiedene Modi zu vergleichen. Die Nutzentheorie geht davon aus, dass das Präferenzenverhalten bezüglich dieser sich nur nach deren Eigenschaften, nicht aber nach dem Modus selbst richtet. Diese Annahme kann nur dann als realitätsnah angesehen werden, wenn die Zugehörigkeit zu einem Modus selbst als Eigenschaft interpretiert wird oder zumindest alle Modi durch eine Vielzahl von Eigenschaften beschrieben werden. Dies wird aus praktischen Gründen häufig nicht möglich sein und eine Modellierung durch einen zusätzlichen binären Nutzenterm, entsprechend einer Zugehörigkeit zu einem Modus, nötig machen.

Geht man von einer Unabhängigkeit der beiden Einflussvariablen aus, ist die naheliegende und häufigste Verknüpfung beider Teilaspekte die Addition. Dies entspricht einer Bestimmung des Gesamtnutzens einer Alternative als Summe ihrer Teilnutzen, die sich jeweils durch eine Zielvariable bestimmen. Die übliche Linearisierung führt dann zu:

$$u_{od}(i) = -a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) \quad \text{mit } a_1, a_2 > 0 \quad (198)$$

³⁰⁷ Quandt1972a 7ff.

³⁰⁸ Quandt1972c 147f.

³⁰⁹ Uidaho2002b Modal Choice.

Eine additive Verknüpfung linearer, gewichteter Teilnutzen der Kosten und Dauer der Reise wird von Quandt als Grundmodell der Verkehrsnutzenmodellierung benannt³¹⁰. Allerdings wird dort eine der beiden Gewichtungskoeffizienten gleich eins gesetzt. Dies liefert für die Bestimmung des Verhaltens eines sich deterministisch verhaltenden Individuums identische Ergebnisse. Wie der folgende Abschnitt zeigt, ist für die Beschreibung des Verkehrs eine Modellierung zufallsverteilter Eigenschaften für Gruppen von Personen von großer Bedeutung. Dann führt nur die hier dargestellte verallgemeinerte Form zu einer sinnvollen Abbildung aggregierten menschlichen Verhaltens.

Neben der Annahme eines etwa gleichen Wohlbefindens für die betrachteten Alternativen, ähnlicher Sicherheit und Verfügbarkeit ist dies eine gute Näherung des Wahlverhaltens für verschiedene Modi oder auch Routen. Die beiden Konstanten a_1 und a_2 bestimmen die subjektive Bewertung der beiden Einflussgrößen. Von Bedeutung ist allein ihr Quotient.

Insgesamt muss jedoch konstatiert werden, dass keine allgemein anerkannte Form der Nutzenfunktion für Verkehrswahlentscheidungen existiert. Neben den beiden oben aufgeführten Parametern hält Ben-Akiva zusätzlich noch die Berücksichtigung eines Komfortparameters für sinnvoll³¹¹. Sterzenbach benennt im Bereich des Eisenbahnenpersonenverkehrs die Altersstrukturen und das Einkommensniveau der Reisenden sowie den Tarif, Informationen und Image des Angebots als wichtige Einflussvariablen der Verkehrsnachfrage³¹². Adler benutzt in ihrer Modellierung für den Flugverkehr gar nur die beiden Einflussfaktoren Frequenz und Kosten. Hierbei werden von der mit einem Faktor multiplizierten Frequenz die Kosten für die jeweilige Alternative abgezogen^{313 314}. Analog verwendet dies auch Veldhuis, er bezieht jedoch zusätzlich noch die Reisedauer mit ein³¹⁵. Das die Kosten linear in die Funktion eingehen scheint plausibel, für die Frequenz bleibt unklar, warum eine doppelt so hohe Frequenz einen doppelten Nutzen erzeugt.

Die in der Literatur zuweilen genannte Forderung³¹⁶, dass, falls keine differenzierten Kenntnisse bekannt sind, die verschiedenen konstanten Faktoren der Einflussfaktoren identisch zu wählen sind, ist schon aufgrund der unterschiedlichen Einheiten abzulehnen! Diese Schwäche lässt sich teilweise durch eine Normierung der Größe der Einflussfaktoren, die ihre maximale Ausprägung identisch wählt, begrenzen.

³¹⁰ Quandt1972a 9f.

³¹¹ Ben-Akiva1985 31.

³¹² Sterzenbach2002 8.

³¹³ Adler2002 6.

³¹⁴ Adler2001 339ff.

³¹⁵ Veldhuis1997 182.

³¹⁶ Chang2001 408.

Eine Folgerung einer linearen Nutzenfunktion, die gleichzeitig Preis und Dauer einer Reise berücksichtigt, ist die prinzipielle Vergleichbar- und sogar Umrechenbarkeit des zeit- und preisspezifischen Teilnutzens für identische Nutzen, dann ist:

$$k_{od} \propto \frac{a_2}{a_1} \cdot t_{od} \quad (199)$$

Eine solche Umrechenbarkeit verschiedener Faktoren ist ähnlich wie der lineare Ansatz der Nutzenfunktion sicher nur in einem begrenzten Bereich der Einflussfaktoren möglich. Allerdings ist häufig das relative Verhältnis alternativer Preise und Reisedauern für tatsächliche Verkehrsentscheidungen geringer als 10^1 . In einem dergestalt kleinen Bereich kann eine lineare Nutzenfunktion und eine Umrechenbarkeit der verschiedenen Einflussfaktoren ohne größere Bedenken angenommen werden.

Die Struktur der Formel (198) erinnert an die im Kapitel 3 durch die Anwendung eines Logitmodells gewonnene Abhängigkeit der Passagierzahlen verschiedener Routen, N_{od} , in Abhängigkeit des Preises und der Flugdauer, und man erhält:

$$N_{od}(i) \propto \exp(u_{od}(i)) \quad (200)$$

Diese wird im späteren Abschnitt 4.4 ausführlich mit seinen ihm zugrundeliegenden Näherungen erklärt.

Die Größe der Bewertungsfaktoren der Reisekosten und - in geringerem Ausmaße - der Reisedauer sind abhängig von den Eigenschaften des Reisenden, von denen dem Einkommen nachgewiesenermaßen eine hohe Bedeutung zukommt³¹⁷.

4.3.2 Eigenständig erweitertes Grundmodell der Nutzenfunktion einer Verkehrswahlentscheidung

Wie in Abschnitt 4.3.1 dargestellt, existiert kein allgemein anerkanntes Grundmodell der Nutzenfunktion im Verkehrswahlbereich. Gleichung (198) kann jedoch nach Sicht der Literatur am ehesten als solches interpretiert werden. Im folgenden soll dieses noch durch zwei weitere Ergänzungen erweitert werden. Dabei ergibt sich ein detaillierteres Grundmodell, dass sich vom bestehenden durch eine umfassendere Berücksichtigung der relevanten Einflussfaktoren unterscheidet und daher eher in der Lage ist als Gleichung

chung (198), die Vielfalt bestehender Verkehrswahlentscheidungen zu erklären. Dieses Modell wird im folgenden entwickelt.

Sind die zu betrachtenden Alternativen sehr unterschiedlich in ihrer subjektiven Wahrnehmung der Service- und Sicherheitsaspekte (Prestige, Zuverlässigkeit und andere Aspekte³¹⁸ sollen diesen hier zugerechnet werden), ist es notwendig, diese zusätzlich in die Nutzenfunktion einzuführen. Da sie aber nicht einfach gemessen werden können³¹⁹, ist eine analoge Berücksichtigung zu den Preisen und Reisedauern nicht möglich. In einigen Fällen können Sicherheits- oder Serviceelemente auf einer linguistischen Skala beschrieben werden. Allgemein ist es daher am besten, Service- und/oder Sicherheitsaspekte in einer Konstante, $u_s(i)$, für jede Alternative in der Nutzenfunktion zusätzlich einzubeziehen, dann wird diese. Zur Abgrenzung ist darauf hinzuweisen, dass so definiert wird, so dass sie nur Eigenschaften enthält, die nicht mit dem Preis und der Dauer der Reise zusammenhängen:

$$u_{od}(i) = u_s(i) - a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) \quad \text{mit } a_1, a_2 > 0 \quad (201)$$

Die Notation $u_s(i)$ deutet hierbei an, dass die hauptsächliche Kennzeichnung die Alternative i und nicht die Relation od darstellt. Dies sollte für die meisten realen Verkehrsalternativen so gelten, streng formal ist die Berücksichtigung der Sicherheits- und Serviceaspekte durch eine Indizierung bezüglich der Alternative wie der Relation zu spezifizieren.

Eine solche Nutzenfunktion beschreibt vor allem solche Entscheidungssituationen gut, die durch alternative Modi oder unterschiedliche Anbieter von Verkehrsträgern charakterisiert sind.

Um die Genauigkeit einer den Verkehr beschreibenden Nutzenfunktion weiter zu erhöhen, ist für viele Reisen die Verfügbarkeit der Angebote zu berücksichtigen. Dies betrifft vor allem ihre Häufigkeit, messbar in einer Angebotsfrequenz, f ³²⁰.

Damit wird dann ganz allgemein unter Annahme der Separabilität der Nutzenfunktion bezüglich der Teilnutzen diese zu:

$$u_{od}(i) = u_s(i) - a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) + \tilde{u}_{od}(f(i)) \quad \text{mit } a_1, a_2 > 0 \quad (202)$$

³¹⁷ Uidaho2002b Modal Choice.

³¹⁸ DoT1977 5-6.

³¹⁹ Quarmby1972 248.

³²⁰ Quandt1972a 7.

$\tilde{u}_{od}(f(i))$ ist hierbei der Teilnutzen des Verkehrsangebots, der sich durch die zeitliche Verfügbarkeit ergibt. Diese lässt sich weiter plausibel einschränken:

$$\frac{\delta \tilde{u}_{od}(f(i))}{\delta f(i)} > 0 \quad (203)$$

Je häufiger ein Angebot gemacht wird umso attraktiver ist es für den Reisenden. Dieser auf der Frequenz des Angebots basierende Aspekt der Nutzenfunktion lässt sich zusätzlich spezifizieren, wenn er als nötige Wartezeit der Reisenden interpretiert wird. Geht man von einer Gleichverteilung der Ankunftsduer der Personen aus - was einer fehlenden Kenntnis der Reisenden über den tatsächlichen Reisebeginn entspricht und so sicher nur für Angebote hoher Frequenzen mit einiger Berechtigung gemacht werden kann - erhält man analog zur Gleichung (55), Abschnitt 1.4.5, für den Erwartungswert der Wartezeit, $E\langle t_w \rangle$:

$$E\langle t_w(i) \rangle = \bar{t}_w(i) = \frac{1}{2f(i)} \quad (204)$$

Geht man von einer besseren Information der Wartenden aus, ist die tatsächliche Wartezeit geringer. Für den Reisenden ist für die Betrachtung des Nutzens aber sowohl die faktische Wartezeit wie die Verfügbarkeit zu berücksichtigen. So ist es möglich, dass er den Zeitpunkt des Antritts seiner Reise nicht frei wählen kann, was dazu führt, dass die wahrgenommene Wartezeit der oben angegebenen Gleichung nahe kommt. Dies gilt vor allem dann, wenn entweder der Ankunftszeitpunkt der Reise oder der Abreisezeitpunkt durch äußere Einflüsse stark eingeeengt ist oder es sich bei der betrachteten Reiseentscheidung nur um ein Teilelement der Gesamtreise handelt und der Reisende einen Umsteigevorgang oder Modiwechsel vornimmt. Als effektive, subjektiv rationale Abschätzung ist daher eine Modifizierung der obigen Gleichung sinnvoll:

$$E\langle t_w(i) \rangle \approx \frac{b}{2f(i)} \quad \text{mit } 0 < b < 1 \quad (205)$$

Die Größe der Konstanten b hängt von der Person und den äußeren Einflüssen ab. Im Bereich der Flugreisen wird b durchschnittlich für Geschäftsreisende größer als für Privatreisende sein.

Eine solche Interpretation der Reiseangebotsfrequenz führt zu einer modifizierten Nutzenfunktion:

$$u_{od}(i) = u_s(i) - a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - a_3 \cdot \frac{b}{2f(i)} \quad \text{mit } a_1, a_2, a_3 > 0 \quad \text{und } 0 < b < 1 \quad (206)$$

Auffällig ist, dass eine Betrachtung der Reisefrequenz als Determinante der wahrgenommenen Wartedauer einen negativen Wert des frequenzspezifischen Teilnutzens zur Folge hat.

Warte- und Reisezeit werden vom Reisenden häufig wesentlich unterschiedlich bewertet. Diesem ist in aller Regel ein Wartevorgang – häufig wesentlich - unangenehmer als die Reise selbst^{321 322}. Dies lässt sich mathematisch als Ungleichung angeben:

$$a_3 > a_2 \quad (207)$$

Hierbei sind sowohl die Flugdauer wie die Frequenzinverse in Stunden zu bemessen. Da sowohl a_3 wie b in der Regel nicht separat ermittelt werden können, bietet sich eine Umbenennung an:

$$\tilde{a}_3 := a_3 \cdot \frac{b}{2} \quad (208)$$

Dann lässt sich die Nutzenfunktion verkürzt darstellen:

Grundmodell der Nutzenfunktion einer Verkehrswahlentscheidung

$$u_{od}(i) = u_s(i) - a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f(i)} \quad \text{mit } a_1, a_2, \tilde{a}_3 > 0 \quad (209)$$

³²¹ Quarmby1972 246.

³²² DoT1977 5-6.

Eine solche Nutzenfunktion berücksichtigt die verschiedenen Aspekte des Verkehrs schon in sehr umfangreicher Weise. Dennoch sollte diese nicht ungeprüft benutzt werden, sondern immer eine individuelle Anpassung an die konkrete Problemstellung und Alternativenmenge erfolgen. Allerdings ist die obige Nutzenfunktion für eine Vielzahl von Problemen geeignet.

Quarmby überprüft (bei anders gewählten Einflussgrößen) den Ansatz einer relativen Nutzenfunktion. In dieser werden die Ausprägungen der Eigenschaften des betrachteten Modus als Quotient relativ zum jeweils besten, eigenschaftsspezifischen, verfügbaren Modus benutzt und mit linearen Gewichtungskoeffizienten multipliziert. Die Verknüpfung der verschiedenen Eigenschaften erfolgt additiv. Dabei zeigte sich eine Betrachtung der hier vorgestellten Nutzenfunktion mit absoluten gegenüber relativen Ausprägungen überlegen³²³.

Prinzipiell wäre es möglich, dass menschliche Wahrnehmung den Unterschied der Ausprägung zweier Eigenschaften nicht nur durch ihre Differenz sondern auch durch ihr Verhältnis wahrnimmt. Dies ist bei einem subjektiv rationalen Vergleich aber weniger zu erwarten, da eine solche Beurteilung unter anderem Normierungsgleichungen verletzt.

Das hier entwickelte Modell benutzt alle wichtigen Verkehrsentscheidungsaspekte und ist daher für die komplexen Entscheidungssituationen im Verkehr (abseits „einfacher“ Wahlentscheidungen wie der Routenwahl im Straßenverkehrsbereich) eine umfassende und bessere Grundlage, als es das Modell der Gleichung (198) darstellt.

In der Literatur sind in der Regel einfachere und häufig auch wenig plausible Konstruktionen der Nutzenfunktion zu finden, in denen eine große Menge an Einstellparametern scheinbar von größerer Bedeutung ist, als eine plausible Ableitung aus der Perspektive des Entscheidenden und seines Entscheidungsvorgangs.

Selbstverständlich ist eine solche Modellierung auf Basis einer Nutzenfunktion nicht die einzige Möglichkeit, Verkehrswahlentscheidungen zu modellieren. Sie ist jedoch diejenige, die im Bereich der Verkehrswahlentscheidungen am weitesten verbreitet ist. Die interessante Möglichkeit der Simulation durch Multiagentensysteme findet beispielsweise auch im Verkehrsbereich Platz, wird dort jedoch aufgrund seiner spezifischen Stärken vor allem dann angewandt, wenn Kopplungsprozessen zwischen den Entscheidungen der einzelnen Personen eine wichtige Bedeutung zukommt. Dies ist für den Bereich des Luftverkehrs wie bereits beschrieben nur in sehr geringem Umfang der Fall.

³²³ Quarmby 1972 243ff.

4.4 Logitmodell: Theorie und Bewertung

Zur Beschreibung des Verhaltens von Personengruppen existiert in der Literatur das weitverbreitete Logitmodell. Dieses macht es möglich, von der Entscheidung von Individuen auf jene von Gruppen hoch zu aggregieren. Dieser Ansatz der Literatur wird im folgenden vorgestellt. Die dargestellte Theorie ist umfassend in der Literatur bekannt.

Eine eigenständige Erweiterung erfolgt hier lediglich durch eine Konkretisierung der Darstellung des Logitmodells für das selbständig in Gleichung (209) entwickelte Grundmodell der Nutzenfunktion einer Verkehrswahlentscheidung einerseits und durch eine Bewertung des Modells und seiner Probleme für den konkreten Fall der Verkehrswahlentscheidung andererseits.

Die bisher im Kapitel 4 dargestellte Beschreibung betrachtet die Verkehrswahlentscheidungen als eine Entscheidung von Individuen. Diese handeln subjektiv rational und sind vollständig informiert. Ein Individuum wählt dann diejenige Alternative aus, die von allen verfügbaren den für ihn höchsten Nutzen generiert.

Eine Verkehrsbeschreibung und –prognose ist in aller Regel nicht in der Lage, die nötigen, sehr umfangreichen Daten für eine mikroskopische Analyse des Verkehrs auf der Basis der Entscheidung aller Individuen zu bekommen oder gar auszuwerten.

Daher ist eine makroskopische Verkehrstheorie nötig, die sich von dem Entscheidungsverhalten der Individuen kausal ableitet, aber makroskopisch beobachtbare Größen enthält, ohne dafür eine Unmenge an Daten zu benötigen.

Dies ist nur dann möglich, wenn es gelingt, von der Nutzenfunktion einer Person auf die Gestalt der Nutzenfunktion vieler oder gar aller Individuen zu schließen und auf diesem Weg eine Aggregation der mikroskopischen Elemente in eine makroskopische Verkehrstheorie zu bewerkstelligen³²⁴.

Am einfachsten ist es natürlich, eine identische Nutzenfunktion für alle Personen anzunehmen. Allerdings hätte dies zur Folge, dass sich alle Personen – fehlende Kapazitätsrestriktionen vorausgesetzt - identisch verhalten würden. Dann würde, eine identische Zugänglichkeit aller vorausgesetzt, eine Alternative entweder von allen oder von keinem gewählt.

³²⁴ Fadden 1976 313.

Ende der sechziger Jahre kam man auf die verbesserte Idee, in die Nutzenfunktion eines Individuums ein stochastisches Element einzufügen, dass eine Übertragbarkeit auf eine Menge von Personen möglich macht. Eine darauf aufbauende Modellierung hat jedoch eine Menge an Fragen zu beantworten:

- Welche Variablen werden in die Nutzenfunktion eingefügt?
- Welche Variablen werden als stochastisch verteilt angenommen?
- Wie sieht eine solche Verteilung aus, und wovon ist sie abhängig?
- Wie viele und welche Personengruppen sind gesondert zu betrachten?
- Wie löst man das Problem einer unvollständigen Information? Für den Beobachter ist immer nur eine begrenzte Zahl an Variablen beobachtbar. Welche Auswirkungen hat dies auf die Ergebnisbildung?
- Wie ermittelt man für die betrachtete Personengruppe Wahrscheinlichkeiten oder Häufigkeiten für die verschiedenen Wahlalternativen?

Welche Variablen in der Nutzenfunktion zu berücksichtigen sind³²⁵, hängt von der individuellen Problemstellung und der Datenverfügbarkeit ab.

Eine gute Grundlage für die Gestalt der Nutzenfunktion im Bereich einer Verkehrswahlentscheidung ist das Grundmodell der Nutzenfunktion einer Verkehrswahlentscheidung der Gleichung (209) des letzten Abschnitts.

Neben den für ein Individuum geltenden Elementen der Nutzenfunktion ist zusätzlich ein stochastisches einzubeziehen. Dieses nimmt für verschiedene Personen einer Gruppe bei der Bewertung einer Alternative unterschiedliche Größen an. Ihre Größe wird als zufallsverteilt angenommen. Damit sind vor allem folgende Fragen zu beantworten:

- Wie groß sind die Unterschiede der Bewertung einer Alternative und wie können diese beschrieben werden?
- Welche Auswirkung hat eine solche Streuung der Bewertung einer Alternative auf die Wahlentscheidung der Personen?

Die Notwendigkeit der Einführung des stochastischen Elements ist in der unterschiedlichen Gewichtung der einzelnen Teilziele und in der fehlenden Berücksichtigung weiterer unbekannter Elemente der Nutzenfunktion begründet. Von einer grundsätzlich unterschiedlichen Verknüpfung der Teilelemente der

³²⁵ Uidaho2002b Modal Choice.

Nutzenfunktion für verschiedene Personen wird als Möglichkeit abgesehen. Ferner bleiben eventuelle, rezeptive Unterschiede aufgrund der Annahme eines Entscheiders als homo oeconomicus unberücksichtigt. Damit wird dann das Grundmodell der Nutzenfunktion einer Verkehrswahlentscheidung der Gleichung (209) zu:

$$u_{od}(i) = (u_s(i) + \zeta_s(i)) - (a_1 + \zeta_1) \cdot k_{od}(i) - (a_2 + \zeta_2) \cdot t_{od}(i) - (\tilde{a}_3 + \zeta_3) \cdot \frac{1}{f(i)} + \zeta_r \quad \text{mit } a_1, a_2, \tilde{a}_3 > 0 \quad (210)$$

$\zeta_s(i)$ ist das stochastische Element des service-, komfort- und sicherheitsbezogenen Elements der Nutzenfunktion, ζ_1 der stochastische Teil des Präferenzenkoeffizienten der Kosten, ζ_2 der des Präferenzenkoeffizienten der Reisedauer und ζ_3 der der Frequenz. ζ_r beschreibt den stochastischen Restnutzen, der durch die nicht betrachteten Elemente der Entscheidung in der Nutzenfunktion entsteht.

Da die Kosten, die Reisedauer und die Frequenz für jede Alternative konstante Größen darstellen, können alle stochastischen Teilelemente zu einem einzigen stochastischen Parameter, ζ_i , zusammengefasst werden. Damit vereinfacht sich Gleichung (210) zu:

$$u_{od}(i) = u_s(i) - a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f(i)} + \zeta_i \quad \text{mit } a_1, a_2, \tilde{a}_3 > 0 \quad (211)$$

ζ_i ist damit selbst Funktion der verschiedenen Größen in Gleichung (219) und für die betrachtete Personengruppe eine stochastische Größe. Die verschiedenen anderen, ursprünglich ebenso als stochastisch angenommenen Elemente der Nutzenfunktion werden in Folge als Konstanten behandelt und erhalten einen, für die gesamte Gruppe bestimmten, repräsentativen Wert.

Da im Gegensatz zur deterministischen Modellierung der Nutzenfunktion von Einzelpersonen des letzten Abschnitts in der Deskription des Verhaltens von Gruppen dem stochastischen Charakter ihrer Nutzenfunktion ein besonders hoher Wert beikommt, spricht man für diese Sorte der Modellbildung von einem Random Utility Maximisation Model (RUM)³²⁶.

Der stochastische Term hat im wesentlichen zwei Ursachen: Die Streuung der Präferenzen der subjektiven Bewertungen und die nicht betrachteten Einflussgrößen. Während man durch eine intensive Ana-

lyse der Einflussgrößen und eine hohe Datenmenge das Ausmaß der zweiten Größe wesentlich eindämmen kann, ist dies für die erste Ursache schwieriger. Diese stochastische Modellierung hat zur Folge, dass der Nutzen zweier Personen für die identische Alternative (in der Regel) unterschiedlich ausfällt. Logische Folge ist dann, dass für diese beiden Personen eventuell unterschiedliche Alternativen optimal sein können. Dies ist direkte Folge des zusätzlichen zufallsverteilten Terms.

Hier erzeugt die Inhomogenität der Personen eine stochastische Größe und kann allenfalls durch eine Homogenisierung der betrachteten Personen in einer Gruppe verringert werden. Da es für eine praktische Analyse aber nur selten sinnvoll ist, sich auf eine begrenzte Menge, bekanntermaßen ähnlich agierender Personen zu beschränken, lässt sich dies allenfalls durch eine Unterteilung in möglichst viele, gut strukturierte Untergruppen erreichen, die dann in ihren Eigenschaften wieder eine hohe Ähnlichkeit aufweisen.

Allerdings setzt eine solche Methodik genau das voraus, was die hier angestrebte Modellierung vermeiden möchte: Die Kenntnis und Verarbeitung einer Vielzahl von Individualdaten.

Deshalb ist ein Ziel einer praktischen Analyse, ζ_r möglichst klein zu halten. Die anderen stochastischen Größen sind jedoch für den Analysten nur sehr begrenzt beeinflussbar.

Zuweilen wird a priori von einer Abhängigkeit der Verkehrsströme von den relativen Ausprägungen ihrer Eigenschaften ausgegangen³²⁷. In einigen Fällen erfolgt sogar eine erweiterte Linearkombination der absoluten und relativen Ausprägungen. Eine kausale oder plausible Herleitung dieser Annahmen wird jedoch nie genannt. Wurden solche Modelle in der Vergangenheit noch häufiger benutzt, nimmt ihre Verwendung aufgrund ihrer schlechten Ergebnisse und ihrer hohen Uneinheitlichkeit zunehmend ab.

Um aus der stochastischen Nutzenfunktion auf die Häufigkeit der Wahl der verschiedenen Alternativen schließen zu können, sind noch zusätzliche Annahmen über die Eigenschaften von ζ_i notwendig.

Eine stochastische Größe wird zumeist vollständig beschrieben durch die Art ihrer Verteilung, ihren Erwartungswert und ihre Varianz. Hierbei lässt sich mittels einer einfachen Abbildung der Erwartungswert von ζ_i als beliebig konstant annehmen, insbesondere ist der Fall wählbar:

$$E\langle \zeta_i \rangle := 0 \tag{212}$$

³²⁶ Exel2001 17ff.

³²⁷ Quandt1972b 128ff.

Dies lässt sich einfach durch eine Veränderung der Definition der Servicekonstanten und der stochastischen Größe erreichen. Sei ursprünglich:

$$E\langle \zeta_i \rangle = c \quad (213)$$

Dann ist eine Abbildung möglich, mit den Definitionen:

$$\tilde{\zeta}_i := \zeta_i - c \quad \text{und} \quad \tilde{u}_s(i) := u_s(i) + c \quad (214)$$

Weiter ist:

$$\zeta_i + u_s(i) = \tilde{\zeta}_i + \tilde{u}_s(i) \quad (215)$$

Die Nutzenfunktion der so transformierten Größen des Service- und stochastischen Nutzens ändert sich nicht in ihrem Wert, und Gleichung (211) wird zu:

$$u_{od}(i) = \tilde{u}_s(i) - a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f(i)} + \tilde{\zeta}_i \quad \text{mit } a_1, a_2, \tilde{a}_3 > 0 \quad (216)$$

Die so geschaffene stochastische Größe $\tilde{\zeta}_i$ weist, wie in Gleichung (212) angegeben, einen Erwartungswert von null auf.

Vor allem in der frühen Phase stochastischer Verkehrsmodellierung wurden nicht alle Elemente der Nutzenfunktion gleichermaßen als stochastisch betrachtet. Die fehlende axiomatische Begründung und die Willkür bei der Wahl der als stochastisch und der als deterministisch angenommenen Elemente führte aber zu einem Vorzug einer einheitlich stochastischen Modellbildung. So taucht bei Blackburn ein Präferenzenkoeffizient als stochastisches Element auf³²⁸. Später wird dies vom gleichen Autor als in ei-

³²⁸ Blackburn1972a 169f.

ner deterministischen Wechselwirkung zum Einkommen des Reisenden begründetes Element interpretiert. Zusätzlich wird dann ein additiver stochastischer Serviceterm benutzt³²⁹.

Die Art der Verteilung von $\tilde{\zeta}_i$ kann entweder axiomatisch a priori angegeben oder ex post getestet werden. Eine direkte Untersuchung durch eine ausführliche Analyse der verschiedenen Individuen ist jedoch praktisch nicht durchführbar und scheitert auch aus theoretischen Gründen selbst auf der Ebene der Individuen an Problemen der Messbarkeit der Konstanten und Präferenzenkoeffizienten – ganz abgesehen von zusätzlichen Schwierigkeiten bei der Einbeziehung des Restterms.

Damit ist es unter praktischen Gesichtspunkten wichtig, eine Verteilung zu wählen, die ex post als zufriedenstellend interpretiert werden kann, axiomatisch einigermaßen plausibel ist und es ermöglicht, bei akzeptablem Aufwand eine Lösung für die Wahlwahrscheinlichkeiten der verschiedenen Alternativen bestimmen zu können.

Die üblicherweise gewählte Verteilungsart ist die Gumbelverteilung (Ergänzendes zur Gumbelverteilung siehe Quellen: ³³⁰ ³³¹ ³³² ³³³). Diese ist aufgrund ihrer Nähe zur Normalverteilung nicht weniger plausibel als die meisten anderen Verteilungen, und zusätzlich lassen sich die Wahrscheinlichkeiten der Alternativen verhältnismäßig einfach bestimmen.

Bei einer deterministischen Nutzenfunktion wie in Gleichung (209) wird vom Individuum die Alternative mit dem höchsten Nutzen gewählt. Existieren beispielsweise zwei Alternativen i und j unterschiedlichen Nutzens, dann wird immer die Alternative mit dem höheren – deterministischen - Nutzen gewählt. Die Wahrscheinlichkeit für die Wahl einer solchen Alternative ist damit - vom Fall identischen Nutzens der Alternativen abgesehen - entweder null oder eins³³⁴. Dies gilt auch für mehr als zwei Alternativen.

Im stochastischen Fall besteht die Nutzenfunktion aus einem deterministischen, u_{det} , und einem stochastischen Element³³⁵. Dann lässt sich die Nutzenfunktion schreiben als:

$$u_{\text{od}}(i) = u_{\text{det}}(i) + \tilde{\zeta}_i \quad (217)$$

In einem solchen Fall wird die Alternative i der Alternative j vorgezogen, falls:

³²⁹ Blackburn1972b 184f.

³³⁰ Hugo2000 358.

³³¹ Sonesson2001 305.

³³² Huang2002 565.

³³³ Ben-Akiva1985 104ff.

³³⁴ Blackburn1972a 169.

³³⁵ Hugo2000 357.

$$u_{\text{det}}(i) + \tilde{\zeta}_i > u_{\text{det}}(j) + \tilde{\zeta}_j \Leftrightarrow u_{\text{det}}(i) - u_{\text{det}}(j) > \tilde{\zeta}_i - \tilde{\zeta}_j \quad (218)$$

Nimmt man weiter an, dass die verschiedenen, stochastischen Größen nicht korreliert sind, ist der Quotient der Wahrscheinlichkeit der beiden Alternativen, $P(i)$ und $P(j)$:

$$\frac{P(i)}{P(j)} = \exp(\theta \cdot (u_{\text{det}}(i) - u_{\text{det}}(j))) \quad (219)$$

Dies ist eine spezifische Eigenschaft der Gumbelverteilung und der wesentliche Grund, warum typischerweise von der Gumbelverteilung als Verteilung ausgegangen wird. Eine weitergehende Modellierung vereinfacht sich wesentlich im Vergleich zur ebenso nahe liegenden Normalverteilung, die nicht die Eigenschaft der Gleichung (219) aufweist, sondern komplizierter ist.

Mayberry geht von der Annahme aus, dass bei einer einseitigen Änderung der Eigenschaften einer Route/eines Modus deren Passagierzahlen entweder ansteigen oder abnehmen werden sowie sich gleichzeitig eine umgekehrte Reaktion auf allen konkurrierenden Routen/Modi vollzieht. Daraus leitet er als Äquivalent ab, dass sich die Passagierzahl einer Route/eines Modus als Quotient einer Funktion - nur ihrer - Eigenschaften zu der Summe der analogen Funktionen aller möglichen Routen/Modi beschreiben lässt³³⁶. Dies beinhaltet durch die Summierung zum einen eine Normierung, zum anderen reduziert es aber auch die Abhängigkeiten der einzelnen Funktionen von den Eigenschaften der verschiedenen Alternativen.

Berücksichtigt man alle möglichen Alternativen k , erhält man – analog zu Gleichung (108), Abschnitt 3.1.3:

$$P(i) = \frac{\exp(\theta \cdot u_{\text{det}}(i))}{\sum_k \exp(\theta \cdot u_{\text{det}}(k))} \quad (220)$$

³³⁶ Mayberry 1972 109f.

Die Beobachtungsgröße ist jedoch nicht die Wahrscheinlichkeit der Wahl einer Alternative sondern ihre Stromgröße, $N(i)$. Für diese gilt:

$$E\left\langle \frac{N(i)}{N(j)} \right\rangle = \frac{P(i)}{P(j)} \quad (221)$$

Beträgt die Anzahl aller beobachteten Personen N_{ges} , erhält man ähnlich wie in den Gleichungen (109) und (110), Abschnitt 3.1.3, den Erwartungswert der Stromgrößen der verschiedenen Alternativen mit:

$$E\langle N(i) \rangle = N_{ges} \cdot \frac{\exp(\theta \cdot u_{det}(i))}{\sum_k \exp(\theta \cdot u_{det}(k))} \quad (222)$$

Bereits vor der Entwicklung einer formalen axiomatischen Theorie zeigte sich, dass die Verwendung einer Exponentialfunktion für die Wechselwirkung zwischen Einflussgrößen des Verkehrs und seiner Flüsse eine gute empirische Abschätzung liefert³³⁷.

θ ist eine reelle Zahl größer null und fällt streng monoton mit der Varianz von $\tilde{\zeta}_i$. Dies ist plausibel: Je größer die Unterschiede bei den verschiedenen Einschätzungen der Personen ausfallen, um so häufiger wird die Alternative mit dem geringeren deterministischen Nutzenelement gewählt³³⁸.

Aufgrund der Struktur der Nutzenfunktion, bei der in jedem Teilnutzen eine Konstante auftaucht, welche die Intensität der Bewertung der Einzelziele der Entscheider beschreibt, lässt sich durch eine Multiplikation mit θ eine Transformation des deterministischen Teils der Nutzenfunktion durchführen:

$$\tilde{u}_{det}(i) := \theta \cdot u_{det}(i) \quad (223)$$

Da die verschiedenen Präferenzenkoeffizienten erst durch eine Kalibrierung ex post bestimmt werden und im vorhinein auch bestenfalls qualitative Abschätzungen über die Streuung der Nutzenfunktion bekannt sein können, sind die tatsächlichen Ergebnisse einer Kalibrierung die Koeffizienten der durch

³³⁷ Blackburn1972a 167ff.

³³⁸ Huang2002 565.

Gleichung (223) modifizierten, deterministischen Nutzenfunktion. Es macht daher Sinn, Gleichung (222) als Funktion der transformierten Nutzenfunktion zu schreiben:

$$E\langle N(i) \rangle = N_{ges} \cdot \frac{\exp(\tilde{u}_{det}(i))}{\sum_k \exp(\tilde{u}_{det}(k))} \quad (224)$$

Eine wichtige Eigenschaft der ursprünglichen und der transformierten deterministischen Nutzenfunktion sind ihre identischen Trade-off Koeffizienten.

Selbstverständlich sind Verfahren denkbar, mit denen verschiedene Streuungen - zumindest relativ zueinander - quantitativ verglichen werden können, auch wenn deren Begründung dabei bestenfalls plausibel gewählt werden kann. Daher wird hier und im folgenden Kapitel mit der transformierten Nutzenfunktion gerechnet, die direktes Ergebnis der Kalibrierung ist.

Die durch Gleichung (224) erzeugte Angabe der Erwartungswerte der Nutzenfunktion, die direkte Folge der gewählten Gumbelverteilung ist, wird in der Literatur häufig als Logitmodell^{339 340 341} bezeichnet und ist eine der wichtigsten Gleichungen der Verkehrsmodellierung.

Allerdings wird dort manchmal der stochastische Charakter der Größen vernachlässigt und die ihm zugrunde liegenden Axiomaten in einer weitergehenden Modellierung nicht beachtet. Eine exakte Formulierung, bei der die Verkehrsgrößen in Folge dieser Modellbildung durch ihre Erwartungswerte repräsentiert werden, unterbleibt in der Literatur nahezu völlig. Vielmehr wird ausgehend von dieser Gleichung bei der Betrachtung der Stromgrößen nahezu vollkommen deterministisch weiter argumentiert. So wird beispielsweise häufig unzutreffenderweise von Passagierströmen und nicht von den Erwartungsgrößen der Passagierströme gesprochen.

Mittels der obigen Darstellung wird der Erwartungswert der Wahlhäufigkeiten der verschiedenen Verkehrsalternativen anhand ihrer abstrahierten Eigenschaftsprofile beschrieben. Am häufigsten wird diese Modellierung im Bereich der Modal-Split Wahlentscheidung verwendet, daher wird sie zumeist als abstract mode model bezeichnet.

Eine Ausweitung auf Wahlalternativen, die nicht oder bisher nicht existieren, ist aufgrund des abstrahierten Charakters der Modellierung innerhalb eines gewissen Bereichs möglich. Da hierbei Kalibrierungs-

³³⁹ Gunnarsson2000 6ff.

³⁴⁰ Sonesson2001 304ff.

³⁴¹ Huang2002 565ff.

ergebnisse übertragen werden, ist die Güte einer solchen Analogiebildung von der Ähnlichkeit der neuen Alternativen zu den zur Kalibrierung benutzten abhängig.

Ein bekannte Schwäche des Logitmodells zeigt das red bus – blue bus Paradoxon, das auch als Problem der Unabhängigkeit irrelevanter Alternativen (IIA)³⁴² bezeichnet wird:

Unterteilt man eine Wahlalternative in mehrere unterscheidbare mit identischem Nutzen, - beispielsweise den Modus Bus in blaue und rote Busse - dann sollte die Summe der künstlich separierten Teilströme gleich dem Strom der ursprünglichen Wahlalternative sein. Ansonsten würde eine Unterteilung der Wahlalternativen unter Berücksichtigung die Entscheidung nicht beeinflussender Eigenschaften zu einer Veränderung der Ergebnisse führen. Dies ist bei dem oben definierten Modell jedoch so nicht der Fall.

Dieses Paradoxon lässt sich allerdings leicht erklären: Das Logitmodell ist Ergebnis einer Vielzahl von Annahmen, von denen eine die fehlende Korrelation der Zufallsvariablen der verschiedenen Alternativen ist. Dies ist für identisch bewertete Alternativen nicht der Fall, denn dort sind sowohl die deterministischen Elemente der Nutzenfunktion wie die Zufallsvariable identisch³⁴³. Damit kann bei einer solchen, unglücklich gewählten Alternativenbenennung das Logitmodell nicht ohne Korrektur angewandt werden.

Es wurden in Folge dessen basierend auf dem Logitmodell mehrere erweiterte Methoden und Modelle entwickelt, die versuchen, dieses Problem zu lösen. Da aber in der Literatur unter all den verschiedenen Modellen keine Methodik existiert, die dieses Problem vollständig löst, und da diese zusätzlich einen wesentlich höheren methodischen Aufwand erfordern, ist es sinnvoll, die Bedeutung des Problems der IIA für das Gebiet der Verkehrsmodellierung direkt anzugehen.

Die Identifikation einer sinnvollen Wahlalternative ist in ihrer Aggregation durch die Auswahl der betrachteten relevanten Eigenschaften der Nutzenfunktion aus der Sicht des Entscheidenden relativ unproblematisch. Einzig die zeitliche Aggregation eines Verkehrsangebots bleibt dann unklar.

So ist die Unterteilung einer Alternative, wie des Busses im oben angegebenen Beispiel, nur dann richtig, wenn diese vom Wählenden als unterschiedliches Angebot wahrgenommen wird. Einzig die Frage, ob ein einzelner Bus, der zu einer bestimmten Zeit fährt, als Alternative gesehen wird oder die Menge aller Busse, bleibt klärungsbedürftig.

Damit wird es nötig, das Element der Nutzenfunktion, das sich mit der Bedeutung der Frequenz für die entscheidende Person beschäftigt, eindeutig zu definieren.

An der Gestalt der Gleichung (224) lässt sich ablesen, dass die einzige Gestalt der Nutzenfunktion, die eine Identität der Teilströme unabhängig von der Aggregation der Frequenzen liefert, ist:

³⁴² Ben-Akiva 1985 108ff.

³⁴³ Hugo 2000 359.

$$u_{\text{det}}(i) = a \cdot f(i) \cdot u_{\text{rest}}(i) \quad \text{mit } a > 0 \quad (225)$$

Wäre keine Proportionalität zur Frequenz vorhanden, würde eine unterschiedliche zeitliche Aggregation (interpretierbar als Multiplikation mit einer Konstanten) zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

$u_{\text{rest}}(i)$ bezeichnet die deterministische Nutzenfunktion der Wahlalternative i exklusive ihres Frequenzanteils. Die Multiplikation mit einem Frequenzteil entspricht nicht der bisher benutzten additiven Verknüpfung und ist aus entscheidungstheoretischen Gründen kaum akzeptabel.

Das Problem der IIA lässt sich aber für den Verkehrsbereich gut lösen, ohne eine komplexere Modellierung als beim Logitmodell zu benötigen und ohne zweifelhafte Annahmen über die Struktur der Nutzenfunktion machen zu müssen.

Hierbei ist als Alternative eine Wahlmöglichkeit gleicher, wahlrelevanter Eigenschaften zu definieren. Deren Frequenz findet über ihre Interpretation als Wartezeit Eingang in die Nutzenfunktion. Damit ist für Verkehrswahlfragestellungen das Problem der IIA beim Logitmodell durch eine einfache, eindeutige Definition der Alternativen gelöst.

5 RUM: Entwicklung eines neuen Routenwahlmodells für den Personenluftverkehr

Nachdem im Kapitel 4 ein allgemeines Grundmodell der Verkehrswahlentscheidung hergeleitet worden ist, um so ein übergreifendes Modell zu schaffen, das auf einer strikten Axiomatik kausal aufgebaut ist, wird in diesem Kapitel der Spezialfall der Routenwahlentscheidung von Luftverkehrspassagieren abgebildet.

Ziel ist es, ein Modell zu entwickeln, dass den Status quo des Personenluftverkehrs kausal beschreiben kann und damit nach erfolgter Kalibrierung die Grundlage zur Prognose zukünftiger Passagierzahlen auf der Aggregationsebene von Routen ermöglicht. Ein solches Modell existiert bisher nicht.

Im ersten Abschnitt wird die allgemeine Nutzenfunktion der Verkehrswahlentscheidung für den Fall einer Routenwahl im Luftverkehr spezifiziert. Hierzu ist es wesentlich nötig, die wichtigsten Eigenschaften zu bestimmen, die mitausschlaggebend für die Wahl der Passagiere sind. Zusätzlich sind Aspekte der Messbarkeit, der Subjektivität und der Datenverfügbarkeit zu berücksichtigen.

Im folgenden Abschnitt 5.2 werden die Ergebnisse der Nutzenfunktionsbildung des Abschnitts 5.1 in die Modellierung von Verkehrsströmen mit Hilfe des Logitmodells, analog zu Abschnitt 4.4, miteinbezogen. Hierbei ist neben der allgemeinen Axiomatik der Logitmodelle vor allem die Identifikation der Reisegruppen von Bedeutung, deren subjektive Bewertungseigenschaften möglichst einheitlich zu wählen sind und deren Daten für eine praktische Umsetzung der Modellierung für jetzige und spätere Rechnungen verfügbar sein sollten.

5.1 Entwicklung einer neuen allgemeinen Nutzenfunktion der Flugroutenwahl

Ausgehend von der allgemeinen Nutzenfunktion einer Verkehrswahlentscheidung des Kapitels 4 ist in diesem Abschnitt eine Spezifizierung für den Fall der Routenwahlentscheidung im Personenluftverkehr zu treffen.

Zu Beginn der Modellierung können sowohl die deterministische wie die stochastische Version als Grundlage gewählt werden. Da folgend im Abschnitt 5.2 eine Beschreibung der Verkehrsstromgrößen gewünscht ist, die eine Agglomerierung über eine Vielzahl von Individuen erfordert, ist es vor der Bildung der Stromgrößen, wie in Abschnitt 4.4 erklärt, notwendig, die verallgemeinerte stochastische Nutzenfunktion zu verwenden. Diese ergibt sich nach Gleichung (216) zu:

$$u_{od}(i) = \tilde{u}_s(i) - a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f(i)} + \tilde{\zeta}_i \quad \text{mit } a_1, a_2, \tilde{a}_3 > 0 \quad (226)$$

Auch bei der Beurteilung der verschiedenen Flugroutenangebote durch den potentiellen Passagier kommt dem Zeitaspekt eine große Bedeutung zu. Hierbei sind insbesondere die Flugdauer, die Wartezeit und eventuelle Umsteigevorgänge zu berücksichtigen. Von geringerem Einfluss sind Ein- und Auscheckvorgangsdauern und eventuelle Verspätungen.

Die verschiedenen, Zeit verbrauchenden Vorgänge werden unterschiedlich bewertet. Warten wird als unangenehmer empfunden als Fliegen. Zusätzlich wird das Umsteigen als Handlungsakt besonders negativ bewertet, da es mit eigenen Aktionen, einer Unterbrechung des bisherigen Zustands und Unsicherheiten, beispielsweise bezüglich der Planmäßigkeit des Anschlusses und des Gepäckumladevorgangs, verbunden ist³⁴⁴.

Dies macht es sinnvoll, einen neben den Zeitaspekten auch die negative Servicewirkung des Umsteigevorgangs berücksichtigenden binären Nutzen, u_{ums} , einzuführen. Damit wird dann:

³⁴⁴ Veldhuis1997 182.

$$u_{od}(i) = \tilde{u}_s(i) - a_1 \cdot k_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u_{ums} + \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) + \tilde{\zeta}_i$$

mit $a_1, a_2, \tilde{a}_3, u_{ums} > 0$

(227)

Hierbei ist die binäre Variable definiert durch:

$$\delta_{ums}(i) = \begin{cases} 1 & \text{falls Route } i \text{ Umsteigevorgang enthält} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (228)$$

$f_1(i)$ ist die Frequenz des Flugangebots des ersten Teils, $f_2(i)$ diejenige eines eventuell existierenden zweiten Streckenteils der Flugroute.

Die Modellierung umfasst hierbei nur Flüge mit maximal einem Umsteigevorgang, lässt sich aber durch entsprechende Ergänzung auf beliebig viele erweitern.

Durch die explizite Berücksichtigung der inversen Frequenz des zweiten Routenabschnitts ist es möglich, die Dauer des Wartens beim Umsteigevorgang abzubilden. Eine solche Interpretation des Nutzenaspektes der Frequenz als Wartezeit ist dem linearen in der Nutzenfunktion wie bei Adler³⁴⁵ ³⁴⁶ vorzuziehen.

Entsprechend beinhaltet u_{ums} neben der reinen Vorgangsdauer des Umsteigens zusätzlich die Wahrnehmung der Unbequemlichkeit des Umsteigevorgangs. Damit ist u_{ums} in seinem Betrag höher als der Teilaspekt, der lediglich die zeitlichen Aspekte des Umsteigevorgangs enthält.

Auch den Kosten einer Flugreise kommt bei der Auswahl der Route eine hohe Bedeutung zu, wenngleich diese in einigen Fällen nicht nachgewiesen werden konnte³⁴⁷. Dies ist allerdings eher in einer fehlerhaften Modellierung oder unzureichenden Daten als in der fehlenden Bedeutung der Reisekosten für die Entscheidung begründet.

Die repräsentativen Kosten einer Flugreise lassen sich nicht ohne weiteres angeben. Dies liegt vor allem an der Vielzahl verschiedener Tarife, die dabei ein unterschiedliches Leistungsspektrum anbieten. Nach ausführlicher Analyse der verschiedenen Tarife wurden acht Kategorien gebildet, für die für alle

³⁴⁵ Adler2001 339ff.

³⁴⁶ Adler2002 6.

³⁴⁷ Graham2000 114.

am Markt präsenten Anbieter repräsentative Preise bestimmt wurden. Die Nutzenfunktion enthält daher nicht nur einen Kostenterm sondern acht. Diese werden additiv verknüpft und man erhält:

$$u_{od}(i) = \tilde{u}_s(i) - \sum_{j=1}^8 a_1^j \cdot k_{od}^j(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u_{ums} + \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) + \tilde{\zeta}_i$$

mit $a_2, \tilde{a}_3, u_{ums} > 0$ und $a_1^j \geq 0 \forall j$

(229)

$k_{od}^j(i)$ bezeichnet den Preis der j-ten Kategorie der Route i , a_1^j ist sein spezifischer Präferenzenkoeffizient. Hierbei ist eine Interpretation möglich, bei der die Präferenzenkoeffizienten der einzelnen Preiskategorien mit dem ursprünglichen Präferenzenkoeffizient der Gleichung (227) über einen Bedeutungsfaktor γ_j – beispielsweise interpretierbar als Anteil - in Verbindung stehen:

$$a_1^j := a_1 \cdot \gamma_j$$
(230)

Damit wird dann Gleichung (229) zu:

$$u_{od}(i) = \tilde{u}_s(i) - a_1 \cdot \sum_{j=1}^8 \gamma_j \cdot k_{od}^j(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u_{ums} + \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) + \tilde{\zeta}_i$$

mit $a_1, a_2, \tilde{a}_3, u_{ums} > 0$

(231)

In diesem Fall ist a_1 ähnlich dem allgemeinen Verkehrsmodell interpretierbar als ein allgemeiner Bewertungskoeffizient für den Flugpreis. γ_j bezeichnet die Wichtigkeit der verschiedenen Preisstufen, mit:

$$\gamma_j \geq 0 \quad \forall j$$
(232)

Zusätzlich können diese Koeffizienten normiert werden durch:

$$\sum_{j=1}^8 \gamma_j := 1 \quad (233)$$

Eine solche Normierung ist immer möglich und legt eine Interpretation der verschiedenen γ_j als effektive Anteile der Preistarife bei der Bildung eines effektiven Preises nahe. Ein solcher effektiver Preis kann dann definiert werden durch:

$$k^{eff}_{od}(i) := \sum_{j=1}^8 \gamma_j \cdot k_{od}^j(i) \quad (234)$$

Damit entspricht der effektive Preis dem durch die einzelnen γ_j gewichteten Durchschnittspreis der acht Preiskategorien. Mit diesen Definitionen eines effektiven Preises und eines effektiven Präferenzenkoeffizienten vereinfacht sich Gleichung (231) zu:

$$u_{od}(i) = \tilde{u}_s(i) - a_1 \cdot k^{eff}_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u_{ums} + \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) + \tilde{\zeta}_i$$

mit $a_1, a_2, \tilde{a}_3, u_{ums} > 0$

(235)

Die additive Verknüpfung der acht Preisterme in der Nutzenfunktion entsprechend der acht verschiedenen Preiskategorien macht daher eine Modellierung mittels effektiver Anteile, effektiver Preise und nur eines effektiven Präferenzenkoeffizienten für die Flugkosten möglich.

Da bei einer Kalibrierung jedoch in aller Regel die effektiven Anteile nicht bekannt sein dürften – es sei denn, man erhält entsprechende Daten direkt von den Fluggesellschaften – sind ihre direkten Ergebnisse die acht tarifspezifischen Präferenzenkoeffizienten a_1^j . Mit Hilfe der obigen Definitionen lassen sich diese jedoch plausibel interpretieren, indem in Folge die effektiven Anteile der Kategorien und nur ein effektiver Präferenzenkoeffizient bestimmt werden. Die Relation zwischen dem allgemeinen Präferenzenkoeffizienten sowie den Anteilen einerseits und den preiskategoriespezifischen Präferenzenkoeffizienten andererseits ist hierbei eineindeutig.

Der Serviceterm der Nutzenfunktion einer Route, $\tilde{u}_s(i)$, lässt sich repräsentieren durch die Bewertung des Services, Komforts und der wahrgenommenen Sicherheit vor allem der entsprechenden Fluggesellschaft, $u_{FG}(i)$. Im Falle eines Umsteigeflugs wird zusätzlich noch der gewählte Umsteigeort und -flughafen mitbewertet. Dies betrifft die Bequemlichkeit des Umsteigens und den Service am Flughafen, aber auch die erwartete Verspätung. $u_{UFH}(i)$ berücksichtigt die durch die Wahl des Umsteigeflughafens entstehenden Nutzenaspekte.

Zusätzliche, serviceschaffende Aspekte einer Flugroute, wie beispielsweise das verwendete Fluggerät, werden aufgrund der hohen zeitlichen Aggregation nicht explizit benutzt, aber können als ein in dem Fluggesellschaftsterm implizit auftretender Aspekt interpretiert werden. Dann ist:

$$\tilde{u}_s(i) := u_{FG}(i) + \delta_{ums}(i) \cdot u_{UFH}(i) \quad (236)$$

Damit wird die Nutzenfunktion der Route der Gleichung (235) zu:

$$u_{od}(i) = u_{FG}(i) - a_1 \cdot k_{od}^{eff}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u_{ums} + u_{UFH}(i) + \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) + \tilde{\zeta}_i$$

mit $a_1, a_2, \tilde{a}_3, u_{ums} > 0$

(237)

Gleichung (219), aber auch (220), (221), (222) und (224) des Abschnitts 4.4 zeigen, dass die Stromgrößen der verschiedenen Wahlalternativen nur abhängig sind von der Differenz ihrer Nutzenfunktionen, nicht aber von deren absolutem Wert.

Die in den folgenden durchgeführten Rechnungen benutzte Nutzenfunktion ist translationsinvariant. Damit liefert eine entsprechend transformierte Nutzenfunktion identische Ergebnisse:

$$u_{od}(i) = u_{FG}(i) - a_1 \cdot k_{od}^{eff}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u_{ums} + u_{UFH}(i) + \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) + \tilde{\zeta}_i + c$$

mit $a_1, a_2, \tilde{a}_3, u_{ums} > 0$

(238)

c ist hierbei eine beliebige Konstante. Eine Interpretation als Serviceterm führt zu folgender Nutzenfunktion mit identischen Stromgrößen:

$$u_{od}(i) = [u_{FG}(i) - u_{FG}(j)] - a_1 \cdot k_{od}^{eff}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u_{ums} + [u_{UFH}(i) - u_{UFH}(j)] + \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) + \tilde{\zeta}_i \quad \text{mit } a_1, a_2, \tilde{a}_3, u_{ums} > 0 \quad (239)$$

$u_{FG}(j)$ bezeichnet für alle Routen i identisch den Serviceterm einer Fluggesellschaft einer beliebig gewählten Route j , $u_{UFH}(j)$ den des entsprechenden Umsteigeflughafens.

Service lässt sich quantitativ nur im Rahmen einer Befragung der Passagiere³⁴⁸ und auch dann nur unscharf messen. Damit sind obige Serviceterme nicht direkt zu messen. Da sie nur ex post als Ergebnis der Kalibrierung angegeben werden können, ist es sinnvoll, einen bestimmten Term für beide verschiedenen Serviceaspekte der Nutzenfunktion festzulegen.

Daher werden der Serviceterm der wichtigsten Fluggesellschaft, der Lufthansa, und des wichtigsten Umsteigeflughafens, Frankfurt, als relativer Vergleichspunkt gleich null gesetzt. Sämtliche anderen Serviceterme geben damit den Unterschied relativ zu diesen an. Dies ist sinnvoll, da so die Anzahl der Kalibrierungsparameter reduziert werden kann, ohne die geringste negative Auswirkung auf die Genauigkeit der Modellbildung zu haben.

Ausgangspunkt weiterer Rechnungen bleibt dann die Nutzenfunktion der Gleichung (238) zusammen mit den beiden Normierungen für die Lufthansa und Frankfurt:

$$u_{FG=LH} := 0 \quad \text{und} \quad u_{UFH=FRA} := 0 \quad (240)$$

Das Definieren des Nutzens des Umsteigevorgangs für Frankfurt ist zulässig, da in diesem Fall ein eventueller konstanter Nutzen dieses Flughafens relativ zum Direktflug durch eine Translation der Konstante des Umsteigevorgangs aufgefangen wird und analog relativ zu den anderen Umsteigeflügen durch eine Translation der Nutzenkoeffizienten der Umsteigeflughäfen zu keiner Veränderung der modellierten Passagierströme führt.

³⁴⁸ Chang2001 407.

Gleichung (238) lässt jedoch einen wichtigen Aspekt der Entscheidung von Passagieren unberücksichtigt: Die Kundenbindungsprogramme. Deshalb ist für jene Passagiere, die Mitglied in einem Kundenbindungsprogramm sind, ein zusätzlicher Nutzen entstehend durch die Mitgliedschaft in die Nutzenfunktion, $u_{KB}(i)$, hinzuzufügen. Als zusätzliche binäre Variable lässt sich dann definieren:

$$\delta_{KB}(i, k) = \begin{cases} 1 & \text{falls Person } k \text{ Kundenbindungsprogramm der Route } i \text{ besitzt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (241)$$

Exel definiert den zusätzlichen Nutzen, den ein Reisender durch ein Saisonticket für ein öffentliches Transportmittel hat, als binäre Konstante³⁴⁹. Dies ist dem Kundenbindungsprogramm bei Fluggesellschaften analog.

Der Nutzen der Kundenbindungsprogramme kann für verschiedene Fluggesellschaften unterschiedlich sein. Damit bei der Kalibrierung gute Ergebnisse nicht durch eine Vielzahl von Kalibrierungsparametern, sondern aufgrund eines kausal plausiblen Ansatzes erreicht werden und da davon auszugehen ist, dass die verschiedenen Fluggesellschaften ähnlich attraktive Kundenbindungsprogramme besitzen, wird für die weitere Rechnung von einem identischen Nutzen, $u_{KB}(i) \equiv u_{KB} \forall i$, für alle Kundenbindungsprogramme ausgegangen. Bei entsprechend höherer Anzahl an verfügbaren Daten ist eine Verwendung verschiedener Nutzen der Kundenbindungsprogramme für die jeweiligen Fluggesellschaften eine optionale Möglichkeit. Aufgrund der geringen Anzahl verfügbarer Datensätze wurde hier ein identischer Nutzen für alle Kundenbindungsprogramme angenommen.

Die Güte der Kalibrierungsergebnisse einer solchen Modellierung ist damit schlechter als bei einer fluggesellschaftsspezifischen Modellierung. Dennoch wurde bei der Kalibrierung im weiteren aus Kausalitätsgründen bewusst darauf verzichtet. Damit wird die Nutzenfunktion zu:

Nutzenfunktion der Flugroutenwahlentscheidung

$$u_{od}(i, k) = u_{FG}(i) - a_1 \cdot k^{eff}_{od}(i) - a_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u_{ums} + u_{UFH}(i) + \tilde{a}_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) + \tilde{\zeta}_i + u_{KB} \cdot \delta_{KB}(i, k) \quad \text{mit } a_1, a_2, \tilde{a}_3, u_{ums}, u_{KB} > 0 \quad (242)$$

³⁴⁹ Exel2001 21.

Während alle Terme der Nutzenfunktion der Gleichung (238) für die betrachtete Personengruppe nur abhängig von der Route sind und sich individuelle Unterschiede nur in dem stochastischen Zusatzterm ausdrücken, enthält Gleichung (242) mit dem Nutzen des Kundenbindungsprogramms in der Definition der binären Variable zusätzlich einen Bezug zu den Eigenschaften des Reisenden. Dies hat im folgenden für die Modellierung der Reisesströme - auf die im nächsten Abschnitt eingegangen wird - eine große Bedeutung und verkompliziert das in Abschnitt 4.4 entwickelte, einfache, allgemeine Logitmodell.

Eine derartig umfangreiche Modellierung für die Nutzenfunktion der Flugroutenwahlentscheidung existiert nicht. Bisherige Modellierungen für den Bereich der Flugroutenwahlentscheidung sind selten. Die oben bereits mehrfach erwähnten bestehenden Modelle von Adler und Veldhuis hatten als Ziel die Beurteilung der Wettbewerbsfähigkeit von zueinander in Konkurrenz stehenden Netzwerkstrukturen. Die dabei entwickelten Modelle haben den Nachteil, dass weniger Einflussvariablen betrachtet werden als bei obigem Modell und daher wesentliche Vereinfachungen und Ungenauigkeiten in der Modellierung entstehen. Zusätzlich bleibt bei diesen die lineare Einbeziehung der Frequenz in der Nutzenfunktion unklar. Eine Interpretation über die Wartezeit scheint hier plausibler.

5.2 Entwicklung eines neuen allgemeinen Modells zur Bestimmung der Passagierströme bei der Flugroutenwahl

Ausgehend von der im letzten Abschnitt entwickelten Nutzenfunktion der Reisenden für die alternativen Flugrouten wird im folgenden auf der Basis des Logitmodells des Abschnitts 4.4 ein Modell zur Angabe der Stromgrößen der verschiedenen Flugrouten hergeleitet.

Hierbei kommt den Kundenbindungsprogrammen eine besondere Rolle zu. Sie weisen einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzenfunktion auf, wobei dieser nicht nur in Bezug zur jeweilig betrachteten Route sondern auch zum Passagier selbst steht. Damit weiterhin eine makroskopische Modellierung möglich ist, und nicht die individuelle Nutzenfunktion der Passagiere den Ausgangspunkt der Analyse darstellt, ist es notwendig eine Bündelung der Passagiere nach ihren Mitgliedschaften in den verschiedenen Kundenbindungsprogrammen zu erreichen.

Geht man davon aus, dass die betrachtete Routenstruktur Routen mit q verschiedenen Kundenbindungsprogrammen aufweist, dann ergibt sich die Anzahl an Personengruppen, die aufgrund ihrer Mitgliedschaft in den Kundenbindungsprogrammen für das Set der betrachteten Routen unterschiedliche Nutzenfunktionen besitzt, zu 2^q .

Diese Anteile sind im Vorhinein nicht bekannt und müssten daher durch die Kalibrierung bestimmt werden. Allerdings erzwingt die niedrige Zahl an Datensätzen eine Verringerung dieser zusätzlichen Kalibrierungsparameter. Dies lässt sich nur durch weitere Annahmen erreichen. Hierbei sind zwei Alternativen denkbar:

- Die Wahrscheinlichkeit der Mitgliedschaft in einem Kundenbindungsprogramm beeinträchtigt nicht jene in einem anderen Kundenbindungsprogramm, sie sind nicht miteinander korreliert. In diesem Fall sind bei der Modellierung weiterhin 2^q Personengruppen nötig, deren Anteile werden aber durch nur q verschiedene Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Kundenbindungsprogramme eindeutig bestimmt.
- Man geht davon aus, dass jeder Passagier mit mehreren Kundenbindungsprogrammen darunter eine besitzt, die für ihn von besonderer Bedeutung ist. Diese Argumentation wird durch den mehr als linearen Charakter des Nutzens eines Kundenbindungsprogramms – wie im Abschnitt 1.4.4 erläutert – gestützt. Dann lässt sich eine Modellierung wählen, bei der jeder Passagier –

falls überhaupt Mitglied in mindestens einem Kundenbindungsprogramm - genau einem zugeordnet wird. Auf diese Weise erhält man lediglich $q + 1$ Personengruppen. Die Anzahl der durch eine Kalibrierung zu bestimmenden Parameter beträgt in diesem, wie im obigen Fall, genau q .

Die beiden oben angegebenen zusätzlichen Annahmen sind plausible Vereinfachungen. Die eindeutige Zuordnung einer Person zu einem, für ihn effektiven Kundenbindungsprogramm hat neben der hohen Plausibilität aufgrund der Struktur der Kundenbindungsprogramme den Vorteil einer erheblich vereinfachten Modellierung. Daher wird diese eindeutige Zuordnung einer Person zu (maximal) einem Kundenbindungsprogramm in Folge benutzt. Diese Zuordnung geschieht reisespezifisch, nicht personenspezifisch, die eindeutige Zuordnung einer Person zu einem Kundenbindungsprogramm wird je von ihm unternommener Reise jeweils einzeln vorgenommen.

Geht man - für eine vereinfachte Darstellung - davon aus, dass bei den betrachteten alternativen Route jede genau einer Fluggesellschaft eineindeutig zugeordnet wird und beträgt auf der Route i der Anteil an Personen mit einem gültigen Kundenbindungsprogramm $m(i)$, dann ist der Erwartungswert der Stromgröße ausgehend von Gleichung (224), Abschnitt 5.4:

$$E\langle N(i) \rangle = N_{ges} \cdot \left[m_{okb} \cdot \frac{\exp(u_{det}(i))}{\sum_k \exp(u_{det}(k))} + m(i) \cdot \frac{\exp(u_{det}(i) + u_{KB})}{\exp(u_{det}(i) + u_{KB}) + \sum_{k \neq i} \exp(u_{det}(k))} + \sum_{j \neq i} m(j) \cdot \frac{\exp(u_{det}(j))}{\exp(u_{det}(j) + u_{KB}) + \sum_{k \neq j} \exp(u_{det}(k))} \right] \quad (243)$$

Hierbei ist m_{okb} der Anteil an Personen ohne jedes Kundenbindungsprogramm.

Anschaulich lässt sich jeder Summand interpretieren als Produkt der Gruppengröße ($N \cdot m$) und des Anteils der Personen dieser Gruppe, die eben diese Route wählen (Quotient der Exponentialfunktionen).

Aufgrund der Eineindeutigkeit der Zuordnung von Routen zu Kundenbindungsprogrammen und Fluggesellschaften ergibt sich zusätzlich die Normierung der Anteile durch:

$$m_{okb} + \sum_j m(j) = 1 \quad \text{mit } m(j) \geq 0 \forall j \quad (244)$$

Die Summierung über j und k entspricht allen alternativ wählbaren Routen. $u_{\text{det}}(i)$ beschreibt den deterministischen Teil der Nutzenfunktion der Gleichung (238), Abschnitt 6.1, also ohne Berücksichtigung des zusätzlichen Nutzens des Kundenbindungsprogramms.

Die eindeutige Zuordnung stellt hierbei keine prinzipielle Modelleinschränkung dar, sondern dient lediglich der Steigerung der Übersichtlichkeit der Darstellung. Für die in Kapitel 6 durchgeführte Rechnung und Kalibrierung trifft diese Eineindeutigkeit der Zuordnung nicht exakt zu, lässt sich aber durch eine kleine relationsspezifische Modifikation anpassen.

In Gleichung (243) wird der Erwartungswert der Reisendenzahl einer Route durch Summierung über drei Terme entsprechend ihrer Mitgliedschaft in einem Kundenbindungsprogramm erreicht:

- Für die Personen ohne jedes Kundenbindungsprogramm ändert sich der Anteil der gewählten Routen im Vergleich zu Gleichung (224), Abschnitt 4.4, nicht.
- Der Anteil der Personen, die ein Kundenbindungsprogramm für die betrachtete Route aufweisen, steigt gegenüber dem der Gleichung (224). Dieser Anstieg ist umso größer, je höher der zusätzliche Nutzen des Kundenbindungsprogramms ausfällt.
- Für die Personen, die ein Kundenbindungsprogramm für eine andere als die betrachtete Route besitzen, fällt deren Anteil. Diese Abnahme ist umso stärker, je größer der zusätzliche Nutzen des Kundenbindungsprogramms und je attraktiver das Angebot mit dem entsprechenden Kundenbindungsprogramm, $u_{\text{det}}(j)$, ist.

Gleichung (243) erfüllt bei Summierung über alle möglichen Routen die Normierungsbedingung:

$$\sum_k E\langle N(k) \rangle = N_{\text{ges}} \quad (245)$$

Mit Gleichung (243) ist es gelungen, die individuelle Darstellung der Nutzenfunktion auf eine Makroebene für die betrachteten Passagiere zu übertragen. Dies ist nur um den Preis einer zusätzlichen Annahme – jeder Passagier hat (maximal) ein effektives Kundenbindungsprogramm - und q weiterer Kalibrierungsparameter zu erreichen.

Die Nutzenfunktion ändert sich durch ein gültiges Kundenbindungsprogramm wesentlich durch Hinzufügen eines weiteren Elements. Zusätzlich ist denkbar, dass die subjektiven Elemente der Nutzenfunktion, also die Serviceaspekte und Präferenzenkoeffizienten für bestimmte Personengruppen wesentlich von denen anderer abweichen. Hierfür ist eine mögliche Ursache die unterschiedlicher Sensitivitäten – vor allem bezüglich des Preises – bedingt durch eine differierende Einkommenssituation, eine andere die Annahme ähnlicher subjektiver Bewertungen für Reisende eines bestimmten Reiseanlasses.

Flugreisende werden bezüglich ihres Reisegrunds, wie bereits in den Abschnitten 3.2.2 und 3.2.3 verwandt, vor allem in Geschäfts- und Privatreisende unterteilt³⁵⁰. Für diese kann dann von relativ homogenen Eigenschaften bezüglich der Bewertung von Reiseeigenschaften ausgegangen werden³⁵¹. Hartung argumentiert allerdings, dass die Homogenität der Reisendengruppen abnimmt³⁵². Einen Beleg dafür liefert er jedoch nicht.

Geht man bei diesen von unterschiedlichen repräsentativen Bewertungen und Präferenzenkoeffizienten aus, ist bei Gleichung (243) im folgenden getrennt über Geschäfts- und Privatreisende zu summieren:

$$E\langle N(i) \rangle = \sum_l N^l_{ges} \cdot \left[m^l_{okb} \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i))}{\sum_k \exp(u^l_{det}(k))} + m^l(i) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i) + u^l_{KB})}{\exp(u^l_{det}(i) + u^l_{KB}) + \sum_{k \neq i} \exp(u^l_{det}(k))} \right. \\ \left. + \sum_{j \neq i} m^l(j) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i))}{\exp(u^l_{det}(j) + u^l_{KB}) + \sum_{k \neq j} \exp(u^l_{det}(k))} \right] \\ \text{mit } l \in \{ge, pr\}$$

(246)

l bezeichnet die verschiedenen Reiseanlässe und kann unterteilt werden in Geschäftsreisen, ge , und Privatreisen, pr .

Entsprechend sind in Gleichung (246), die Gesamtzahl der Reisenden einer Relation, die Anteile der Personen mit und ohne Kundenbindungsprogramm, der deterministische Teil der Nutzenfunktion und der zusätzliche Nutzen durch ein solches Kundenbindungsprogramm jeweils nach dem Reiseanlass der Personen indiziert. Gleichung (246) enthält daher aufgrund ihrer Unterteilung gemäß der Kundenbindungsprogramme und für die beiden alternativen Reiseanlässe eine Summierung über $2q + 2$ Personengruppen.

³⁵⁰ Clemons2002 536ff.

³⁵¹ Quandt1972a 12.

Die Unterteilung der Personengruppen nach dem Reiseanlass hat im wesentlichen aus zwei Gründen Berechtigung: Auch wenn Überschneidungen zwischen den beiden Personengruppen bezüglich der in ihnen betrachteten Personen bestehen, ist ihre Zusammensetzung doch unterschiedlich. Auch die Gewichtung der Personen, die in beiden Gruppen auftauchen, differiert. Weiter führt der unterschiedliche Anlass zu einer abweichenden Erwerbssituation der Reise und damit zu unterschiedlichen subjektiven Bewertungen.

Der Geschäftsreisende ist häufig selbst nicht die Person, die für die Kosten der Reise aufkommt, entsprechend verschieben sich seine Entscheidungskriterien. Er wird weniger preissensitiv, dafür gewinnen bei ihm Service-, Sicherheits-, Komfort- und Zeitaspekte an Bedeutung.

In der Literatur werden zuweilen je nach Problemstellung mehr, kleinere Gruppen bei der Unterteilung der Reisenden gewählt. So wird in Abschnitt 3.2.2 der Strom der Privatreisenden getrennt in solche, die Verwandte und Bekannte besuchen, sowie in diejenigen, die in den Urlaub fliegen. Dies ist bei der Bestimmung der Korrelation der Stromgrößen zu den Eigenschaften des Zielorts auch sinnvoll, da für beide Teilströme unterschiedliche Eigenschaften des Zielgebiets die Menge der Reisenden determinieren.

In dem hier betrachteten Fall ist dies jedoch unnötig. Bei den betrachteten Personengruppen handelt es sich um nahezu identische Personengruppen. Dazu kommt, dass in beiden Fällen die Personen selbst für die Kosten ihrer Reise aufkommen. Daher ist es zu erwarten, dass in beiden Fällen identische oder zumindest sehr ähnliche Präferenzenkoeffizienten das Wahlverhalten der Privatreisenden bestimmen.

Hinzu kommt, dass bei den national und international erhobenen Daten bei einer eventuellen Erfassung des Reisegrunds nur eine Trennung zwischen Privat- und Geschäftsreisenden erfolgt.

Einige der Urlaubsreisenden wählen jedoch ihren Flug nicht unabhängig von ihrer Urlaubsreise, diese werden hier und im folgenden Pauschalreisende, pa , genannt. Lediglich die Restprivatreisenden, rp , treffen tatsächlich eine Routenwahlentscheidung.

Die Modellierung der Routenströme lässt sich aber auch bei nun drei verschiedenen Reiseanlässen durch eine kleine Modifikation der Gleichung (246) bewerkstelligen. Dies ist möglich, da nahezu sämtliche Pauschalreisende direkt, also ohne Umsteigen, reisen. Der Reiseveranstalter gestaltet die Frequenz seiner Flüge nach der Nachfragemenge derart, dass für ihn möglichst geringe Transportkosten entstehen, was durch eine maximale Auslastung der Flugzeuge und einen Direktflug verwirklicht werden kann.

Die eigentlich Wahlmöglichkeit der Route eines Pauschalreisenden beschränkt sich auf die Auswahl des Startflughafens, auf die Route hat er keinen wesentlichen Einfluss. Damit wird Gleichung (246) zu:

Modell der Flugroutenwahl

$$E\langle N(i) \rangle = \sum_l N_{ges}^l \cdot \left[m_{okb}^l \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(i))}{\sum_k \exp(u_{det}^l(k))} + m^l(i) \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(i) + u_{KB}^l)}{\exp(u_{det}^l(i) + u_{KB}^l) + \sum_{k \neq i} \exp(u_{det}^l(k))} \right. \\
 \left. + \sum_{j \neq i} m^l(j) \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(i))}{\exp(u_{det}^l(j) + u_{KB}^l) + \sum_{k \neq j} \exp(u_{det}^l(k))} \right] \\
 + N_{ges}^{pa} \cdot \delta_{dir}(i) \quad \text{mit } l \in \{ge, rp\}$$

(247)

Im Gegensatz zu Gleichung (246) wird bei dem Term der großen eckigen Klammer nun über die beiden Personengruppen der Geschäftsreisenden und der Restprivatreisenden summiert. N_{ges}^{pa} bezeichnet die Anzahl der Pauschalreisenden einer Relation, die sämtlich direkt reisen. Um dies anzuzeigen wird eine weitere binäre Variable eingefügt:

$$\delta_{dir}(i) = \begin{cases} 1 & \text{falls Route } i \text{ Direktflug} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

(248)

Für diese ist:

$$\delta_{dir}(i) + \delta_{ums}(i) = 1 \forall i$$

(249)

Weiter gilt die Identität der Privatreisendenströme:

$$N_{ges}^{pa} + N_{ges}^{rp} = N_{ges}^{pr}$$

(250)

Mit Gleichung (247) ist das allgemeine Logitmodell der Gleichung (224), Abschnitt 4.4, auf den Fall der Routenwahlmöglichkeit unter Berücksichtigung der verschiedenen Kundenbindungsprogramme und der drei Reisendengruppen der Geschäfts-, Pauschal- und Restprivatreisenden erweitert. Es stellt zusammen mit der entwickelten Nutzenfunktion der Flugroutenwahlentscheidung, Gleichung (242), die Grund-

lage für eine quantitative Beschreibung - und folgend auch Prognose - der Anteile der verschiedenen Routen dar.

Eine weitere Unterteilung der Personen in Gruppen ähnlicher Präferenzenkoeffizienten könnte neben dem Reiseanlass nach dem Einkommen getroffen werden. Reisende ähnlichen Einkommens sollten sich in einer normativen Theorie praktisch identisch gegenüber ihrer Preisbewertung und in einer deskriptiven Theorie zumindest ähnlich verhalten. Jedoch sind Angaben über das Einkommen der Reisenden bei den Daten ebenso wie andere soziale oder sonstige personenspezifische Variablen nicht zu erhalten und sollten daher in dieser Theorie keine Verwendung finden. Das Einkommen ist damit lediglich implizit in den verschiedenen Gruppen spezifisch des Reiseanlasses berücksichtigt.

Das entwickelte Modell hat gegenüber den wenigen vorhandenen Modellen im Bereich der Flugwahlentscheidungen (siehe Adler und Veldhuis) vier wesentliche Vorteile:

- Es ist spezifisch für den Fall der Flugroutenwahlentscheidung und damit einzig.
- Es berücksichtigt mehr der im Kapitel 1 und im folgenden eindeutig festgestellten wichtigen Einflussvariablen für die Entscheidung der Passagiere. Es ist damit detaillierter.
- Es berücksichtigt als einziges umfassend den Aspekt der Kundenbindungsprogramme.
- Es interpretiert die Frequenz eines Fluges über seine Inverse: Die Zeit, damit ist ein Vergleich in der Nutzenfunktion einfach und plausibel. Die lineare Einbindung der Frequenz in der Nutzenfunktion bei anderen Modellen mag dahingegen weniger überzeugen.

6 Interpretation der Ergebnisse und Prognosefähigkeit des Routenwahlmodells

In den beiden zurückliegenden Kapiteln ist es gelungen, auf der Basis der Entscheidungssituation von Individuen ein Modell der Verkehrswahlentscheidung im allgemeinen und der Flugroutenwahlentscheidung im speziellen zu entwickeln. Beides existiert in dieser Art in der Literatur bisher nicht.

In diesem Kapitel werden ausgehend von der vorhandenen Datengrundlage und einer gewählten Kalibrierungsmethodik die Ergebnisse dieser Modellbildung vorgestellt und bewertet. Im Anschluss wird abschließend die Methode einer Übertragung dieser, in ihrem Wesen deskriptiven, Modellierung für Prognosezwecke vorgestellt und deren Grenzen aufgezeigt.

Beginnend wird im folgenden Abschnitt 6.1 die Datengrundlage, auf der die folgenden Ergebnisse beruhen, vorgestellt. Deren Beschränktheit hat wesentlichen Einfluss auf die Modellierung, wie ihre Güte auf die der Ergebnisse.

Anschließend wird im Abschnitt 6.2 gezeigt, mit welcher Methode die Kalibrierungsgrößen bestimmt werden, welche zusätzlichen Annahmen zu treffen sind, und welche Folgen sich für die Güte und Eindeutigkeit der Ergebnisse ergeben.

Abschnitt 6.3 stellt die so ermittelten Ergebnisse der Zielgrößen für den Fall des innereuropäischen Personenluftverkehrs vor, testet diese auf Plausibilität, interpretiert und bewertet sie.

Analog erfolgt im Abschnitt 6.4 eine Darstellung und Bewertung der Ergebnisse für den transatlantischen Personenluftverkehr.

In Abschnitt 6.5 werden die Ergebnisse der beiden beispielhaft herausgegriffenen Routengruppen verglichen. Darauf aufbauend wird die Fähigkeit zur Verallgemeinerung der Modellbildung und ihrer Ergebnisse auf weitere Betrachtungsfelder diskutiert.

Mit den Abschnitten 6.3, 6.4 und 6.5 ist eine deskriptive, kalibrierte Modellierung zur Abbildung aktueller Fluggastströme gelungen. Abschnitt 6.6 erklärt, wie dies die Grundlage einer Routenstromgrößenmodellierung der Zukunft bilden kann. Hierbei werden die Fähigkeiten und Grenzen einer Nutzung zur Prognose mittel- bis langfristiger Dauer erarbeitet.

Zur Automatisierung einer solchen Prognose ist eine einfache Prognoseoberfläche entwickelt worden, die in Abschnitt 6.7 kurz mit ihren Ein- und Ausgabemöglichkeiten präsentiert wird.

Abschließend illustriert Abschnitt 6.8, dass eine Prognose zukünftiger Routenverkehrsströme auf der Basis der vorgestellten Modellierung die Kenntnis zukünftiger Angebotsstrukturen erfordert, wie dies auch Abbildung 1 zeigt. Diese können nur sinnvoll per Szenariotechnik gewählt werden. Hier werden eine Begründung dieser Vorgehensweise und Angaben, welche Größen bei der Definition der Szenarien vorzugeben sind, sowie Hilfen zur Erstellung solcher Szenarien vorgestellt.

6.1 Datenmaterial

Die Güte einer Modellbildung, ihrer Kalibrierung und des Tests ihrer Aussagen wächst mit zunehmender Menge an Daten und deren qualitativer Genauigkeit. Ein Ziel einer jeden anwendungsorientierten Modellbildung muss es daher sein, ihre Thesen an möglichst vielen und guten Daten zu testen.

Für eine kausale Modellierung auf der Aggregierungsebene von Routen ist es, wie die Modellbildung des Kapitels 5 zeigt, vor allem wichtig, Daten über die anlassspezifischen Passagierzahlen der betrachteten Routen zu gewinnen. Auch routenspezifischen Eigenschaften wie der Flugfrequenz, der Flugdauer und dem Preis kommt eine große Bedeutung zu. Zusätzlich sind weitere Informationen, wie beispielsweise über die Verbreitung und Benutzung der Kundenbindungsprogramme, hilfreich.

Wie im Abschnitt 5.1 bereits angedeutet wurde, ist die Bestimmung repräsentativer Preise für eine Route sehr schwierig. Die fehlende Eindeutigkeit der Preise hat mehrere Ursachen:

- Es werden verschiedene Preis- und Restriktionskategorien angeboten, wobei sich die Restriktionen zwischen den Fluggesellschaften ändern und teilweise sogar für die gleiche Gesellschaft auf unterschiedlichen Flugrouten verschieden sind. Dieses Problem lässt sich durch die Benutzung mehrerer, hier acht, Preise für verschiedene Kategorien begrenzen.
- Die Preise verändern sich im Laufe der Zeit, sogar innerhalb eines Tages. Somit ist die Bestimmung eines Flugpreises stark abhängig vom Bestimmungszeitpunkt. Eine mehrfache Abfrage der Preise für eine Route macht die Bildung von Mittelwerten für die Kategorien möglich.
- Angebotene und tatsächlich bezahlte Preise müssen nicht notwendig identisch sein. Das Angebot der einzelnen Kategorien kann teilweise schnell erschöpft sein, so dass dieses für den Reisenden nicht mehr buchbar ist. Nicht oder nur wenig verfügbare Angebote stellen sich bei der Kalibrierung durch niedrige Gewichtungen der jeweiligen Preiskategorie dar.
- Teilweise wird der konkrete Preis für den (Pauschal-)Reisenden durch Zwischenschaltung eines Mittlers verschleiert. Pauschalreisende werden in der benutzten Modellierung daher getrennt betrachtet.
- Für den transatlantischen Bereich sind die offiziell angegebenen Preise – ohne Berücksichtigung ihrer tatsächlichen Verfügbarkeit – nahezu für sämtlichen Fluggesellschaften einer beliebigen transatlantischen Relation identisch.

Die acht gewählten Kategorien werden mit aufsteigendem durchschnittlichen Preis bezeichnet als: Best-Direct Price, Jugend-, Superspar-, Spar-, Economy 1-, Economy 2-, Full Economy- und Businessstarif. Die Benennung der Tarife orientiert sich dabei nach den von den Fluggesellschaften – vor allem der Lufthansa - gewählten Bezeichnungen. Wichtiger als deren Benennung sind jedoch die mit den Tarifen verbundenen Restriktionen. Diese werden bei den Fluggesellschaften unterschiedlich gehandhabt, dennoch ist es möglich, mit diesen acht Preiskategorien identische oder zumindest ähnliche Restriktionen für sämtliche Routen und Fluggesellschaften zu verknüpfen.

Ausgangspunkt einer jeden Preisanalyse waren die Daten des Systems AMADEUS. Diese lassen sich nur als Papiausdrucke abrufen. So erhält man eine Größenordnung von etwa 100 Preistarifen je Relation. Diese sind dann auf die verschiedenen Routen verhältnismäßig einfach über die Identifikation der anbietenden Fluggesellschaft zuzuordnen. Schwieriger ist es jedoch, dies in 8 repräsentative Preisgruppen zu unterteilen. Dazu ist es notwendig, jeden einzelnen Tarif in seiner Fluggesellschaftsspezifischen Definition händisch zu vergleichen. Der dafür benötigte Aufwand ist erheblich. Häufig fallen auch für eine Fluggesellschaft mehrere Tarife in die gleiche Preiskategorie. Gewählt wurde dann als Referenz der jeweils preiswerteste Tarif je Preisgruppe und Route. Der Ausdruck der hier betrachteten Relationen umfasst etwa 500 DIN A4 Seiten sowohl für den Bereich des innereuropäischen wie für den Bereich des transatlantischen Luftverkehrs. Im Anhang C findet sich ein Ausschnitt für eine Relation (Frankfurt - New York).

Die komplizierte, händische und damit zeitaufwendige Erstellung repräsentativer Preise ist der wesentliche Grund für die begrenzte Anzahl verfügbarer Daten. Dennoch ist es gelungen, in einem ausreichendem Maß Preisdaten für die beiden betrachteten Relationsgruppen innereuropäischer und transatlantischer Flüge mit Ursprung in Deutschland zu gewinnen.

Routenspezifische Passagierzahlen werden international nur bezüglich des Start-, Ziel- und des ersten Umsteigeflughafens angegeben. Eventuelle weitere Umsteigeflughäfen werden nicht ausgewiesen.

Zur Bestimmung der Daten war es notwendig aus einer mehrere hundert Seiten dicken vom Statistischen Bundesamt (siehe [StaBu2000] und [StaBu2001]) jährlich in Buchform herausgegeben Quelle der Passagierzahlen betreffend Flugreisen mit Startflughafen in der BRD die für die betrachteten Relationen zutreffenden Routenpassagierzahlen herauszusuchen. Hierbei sind die Daten in einer Matrix angeordnet. Für einen ausgewählten Zielflughafen sind als Spalten die deutschen Startflughäfen angegeben, als Zeilen die (ersten) Umsteigeflughäfen. Die Passagierzahlen treten dann als Matrixeinträge auf. Obwohl die so durchgeführte Arbeit händisch erledigt werden musste, war der Aufwand im Vergleich zur Preisanalyse niedrig. Dies lag daran, dass keine notwendige komplexe Interpretation und Aggregation

der Zahlen durchgeführt werden musste. Die Preisangaben stellen damit vom Umfang des notwendigen Aufwands den kritischen Datenteil dar. Auch von dieser Datenquelle findet sich für eine Relation ein Beispiel des Datenmaterials im Anhang C.

Für alle betrachteten Relationen liegen die Anzahlen der gesamt Reisenden sowie die Anteile der Geschäfts- und Privatreisen vor. Diese haben ihren Ursprung in einer Aufarbeitung der Daten der Fluggastbefragung des ADV von 1998. Leider ist im Rahmen der Arbeit mit dieser Datenquelle eine Vertraulichkeitsvereinbarung zu beachten, so dass hier keine Beispiele des Datenmaterials präsentiert werden können. Die Qualität der benutzten Daten kann jedoch aufgrund des großen Samples der Befragten als gut angenommen werden. Von Nachteil ist hingegen, dass Daten für eine solche Befragung nur alle etwa 5 Jahre ermittelt werden, da eine solche Befragung mit hohen Kosten verbunden ist. Pauschalreisende sind hierbei nicht extra ausgewiesen, dies ist bei der Kalibrierung im folgenden Abschnitt zu berücksichtigen.

Die Anteile der Geschäfts- und Privatreisenden auf der Ebene der routenspezifischen Betrachtung sind als Daten nicht ermittelt worden und können daher bei der Kalibrierung keine Verwendung finden.

Die einzelnen Fluggesellschaften geben für ihre Flüge die reinen Nettoflugzeiten an, diese liegen für die betrachteten Relationen vor. Auch die Flugfrequenz lässt sich ohne große Umstände angeben, ihre Einheit ist Flüge je Woche. Diese Daten lassen sich wieder über AMADEUS als Papiaausdrucke abrufen. Auch hier war es notwendig, von Hand die einer Flugroute zugehörigen Frequenzen zu addieren. Im Vergleich zur Preisbestimmung war der notwendige Aufwand dennoch geringer, da keine komplizierte Zuordnung (wie bei den einzelnen Tarifen zu den Referenzpreiskategorien) notwendig war. Auch hier waren wieder etwa 300 DIN A4 Seiten jeweils für den innereuropäischen und den transatlantischen Luftverkehr händisch auszuwerten. Ein Beispiel für den Ausdruck der Frequenzen (Hamburg – Frankfurt) findet sich im Anhang C.

Daten über die Anzahl der in ein Kundenbindungsprogramm der verschiedenen Fluglinien eingebundenen Personen sind nicht verfügbar, daher sind diese, wie in Abschnitt 5.2 ausführlich dargestellt, bei der Kalibrierung zu bestimmen.

Basisjahr der innereuropäischen Flüge ist das Jahr 2000, für die transatlantischen 2001.

Bedauerlicherweise treten in Folge der Anschläge vom 11. September sowie der Firmenzusammenbrüche von Sabena und Swissair für das Jahr 2001 gewisse Störungen auf, die aber dennoch – wie Abschnitt 6.4 zeigt – eine Anwendung des Modells auch für diesen Zeitraum und die erschwerten Rahmenbedingungen möglich macht.

Als repräsentativ für Europa sind die vier Regionen Italien, Skandinavien, Spanien und Großbritannien gewählt worden. Diese sind weitgehend heterogen und weisen einen stark unterschiedlichen Anteil an Geschäfts- und Privatreisen auf. Eine Modell, dem es gelingt, gleichzeitig für diese sehr unterschiedlichen Regionen das Verhalten der Passagiere abzubilden, sollte auch in der Lage sein, dies für die restlichen europäischen Zielregionen zu leisten.

Die Flughäfen der USA sind nach ihrer Lage in drei geographische Gebiete unterteilt worden: West, Mittel und Ost. Für die Betrachtung transatlantischer Flüge sind lediglich solche des östlichen Drittels herangezogen worden. Dort liegen die beiden passagierstärksten Flughäfen der Welt Atlanta und Chicago sowie die beiden wichtigsten Metropolen der USA, New York – mit den beiden großen Flughäfen Newark und J.F.K. - und Washington.

Da sich zu nahezu jeder innereuropäischen Relation eine Vielzahl attraktiver Flüge mit maximal einem Umsteigevorgang ausmachen lassen, ist dies für die innereuropäischen Flughäfen sicherlich unproblematisch. Flüge mit mehr als einem Umsteigevorgang sind für solche Relationen zu vernachlässigen.

Für interkontinentale Flüge ist dies aufgrund der Netzwerkstrukturen der international operierenden Allianzen nicht gewährleistet. Daher sind als us-amerikanische Flughäfen solche gewählt worden, denen eine besonders große Bedeutung zukommt und die an der Ostseite der USA gelegen sind.

Die betrachteten deutschen Ursprungsflughäfen sind für beide Relationsgruppen Frankfurt, München, Hamburg und Düsseldorf. Dies sind die wichtigsten und größten deutschen, internationalen Flughäfen.

Damit sind Relationen gewählt, die eine große durchschnittliche Passagierzahl aufweisen, die daher besonders wichtig sind und garantieren, dass eine Vernachlässigung der Routen mit zwei oder mehr Umsteigeflughäfen zu keinen größeren Verfälschungen des Ergebnisses führt.

Die Zuordnung einer Flugroute zu einer Fluggesellschaft erfolgt durch die Identifikation des Umsteigeflughafens. So entspricht Amsterdam der KLM, Paris der Air France, London British Airways, Zürich Swiss Air, Brüssel Sabena, Newark Continental sowie Frankfurt und München der Lufthansa.

Das der Modellbildung zugrunde liegende Datenmaterial wurde bestmöglich bearbeitet. Dennoch enthält dieses eine Anzahl an Einschränkungen, welche die Modellbildung teilweise erschweren:

- Alle Passagierzahlen liegen nur aggregiert über den Zeitraum eines Jahres vor, kürzere saisonale Schwankungen lassen sich deshalb nicht berücksichtigen.
- Es sind keine Daten über die Anzahl der in ein Kundenbindungsprogramm eingebundenen Personen verfügbar, weder für den Start- noch für den Endzustand der Prognose. Diese sind jedoch für die Modellierung von großem Einfluss. Dies hat zur Folge, dass aus dem zugrunde lie-

genden Datenmaterial indirekt deren Anzahl für den Startzustand bestimmt werden muss. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Zahl der an einem Kundenbindungsprogramm partizipierenden Personen auch für den Endzeitpunkt der Prognose einzubeziehen ist.

- Über die fluglinienspezifischen Attribute (wie verwendete Flugzeugtypen, Auslastung der Flugzeuge, Sicherheits-, Komfort-, Image- oder Serviceaspekte) sind keine verwertbaren Daten vorhanden. Für die Modellbildung bleibt damit nur die Möglichkeit einer impliziten Berücksichtigung derselben.
- Die Bestimmung repräsentativer Preise ist zwar aufwendig durchgeführt worden, dennoch unterliegen diese einer großen Zahl an Ungenauigkeiten (schnelle Veränderung, momentaner Charakter, unterschiedliche Restriktionen der verschiedenen Fluggesellschaften, Problem der Repräsentativität und der tatsächlichen Verfügbarkeit sowie der Zuordnung der einzelnen Tarifkategorien zu den Passagierzahlen). Auch ist den Pauschalreisenden kein direkter Preis zuzuordnen. Da den Preisen bei der Flugauswahl des Passagiers sicherlich eine große Bedeutung zukommt, ist eine Verwendung der so ermittelten Daten jedoch zwingend erforderlich. Die tatsächliche Repräsentativität der Preise macht deshalb das wichtigste datenbezogene Kriterium der Güte der gesamten Modellbildung aus. Damit stellt sie bei der Umsetzung der Modellierung auch die größte Herausforderung dar.
- Zahlen über Pauschalreisende werden nicht erhoben. Daher ist eine Schätzung oder implizite Berücksichtigung derselben, zumindest auf den Strecken, bei denen der Anteil der Pauschalreisenden am Gesamtaufkommen nicht vernachlässigbar ist, notwendig. Für die betrachteten Flugrouten ist der erwartete Anteil der Pauschalreisenden niedrig.
- Da keine präferenzenbezogenen Daten einer Fluggastbefragung berücksichtigt werden konnten, ist die Bestimmung der Wichtigkeit der einzelnen Entscheidungsparameter der Entscheidungsträger der Bestandteil der Modellierung, der die größte Bedeutung zukommt.

6.2 Kalibrierung

Nachdem mit den Ergebnissen des Kapitels 5 eine vollständige Modellierung der routenspezifischen Passagierströme auf abstrakter Ebene erreicht ist, wird ausgehend von den im letzten Abschnitt vorgestellten Daten eine Bestimmung der bisher unbestimmt gebliebenen Parameter angestrebt, welche die Passagierströme der betrachteten Routen und Relationen am besten beschreibt.

Hierzu sind die Variablen bei der Optimierung so zu wählen, dass das ermittelte Modell eine maximale Ähnlichkeit mit den tatsächlichen Werten aufweist^{353 354}. Ähnlichkeit kann unterschiedlich definiert werden.

Für die hier betrachtete Kalibrierung ist aufgrund ihrer vielen Vorteile und der häufigen Verwendung die Methode der kleinsten Quadrate als Minimierungsprinzip gewählt worden (siehe Anhang B). Zielgrößen der Modellierung sind die routenspezifischen Passagierzahlen. Der Erwartungswert einer ausgewählten Route i , wie im Abschnitt 5.2 vorgestellt, wird bezeichnet mit $E\langle N(i) \rangle$. Allgemein sei $E\langle N(i, od) \rangle$ der Erwartungswert einer Route i einer beliebigen Relation od . Dieser wird bei vorgegebenen Reiseeigenschaften in Abhängigkeit der Entscheidungsvariablen mittels Gleichung (247), Abschnitt 5.2, rechnerisch bestimmt durch:

$$\begin{aligned}
 E\langle N(i, od) \rangle = \sum_l N^l(od)_{ges} \cdot & \left[m^l_{okb} \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i, od))}{\sum_k \exp(u^l_{det}(k, od))} \right. \\
 & + m^l(i) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i, od) + u^l_{KB})}{\exp(u^l_{det}(i, od) + u^l_{KB}) + \sum_{k \neq i} \exp(u^l_{det}(k, od))} \\
 & \left. + \sum_{j \neq i} m^l(j) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i, od))}{\exp(u^l_{det}(j, od) + u^l_{KB}) + \sum_{k \neq j} \exp(u^l_{det}(k, od))} \right] \\
 & + N^{pa}(od)_{ges} \cdot \delta_{dir}(i) \quad \text{mit } l \in \{ge, rp\}
 \end{aligned}
 \tag{251}$$

Für eine solche allgemeine, Relationen übergreifende, Darstellung sind die Passagiergesamtzahlen der drei betrachteten Reiseanlässe und die Nutzenfunktionen der Routen relationsabhängig zu indizieren.

³⁵³ DoT1977 1-34.

Die Anteile der Kundenbindungsprogramme werden für sämtliche Relationen identisch angenommen und sind daher wie ihr zusätzlicher Nutzen relationsunabhängig.

Da von einer Homogenität der Bedeutung der einzelnen Routen ausgegangen werden kann, ist die Einführung zusätzlicher, die Routen gemäß ihrer Wichtigkeit gewichtenden, Faktoren unnötig. Als Verknüpfung der verschiedenen Routen bietet sich eine einfache Addition an. Denkbar wären auch andere Verknüpfungen, welche die Symmetrie der verschiedenen Flugrouten gewährleisten würden, wie beispielsweise eine Multiplikation. Allerdings tritt eine derartige Verknüpfung innerhalb einer Fehlerabschätzung oder Minimierung normalerweise für Parameter unterschiedlicher Einheiten auf, im Falle gleicher Parameter wird üblicherweise eine Summierung vorgenommen.

Weiter ist zu bedenken, ob eine Minimierung absoluter oder relativer Fehler oder eventuell einer gewerteten Mischung beider für das vorliegende Ziel zu verwenden ist. Da für eine Prognose, welche die Belastung von Flughäfen und die zukünftigen Anzahlen von Passagierzahlen einer Route vorhersagen können soll, vor allem die absoluten Zahlen wichtig sind und vernachlässigbar kleinen Zahlen praktisch keine Bedeutung zukommt, ist eine absolute Betrachtung der Passagierzahlen bei dieser Fehlerabschätzung vorzuziehen.

Eine nach dem Prinzip der Methode der kleinsten Quadrate gewählte Kalibrierung ist dann optimal, wenn analog Gleichung (316) (siehe Anhang B) gilt:

$$\sum_{od} \sum_i (E\langle N(i, od) \rangle - \hat{N}(i, od))^2 \rightarrow \min \quad (252)$$

$\hat{N}(i, od)$ ist der gemessene Datenreferenzwert der routenspezifischen Passagierzahlen. Das Quadrat des Unterschieds des rechnerisch bestimmten Erwartungswerts zu dem vorgegebenen Wert dient als Maß der Güte. Hierbei ist über alle Routen und Relationen zu summieren, für die ein vollständiger Datensatz vorliegt.

Blackburn verwendet zur Abschätzung der Güte einer Kalibrierung nicht bloß die Summe der quadratischen Abweichungen, sondern teilt diese zusätzlich durch die Differenz der Kalibrierungsdatenpunkte zu den Kalibrierungskonstanten³⁵⁵.

Die Werte der Entscheidungsvariablen, die bei der Kalibrierung zu einer derartigen minimalen Abweichung führen, werden als optimale Lösung interpretiert.

³⁵⁴ Uidaho2002b Model Calibration and Validation.

³⁵⁵ Blackburn1972a 177f.

Um eine Kalibrierung durchzuführen, sind die Variablen festzulegen. Diese richten sich nach den logischen Implikationen der Modellierung, der Datenverfügbarkeit und der gewünschten Güte und Aussagekraft des Modells.

Wichtig für eine Konfiguration der Variablen ist die Berücksichtigung der Menge der verwandten Inputdaten. Die aus den verschiedenen Quellen (AMADEUS, ADV Befragung von 1998, [StaBu2000], [StaBu2001]) verarbeiteten Daten wurden in einer Exceldatei zusammengefasst. Diese enthält in den Zeilen die Routen, in den Spalten die Ausprägung der Reiseeigenschaften sowie die Passagierzahlen. Für die zur Verfügung stehende Datenmatrix konnten Werte für etwa einhundert Flugrouten – entsprechend je einem Datensatz (Zeile) - generiert werden. Diese Matrix enthält für alle Routen die entsprechenden Daten über die repräsentativen Preise, die Flugdauern, die Frequenzen sowie die Zahl der tatsächlich auf dieser Route innerhalb eines Jahres gereisten Personen.

Von-Nach	Fluggesell	Kb-Flugnr.	Reisezeit	Dir/Um	1/Frequenz	Passagierzahl	.....
Düsseldorf-atlanta	AirFrance	2	12	U	0,05065666	2914	.....
Düsseldorf-atlanta	KLM	6	11,67	U	0,171428571	275	.....
Düsseldorf-atlanta	Sabena	5	14,23	U	0,171875	478	.....
Düsseldorf-atlanta	Lufthansa	1	12,75	U	0,086580087	1457	.....
Düsseldorf-atlanta	SwissAir	4	14,17	U	0,157782516	295	.....
Frankfurt-JFK	AirFrance	2	10,75	U	0,02681842	1984	.....
Frankfurt-JFK	KLM	6	11,33	U	0,064977258	1112	.....
Frankfurt-JFK	SwissAir	4	10,92	U	0,086813187	687	.....
Frankfurt-JFK	Lufthansa	1	8,42	D	0,037037037	125544	.....
Düsseldorf-chicago	AirFrance	2	11,67	U	0,05981417	838	.....
Düsseldorf-chicago	KLM	6	10,83	U	0,068571429	185	.....
Düsseldorf-chicago	Sabena	5	13,15	U	0,172380952	514	.....
Düsseldorf-chicago	Lufthansa	1	11,17	U	0,050865801	1516	.....
Düsseldorf-chicago	BritishAirways	3	11,83	U	0,032100668	1762	.....
Düsseldorf-chicago	SwissAir	4	12,83	U	0,157782516	262	.....
Düsseldorf-Washington	SwissAir	4	12,17	U	0,157782516	209	.....
Düsseldorf-Washington	KLM	6	11,92	U	0,076190476	178	.....
Düsseldorf-Washington	Sabena	5	12,08	U	0,18018018	319	.....
Düsseldorf-Washington	Lufthansa	1	10,75	U	0,062770563	2250	.....
.....							

Tab. 27: Dargestellt ist ein Ausschnitt der auf Excel zusammengefassten Daten über die verschiedenen Eigenschaften und Passagierzahlen der Routen hier für den Bereich der Transatlantikreisen.

Es ist nicht sinnvoll, bei der Modellierung eine Zahl freier Variablen zu benutzen, die höher ist als die der verwendeten Flugrouten. Vielmehr sollte sie signifikant niedriger sein, da ansonsten ein Test der Modellierung sowie die Bestimmung der Werte der freien Variablen erheblich an Aussagekraft verlieren würde und letztendlich nur wenig aufschlussreiche Tests der Modellierung möglich wären.

Um dennoch eine exakte und kausale Modellierung zu ermöglichen, wird eine Anzahl von etwa maximal 50 Entscheidungsvariablen angestrebt. Damit ist es einerseits möglich, umfangreich auf die wichtigen

Detaillierungen der tatsächlichen Wahlentscheidungen einzugehen, andererseits ist aber auch ein Test der Güte der Modellierung in einem hohen Maß durchführbar.

Die Gruppe der – potentiellen - Variablen wird gebildet durch die gesuchten Präferenzenkoeffizienten und die zur Modellierung benötigten, aber unbekannten, Größen der Pauschalreisenden sowie der Anteile der Kundenbindungsprogramme.

Wie Gleichung (251) zeigt, werden die Pauschalreisenden lediglich bei den Direktreisen betrachtet. Eine Kalibrierung, die eine beliebige Einstellung der Pauschalreisenden möglich machen würde, böte daher die Möglichkeit, über diese indirekt die Wirkung der Direktreisen abzubilden. Damit wäre eine eindeutige Bestimmung des negativen Nutzens des Umsteigeflugs ausgeschlossen.

Um dies zu vermeiden und aufgrund des Umstands, dass für die betrachteten Relationen der Anteil tatsächlich Pauschalreisender gering ist, wurde bei der Kalibrierung auf eine explizite Berücksichtigung der Pauschalreisen bewusst verzichtet. Auch wenn dies eine gewisse Vereinfachung bedeutet, verhindert es doch die Gefahren einer Verwendung als Entscheidungsvariable, die zwar zu einem im Ergebnis geringeren Kalibrierungsfehler, aber auch niedrigerer Aussagekraft führte. Würde dies nicht gemacht, würde die Modellierung alle Direktreisendenströme exakt erzeugen. Ihre Kausalität wäre damit nicht mehr überprüfbar. Damit gilt für die Kalibrierung:

$$N^{pa}(od)_{ges} \equiv 0 \forall od \quad (253)$$

Für alle betrachteten Routen wird bei der Kalibrierung die Anzahl der Pauschalreisenden gleich null gesetzt. Da diese vor allem für die Passagierzahlen der Direktflugangebote von Bedeutung sind und sich diese in der Nutzenfunktion von den Angeboten anderer Routen hauptsächlich durch den konstanten negativen Nutzen eines Umsteigeflugs, δ_{ums} , unterscheiden, führt dies bei der Interpretation der Kalibrierungsergebnisse dazu, dass der so ermittelte Wert für δ_{ums} als Näherung zu betrachten ist. Dieser fällt in seinem Betrag etwas höher aus als er sich bei der Verwendung vorhandener Daten der tatsächlich pauschal Reisenden ergäbe.

Die Anzahl der Privatreisenden wird damit bei der Kalibrierung gleich der Anzahl der Restprivatreisenden gesetzt. Daher vereinfacht sich Gleichung (251) für die Kalibrierung etwas und wird zu:

$$E\langle N(i, od) \rangle = \sum_l N^l(od)_{ges} \cdot \left[\begin{aligned} & m^l_{okb} \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i, od))}{\sum_k \exp(u^l_{det}(k, od))} \\ & + m^l(i) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i, od) + u^l_{KB})}{\exp(u^l_{det}(i, od) + u^l_{KB}) + \sum_{k \neq i} \exp(u^l_{det}(k, od))} \\ & + \sum_{j \neq i} m^l(j) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(i, od))}{\exp(u^l_{det}(j, od) + u^l_{KB}) + \sum_{k \neq j} \exp(u^l_{det}(k, od))} \end{aligned} \right]$$

mit $l \in \{ge, pr\}$

(254)

Die Anteile der Kundenbindungsprogramme fallen für die Geschäftsreisenden höher aus als für die Privatreisenden. Deshalb werden diese bei der Kalibrierung, wie in Gleichung (254) angezeigt, anlassspezifisch abgebildet. Dies führt zu doppelt so vielen Entscheidungsvariablen wie die Anzahl der den betrachteten Routen zugeordneten Fluggesellschaften, was hier $2 \cdot q = 12$ Entscheidungsvariablen entspricht.

Der Nutzen der Kundenbindungsprogramme wird unabhängig von den diesen zugeordneten Fluggesellschaften angenommen. Dies ist eine Näherung, die bereits im Kapitel 5 vorgenommen und begründet wurde. Eine anlassspezifische Abbildung dieses zusätzlichen Nutzens erzeugt daher lediglich zwei Entscheidungsvariablen.

Insgesamt entstehen unter den Annahmen eines konstanten fluggesellschaftunabhängigen Nutzens der Kundenbindungsprogramme und der Definition eines effektiven Kundenbindungsprogramms, wie in Abschnitt 5.2 durchgeführt, durch eine anlassspezifische Abbildung der Variablen aus der Berücksichtigung der Existenz und Wirkung der Kundenbindungsprogramme für die Kalibrierung $2 \cdot (q + 1) = 14$ Entscheidungsvariablen.

Wesentliches Ziel der Kalibrierung ist die Bestimmung der Bedeutung der einzelnen Entscheidungskomponenten. Neben dem Nutzen des Kundenbindungsprogramms umfasst dies die Konstanten der Nutzenfunktion. Der deterministische Teil einer anlassspezifischen Nutzenfunktion ergibt sich allgemein ohne Berücksichtigung der Kundenbindungsprogramme nach Gleichung (237), Abschnitt 5.1, zu:

$$u^l_{det}(i) = u^l_{FG}(i) - a^l_1 \cdot k^{eff, l}_{od}(i) - a^l_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}^l_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u^l_{ums} + u^l_{UFH}(i) + \tilde{a}^l_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right)$$

mit $a^l_1, a^l_2, \tilde{a}^l_3, u^l_{ums} > 0$ und $l \in \{ge, pr\}$

(255)

Die Präferenzenkoeffizienten des Services der Fluggesellschaften, der Reisekosten, der Dauer, der Flugfrequenz, des Umsteigevorgangs und des -flughafens sind in ihrer allgemeinen Form anlassspezifisch abzubilden. Für die Indizierung wird zur Steigerung der Übersichtlichkeit an dieser Stelle von einer ausführlichen Berücksichtigung der Relationsabhängigkeit abgesehen. Dies ist lediglich ästhetisch begründet, führt aber zu keiner Einschränkung der Modellierung.

Zu beachten ist, dass sich der effektive Preis implizit aus acht Präferenzenkoeffizienten zusammensetzt, die jeweils personengruppenabhängig sind. Dies gilt damit auch für den effektiven Preis.

Die Bewertung der Preise der verschiedenen Kategorien ist wesentlich unterschiedlich für die beiden betrachteten Reiseanlässe. Damit sind aufgrund der acht Preiskategorien bei der Kalibrierung für eine ausführliche Abbildung der Bedeutung des Preises für die Entscheidungen beider Gruppen $2 \cdot 8 = 16$ Variablen zu bestimmen.

Die Präferenzenkoeffizienten der Flugdauer, der Flugfrequenz und des Umsteigevorgangs werden in der Modellierung als Konstanten für alle Routen und Relationen behandelt. Ihre Bestimmung gerade in Abhängigkeit vom Reiseanlass ist - neben denen der Preiskategorien und den Wirkungen der Kundenbindungsprogramme - ein Hauptelement der Kalibrierung. Dadurch entstehen $2 \cdot 3 = 6$ weitere Kalibrierungsparameter.

Die beiden wesentlichen Serviceelemente der Nutzenfunktion sind die der Fluggesellschaften und der Umsteigeflughäfen. Hierbei kommt für verschiedene Routen lediglich ihren Differenzen praktische Bedeutung für die Berechnung der Passagierströme zu. Daher findet auch bei der Kalibrierung die Normierung der Gleichung (240), Abschnitt 5.1, Verwendung, womit die Nutzen der Lufthansa und ihres Umsteigeflughafens als Referenzwert gleich null gesetzt werden. Da ferner für jede Fluggesellschaft bei der betrachteten Kalibrierung nur jeweils genau ein Umsteigeflughafen verwandt wird, können die beiden Serviceterme für die Fluggesellschaften und die Umsteigeflughäfen zusammengefasst werden. Dies lässt sich beispielsweise dadurch erreichen, dass einer von beiden als identisch null definiert wird. Dergestalt zusammengefasst repräsentiert der so gebildete Serviceterm beide Aspekte der Fluggesellschaft und des Umsteigeflughafens. Dies ist plausibel, weil für den Reisenden auf den betrachteten Umsteigerouten ohnehin eine eindeutige Verknüpfung der Umsteigeflughäfen zu den Fluggesellschaften wahrgenommen wird, und diese als miteinander verknüpft betrachtet werden. Auf diese Weise lässt sich die Anzahl der Kalibrierungsparameter reduzieren, ohne Einschränkungen bei der Detaillierung der Modellierung in Kauf nehmen zu müssen. Dies ist direkte Folge einer eindeutigen Zuordnung von Fluggesellschaften und Umsteigeflughäfen. Damit ist für die Kalibrierung folgende zusätzliche Annahme zu treffen:

$$u^l_{UFH}(i) \equiv 0 \forall i \quad \text{und } l \in \{ge, pr\} \quad (256)$$

Die gesamte wahrgenommene Restserviceleistung einer Route, die sich nicht durch andere Koeffizienten ausdrücken lässt, wird in dem Term $u^l_{FG}(i)$ zusammengefasst. Da anzunehmen ist, dass für die Wahl einer Route wesentlich der Preis, die Reisezeit oder das Kundenbindungsprogramm von Bedeutung sind und weitere Serviceaspekte für die hier betrachteten Fluggesellschaften eher weniger wichtig sind und eine größere Unterscheidung der relativen Wahrnehmung der Sicherheit der beiden anlassbezogenen Reisegruppen nicht plausibel ist, wird zur Verringerung der Kalibrierungsparameter eine personengruppenunabhängige Bewertung der Fluggesellschaften gewählt. Im Gegensatz zu den anderen Elementen der Nutzenfunktion wie der Flugdauer, der Frequenz und dem Umsteigevorgang ist eine Differenzierung aus der persönlichen Wahrnehmung der Reisenden wenig stark ausgeprägt und führt bei Vernachlässigung der Indizierung nach dem Reiseanlass gleichzeitig zu einer wesentlich höheren Reduktion der Kalibrierungsparameter. Auch durch diese Annahme lässt sich die Anzahl der Kalibrierungsparameter reduzieren. Die reduzierte Genauigkeit der Modellierung sollte jedoch nur gering ausfallen.

Auch für diese Näherung trifft ähnlich wie für die vorstehenden zu, dass der Kalibrierungsfehler zwar zunimmt, die Plausibilität der Lösung und die Wahrscheinlichkeit, dass die so ermittelten Ergebnisse in Folge einer sinnvollen Beschreibung des Entscheidungsvorgangs die tatsächlichen Passagierzahlen annähern und nicht aufgrund einer Vielzahl von Einstellparametern, gleichzeitig ansteigt.

Hauptziel der Kalibrierung bleibt eine kausale und plausible Modellierung, selbst wenn dies zu höheren Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Modellbildung und der tatsächlichen Passagierströme führt.

Als Serviceelemente der Nutzenfunktion werden daher für die Kalibrierung ausschließlich routenspezifische Nutzenterme der Fluggesellschaften verwendet ohne Indizierung nach dem Reiseanlass. Dies führt zu $q - 1 = 5$ weiteren Kalibrierungsparametern. Die deterministische Nutzenfunktion der Routen vereinfacht sich dann zu:

$$u^l_{det}(i) = u_{FG}(i) - a^l_1 \cdot k^{eff,l}_{od}(i) - a^l_2 \cdot t_{od}(i) - \tilde{a}^l_3 \cdot \frac{1}{f_1(i)} - \delta_{ums}(i) \cdot \left(u^l_{ums} + \tilde{a}^l_3 \cdot \frac{1}{f_2(i)} \right) \quad (257)$$

mit $a^l_1, a^l_2, \tilde{a}^l_3, u^l_{ums} > 0 \quad \text{und } l \in \{ge, pr\}$

Insgesamt benötigt eine solche Kalibrierung $2 \cdot (8 + 3 + 1) + q \cdot (2 + 1) - 1 = 41$ Kalibrierungsparameter. Diese sind die Entscheidungsvariablen der Optimierung.

Damit ist die Dimension des Lösungsvektors im Vergleich zur Dimension der unabhängigen Datensätze immer noch hoch. Hierbei ist schon versucht worden, durch zusätzliche Annahmen die Anzahl der zu bestimmenden Parameter zu reduzieren. Nähert sich die Anzahl der bestimmten Parameter der Anzahl der Datensätze wird die Interpretation der Güte des Ergebnisses kritisch. Insbesondere stellt sich dabei die Frage, ob die Lösung lediglich die Datensätze in ihrem Wert erzeugt oder ob sie vielmehr eine tatsächliche Abbildung in einem sinnvollen funktionalen Zusammenhang darstellt. Trotz des ungünstigen Verhältnisses lässt sich hier mit Blick auf die folgenden weiteren Ergebnisse darauf hinweisen, dass die erzeugten Koeffizienten plausibel erscheinen, und was formal wichtiger ist, die Struktur des Zusammenhangs zwischen den zu bestimmenden Parametern und den Passagierzahlen (insbesondere die Verknüpfung als Quotient von gekoppelten Exponentialfunktionen) ist derartig, dass nicht beliebige (unsinnige) Passagierzahlen einfach durch andere Konstanten erzeugt werden können. Ungünstiger wäre beispielsweise eine zusätzliche einmalig auftretende Konstante, wie dies für die Anzahl der Pauschalreisenden der Fall wäre. Eine Kalibrierung, die diese noch enthalten würde, würde diese Konstanten so bestimmen, dass alle Zahlen der Direktreisenden exakt korrekt wären. Daher musste auf diese hier unbedingt bei der Kalibrierung verzichtet werden, sonst wäre damit auch die Bedeutung der Zeitbewertungskonstante und des Umsteigeflugs in seiner Aussagekraft wesentlich reduziert.

Ein zusätzlicher Vorteil der folgend dargestellten Ergebnisse ist, dass die Bedeutung der einzelnen ermittelten Werte für die Größe der routenspezifischen Passagierzahlen wesentlich abweicht, so existieren nur wenige Parameter von herausragender Bedeutung für die Passagierzahlen, andere weisen wesentlich geringere Bedeutung auf. So entsprechen allein 16 der Konstanten den Bewertungen der Bedeutung der Preise der verschiedenen Kategorien. Diesen kommt aber wie das Ergebnis zeigt, für den Luftverkehr (im Vergleich zu vielen anderen Produkten) nur eine geringfügige Bedeutung zu.

Insgesamt muss daher darauf hingewiesen werden, dass das Verhältnis von Datensätzen und Kalibrierungskonstanten ungünstig aber vertretbar ist. Jedoch war es nicht weiter möglich, die Anzahl der Kalibrierungsparameter zu verringern, ohne gleichzeitig wichtige Ungenauigkeiten in der Abbildung der Passagierentscheidung zu erzeugen. Umgekehrt war aufgrund der Datensituation eine wesentliche Erhöhung der Anzahl der Datensätze leider ebenso unmöglich.

Aufgrund der identischen Preisgestaltung lassen sich Preisauswirkungen für transatlantische Relationen nicht abbilden, was neben einer gewissen Vereinfachung der Modellierung vor allem auch eine Reduzierung der Anzahl der Kalibrierungsparameter für diese auf $41 - 2 \cdot 8 = 25$ bedingt.

Die Durchführung der Optimierung erfolgte mit Hilfe der Software Lingo, Version 6.0.

Lingo macht es möglich, Optimierungen mit einer nichtlinearen Zielfunktion und/oder nichtlinearen Restriktionen numerisch zu lösen.

Die Dauer einer Rechnung ist abhängig von der numerischen Vorgehensweise, dem Startpunkt und der Konvergenzbedingung am Ende der Rechnung in der Größenordnung eines Tages. Zur optimalen Bestimmung der besten Lösung sind eine Vielzahl von Rechnungen notwendig. Neben der Abhängigkeit von den verschiedenen möglichen Einstellungen des Programms ist vor allem sicherzustellen, dass es sich bei dem gefundenen Optimum nicht um ein lokales sondern um das globale Optimum handelt. Dazu ist die Rechnung für viele verschiedene Startpunkte durchzuführen. Bei einer Dimension des Startraums von 41 wird die Notwendigkeit vieler Startpunkte besonders deutlich.

6.3 *Innereuropäischer Flugverkehr*

Die Inhaltlichen Schwerpunkte dieser Modellbildung im allgemeinen und auch in diesem Kapitel sind internationale Flüge von und nach Deutschland. Hierbei werden aufgrund ihrer herausragenden Bedeutung vor allem der innereuropäische und der transatlantische Luftverkehr untersucht.

Ausgehend von den in Abschnitt 6.1 vorgestellten Daten für den innereuropäischen Flugverkehr mit Ursprung in Deutschland sind mit Hilfe der in Abschnitt 6.2 dargestellten Kalibrierung die 41 gesuchten Entscheidungsvariablen des innereuropäischen Verkehrsmodells ermittelt worden.

Diese werden im folgenden Abschnitt präsentiert und anschließend im Abschnitt 6.3.2 bewertet und kommentiert.

6.3.1 Ergebnisse

Die Entscheidungsvariablen der Kalibrierung setzen sich zusammen aus den unbekannten Konstanten der Nutzenfunktion, den effektiven Anteilen der Kundenbindungsprogramme und den Gewichten der einzelnen Preiskategorien. Die Stromgrößen der Passagierzahlen werden, wie Gleichung (254), Abschnitt 6.2, zeigt, von sämtlichen Entscheidungsvariablen beeinflusst.

Für eine Interpretation des Entscheidungsvorgangs sind vor allem die Konstanten der Nutzenfunktion von herausragender Bedeutung. Hierbei sind die des Umsteigevorgangs, der Flugdauer, des effektiven Preises, der Frequenz und des Nutzens des Kundenbindungsprogramms als besonders wichtig herausgehoben und werden daher anlassspezifisch ermittelt. Ihre Vorzeichen lassen sich jeweils durch eine einfache, plausible Argumentation, wie in Gleichung (242), Abschnitt 5.2, angeben.

Tabelle 28 zeigt die Ergebnisse der Kalibrierung dieser fünf Einflussgrößen. In diesem Abschnitt werden abweichend von den Modellierungen des Abschnitts 5.1, bei dem die Vorzeichen einiger Präferenzenkoeffizienten als positiv definiert wurden und daher ein Minus in der Nutzenfunktion als Verknüpfung auftritt, alle entsprechenden Verknüpfungen zur Steigerungen der Übersichtlichkeit als Addition interpretiert. Das Vorzeichen der hier dargestellten Präferenzenkoeffizienten zeigt daher sofort, ob es sich um einen Nutzen oder Schaden erzeugenden Term der Nutzenfunktion handelt.

Positiv ist, dass für alle Koeffizienten – obwohl bei der Kalibrierung nicht vorgegeben – das erwartete Vorzeichen auch beim Ergebnis auftritt.

Weitere Teile der Nutzenfunktion der Passagiere sind die aggregierten Serviceterme der Fluggesellschaften. Diese werden bei der Kalibrierung relativ zur Lufthansa angegeben aber nicht personengruppenspezifisch ermittelt. Ein negatives Vorzeichen impliziert hierbei eine vergleichsweise schlechtere, ein positives eine bessere Bewertung der Passagiere dieser Fluggesellschaft im Vergleich zur Lufthansa.

Einflussgröße	Konstante Geschäftsverkehr	Konstante Privatverkehr
Umsteigevorgang	-2,435	-2,328
Flugdauer	- 2,49/h	- 2,394/h
Preis (effektiv)	- 0.002944/DM	- 0.008403/DM
Frequenz	- 31,47 · Woche	- 13,31 · Woche
KBP	2,16	3,45

Tab. 28: Konstanten der Nutzenfunktion im innereuropäischen Luftverkehr. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Wie Tabelle 29 zeigt, werden die Air France und KLM von den Passagieren im Servicebereich als schlechter und British Airways, Sabena und Swiss Air als besser wahrgenommen.

Fluggesellschaft	AF	BA	Sab	SA	KLM
Relativkonstante	-0,152	0,583	0,429	0,176	-0,128

Tab. 29: Servicekoeffizienten der Fluggesellschaften im innereuropäischen Luftverkehr. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

In Tabelle 30 ist der Koeffizient des effektiven Preises angegeben. Dieser ist für beide anlassspezifischen Gruppen sehr unterschiedlich.

Der effektive Preis ist dabei definiert als der mittlere gewichtete Preis der acht verschiedenen Preiskategorien, wie dies in der Definition (284), Abschnitt 5.1, erklärt ist. Tabelle 30 zeigt folgend die anlassspezifischen Gewichte γ_j der acht Preiskategorien.

Gewicht Preistarif (%)	Best Di- rect	Jugend	Su- perspa	Spar	Eco. 1	Eco. 2	Full Eco.	Business
Privat	10,4	0	45	44,6	0	0	0	0
Geschäft	1,4	27	22,6	25,6	14,2	9,2	0	0

Tab. 30: Gewichte der verschiedenen Preisklassen im innereuropäischen Luftverkehr. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Geschäftsreisende nutzen mehr und durchschnittlich höhere Tarife als Privatreisende. Die beiden höchsten Tarife Full Economy und Business finden keine Verwendung.

Neben den Nutzenkoeffizienten und den Gewichten der Preistarife sind die Anteile der Kundenbindungsprogramme Entscheidungsvariablen der Kalibrierung und bestimmen die erwarteten Passagierströme der verschiedenen Routen.

Anteil KBP (%)	LH	AF	BA	Sab	SA	KLM
Geschäftsverkehr	20,35	2,15	3,24	3,93	4,26	0,95
Privatverkehr	19,9	0,02	0,06	0	0,06	0

Tab. 31: Anteile der Kundenbindungsprogramme im innereuropäischen Luftverkehr. Am höchsten fallen die Anteile der Lufthansa aus. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Wie in Tabelle 31 illustriert, ist von den Anteilen der Kundenbindungsprogramme für den innereuropäischen Luftverkehr von und nach Deutschland derjenige der Lufthansa mit Abstand am höchsten und jener von KLM am niedrigsten. Die Anteile aller Fluggesellschaften sind bei den Geschäftsreisenden wesentlich höher als bei den Privatreisenden.

6.3.2 Bewertung der Ergebnisse

Die Bewertung der Ergebnisse einer Modellierung geschieht bei einer empirisch falsifizierbaren Theoriebildung hauptsächlich über den Vergleich der gemessenen mit den durch die Theorie bestimmten Werten. Dieser Güte der Kalibrierungsergebnisse kommt eine besondere Rolle zu, die gerade im Bereich der Naturwissenschaften von herausragender Bedeutung ist.

Bei der quantitativen Beschreibung realen menschlichen Verhaltens ist hingegen klar, dass sich ein gewisser Mindestfehler prinzipiell nicht vermeiden lässt. Deshalb ist die Plausibilität der Ergebnisse gerade für die Akzeptanz der Theorie bei ihren potentiellen Anwendern ein wichtiges, wenn nicht notwendiges, zusätzliches Kriterium.

Diese beiden Bewertungsmechanismen lassen sich durch eine Angabe der Ergebnisse und eventuelle Weiterverarbeitung zu Kennziffern für jede einzelne Rechnung durchführen. Daher erfolgt in den Abschnitten 6.3.2 und 6.4.2 eine getrennte Analyse der Ergebnisse beider betrachteten Relationsmengen.

Im Abschnitt 6.5 werden diese zusätzlich verglichen und eine Generalisierung beider Ergebnisse angestrebt.

Aufgrund des nichtlinearen Charakters der Modellbildung der Kalibrierung ist die Repräsentativität und Eindeutigkeit der Lösungen zu diskutieren und dabei vor allem die Frage zu beantworten, ob ein – sicherlich unvermeidbarer – geringer Fehler bei der Modellbildung nur zu kleinen Änderungen bei der Vorhersage der Zielgrößen führt, oder ob daraus größere oder gar chaotische Veränderungen resultieren können. Eine solche Analyse des Lösungsraums kann losgelöst von der konkreten Rechnung durchgeführt werden, da sie dessen allgemeine Eigenschaften zu untersuchen hat. Sie wird in Folge dessen im Abschnitt der generalisierten Analyse der Ergebnisse unter 6.5 durchgeführt.

Schwerpunkt dieses Abschnitts ist daher die Antwort auf folgende zwei Fragebereiche:

- Wie exakt sind die Ergebnisse der Kalibrierung des innereuropäischen Luftverkehrs? Wie ist die erreichte Genauigkeit zu bewerten?
- Lassen sich die Ergebnisse dieser Kalibrierung veranschaulichen? Wenn ja, wie sind diese zu interpretieren? Entsprechen die Ergebnisse den Erwartungen und was lässt sich daraus über eine potentielle Akzeptanz der Theorie ableiten?

Die Genauigkeit der Ergebnisse charakterisiert sich durch die Differenzen der tatsächlichen zu den theoretischen Stromgrößen aller betrachteten Routen und Relationen unter zusätzlicher Berücksichtigung der Menge aller Kalibrierungsparameter und Datensätze sowie der Struktur und Näherungen der Kalibrierungsmodellierung.

Um die Güte der Genauigkeit der Kalibrierung anzugeben, wird folgend exemplarisch für eine Relation, die bereits in vorstehenden Kapiteln häufiger herangezogen worden ist, eine Gegenüberstellung der gemessenen und theoretischen Werte vorgeführt.

Für eine allgemeinere Darstellung wird dies für alle Relationen und Routen graphisch in einem Diagramm vorgenommen und anschließend der mittlere absolute und relative Fehler angegeben.

Folgende Tabelle zeigt für die Relation München-Manchester einen Vergleich tatsächlicher und theoretischer Passagierzahlen.

Route / via	Tatsächliche Passagierzahlen	Berechnete Passagierzahlen
Direkt	44587	44590
Brüssel	2960	2962
London	1763	1763
Amsterdam	938	1233
Paris	393	213
Zürich	141	19

Tab 32: Vergleich tatsächlicher und modellhafter Luftverkehrsströme zwischen München und Manchester. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Die Modellierung vermag gerade große Passagierströme mit einer hohen – vor allem relativen – Genauigkeit abzubilden. Der durchschnittliche absolute Fehler dieses Beispiels liegt bei etwa 100 Passagieren pro Route und Jahr. Der gesamte relative Fehler aller Routen beträgt für diese Relation etwa 1,19 Prozent des Gesamtstroms.

Auffällig ist, dass gerade bei Kleinstströmen die modellierten Passagierzahlen stärker abweichen. Diese Beobachtung zieht sich durch die Analyse aller betrachteten Relationen (allerdings nicht in einem solchen Umfang wie für dieses Beispiel). Wenn man bedenkt, dass eine Passagierzahl von 365 einem Reisendenaufkommen von einer Person täglich entspricht, wird klar dass hier auftretende Inhomogeni-

täten (Beispielsweise der Ausflug von Firmenmitarbeitern, die mit einer spezifischen Fluggesellschaft fliegen, weil deren Firma gerade am entsprechenden Bonusprogramm teilnimmt) vom Modell nur schwer abgebildet werden können. Damit war klar, dass der relative Fehler bei Kleinstrouten deutlich höher sein müsste, als bei Routen mit hohem Passagieraufkommen. Dass aber auch der absolute Fehler hier höher liegt verwundert. Zu vermuten ist, dass die richtige Interpretation der obigen Passagierzahlen lautet: Die bestimmten Passagierzahlen des Modells stimmen mit den tatsächlichen gut überein, wobei der absolute Fehler für alle Routen unter 300 Personen je Route und Jahr bleibt. Dies entspricht weniger als einer Person je Tag und Route. Die nahezu exakte Abbildung einiger routenspezifischer Passagierzahlen ist zufällig.

Bei der Bewertung der Bedeutung der einzelnen Entscheidungsvariablen für die Passagierzahlen zeigt sich, dass der Flugdauer eine dominante Rolle zukommt (wie auch eine Beurteilung von Tabelle 28 zeigt). Von nachfolgender Wichtigkeit sind der Zusatznutzen eines Direktflugs (oder Schaden eines Umsteigevorgangs) sowie der einer Mitgliedschaft in einem Kundenbindungsprogramm.

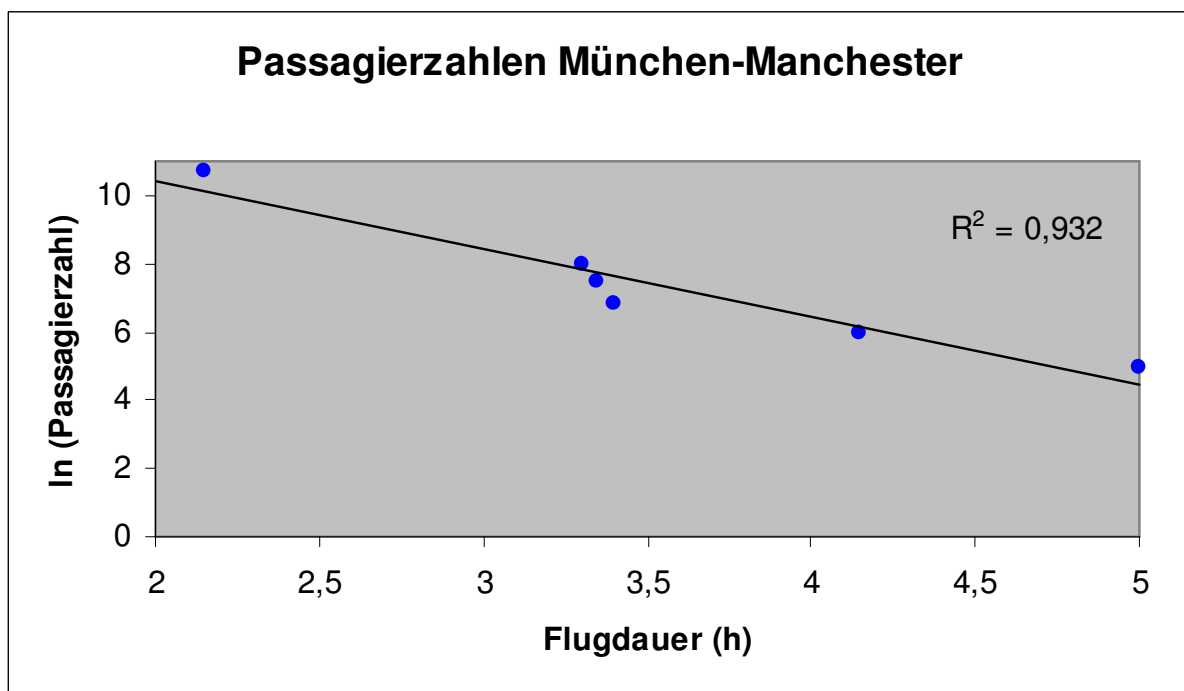


Abb. 51: Für die Relation München-Manchester kann für den Logarithmus der Passagierzahlen ein nahezu linearer Zusammenhang zur Flugdauer nachgewiesen werden. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Abbildung 51 zeigt für die gleiche Relation wie in Tabelle 32 die hohe Bedeutung der Flugdauer (als hier einzige betrachtete Einflussgröße) für die Entscheidung der Passagierzahlen. Das bei einer angenommenen genäherten exponentiellen Korrelation zwischen (negativ gewichteter) Flugdauer und Passagierzahl hierbei der so ermittelte Wert der Passagierzahl für den Direktflug (eben jener mit der geringsten Flugdauer) zu niedrig ausfällt, überrascht nicht, da der Zusatznutzen des Direktflugs zu einer zu-

sätzlich erhöhten Anzahl der Passagiere auf dieser Route und entsprechend einer niedrigeren auf allen verbleibenden Routen führt.

Abbildung 52 illustriert die Güte der Ergebnisse aller Routen und Relationen. Hier sind auf der x-Achse die modellierten und vergleichend auf der y-Achse die tatsächlichen Stromgrößen aufgetragen. Die große Übereinstimmung beider Größen und der hohe Determinationskoeffizient von nahezu eins zeigen eine sehr hohe Güte der modellhaft bestimmten Passagierzahlen.

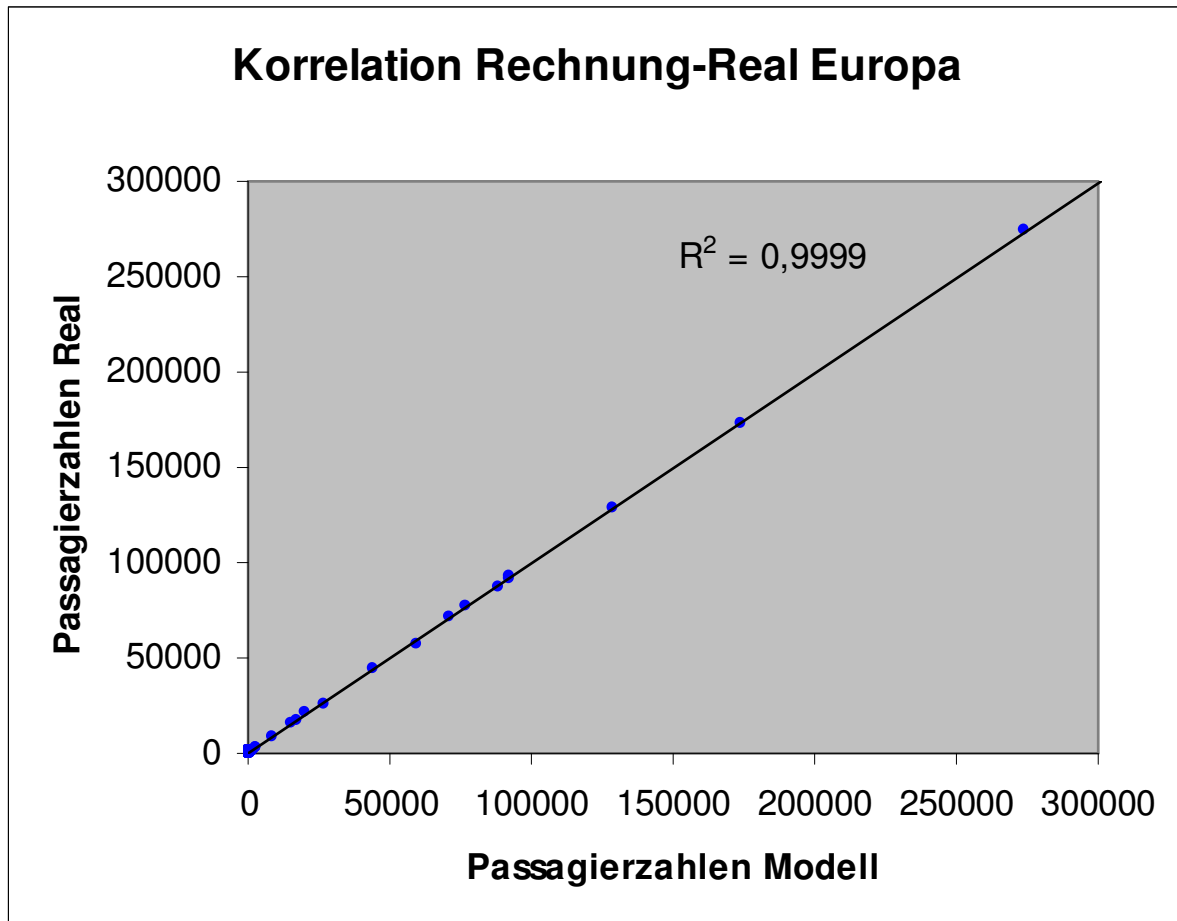


Abb. 52: Die Korrelation zwischen den modellierten und tatsächlichen Passagierzahlen ist mit einem Determinationskoeffizienten von etwa 0,9999 sehr hoch. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Der durchschnittliche absolute Fehler aller Routen liegt bei knapp 300 Passagieren pro Route und Jahr. Dies entspricht einem Anteil am Gesamtpassagieraufkommen von 1,90% und liegt damit etwas über dem Fehler der oben beispielhaft illustrierten Relation München-Manchester.

Flugrouten mit einem hohen Passagieraufkommen haben durchschnittlich einen höheren absoluten und niedrigeren relativen Fehler. Dies ist direkte Folge der Betonung absoluter Fehler des Minimierungsziels der Kalibrierung.

Für Flugrouten mit hohem Passagieraufkommen – als solche werden jene mit mehr als 10.000 Passagieren pro Jahr und Route definiert – liegt der mittlere absolute Fehler bei etwa 550 Passagieren pro

Jahr, für solche mit weniger als 10.000 Passagieren pro Jahr und Route hingegen bei nur circa 230 Passagieren pro Jahr und Route.

Der durchschnittliche absolute Fehler je Route ist damit geringer als ein Passagier pro Route und Tag. Dies ist wenig und erheblich niedriger als bei früheren quantitativen Verkehrsmodellierungen auf niedriger Aggregationsebene.

Für übliche Anwendungen der Prognose kommt vor allem den großen Ströme eine hohe Relevanz zu, da diese für Fluggesellschaften attraktiv, für institutionelle Prognosen und Verkehrsplanungen wichtig und für Flughäfen für ihre Planungen von großer Bedeutung sind. Kleine Ströme sind für den Anwender hingegen eher unbedeutend. Daher sollte eine Prognosemethode möglichst wenig große Fehler erzeugen.

Die Wahrscheinlichkeit eines Deskriptionsfehlers von mehr als 1.000 Passagieren je Route und Jahr liegt bei weniger als 4 Prozent, die für 5.000 Passagiere je Jahr und Route ist im Promillebereich abschätzbar und für praktische Anwendungen zu vernachlässigen.

Die Güte der Kalibrierungsfehler ist gerade unter Beachtung der möglichst gering gewählten Anzahl an Kalibrierungsparametern sehr gut. Dies gilt aber nur dann, wenn vornehmlich der Wert auf absolute Passagierzahlen und Fehler gelegt wird. Für kleine und winzigste Passagierströme kann der auftretende relative Fehler erheblich größer werden. Aufgrund der dort wesentlich bedeutenderen Wirkung zusätzlicher Einflussgrößen ist das nicht verwunderlich.

Zusätzlich sind die 41 bestimmten Entscheidungsvariablen auf Plausibilität zu prüfen.

Die wichtigsten sind die Koeffizienten des Umsteigevorgangs, der Flugdauer, des effektiven Preises, der Frequenz und des Kundenbindungsprogramms. Diese weisen alle das erwartete Vorzeichen auf: Ein Passagier empfindet ein Angebot als attraktiver, wenn dessen Flugdauer und Preis geringer und die angebotene Frequenz höher ausfallen, wenn er ein gültiges Kundenbindungsprogramm besitzt und nicht umsteigen muss.

Die wesentliche Differenz verschiedener Flugrouten im innereuropäischen Relationsbereich ist die Unterscheidung in Direkt- und Umsteigerouten. Die Nutzenfunktionen des Passagiers für beide Routenmengen unterscheiden sich vor allem durch den binären Koeffizienten des Umsteigevorgangs und unterschiedliche Flugdauern. Umsteigeflüge weisen hierbei für die betrachteten innereuropäischen Routen eine Verlängerung gegenüber dem Direktflug von etwa einer Stunde auf.

Sei $N(i = dir)$ die Anzahl der Passagiere einer Direktflugroute einer innereuropäischen Relation und $N(j = ums)$ die einer Umsteigeroute derselben Relation, dann gilt für ihren Quotienten, wie bereits allgemein in Gleichung (219), Abschnitt 4.4, gezeigt wurde:

$$E \left\langle \frac{N(i = dir)}{N(j = ums)} \right\rangle = \exp(U(i) - \exp U(j)) \quad (258)$$

Berücksichtigt man den Hauptunterschied der Nutzenfunktion erhält man:

$$E \left\langle \frac{N(i = dir)}{N(j = ums)} \right\rangle \approx \exp(-1h \cdot a'_{2l} - u_{ums}) \quad \text{mit } l \in \{ge, pr\} \quad (259)$$

Dies ist für die betrachteten Routen nahezu unabhängig vom Reiseanlass und ergibt nach Einsetzen der beiden Werte genähert:

$$E \left\langle \frac{N(i = dir)}{N(j = ums)} \right\rangle \approx \exp(5) \approx 150 \quad (260)$$

Innereuropäische Umsteigeflüge haben einen jeweiligen Anteil am Gesamtstrom in der Größenordnung eines Prozentes, wenn ansonsten keine wesentlichen Angebotsunterschiede auftreten. Dies wird durch eine Analyse der Daten bestätigt.

Der eventuellen Notwendigkeit eines Umsteigens verbunden mit der Erhöhung der Flugdauer kommt bei der Routenwahl der Passagiere unabhängig vom Reiseanlass die größte Bedeutung zu. Dies ist für diese Relationen auch nicht ungewöhnlich, da innereuropäische Relationen im Vergleich zu interkontinentalen Flügen wesentlich weniger Zeit in Anspruch nehmen und daher ein Umsteigevorgang verbunden mit einer Steigerung der Reisedauer für die Passagiere noch unattraktiver wirkt.

Für Personen mit Kundenbindungsprogramm kommt diesem nach dem Kriterium eines Umsteige- oder Direktflugs die zweitgrößte Bedeutung zu. Sei $P(i = KB)$ die Wahrscheinlichkeit eines Passagiers eine Route zu wählen, für die er ein Kundenbindungsprogramm aufweist, und $P(j = OKB)$ jene, eine alternative Route zu wählen für die er kein Kundenbindungsprogramm aufweist, dann ist, falls die anderen Eigenschaften dieser beiden Routen ähnlich ausfallen:

$$\frac{P(i = KB)}{P(j = OKB)} \approx 20 \quad (261)$$

Er wird damit, falls er ein Kundenbindungsprogramm besitzt, tendenziell entweder den Direktflug wählen oder die Route, für die das Kundenbindungsprogramm gilt. Fallen beide zusammen, ist seine ideale Wahl entsprechend der Direktflug mit gültigem Kundenbindungsprogramm.

Beim Preis und der Flugfrequenz ist ein wesentlicher Unterschied in der Bewertung im anlassspezifischen Präferenzenkoeffizienten wahrzunehmen. So gilt für die Frequenz der Angebote:

$$\frac{\tilde{a}^{ge}_3}{\tilde{a}^{pr}_3} \approx \frac{-31,47 \cdot \text{Woche}}{-13,31 \cdot \text{Woche}} \approx 2,36 \quad (262)$$

Geschäftsreisende messen der Frequenz und damit der Möglichkeit, zu einem bestimmten Zeitpunkt abfliegen oder ankommen zu können, mehr als eine doppelt so hohe Bedeutung bei wie Privatreisende.

Analog gilt für den effektiven Preis:

$$\frac{a^{pr}_1}{a^{ge}_1} \approx \frac{-0.008403/DM}{-0.002944/DM} \approx 2,85 \quad (263)$$

Der Preis ist für die Privatreisenden fast dreimal so bedeutend wie für die Geschäftsreisenden. Damit ist dies der Aspekt bei der Beurteilung der Reise, der für die beiden betrachteten Anlässe am unterschiedlichsten bewertet wird. Dies ist aufgrund der unterschiedlichen finanziellen Möglichkeiten der Reisenden und vor allem dadurch, dass bei den Geschäftsreisenden häufig das Unternehmen und nicht der Reisende selbst bezahlt, zu erwarten gewesen.

Hier lässt sich ein Trade-off Koeffizient zwischen dem effektiven Preis und der Flugdauer ermitteln. Für Privatreisende ergibt sich so:

$$1h \approx 285DM \quad (264)$$

Für Geschäftsreisende ist dieser mit einem Stundenäquivalent von 846 DM noch höher. Der Umstand, dass der Geschäftsreisende nicht selbst bezahlt, führt dazu, dass dieser weniger preissensitiv ist. Er versucht daher nur beschränkt ein preisminimales Angebot zu wählen, sondern achtet häufig lediglich darauf, dass nicht ein bestimmtes Preisniveau überschritten wird.

285 Mark sind als Äquivalent einer Stunde hoch. Zu beachten ist, dass es sich bei diesen 285 DM nicht um tatsächlich bezahlte, sondern um die bei AMADEUS angegebenen Preise handelt. Die für den Passagier relevanten Preise sind tatsächlich niedriger.

Dieses Ergebnis bestätigt aber vorausgegangene Untersuchungen, bei denen der Trade-off Koeffizient zwischen Reisedauer und Reisekosten beim Anfahrtsweg zur Arbeit unter dem Nettolohn je Stunde liegt, beim Luftverkehr jedoch erheblich darüber³⁵⁶.

Dies ist nur dadurch erklärbar, dass es sich beim Luftverkehr um eine nicht alltägliche gewählte Reiseform handelt. Bei diesen ist man weniger preissensitiv als bei tagtäglichen Entscheidungen.

Eine Analyse der Gewichte der acht Preiskategorien zeigt:

- Die wichtigsten Tarife sind der Superspar- und Spartarif. Dieses Ergebnis wird durch die Definition dieser beiden Tarife als Markttarif von Ehmer bestätigt. Dieser hat durch eine Befragung von Reisebüros herausgefunden, dass die beiden Tarife Spar und Superspar die am häufigsten verkauften sind³⁵⁷.
- Privatreisende wählen wesentlich nur aus den ersten vier, Geschäftsreisende aus den ersten sechs Kategorien. Entsprechend sind der Full Economy und Business Tarif nahezu ohne Bedeutung.
- Der von Geschäftsreisenden gewählte Tarif ist durchschnittlich höher als bei den Privatreisenden.
- Die Gruppe der Geschäftsreisenden ist heterogener als die der Privatreisenden.

Diese Ergebnisse widersprechen nicht den Erwartungen, einzig das Gewicht der Preiskategorie zwei der Geschäftsreisenden ist über Erwartung hoch.

Die Nutzenfunktionskoeffizienten der Fluggesellschaften haben keine große Wirkung auf die Passagierzahlen der einzelnen Routen. Der größte Unterschied liegt hierbei zwischen der Air France und British Airways. Dort beträgt der alleinig serviceorientierte Unterschied der Nutzenfunktionen bei 0,735. Dies

³⁵⁶ Moses1972 198.

³⁵⁷ Ehmer2002 118ff.

entspricht einem Faktor zwei bei den Ausprägungen der Passagierströme. Für alle anderen Vergleiche von Fluggesellschaften ist der Unterschied des Servicetermes der Nutzenfunktion und damit die Veränderung der Stromgrößen noch geringer.

Die Anteile der Kundenbindungsprogramme fallen bei der Lufthansa mit großem Abstand am höchsten aus. Dies ist bei einem Verkehr von und nach Deutschland verständlich. Jener von KLM ist am geringsten, was sich voraussichtlich in der geringen Größe der mit dieser Fluggesellschaft verbundenen Allianz begründen lässt, denn alle anderen betrachteten Fluggesellschaft waren im Analysezeitraum Mitglied einer größeren Allianz.

Die Anteile der Kundenbindungsprogramme von Privatreisenden sind erheblich niedriger als bei den Geschäftsreisenden. Auch dies verwundert nicht, fliegen Privatreisende doch häufig erheblich seltener, wodurch sich eine Mitgliedschaft in einem Kundenbindungsprogramm nicht lohnt. Außerdem sind Privatreisende stärker preissensitiv und wählen häufig ein preisgünstiges Angebot, Geschäftsreisende hingegen präferieren häufig eine Strecke, die zu ihrem Kundenbindungsprogramm passt und so dessen Attraktivität weiter steigert.

6.4 Transatlantischer Luftverkehr

Analog zum Abschnitt 6.3 – dort für den innereuropäischen Luftverkehr - werden hier in einem ersten Teil die Ergebnisse der optimalen Kalibrierungsparameter des transatlantischen Luftverkehrs vorgestellt und anschließend im Abschnitt 6.4.2 bewertet und analysiert.

6.4.1 Ergebnisse

Die wichtigsten Elemente der Nutzenfunktion sind die Anteile des Umsteigevorgangs, der Flugdauer, des Preises, der angebotenen Frequenz und der Kundenbindungsprogramme. Aufgrund der identischen Preisgestaltung im transatlantischen Bereich (nach AMADEUS) ist für den Bereich der transatlantischen Relationen kein Präferenzenkoeffizient für den Preis des Flugs ermittelbar, da dieser nur in den relativen Unterschieden verschiedener Preisangebote Auswirkungen auf die Wahl der Reisenden hat.

In der folgenden Tabelle 33 sind daher die Konstanten der Nutzenfunktion nur für den Umsteigevorgang, die Flugdauer, die Frequenz und das Kundenbindungsprogramm jeweils reiseanlassspezifisch angegeben. Die Vorzeichenwahl entspricht hierbei, wie in Abschnitt 6.3.1, einer komplett additiven Verknüpfung der Teilnutzen in der Nutzenfunktion, so dass aus dem Vorzeichen der Tabelle direkt zu erkennen ist, ob es sich bei dem entsprechenden Teilaspekt um einen Nutzen oder Schaden generierenden Term handelt.

Das Vorzeichen aller bestimmten Parameter stimmt mit den erwarteten und auch im Abschnitt 6.3.1 für den innereuropäischen Luftverkehr erhaltenen überein.

Einflussgröße	Konstante Geschäftsverkehr	Konstante Privatverkehr
Umsteigevorgang	-2,407	-1,862
Flugdauer	$-2,159/h$	$-1,2055/h$
Frequenz	$-34,325 \cdot \text{Woche}$	$-2,891 \cdot \text{Woche}$
KBP	3,261	3,675

Tab. 33: Konstanten der Nutzenfunktion im transatlantischen Luftverkehr. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Tabelle 34 zeigt die nicht anlassspezifisch ermittelten Serviceparameter der Fluggesellschaften Air France (AF), British Airways (BA), Continental (Con), Swiss Air (SA) und KLM relativ zur Lufthansa.

Zu beachten ist, dass es sich bei den Reisenden im wesentlichen um deutsche und us-amerikanische Bürger handelt. Bei diesen ist unter Service- und Sicherheitsaspekten im Mittel Continental Airlines als

am besten und KLM als am negativsten beurteilt worden. Dies führt dazu, dass bei einem ähnlichen Umsteigeangebot gerade von us-amerikanischen Personen Newark als Umsteige Flughafen überdurchschnittlich häufig gewählt wird.

Fluggesellschaft	AF	BA	Con	SA	KLM
Relativkonstante	0,303	-0,193	0,636	0,321	-1,444

Tab. 34: Servicekonstanten der Fluggesellschaften im transatlantischen Luftverkehr. Im Jahr des Anschlags fliegen unter Sicherheitsaspekten - gerade US-amerikanische Reisende - lieber mit einer US-amerikanischen Fluggesellschaft. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Neben den allgemeinen Konstanten der Nutzenfunktion und den Serviceparametern der Fluggesellschaften sind zusätzlich die effektiven Anteile der Kundenbindungsprogramme von Einfluss auf die Reisendenzahl der verschiedenen wählbaren Routen.

Anteil KBP (%)	LH	AF	BA	Con	SA	KLM
Geschäftsverkehr	20,75	11,8	2,95	14,0	0	0
Privatverkehr	20,75	2,26	1,8	14,0	0	0,3

Tab. 35: Anteile der Kundenbindungsprogramme im transatlantischen Luftverkehr. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Tabelle 35 zeigt die Anteile der Kundenbindungsprogramme für die betrachteten Fluggesellschaften reis Anlassspezifisch auf. Diese sind bei den Geschäftsreisenden höher als bei den Privatreisenden und fallen für die deutsche und us-amerikanische Fluggesellschaft, also die Fluggesellschaften der Quell- und Zielgebiete der untersuchten Relationenmenge, am höchsten aus. Air France und British Airways als Mitglied zweier großer Allianzen haben einen relevanten aber niedrigeren Anteil an Personen mit ihrem Kundenbindungsprogramm, die zwischen Deutschland und Nordamerika reisen.

6.4.2 Bewertung der Ergebnisse

Das Jahr 2001 war gerade für den us-amerikanischen und transatlantischen Luftverkehr ein Jahr des Umbruchs. Dennoch sind selbst für diesen Zeitraum die Abweichungen zwischen den theoretisch ermittelten und den tatsächlichen Passagierströmen niedrig.

Gerade auf die Servicekonstante hat der Anschlag des 11. September eine hohe Wirkung. Dies zeigt sich bei der Kalibrierung in einem maximalen Service- und Sicherheitsterm für die einzig betrachtete us-amerikanische Fluggesellschaft.

Die Reduzierung der Kalibrierungsparameter auf etwas mehr als die Hälfte im Vergleich zum innereuropäischen Luftverkehr führt tendenziell zu einer Zunahme der Kalibrierungsfehler, erhöht damit aber gleichzeitig im Falle eines geringen Fehlers die Wahrscheinlichkeit einer Bestätigung als sinnvolle, kausale, quantitative Modellierung.

Der Umstand, dass bei den transatlantischen Flügen nur etwa bei jeder fünften Relation Direktflüge möglich sind, führt zu einer Verringerung der Anzahl großer Ströme. Dies bedingt eine Erhöhung des Anteils an Routen geringer Passagierzahlen, die aufgrund ihres niedrigen Umfangs gerade bei einer Optimierungsform, die absolute Fehler minimiert, höhere mittlere relative Fehler erzeugt.

Route / via	Tatsächliche Passagierzahlen	Berechnete Passagierzahlen
Direkt	44630	44614
Paris	1183	1173
London	880	880
Zürich	263	427
Amsterdam	172	34

Tab 36: Vergleich tatsächlicher und modellhafter Luftverkehrsströme zwischen Düsseldorf und Newark. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Tabelle 36 zeigt beispielhaft einen Vergleich rechnerisch bestimmter Werte als Ergebnis der Kalibrierung und der tatsächlichen Passagierströme. Auch für den transatlantischen Luftverkehr erzeugt ein Direktflugangebot – wenn vorhanden – aufgrund des fehlenden Umsteigevorgangs und der kürzeren Flugdauer eine wesentlich größere Passagierzahl als vergleichbare Umsteigeflüge. Zusätzlich zeigt dieses Beispiel, ähnlich wie Tabelle 32 für die Route München-Manchester, dass große und mittlere Ströme sehr genau beschrieben werden können. Lediglich kleine und kleinste Ströme haben einen verhältnismäßig großen - vor allem relativen - Fehler, dem aber aufgrund des geringen Umfangs kein großes praktisches Gewicht zukommt. Für obige Relation liegt die größte Abweichung zwischen modellierten und tatsächlichen Passagierzahlen bei nur 164 Passagieren je Route und Jahr (Für die anderen betrachteten Routen war dieser etwas aber nicht wesentlich höher).

Der durchschnittliche absolute Fehler dieser Relation beträgt etwa 73 Passagiere pro Route und Jahr, der gesamte relative Fehler aller Routen dieser Relation liegt bei etwas über 0,77%.

Abbildung 53 zeigt die Korrelation der rechnerischen und tatsächlichen Passagierzahlen aller betrachteten transatlantischen Flugrouten. Die hohe Übereinstimmung mit einem Determinationskoeffizienten von nahezu 0,999 – also nahezu eins – ist ein positiver Indikator der Güte der angewandten Modellbildung. Dies ist umso bedeutender, als die Anzahl der Kalibrierungsparameter für den transatlantischen Relationenbereich deutlich reduziert wurde.

Der durchschnittliche absolute Fehler der transatlantischen Routen liegt bei etwa 314 Passagieren pro Route und Jahr. Dies entspricht einem Anteil am Gesamtpassagieraufkommen von 7,15%.

Flugrouten mit einem hohen Passagieraufkommen haben durchschnittlich einen etwas höheren absoluten und erheblich niedrigeren relativen Fehler. Dies ist direkte Folge der Betonung absoluter Fehler des Minimierungsziels der Kalibrierung.

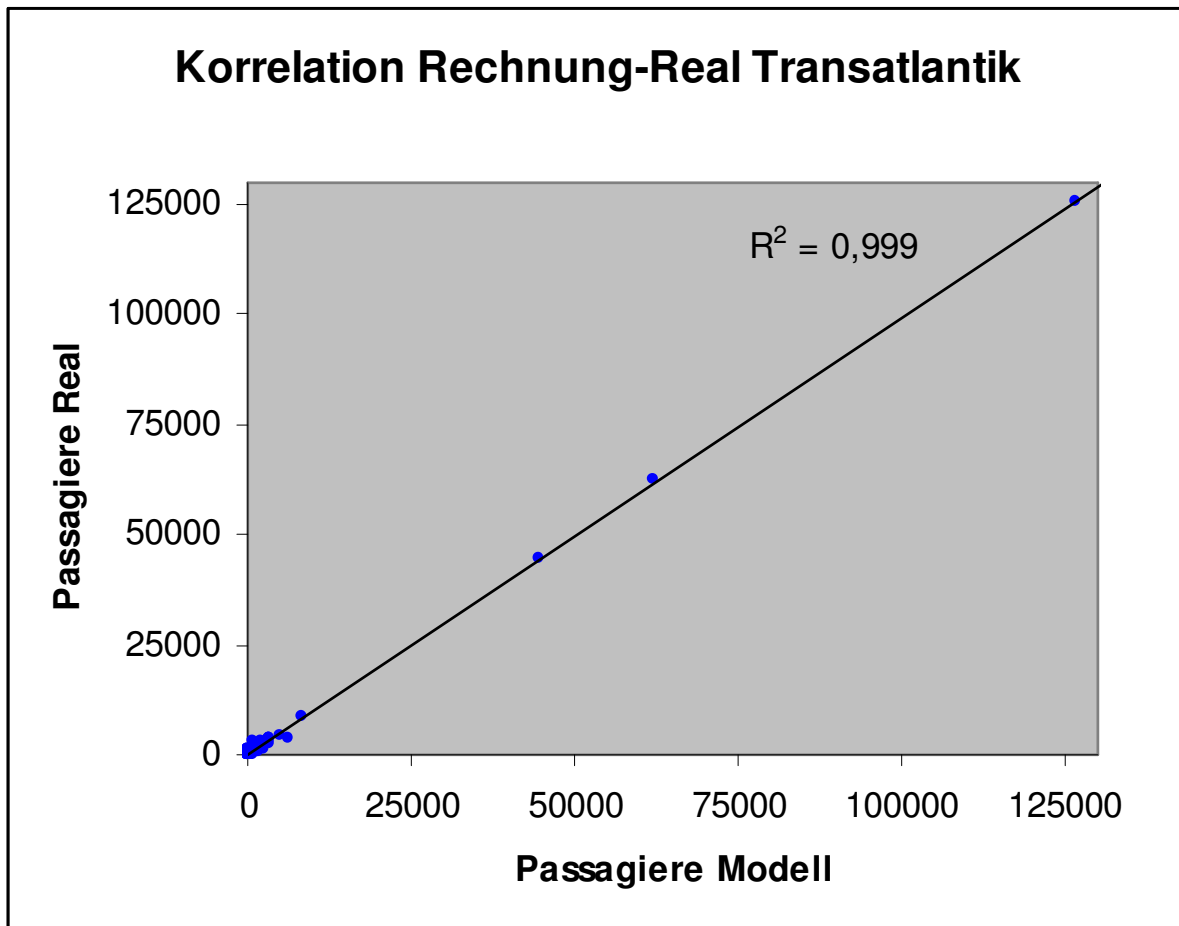


Abb. 53: Die Korrelation zwischen den modellierten und tatsächlichen Passagierzahlen ist mit einem Determinationskoeffizienten von etwa 0,999 für den transatlantischen Luftverkehr nicht so groß wie beim innereuropäischen, aber immer noch sehr hoch. [Ergebnisse der eigenen Kalibrierung]

Für Flugrouten mit hohem Passagieraufkommen beträgt der mittlere absolute Fehler etwa 480 Passagiere pro Jahr, für solche mit weniger als 10.000 Passagieren pro Jahr hingegen circa 307 Passagiere jährlich. Der geringe Unterschied zwischen dem mittleren absoluten Fehler aller betrachteten Routen und denen mit geringem Passagieraufkommen ist direkte Folge der wesentlichen Dominanz kleiner Passagierströme auf den meisten transatlantischen Routen.

Der Anteil der Relationen mit ausschließlich niedrigem Passagieraufkommen auf allen wählbaren Routen liegt bei etwa 80%, der Anteil der Routen mit geringem Passagieraufkommen aller betrachteten Routen bei circa 95%.

Auch wenn aufgrund der Dominanz von Routen mit geringen Passagierzahlen der relative Fehler für einige kleinste Ströme groß sein kann, ist der durchschnittliche absolute Fehler – wie bei den innereuropäischen Flügen im Abschnitt 6.3 – weniger als ein Passagier je Route und Tag und damit sehr gut.

Die Wahrscheinlichkeit eines Deskriptionsfehlers von mehr als 1.000 Passagieren je Route und Jahr ist etwa 7 Prozent, die für 5.000 Passagiere je Jahr und Route ist im Promillebereich und damit für praktische Anwendungen vernachlässigbar.

Auch für den transatlantischen Luftverkehr haben die anlassspezifischen Konstanten des Umsteigevorgangs, der Flugdauer, der Flugfrequenz und des Kundenbindungsprogramms das erwartete Vorzeichen.

Falls ein Direktflug möglich ist, besteht der größte Unterschied des Nutzens verschiedener Routen einer Relation zwischen dem Direktflug und den alternativen Umsteigerouten. Beim transatlantischen Luftverkehr erhöht sich die Reisedauer eines Umsteigeflugs um zwei bis drei Stunden – mit einem Mittel von etwa 2,55 Stunden.

Der Unterschied der Nutzenfunktion unter Berücksichtigung der beiden Aspekte des Umsteigevorgangs und der unterschiedlichen Flugdauer eines Umsteige- und eines Direktflugs liefert für den Erwartungswert des Quotienten der Reisesströme für den Privatverkehr analog zu Gleichung (260), Abschnitt 6.3.2:

$$E\left\langle \frac{N(pr, i = dir)}{N(pr, j = ums)} \right\rangle \approx \exp(5) \approx 150 \quad (265)$$

Für Geschäftsreisende ist dieser Unterschied noch wesentlich größer:

$$E\left\langle \frac{N(g, i = dir)}{N(g, j = ums)} \right\rangle \approx \exp(8) \approx 3000 \quad (266)$$

Da für die meisten transatlantischen Relationen die Anzahl der Privatreisenden die der Geschäftsreisenden überwiegt, ist für die wenigen Relationen mit vorhandenem Direktflugangebot mit einem Anteil der Umsteigerouten in der Größenordnung eines Prozents zu rechnen. Dies wird durch eine Analyse der Daten bestätigt.

Interessant ist, dass im Vergleich zu den innereuropäischen Flügen ein Umsteigevorgang unter Berücksichtigung seiner Auswirkungen unter Servicegesichtspunkten weniger störend ist als bei den innereuropäischen Flügen, dies aber durch den höheren Unterschied bei den Reisedauern überkompensiert wird.

Gerade für die Privatreisenden ist das Kundenbindungsprogramm nach dem Unterschied zwischen Direkt- und Umsteigeflug das zweitwichtigste Element der Nutzenfunktion. Insbesondere bei der Wahl zwischen verschiedenen Umsteigerouten ist dies häufig das entscheidende Kriterium. Die Präferenz der

Wahl einer Route mit gültigem Kundenbindungsprogramm ist etwas höher als für innereuropäische Flüge – was aufgrund des höheren Bonus für längere Reisen auch zu erwarten ist.

Definiert man den Quotienten des Verhältnisses der Wahrscheinlichkeit eine Route zu wählen, für die man ein Kundenbindungsprogramm besitzt, zu jener, für die man keines hat, erhält man analog Gleichung (261), Abschnitt 6.3.1:

$$\frac{P(i = KB)}{P(j = OKB)} \approx 30 \quad (267)$$

Für den Geschäftsreisenden ist zusätzlich die Häufigkeit des Flugangebots von hoher Bedeutung. Diese bestimmt nicht nur die durchschnittliche Wartezeit, sondern determiniert auch die Möglichkeit, zu einem bestimmten Zeitpunkt am Ziel ankommen zu können. Damit der Geschäftsreisende am gewünschten Tag am Ziel eintreffen kann oder nicht durch eine ungünstige tageszeitliche Lage des Flugangebots zu einer ungewollten Übernachtung gezwungen wird, sind für ihn hohe Flugfrequenzen von besonderer Bedeutung. Im Vergleich zum Privatreisenden ist der Unterschied der Konstante der Nutzenfunktion sehr groß und man erhält:

$$\frac{\tilde{a}_3^{ge}}{\tilde{a}_3^{pr}} \approx \frac{-34,325 \cdot \text{Woche}}{-2,891 \cdot \text{Woche}} \approx 11,9 \quad (268)$$

Dieser Unterschied ist wesentlich höher als beim innereuropäischen Luftverkehr.

Aussagen über die Bedeutung des Preises für die Entscheidung der Reisenden im transatlantischen Luftverkehr können nicht explizit gemacht werden. Allerdings führt eine unterschiedliche Verfügbarkeit der einzelnen Tarife, verbunden mit einer Wirkung auf den gezahlten Preis hier zu einer impliziten Änderung der Servicekonstante der Fluggesellschaft. Eine geringe Verfügbarkeit der Tarife mit niedrigem Preis bedingt daher - falls dies von den Kunden als negativ wahrgenommen wird – eine Absenkung der Servicekonstante.

Im Jahr des Terroranschlags kommt den Sicherheitsaspekten im Bereich der Servicekonstante eine wesentlich höhere Bedeutung zu, als dies für den innereuropäischen Luftverkehr des Jahrs 2000 der Fall war. Daher ist eine teilweise deutliche Abweichung der fluggesellschaftsspezifischen Serviceterme der Abschnitte 6.3 und 6.4 nicht verwunderlich.

Bemerkenswert ist, dass die Sicherheits- und Serviceaspekte umfassende Konstante im Jahr 2001 von den betrachteten Fluggesellschaften am höchsten für die us-amerikanische Fluggesellschaft ausfiel und am niedrigsten für KLM war, das auch schon beim innereuropäischen Luftverkehr schlecht abgeschnitten hatte. Die hohe subjektive Wertung us-amerikanischer Fluggesellschaften ist gerade bei den Bürgern der USA, die etwa die Hälfte der Reisenden der betrachteten Relation ausmachen, in diesem Jahr naheliegend.

Die Anteile der Kundenbindungsprogramme der Geschäftsreisenden sind höher als bei den Privatreisenden. Dies war zu erwarten, da Geschäftsreisende öfter mit dem Flugzeug reisen und daher häufiger Mitglied in einem Kundenbindungsprogramm sind. Allerdings ist der Unterschied geringer als bei den innereuropäischen Flügen.

Wichtigste Kundenbindungsprogramme sind die der Lufthansa und von Continental. Hierbei sind hauptsächlich Personen, deren Quellgebiet in Deutschland liegt, Mitglied des Kundenbindungsprogramms der Lufthansa und solche aus den USA Mitglied desjenigen von Continental.

6.5 Allgemeine Eigenschaften, Vergleich und Übertragbarkeit der Ergebnisse

Ziel dieses Abschnitts ist es, unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Abschnitte 6.3 und 6.4 sowie erweiterter theoretischer Überlegungen zu einer Gesamtbewertung der Güte der Modellierung und Kalibrierung zu kommen. Darauf aufbauend lässt sich abschätzen, in welchem Rahmen die vorgestellten Ergebnisse zur Deskription des Routenwahlverhaltens auch für andere Relationengruppen verwendet werden können. Im Abschnitt 6.6 wird dies auf die Möglichkeit der Übertragung auf Wahlprobleme der Zukunft ausgedehnt.

Bevor am Ende dieses Abschnitts eine allgemeine Beurteilung der Modellbildung aufgestellt werden kann, wird über die isolierten Betrachtungen der Abschnitte 6.3 und 6.4 hinaus die Antwort auf folgende drei Fragen gegeben, die damit wesentlich als Grundlage für eine abschließende Bewertung mit herangezogen werden können:

- Ist die gefundene Lösung eindeutig? Wie wirkt sich ein kleiner Fehler bei der Kalibrierung – aufgrund eines begrenzten Samples, unzureichender Daten oder anderem – auf die Güte der Genauigkeit der Passagierstromgrößen aus?
- Welche Ergebnisse produziert eine Unterteilung der Datensätze in Kalibrierungs- und Testdatensätze? Wie ist dies in Bezug auf die Güte der Kalibrierung zu interpretieren?
- Die Ergebnisse der Kalibrierung des innereuropäischen und des transatlantischen Verkehrs sind für sich genommen, wie die Abschnitte 6.3 und 6.4 zeigen, plausibel und beschreiben die tatsächlichen Verkehrsgrößen mit hoher Genauigkeit. Bleibt diese Plausibilität erhalten, wenn die Ergebnisse beider Relationsgruppen verglichen werden? Wie lassen sich die Ergebnisse beider Gruppen verallgemeinern?

Anhang A zeigt, dass kleine – fehlerhafte – Abweichungen der Kalibrierungsgrößen nur zu einer stetigen, streng monotonen und geringfügigen Änderung bei der Bestimmung der Zielgrößen der routenspezifischen Passagierzahlen führen.

Da sich minimale Fehler prinzipiell nie vermeiden lassen, ist dieses gutmütige Verhalten der Lösung ein großer Vorteil für die Anwendbarkeit. Ist deren Wirkung nur sehr begrenzt auf die Zielgrößen der Modellierung, erleichtert dies die Anwendung und erhöht das Vertrauen eines Anwenders in ihre Ergebnisse.

Prinzipiell lässt sich bei der Lösung eines NLPs (Nicht Linearen Programms) nur begrenzt nachweisen, ob es sich bei einem lokalen Optimum auch um ein globales handelt. Dies gilt auch für diese Kalibrierung. Allerdings ist ausgehend von unterschiedlichen Startpositionen aufgrund der hohen Wiederholungszahl der Rechenvorgänge davon auszugehen, dass es sich bei den betrachteten Lösungen der Kalibrierung für den innereuropäischen und den transatlantischen Luftverkehr auch um die jeweiligen globalen Optima handelt.

Häufig wird bei einer Beurteilung der Güte einer Kalibrierung die ursprünglich zur Verfügung stehende Gesamtmenge an Datensätzen in solche unterteilt, die direkt für die Kalibrierung und solche, die anschließend für einen Test der Kalibrierungsergebnisse benutzt werden.

Dies hat den Vorteil eines zusätzlichen Tests der Güte der Kalibrierungsergebnisse, aber um den Nachteil einer geringeren Datenbasis als Kalibrierungsgrundlage. Ein weiterer Nachteil ist die Willkür der Auswahl beider Gruppen. Unterschiedliche Unterteilungen können so wesentlich abweichende Genauigkeiten der Ergebnisse produzieren, gleichzeitig erzeugen diese auch verschiedene Optimallösungen. Bei einem guten Testergebnis lässt sich nicht ohne weiteres überprüfen, ob die Unterscheidung der Datensätze durch eine zufällig gewählte Unterteilung erreicht wurde oder durch eine ex post bestmöglich gewählte.

Um eine geringe Subjektivität sowie ein Kalibrierungsergebnis auf der Grundlage maximaler Datenmengen zu gewährleisten und dennoch zusätzliche Aussagen über die Güte der Ergebnisse möglich zu machen, wurde nach der Optimierung der ursprüngliche Datensatz in zwei Teilmengen unterteilt und die Ergebnisse einer folgenden Kalibrierung der Teilmenge und des anschließenden Tests analysiert. Dies wurde mehrfach wiederholt und verglichen. Es zeigt sich dabei, dass:

- Durch eine solche Unterteilung die Größe der Fehler um einen Faktor zwischen etwa eins und zwei zunimmt.
- Der Fehler dann besonders groß ist, wenn die beiden unterschiedlichen Datensätze sehr inhomogen sind. Erzeugt man die beiden Gruppen aber dergestalt, dass in beiden Mengen alle verwandten Start- und Zielflughäfen auftauchen, ist die Zunahme des Fehlers nur sehr gering.

Durch diese relativ starke Unabhängigkeit der Kalibrierungsergebnisse ist eine hohe Übertragbarkeit auf andere, bisher nicht betrachtete, ähnliche Relationen möglich und gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit

einer guten und kausalen Modellierung erhöht. Dennoch wäre für den Fall verbesserter Datenverfügbarkeit ein nachträglicher Test durch zusätzliche Datensätze von Vorteil gewesen, auf den hier nur aufgrund der sehr begrenzten Anzahl verfügbarer Datensätze bewusst verzichtet wurde.

Die Ergebnisse der Kalibrierung sind - wie die Abschnitte 6.3.2 und 6.4.2 zeigen - plausibel. Ein Vergleich der beiden ergibt verallgemeinernd:

- 1) Der Schaden eines Umsteigevorgangs liegt relativ konstant bei etwa -2,4.
- 2) Ein Umsteigevorgang ist etwas unangenehmer für Geschäftsreisende. Diese sind zeit- und servicesensibler.
- 3) Mit zunehmender Flugdauer nimmt der Schaden eines Umsteigevorgangs ab. Diese Abnahme geschieht allerdings langsamer als die Verringerung des relativen Anteils des Umsteigevorgangs an der Gesamtreisedauer.
- 4) Der Schaden der Flugdauer liegt in einer Größenordnung von etwa -2/h.
- 5) Geschäftsreisende sind dabei zeitsensibler.
- 6) Mit zunehmender Flugdauer verringert sich der Schaden je Flugstunde. Dabei vollzieht sich diese Abnahme bei den Privatreisenden schneller als bei den zeitsensiblen Geschäftsreisenden.
- 7) Der Schaden inverser Flugfrequenzen beträgt bei den Geschäftsreisenden etwa $-33 \cdot \text{Woche}$. Mit zunehmender Flugdauer nimmt dieser Wert nur langsam ab.
- 8) Der Schaden inverser Flugfrequenzen ist bei den Privatreisenden viel niedriger als bei den Geschäftsreisenden. Dies liegt nicht nur daran, dass diese bezüglich der Wartezeit weniger sensibel sind, sondern ist auch darin begründet, dass für die Privatreisenden eine optimale Terminierung von erheblich geringerer Bedeutung ist.
- 9) Der Schaden inverser Flugfrequenzen nimmt auch bei den Privatreisenden mit zunehmender Flugdauer ab, allerdings viel schneller als bei den Geschäftsreisenden.
- 10) Der Nutzen eines Kundenbindungsprogramms liegt bei einer Größe von etwa 3.
- 11) Mit zunehmender Flugentfernung erhöht sich der Nutzen – ähnlich wie die Bonuspunkte - eines Kundenbindungsprogramms.
- 12) Der Schaden des Flugpreises ist beim Luftverkehr wesentlich geringer als bei anderen Transportmodi.
- 13) Privatreisende sind viel preissensibler.

- 14) Die Tarife Superspar und Spar sind die für die Entscheidung des Kunden maßgeblichen. Dies wird durch die Definition als Markttarif von Ehmer bestätigt³⁵⁸.
- 15) Geschäftsreisende wählen durchschnittlich höhere Tarife.
- 16) Die Service- und Sicherheitskonstanten der Fluggesellschaften haben nur eine geringe Bedeutung für die Fluggastströme.
- 17) In Krisenzeiten kommt der Sicherheit höhere Bedeutung zu. Die Unterschiede der service- und sicherheitsbezogenen Nutzenkonstanten verschiedener Fluggesellschaften erhöhen sich.
- 18) KLM hat von den betrachteten Fluggesellschaften (Lufthansa, British Airways, Air France, KLM, Sabena, Swiss Air und Continental) den schlechtesten Servicewert.
- 19) Der Anteil der Kundenbindungsprogramme ist bei den Geschäftsreisenden höher als bei den Privatreisenden.
- 20) Der größte Anteil der Kundenbindungsprogramme bei Relationen zwischen Deutschland und einem Zielgebiet tritt bei der Lufthansa (Quellverkehr) und der dominierenden Fluggesellschaft des Zielgebiets (Zielverkehr) auf.
- 21) Der Anteil der Reisenden dieser Relationen mit einem aktiven Kundenbindungsprogramm der Lufthansa liegt bei etwa 20 Prozent.

Diese Aussagen sind sämtlich Ergebnisse der beiden Kalibrierungen für die innereuropäischen und transatlantischen Routen und von einer hohen Plausibilität.

Allerdings sind dies Ergebnisse des Wahlverhaltens und seiner Bewertung von Reisenden aus Europa und Nordamerika. Eine Übertragbarkeit auf Reisendengruppen mit wesentlich unterschiedlicher sozialer, kultureller, politischer und wirtschaftlicher Prägung ist nicht ohne weiteres gewährleistet³⁵⁹.

Für eine abschließende Beurteilung der vorgestellten Modellbildung und seiner Ergebnisse ist eine Vielzahl von Aspekten zu berücksichtigen. Schirmeister nennt sechs Hauptelemente der Beurteilung der Güte einer Modellbildung (*siehe [Schirmeister1981]*):

- Die Menge der Probleme, die durch dieses Modell beschrieben werden können - die Allgemeinheit.

³⁵⁸ Ehmer2002 118ff.

³⁵⁹ Pinkham2002a 31.

- Die Robustheit der Lösung gegenüber kleinen Änderungen der Eingangsgrößen - die Lösungsmächtigkeit.
- Die Menge benötigter Daten, technischer Hilfsmittel und Expertenwissens - die Ressourcenausmächtigkeit.
- Die Güte der ermittelten Lösungen - die Validität.
- Die Bedeutung der Modellergebnisse für existierende Problemstellungen - der pragmatische Informationsgehalt.
- Die Möglichkeit der Umsetzung und Lösung des Modells mit Methoden der EDV - die Implementierungseignung.

Durch das Aufstellen einer möglichst allgemein definierten Methodik ist das hier vorgestellte Modell, wie Kapitel 4 illustriert, für den kompletten Bereich der Verkehrswahlentscheidung zu verwenden. Durch eine Verknüpfung mit Verkehrserzeugungsmodellen, analog dem Luftverkehrserzeugungsmodell des Kapitels 3, lässt sich der Anwendungsbereich weiter vergrößern. Damit ist dieses Modell möglichst universell formuliert und ermöglicht die Beschreibung vielfältiger Probleme der Verkehrsforschung.

Die Robustheit der Lösung ist, wie in Anhang A und in diesem Abschnitt vorstehend erläutert, hoch und gewährleistet damit eine hohe praktische Anwendbarkeit.

Aufgrund einer detaillierten Darstellung der spezifischen Elemente des Personenluftverkehrs in Kapitel 1 ist das nötige Vorwissen eines Anwenders dieser Modellierung beschränkt. Allerdings ist ein Mindestverständnis der wichtigsten Zusammenhänge des Personenluftverkehrs unvermeidbar. Dieses sollte aber durch Kapitel 1 in ausreichendem Umfang vermittelt sein.

Nötige technische Hilfsmittel sind einfache informationstechnische Verarbeitungsmöglichkeiten (Excel oder ähnliches). Komfortabler ist eine Oberfläche, wie sie zu Prognosezwecken bereits entwickelt wurde und im Abschnitt 6.7 kurz vorgestellt wird.

Die Menge benötigter Daten umfasst sämtliche, die Entscheidung der Personen beeinflussende Variablen. Dies bedeutet, dass die notwendig zu beschaffende Datenmenge gewisse Mindestkriterien erfüllen muss. Allerdings ist eine kausale Prognose oder Deskription prinzipiell nur möglich, wenn die wichtigsten Elemente der Beschreibung auch gemessen oder ausgewiesen werden können.

Der Kalibrierungsfehler der Modellierung ist, wie die Abschnitte 6.3 und 6.4 gezeigt haben, sehr niedrig, die Ergebnisse weisen eine hohe Kausalität und Plausibilität auf.

Aufgrund des umfangreichen Interesses an Deskriptionen und Prognosen von Luftverkehrsströmen ist der Nutzen an erweiterten Erkenntnissen über die quantitativen Zusammenhänge im Bereich des Personenluftverkehrs, vor allem aber für die Prognose zukünftiger Passagierströme für die Flughäfen, Fluggesellschaften, Allianzen, aber auch politische Entscheidungsträger erheblich.

Die Kalibrierung und Implementierung erfordern einen gewissen Aufwand. Ist dieser aber bereits geleistet, wie dies hier für den innereuropäischen und transatlantischen Verkehr erreicht wurde, ist eine Anwendung aufbauend auf den Ergebnissen der Kalibrierung mit verhältnismäßig geringem Aufwand möglich.

Bei der Konzeption des Modells wurde darauf geachtet, dass einerseits alle wichtigen Elemente der Problemstellung in hoher Genauigkeit, axiomatisch klar strukturiert und in Widerspruchsfreiheit berücksichtigt werden, andererseits aber die Komplexität der Modellbildung und die damit einhergehenden Probleme in einem idealen Maß bleiben³⁶⁰.

Das hier vorgestellte Modell vereint damit einen großen Anwendungsbereich, eine Problemstellung hoher Bedeutung, einen kausalen Modellierungsansatz, plausible Ergebnisse, einen niedrigen Kalibrierungsfehler und minimale technische, methodische und inhaltliche Restriktionen beim Anwender. Die Modellierung erfolgt dabei so, dass die nötige Datenmenge und die Komplexität des Modells unter der Berücksichtigung der Erreichung vorstehender Eigenschaften ein nur minimal notwendiges Ausmaß erreichen.

³⁶⁰ Fadden 1976 307.

6.6 Prognosefähigkeit

Die Ergebnisse dieses Kapitels haben gezeigt, dass das in den Kapiteln 4 und 5 entwickelte Flugroutenwahlmodell die Wahlentscheidung der Passagiere quantitativ gut und kausal beschreibt. Eine Übertragung dieses Modells von der Deskription auf die Prognose ist möglich. Allerdings sind dabei eine Vielzahl an Komponenten zu berücksichtigen.

Sicher wäre es sinnvoll gewesen, die vorgestellte Modellierung und die Ergebnisse der Kalibrierung weiter zu testen. So hätte man weitere Relationen betrachten können, leider ist die dafür notwendige Aufbereitung der Daten (vor allem der Preise) sehr aufwendig, weswegen auf diesen Schritt verzichtet wurde. Noch interessanter wäre es gewesen, eine zeitliche Veränderung der Koeffizienten zu überprüfen, also beispielsweise die Ergebnisse an Zahlen des Folgejahres zu testen. Dies scheitert leider daran, dass eine der Datenquellen (Die Befragung der Passagiere, die zur Bestimmung der relationsspezifischen Anteile der Geschäfts- und Privatreisenden notwendig ist) aus Kostengründen leider nur etwa alle fünf Jahre durchgeführt wird. Aktualisierte Datensätze sollten daher erst wieder in einigen Jahren vorliegen. So hätten sich auch Informationen über die zeitliche Veränderung der Koeffizienten gewinnen lassen. Da dies jedoch nicht möglich war, ist für eine Prognose zuallererst von zeitlich konstanten Koeffizienten auszugehen. Lediglich wenn zeitliche Änderungen plausibel begründet werden können, sollten diese in einem Szenario für Prognosezwecke Verwendung finden.

Dennoch ist klar, dass ein weiterer Test mit unabhängigen Datensätzen geholfen hätte, die Güte der Ergebnisse noch besser zu bestimmen.

Während ein deskriptives Modell vor allem dazu dient, Zusammenhänge besser zu verstehen, ist die Hauptmotivation einer Prognose die Antizipation der Zukunft und – darauf aufbauend – das Entwickeln einer bestmöglichen Handlungsstrategie, um eigene Ziele in der Zukunft so weit wie möglich erreichen und umsetzen zu können.

Bei dem hier vorgestellten Modell handelt es sich um den Versuch, das Verhalten von Menschen beruhend auf ihren Entscheidungen logisch und quantitativ zu beschreiben. Menschliches Verhalten kann aber prinzipiell niemals exakt beschrieben werden³⁶¹, da es sich nicht allein in rationalen Ursprüngen begründet. Eine exakte quantitative Beschreibung ist damit nicht möglich. Dies gilt selbstverständlich auch für die Prognose menschlichen Verhaltens.

³⁶¹ Profilidis2000 100.

Theorien der Beschreibung (menschlichen Verhaltens) sind prinzipiell nicht verifizierbar, sondern nur falsifizierbar. Damit ist es unmöglich zu beweisen, dass ein Modell menschliches Verhalten in der Vergangenheit sinnvoll und kausal richtig beschrieben hat.

Vielmehr lassen sich Bestätigungen für eine Theorie nur dadurch erreichen, dass diese für eine Anzahl von Tests die in sie gestellten Erwartungen an die Genauigkeit ihrer Ergebnisse erfüllen konnte. Eine Prognose lässt sich daher nur ex post abschließend bewerten. Je länger die Dauer des Prognosezeitraums ist, umso unbefriedigender ist dies für den Anwender der Prognose. Daher wird gerade bei langfristigen Prognosen versucht, eine weitest mögliche Bestätigung der Theorie durch einen umfangreichen Test der Deskriptionsfähigkeit des Status quo und eventuell der Vergangenheit zu erreichen.

Eine Prognose schreibt Elemente und Strukturen, formale und logische Wechselwirkungen der Gegenwart in die Zukunft fort. Je schneller sich eine Größe und die sie beschreibenden Wirkzusammenhänge ändern und je länger der Prognosezeitraum ausfällt, umso schwieriger wird es, eine Prognose mit hoher Genauigkeit zu erreichen. Gleichzeitig nimmt auch die Schwierigkeit bei der Abschätzung des gemachten Fehlers mit der Dauer der Prognose erheblich zu.

Die Schwierigkeit einer Prognose wächst aber nicht nur mit der Prognosedauer sondern auch mit kleiner werdenden Strukturen. Je kleiner das betrachtete Element ist, um so mehr Einflussfaktoren kommen potentiell in Betracht, die zu einer wesentlichen Änderung der Beschreibungsgröße führen können. Je mikroskopischer der betrachtete Beschreibungskosmos gewählt wird, um so komplexer wird die Beschreibung der Zielgröße.

Der Umfang des Personenluftverkehrs ändert sich um jährlich etwa fünf Prozent. Bis auf wenige Ausnahmen betragen die Abweichungen von diesen fünf Prozent nur wenige Promille oder höchstens Prozente. Geht man mit der Aggregierung herunter, werden die Veränderungen viel stärker. Schwankungen auf Tages oder Wochenbasis können häufig im zweistelligen Prozentbereich liegen, im Falle großer Störungen – wie des 11. Septembers – auch darüber. Auch die Veränderungen bei kleineren räumlichen Aggregierungen werden größer. Die Abweichung der Änderungen der jährlichen Passagierzahlen von Nationen liegt in einer Größenordnung von einigen Prozent. Auf der Aggregierungsebene von Routen kann sich durch wesentliche Angebotsänderungen gar eine Schwankung von hundert - oder in seltenen Fällen mehr als tausend - Prozent ergeben. Dies erschwert eine Prognose der routenspezifischen Passagierzahlen erheblich.

Ein Modell kann immer nur eine begrenzte Anzahl aller im realen Umfeld mit der Zielgröße in Zusammenhang stehenden Einflussgrößen abbilden. Je länger eine Prognose dauern soll und je kleiner der betrachtete Ausschnitt der beschriebenen Größe ausfällt, umso mehr Einflussgrößen sind zu betrachten.

In Kapitel 1 sind mehr als dreißig Einflussgrößen identifiziert worden, die von Bedeutung für die gesuchten Zielgrößen sind. Ein Modell kann unmöglich all diese Einflussgrößen in denkbar höchster Genauigkeit einbeziehen. Eine Beschränkung auf die wesentlichen Größen ist notwendig. Ähnliches gilt für die Wirkzusammenhänge, auch diese werden als Kompromiss so genau, aber auch so einfach wie möglich abgebildet.

Die notwendig entstandenen Vereinfachungen eines Modells führen dazu, dass dieses in aller Regel einen deterministischen Anteil enthält, der sich aus der Beschreibung der erkannten Einflussgrößen und Wirkzusammenhänge ergibt, sowie einen Restterm.

Dieser Restterm enthält die Fehler der Abbildungen der Wechselwirkungen, der Daten und Kalibrierung und vor allem auch der unberücksichtigt gebliebenen zusätzlichen Einflussgrößen. Ein Ziel einer jeden Prognose muss es sein, möglichst anwendbare Aussagen über diesen Restterm machen zu können und die sich aus diesem ergebenden potentiellen Vorhersagefehler so gering wie möglich werden zu lassen.

Prognosen mit großem stochastischen Anteil haben häufig den Nachteil, dass sich nur begrenzte Aussagen über mögliche Fehler und Standardabweichungen machen lassen. Exakte quantitative Angaben über die zu erwartenden Abweichungen der Prognose sind stark von zusätzlichen Axiomen abhängig, die sich in aller Regel nicht ohne ein hohes Maß an Subjektivität aufstellen lassen. Die Hauptaussagekraft solcher Prognosen besteht in einem solchen Fall vielmehr in der Angabe der Erwartungswerte der Zielgrößen.

Die Prognose zukünftiger routenspezifischer Passagierzahlen geschieht auf der Basis der Ergebnisse der Modellierung der Kapitel 4 bis 6. Hierbei wird für angenommene zukünftige Angebotsstrukturen die Nutzenmodellierung mit den in den Abschnitten 6.3 und 6.4 dargestellten Präferenzenkoeffizienten hochgerechnet.

Eine solche Vorgehensweise geht davon aus, dass sich die Entscheidungsgrundlagen der Passagiere und ihr Entscheidungsumfeld nur langsam ändern. Andernfalls hätte eine Prognose zukünftiger routenspezifischer Passagierzahlen zuallererst eine Fortschreibung zukünftiger Präferenzenkoeffizienten auf der Basis der aktuellen Werte zu leisten.

Änderungen des Entscheidungsumfelds und damit gleichzeitig auch der Flugroutenstrukturen können sich teilweise sprunghaft durch Änderungen der Rahmenbedingungen ergeben³⁶². Für eine Prognose ist daher zu klären, ob solche Einflüsse nur Auswirkungen auf das Flugangebot und die Routenstrukturen oder aber auch in umfangreichem Ausmaß auf die Entscheidungsfindung der Passagiere hat.

³⁶² Aharoni2002 9.

Politische, wirtschaftliche, soziale und gesellschaftliche Einflüsse wie geänderte Rahmenbedingungen des Luftverkehrs durch modifizierte Regelungen oder Liberalisierungen sind bei einer Prognose immer mit einzubeziehen.

Gerade für langfristige Projektionen ist es sinnvoll, ausgehend von den aktuellen Werten für die Zukunft variierte Präferenzenkoeffizienten anzunehmen.

Hierbei sind die Präferenzenkoeffizienten der Fluggesellschaften wesentlich abhängig von der Selbstdefinition einer Fluggesellschaft und damit von dem Servicepaket, das der Passagier bei Benutzung dieser Fluggesellschaft erhält. Änderungen – wie sie beispielsweise gerade umfangreich bei British Airways auftreten – führen zu einer etwas verzögerten Veränderung der Servicekonstanten der Nutzenfunktion.

Zur Zeit ist eine zunehmende Sensibilität der Reisenden für den Preis des Flugangebots zu beobachten³⁶³. Dies umfasst auch die Geschäftsreisenden in wachsendem Ausmaß. Dabei lässt sich schwer beurteilen, ob dies ursächlich in einem allgemeinen langfristigen Trend oder aber in der höheren Preissensibilität der Konsumenten in schlechteren wirtschaftlichen Situationen begründet ist³⁶⁴.

Um ausgehend von der Nutzenfunktion die Anteile der Ströme der verschiedenen Routen zu bestimmen, ist es notwendig, die wichtigsten Eigenschaften der Angebote zu definieren. Dies ist gerade für langfristige Prognosen nicht immer ohne weiteres durchzuführen. Für solche Fälle lohnt es dann häufig, eine Menge sinnvoll gewählter, in ihren Eigenschaften unterschiedlicher Szenarien zu betrachten.

Deren Anzahl sollte dabei so gering als möglich sein, um ein Minimum an Überschaubarkeit zu gewährleisten, und gleichzeitig groß genug, um alle wichtigen möglichen Fälle, die oberhalb einer gewissen Eintrittswahrscheinlichkeit liegen, abzubilden.

Wie der folgende Abschnitt 6.7 durch seine Abbildungen deutlich illustriert, besteht die Angabe eines Angebots für die verschiedenen Routen vor allem in den relativen Preisen und der Flugfrequenz. Ergänzen Bedeutung haben die Flugdauer und die Anteile der Kundenbindungsprogramme.

Ist eine Angabe zukünftiger Preise der verschiedenen Routen auch schwierig, reduziert sich dies bei der Benötigung relativer Preise. Hier ist nur noch abzuschätzen, welche Fluggesellschaften preiswerter sind und wie groß diese Preisunterschiede ausfallen. Derartige Angebote sind üblicherweise Teil der strategischen Unternehmensstrategie und ändern sich daher nur langsam. Eine Prognose zukünftiger relativer Preise lässt sich gerade im Rahmen einer Szenarioprognose leicht durchführen.

Die Angabe der Frequenzen ergibt sich aus der Nachfrage und der Bedeutung, welche die ausgewählte Strecke für die entsprechende Fluggesellschaft hat. Für viele Strecken ist eine etwa lineare Zunahme

³⁶³ Bond2002d 44.

³⁶⁴ Agusdinata2002 205.

der Frequenzen mit dem Faktor der Gesamtnachfragesteigerung zu erwarten. Lediglich für solche, die für die Fluggesellschaft einen besonders hohen oder geringen Stellenwert aufweisen – beispielsweise durch eine Fokussierung auf Kernmärkte und –relationen – sind größere Abweichungen zu erwarten.

Die Kapitel 2 bis 6 zeichnen - wie Abbildung 1 zeigt - eine sequentielle Modellierung der Passagierströme verschiedener Routen auf. Tatsächlich sind die Wechselwirkungen nicht so einfach und es existieren Wechselwirkungsschleifen. So enthalten verkehrsgenerierende und –verteilende Modellierungselemente die Attraktivität der Angebote charakterisierende Elemente.

Dies betrifft bei der hier zu definierenden Angebotsgestaltung – vernachlässigt man drastische Preisunterschiede, wie sie durch die Billigfluggesellschaften auftreten – vor allem die Flugfrequenzen. Einerseits lassen sich Flugfrequenzen aus dem zu erwartenden Volumen unter Berücksichtigung der Flugzeuggröße und eines mittleren Ladefaktors leicht errechnen. Andererseits ergeben sich bei der sukzessiven Modellierung die Passagiervolumina der einzelnen Routen erst nach der Angabe der Frequenzen. Um dieses Problem auszuräumen und gleichzeitig eine hohe Plausibilität der Ergebnisse zu garantieren, ist eine Überprüfung der erhaltenen Passagiermengen in Bezug auf den durchschnittlichen Ladefaktor durchzuführen und eventuell der anfangs angegebene Wert der Frequenz bei der Angebotseingabe zu verändern. Ein derartiges iteratives Vorgehen führt zu kausalen und plausiblen Ergebnissen und berücksichtigt die Wechselwirkungselemente zwischen der Verkehrserzeugung und der Eigenschaftsausprägung der Flugverkehrsangebote.

Eine Prognose dergestalt erhaltener routenspezifischer Passagierzahlen ist eine notwendige Grundlage vielfältiger Planungsvorhaben^{365 366}.

³⁶⁵ Aharoni2002 8.

³⁶⁶ Profildis2000 95.

6.7 Prognoseoberfläche

Anhand der durch die Optimierung erhaltenen Präferenzenkoeffizienten des Abschnitts 6.3.1 wurde eine Prognosehilfe erstellt, die für beliebige innereuropäische Routen mittels einer Szenariotechnik zukünftige routenspezifische Passagierzahlen bestimmt. So kann für verschiedene zukünftige Situationen eine kausale und quantitative Prognose erstellt werden, die weit über die einfache Fortschreibung bestehender Zustände hinausgehen kann. Allerdings findet auch diese Prognosemöglichkeit ihre Grenze in dem Moment, ab dem die axiomatisch angenommenen Voraussetzung der Modellbildung nicht mehr gelten. Aber derartige prinzipielle Grenzen gelten für jede Prognosemethode.

Während Kapitel 2 wesentlich hilft, mögliche zukünftige Routen vorherzusagen, ist hier jedoch auch die Antizipation zukünftiger Unternehmensstrategien für angebotene Frequenzen/Preise in jeweiligen Szenarien vorherzusehen. Allgemein gültige einfache Regeln lassen sich hierzu nicht ohne weiteres aufstellen, daher sind vom Experten spezifische Szenarien zu definieren. Das Modell berechnet für diese dann die resultierenden prognostizierten routenspezifischen Passagierzahlen.

Eventuelle Agglomerierungen über Relationen ähnlicher Eigenschaften können zur Steigerung der Geschwindigkeit vom geübten Experten vorgenommen werden, jedoch ist auf die damit einhergehenden Gefahren eventueller höherer Prognoseungenauigkeit zu achten.

Die Benutzeroberfläche läuft unter Microsoft Excel und besteht aus sechs Blättern für die OD- und Szenariowahl, die Eingabe der Passagierzahlen, der Frequenz, der Flugdauer, der Preise und der Anteile der Kundenbindungsprogramme.

Zu Beginn sind durch Anklicken die Start- und Zielflughäfen zu wählen. Das Umblättern zwischen den einzelnen Blättern erfolgt durch einfaches Wählen der gewünschten Seitenbezeichnung.

Zusätzlich können zur besseren Organisation Jahr und Kennzahl oder –nummer eingegeben werden. Dafür stehen rechts oben zwei entsprechende Felder zur Verfügung.

Flugdateneingabe

Bitte füllen Sie die Eingabefelder vollständig aus.
Drücken Sie auf Start um die Berechnung durchzuführen.

Von: Start Start + Grafik

Nach:

Jahr: Szenario:

OD-Relation | Passagierzahl | Frequenz | Flugdauer | Preise | Kundenbindungsprogramme

Bitte wählen Sie den Startflughafen

- Augsburg
- Berlin
- Bremen
- Dortmund
- Dresden**
- Düsseldorf
- Erfurt
- Frankfurt/M
- Friedrichshafen
- Hamburg
- Hannover
- Kiel
- Köln/Bonn
- Leipzig/Halle
- Mönchengladbach
- München

und den Zielflughafen

- Albanien
- Baltische Staaten
- Belgien
- Bosnien
- Bulgarien
- Dänemark
- Finnland
- Frankreich
 - Bordeaux**
 - Lyon
 - Marseille
 - Nantes
 - Paris
- Griechenland
- Großbritannien
- Irland

Abb. 54: Startseite zur Eingabe der Relation, sowie der Jahres- und Szenariowahl. [Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

Durch Wahl der entsprechenden Seitenbezeichnung (Passagierzahl) erhält man die zweite Eingabeseite der Prognoseoberfläche. Auf dieser sind die Anzahlen der Passagierzahlen für die Geschäfts- und Privatreisenden sowie die der Pauschalreisenden einzugeben.

Die Zahlen sind pro Relation und Jahr des im Szenario gewählten Zeitraums und des entsprechenden gesamtökonomischen, sozialen und politischen Umfelds anzugeben. Das Ausfüllen der freien Positionen kann hier wie auf den übrigen Seiten durch Bedienen der Tabulatortaste beschleunigt werden.

Flugdateneingabe

Bitte füllen Sie die Eingabefelder vollständig aus.
Drücken Sie auf Start um die Berechnung durchzuführen.

Von:

Nach:

Jahr: Szenario:

OD-Relation | **Passagierzahl** | Frequenz | Flugdauer | Preise | Kundenbindungsprogramme

Bitte geben Sie die Gesamtpassagierzahlen für Geschäfts- und Privatreisende pro Jahr an.

Geschäftsreisende:

Privatreisende:

davon Pauschalreisende:

Abb. 55: Seite zur Eingabe der Passagierzahlen für die Geschäfts-, Privat- und davon Pauschalreisenden. [Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

Das dritte Blatt dient der Eingabe der verschiedenen Flugfrequenzen. Einheit der Eingabe ist die Frequenz in Flügen pro Woche für das betrachtete Szenario.

Im Falle von Umsteigeflügen sind für beide Teilstrecken die (Teil-)Frequenzen anzugeben, für den Direktflug dahingegen nur eine. Aufgrund der Netzwerkstruktur sind so maximal 15 Werte einzugeben.

Soll ein Szenario betrachtet werden, bei dem ein oder mehrere Flüge nicht angeboten werden, so kann dies durch Freilassen des entsprechenden Felds oder durch die Eingabe einer Null kenntlich gemacht werden.

Falls Frankfurt oder München der Startflughafen der betrachteten Relation sind, sind die entsprechenden Felder unter der Bezeichnung dieses Flughafens freizulassen.

Flugdateneingabe

Bitte füllen Sie die Eingabefelder vollständig aus.
Drücken Sie auf Start um die Berechnung durchzuführen.

Jahr: 2001 Szenario: 3

Von: Dresden Nach: Bordeaux

Start Start + Grafik

OD-Relation Passagierzahl **Frequenz** Flugdauer Preise Kundenbindungsprogramme

Bitte geben Sie die Frequenzen in Flügen pro Woche an.

über	direkt	FRA	MUC	AMS	ZRH	BRU	PAR	LON
1. Teilstrecke	12	10	11	12	13		8	14
2. Teilstrecke		9	12	14	12		10	12

Abb. 56: Seite zur Eingabe der Flugfrequenzen. Nicht angebotene Flüge können durch Freilassen des Felds gekennzeichnet werden. [Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

Auf dem vierten Blatt sind für die acht Routen die (Mindest)Reisedauern als Dezimalzahl in der Einheit Stunden anzugeben.

Ist auf der vorherigen Seite ein Feld für die Frequenz unausgefüllt geblieben oder mit einer Null belegt, wird das Kästchen dieser Route zur Angabe der Flugdauer durch ein „x“ gekennzeichnet. In dieses lässt sich dennoch eine Zahl auf Wunsch eingeben, allerdings sollte man dann anschließend zur vorherigen Seite zurückgehen und die entsprechende Frequenz eingeben.

Falls Frankfurt oder München der Startflughafen der betrachteten Relation ist, ist auch hier das Feld unter der Bezeichnung dieses Flughafens freizulassen.

Bitte füllen Sie die Eingabefelder vollständig aus.
Drücken Sie auf Start um die Berechnung durchzuführen.

Jahr: 2001 Szenario: 3

Von: Dresden Nach: Bordeaux Start Start + Grafik

OD-Relation Passagierzahl Frequenz **Flugdauer** Preise Kundenbindungsprogramme

Bitte geben Sie die Gesamtreisedauern in Stunden als Dezimalzahlen an.

	über	direkt	FRA	MUC	AMS	ZRH	BRU	PAR	LON
Zeit		1	2	2	1.5	2	X	2.5	2

Abb. 57: Seite zur Eingabe der minimalen Reisedauern. Nicht angebotene Flüge werden durch ein „x“ kenntlich gemacht. [Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

Das fünfte Blatt weist die meisten Eingabemöglichkeiten auf. Hier sind die Preise der mit der Lufthansa konkurrierenden Fluggesellschaften in der Einheit Euro anzugeben. Für die Lufthansa wird von einem einheitlichen Preis für den Direktflug sowie die eventuellen Umsteige Flüge über Frankfurt und über München ausgegangen.

Einzugeben sind die Preise in die entsprechenden Felder für alle acht als repräsentativ angenommenen Tarife. Die Bezeichnungen der Tarife stehen links neben den Feldern. Sie sind so geordnet, dass sie mit zunehmendem Preis absteigen.

Da nur der relative Preis im Vergleich zu dem der Lufthansa von Bedeutung ist, sind die acht der Lufthansa zugeordneten Felder jeweils mit einer Null belegt. Diese können aber auf Wunsch auch mit den absoluten Preisen bezeichnet werden, dann sind jedoch auch die aller anderen Fluggesellschaften in absoluten Einheiten einzugeben.

Die relativen Preise sind für die anderen Fluggesellschaften so anzugeben, dass höhere als jene der Lufthansa durch ein positives Vorzeichen und niedrigere Preise durch ein negatives Vorzeichen bezeichnet werden .

Flugdateneingabe

Bitte füllen Sie die Eingabefelder vollständig aus.
Drücken Sie auf Start um die Berechnung durchzuführen.

Jahr: Szenario:

Von: Nach:

OD-Relation | Passagierzahl | Frequenz | Flugdauer | **Preise** | Kundenbindungsprogramme

Bitte geben Sie die Flugpreise in € als Differenz zu den Preisen der Lufthansa an.

	Lufthansa (dir/ FRA/ MUC)	KLM (AMS)	SwissAir (ZHR)	Sabena (BRU)	AirFrance (PAR)	BritishAirways (LON)
Best Direct	0	10,00	12,12	10,00	0	13,00
Jugendtarif	0	20,00	0	12,00	12,00	13,00
Super Spartarif	0	30,00	20,00	20,00	22,00	23,00
Spartarif	0	0	41,00	12,00	13,00	15,00
Eco 1. Tarif	0	20,00	15,00	0	15,00	20,00
Eco 2. Tarif	0	10,02	51,00	12,00	4,00	54,00
Full Economy	0	10,01	12,00	12,00	45,00	45,00
Business Tarif	0	10,05	10,15	12,00	12,00	45,00

Abb. 58: Seite zur Eingabe der (relativen) Flugpreise. Auszufüllen sind die Preisdifferenzen zur Lufthansa für acht Tarifgruppen. Höhere Preise sind durch ein positives, niedrigere durch ein negatives Vorzeichen anzugeben. [Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

Auf dem sechsten Blatt sind abschließend die für das betrachtete Szenario zu wählenden (effektiven) Kundenbindungsanteile anzugeben. Diese Angabe ist dimensionslos. In Summe ergibt sich inklusive des Anteils der Personen ohne Kundenbindungsprogramm je Personengruppe ein Gesamtanteil von eins.

Sollte diese Normierung verletzt werden, erscheint eine Fehlermitteilung und die Angaben sind entsprechend so zu modifizieren, so dass sie Übereinstimmung erzielen.

Mit diesem Blatt endet die Eingabe.

Flugdateneingabe

Bitte füllen Sie die Eingabefelder vollständig aus.
Drücken Sie auf Start um die Berechnung durchzuführen.

Von: Start Start + Grafik

Nach:

Jahr: Szenario:

OD-Relation Passagierzahl Frequenz Flugdauer Preise **Kundenbindungsprogramme**

Bitte geben Sie die Anteile der jeweiligen Kundenbindungsprogramme an.
Beachten Sie, dass die Summe aller Anteile der Kundenbindungsprogramme und des Anteils ohne Kundenbindung 1 ergeben müssen.

	Lufthansa	KLM	SwissAir	Sabena	AirFrance	BritishAirways	ohne
Geschäftsreisende	0,1	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0,1
Privatreisende	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,5

Abb. 59: Seite zur Eingabe der (effektiven) Anteile der Kundenbindungsprogramme. Zu beachten ist, dass für beide Personengruppen sich jeweils eine Summe von eins ergeben muss, andernfalls erscheint eine Fehlermeldung. [Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

Nachdem auf den sechs Blättern die Eingabe vollständig abgeschlossen wurde, hat man zwei Möglichkeiten der Ergebnisdarstellung. Diese sind auszuwählen durch ein eventuelles Drücken des „Start“-Knopfs oder alternativ des „Start + Grafik“-Knopfs.

Beiden Alternativen ist gemeinsam, dass durch das Anklicken eines Knopfs die Rechnung gestartet wird. Je nach verwandter Hardware ist die Rechenzeit, die für diesen Vorgang benötigt wird, unterschiedlich, liegt aber im Bereich weniger - etwa ein bis drei - Sekunden.

Hat man sich für die einfache Ausgabeform entschieden und den „Start“-Knopf betätigt, so erscheint anschließend nach Bestätigung des „OK“-Knopfes eine Ausgabe bei der die ausgewählte Relation inmitten der Gesamtheit aller möglicher Relationen angezeigt wird.

Dies erscheint vor allem dann sinnvoll, wenn für ein bestimmtes Szenario für ähnliche Einstellungen Passagierzahlen für viele oder gar alle Relationen berechnet und verglichen werden sollen.

Die Ausgabe zeigt neben den gewählten Eingaben für die verschiedenen Routen die resultierenden routenspezifischen Passagierzahlen ganz rechts im gelb hinterlegten Bereich. Diese sind so gerundet, dass nur natürliche ganze Zahlen angegeben werden.

Microsoft Excel - Tabell1511.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

R14

C	D	E	F	G	H	M	P	R	S	T	U	V	W	X	Y	CP			
2	Jahr: 2001	Szenario: 3																	
3	Von	Nach	VonNach	Passagierzahlen	Tarife														
				Geschäft	Pauschal	Urlaub	Flugdauer	IFrequenz	Best-Direct	Priori	Jugend	Super	Spar	Spar	Eco1	Eco2	Full Economy	Business	Resultat
2824	Dresden	Birmingham	Dresden-Birmingham																
2825	Dresden	Birmingham	Dresden-Birmingham																
2826	Dresden	Birmingham	Dresden-Birmingham																
2827	Dresden	Birmingham	Dresden-Birmingham																
2828	Dresden	Birmingham	Dresden-Birmingham																
2829	Dresden	Bongs	Dresden-Bongs																
2830	Dresden	Bongs	Dresden-Bongs																
2831	Dresden	Bongs	Dresden-Bongs																
2832	Dresden	Bongs	Dresden-Bongs																
2833	Dresden	Bongs	Dresden-Bongs																
2834	Dresden	Bongs	Dresden-Bongs																
2835	Dresden	Bongs	Dresden-Bongs																
2836	Dresden	Bongs	Dresden-Bongs																
2837	Dresden	Bordeaux	Dresden-Bordeaux	10000	2000	21000	1,00	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127685
2838	Dresden	Bordeaux	Dresden-Bordeaux	10000	2000	21000	2,00	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2974
2839	Dresden	Bordeaux	Dresden-Bordeaux	10000	2000	21000	2,00	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4802
2840	Dresden	Bordeaux	Dresden-Bordeaux	10000	2000	21000	2,50	0,23	0	12,00	22,00	13,00	15,00	4,00	45,00	12,00			611
2841	Dresden	Bordeaux	Dresden-Bordeaux	10000	2000	21000	2,00	0,15	13,00	13,00	23,00	15,00	20,00	54,00	45,00	45,00			6993
2842	Dresden	Bordeaux	Dresden-Bordeaux	10000	2000	21000	2,00	0,16	12,12	0	20,00	41,00	15,00	51,00	12,00	10,15			5269
2843	Dresden	Bordeaux	Dresden-Bordeaux	10000	2000	21000	1000,00	0,00	10,00	12,00	20,00	12,00	0	12,00	12,00				0
2844	Dresden	Bordeaux	Dresden-Bordeaux	10000	2000	21000	1,50	0,15	10,00	20,00	30,00	0	20,00	10,02	10,01	10,05			13392
2845	Dresden	Brno	Dresden-Brno																
2846	Dresden	Brno	Dresden-Brno																
2847	Dresden	Brno	Dresden-Brno																
2848	Dresden	Brno	Dresden-Brno																
2849	Dresden	Brno	Dresden-Brno																
2850	Dresden	Brno	Dresden-Brno																
2851	Dresden	Brno	Dresden-Brno																
2852	Dresden	Brno	Dresden-Brno																
2853	Dresden	Brüssel	Dresden-Brüssel																
2854	Dresden	Brüssel	Dresden-Brüssel																
2855	Dresden	Brüssel	Dresden-Brüssel																
2856	Dresden	Brüssel	Dresden-Brüssel																
2857	Dresden	Brüssel	Dresden-Brüssel																
2858	Dresden	Brüssel	Dresden-Brüssel																
2859	Dresden	Brüssel	Dresden-Brüssel																
2860	Dresden	Brüssel	Dresden-Brüssel																
2861	Dresden	Bukarest	Dresden-Bukarest																
2862	Dresden	Bukarest	Dresden-Bukarest																
2863	Dresden	Bukarest	Dresden-Bukarest																
2864	Dresden	Bukarest	Dresden-Bukarest																
2865	Dresden	Bukarest	Dresden-Bukarest																
2866	Dresden	Bukarest	Dresden-Bukarest																
2867	Dresden	Bukarest	Dresden-Bukarest																

Alpha Unter-Alpha Sheet7 Sheet8 Rechnung

Ready

NUM

Abb. 60: Die Angabe der resultierenden routenspezifischen Passagierzahlen erfolgt im gelb hinterlegten Bereich. Im Falle des gewählten „Start“-Knopfs erscheint die Ausgabe inmitten aller möglichen Relationen. [Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

Alternativ besteht die Möglichkeit die Ausgabeform „Start + Grafik“. Hierbei erscheint im Bildschirm oben eine Tabelle die ausschließlich die betrachtete Relation darstellt. Innerhalb dieser Tabelle werden von links nach rechts zuerst die gewählte Route, dann die resultierende Passagierzahl und folgend die eingegebenen Einstellungen dargestellt.

Von	Nach	Carrier	Resultat	Geschäftsreisende	Privatreisende	Pauschalreisende
Dresden	Bordeaux	Lufthansa(D)	127685	10000	2000	21000
Dresden	Bordeaux	Lufthansa(F)	2974	10000	2000	21000
Dresden	Bordeaux	Lufthansa(M)	4802	10000	2000	21000
Dresden	Bordeaux	AirFrance	611	10000	2000	21000
Dresden	Bordeaux	BritishAirways	6993	10000	2000	21000
Dresden	Bordeaux	SwissAir	5269	10000	2000	21000
Dresden	Bordeaux	Sabena	0	10000	2000	21000
Dresden	Bordeaux	KLM	13391	10000	2000	21000

Tab. 37: Angabe der resultierenden routenspezifischen Passagierzahlen in der Spalte „Resultat“. Hier erfolgt ausschließlich eine Darstellung der gewählten Relation. [Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

Unterhalb dieser Tabelle erfolgt zusätzlich eine Visualisierung der Anteile der Passagierzahlen für die verschiedenen Routen. Dies geschieht mit Hilfe eines Kreisdiagramms und dient ausschließlich der besseren optischen Erfassung der Ergebnisse.

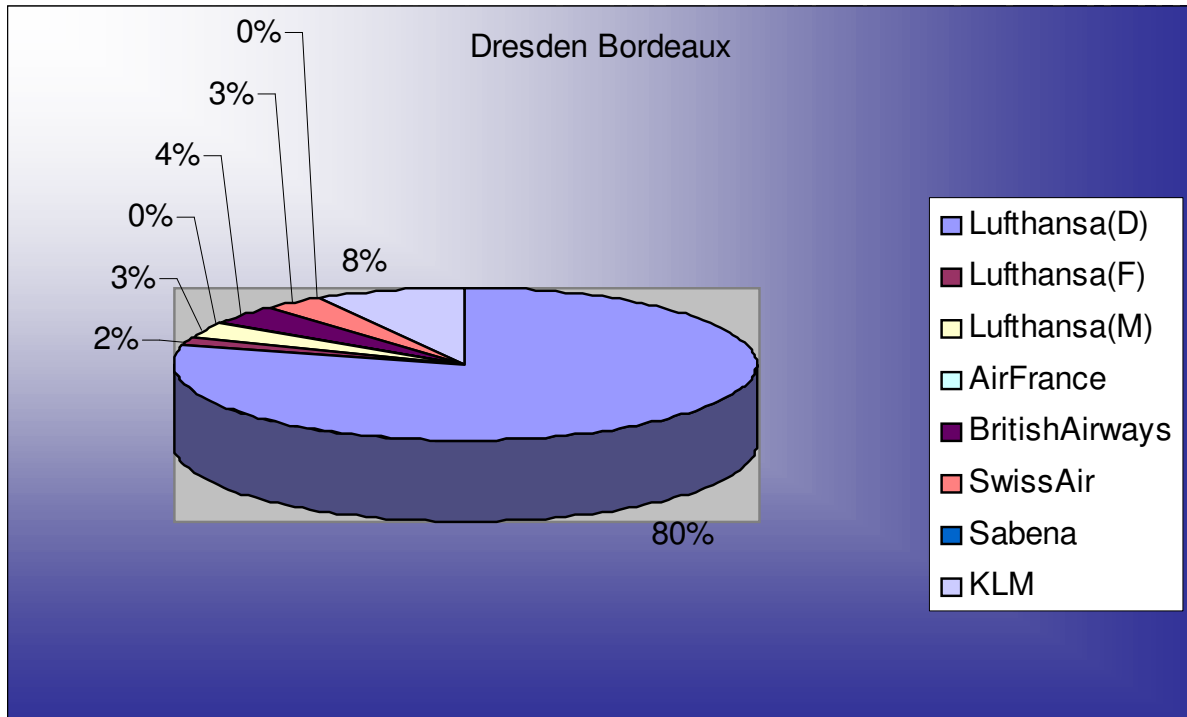


Abb. 61: Visualisierung der resultierenden, routenspezifischen Passagierzahlen mit Hilfe eines Kreisdiagramms.
[Abbildung der geschaffenen Prognoseoberfläche]

7 Ausblick

Mit den Ergebnissen des Kapitels 6 ist es gelungen, ein Prognoseinstrumentarium zu schaffen, dass es ermöglicht, auf der sehr kleinen – und damit schwierig zu handhabenden – Aggregierungsebene von Routen zukünftige Passagierzahlen im Luftverkehr vorherzusagen.

Die Arbeit basiert auf einer ausführlichen Schilderung der wichtigsten Elemente und Einflussfaktoren des Personenluftverkehrs in Kapitel 1. Darüber hinaus ist eine Darstellung aktueller und zukünftiger Trendentwicklungen sowie eine Methodisierung und Quantifizierung der Wechselwirkungen gerade in Bezug auf die gesuchten Zielgrößen eine hilfreiche Grundlage für darauf aufbauende Modellbildungen, die in dieser Genauigkeit und in diesem Umfang bisher nicht vorliegt.

Kapitel 2 entwickelt davon ausgehend einfache Modelle der Netzwerkstrukturen von Fluggesellschaften und ihren Allianzen, die damit Ausgangspunkt für eine Prognose zukünftiger Routenstrukturen sind. Auf diese Weise konnte für die beiden betrachteten Relationsgruppen des innereuropäischen und des transatlantischen Luftverkehrs eine Reihenfolge der wichtigsten Routen für das Jahr 2010 erzielt werden.

In Kapitel 3 wurde ausgehend von einer einfachen, allgemeinen Verkehrsmodellierung eine spezifische Modellierung der Verkehrserzeugung für den Bereich des Personenluftverkehrs generiert. Aufbauend auf einer plausiblen und kausalen Axiomatik wird durch sie eine Quantifizierung der Größe von Passagierströmen auf Relationen erreicht. Dabei ist eine Einbeziehung vielfältiger Einflussfaktoren wie der Bevölkerungszahl der Quell- und Zielgebiete, ihrer Entfernung, ihrer Nähe zu Flughäfen und deren Größe und Netzwerkstrukturen, den Kosten des Flugangebots, eventuellen Billigflugangeboten, der Attraktivität des Ziels als Urlaubsgebiet, der Möglichkeit der Nutzung alternativer Hochgeschwindigkeitsschienenverbindungen und den soziokulturellen Prägungen der Einwohner ermöglicht worden. Eine Quantifizierung, Erweiterung und Test für die Bundesrepublik Deutschland als Quellgebiet der Relationen auf der Basis der Fluggastbefragung des ADV des Jahres 1998 rundet dieses Bild ab und zeigt eine hohe Güte der Genauigkeit zwischen modellierten und tatsächlichen Passagiermengen.

In Kapitel 4 wurde unter Einbeziehung einer Axiomatik ein generalisiertes Verkehrswahlmodell definiert, mit dem eine beliebige Wahlmöglichkeit im Verkehrsbereich quantitativ abbildbar ist. Eine solche allgemeine Darstellung lag bisher nicht vor und kann damit als Standardisierungsmaßstab zukünftiger Fragestellungen herangezogen werden.

Dieses allgemeine Wahlmodell wird in Kapitel 5 auf die Situation einer Routenwahlentscheidung spezifiziert. Das so entstandene Modell beschreibt die Passagierströme alternativer Routen, es ist damit das erste, das dies für den Luftverkehrsbereich vermag.

Mit den Ergebnissen der Kalibrierung des Kapitels 6 ist es gelungen, für die beiden Bereiche des transatlantischen und innereuropäischen Personenluftverkehrs eine Beschreibung der Passagierströme für verschiedene Routen zu quantifizieren. Die Abweichungen der errechneten und tatsächlichen Passagierströme lagen bei durchschnittlich weniger als einem Passagier je Tag und Route und sind damit außerordentlich niedrig.

Eine Übertragung auf Prognosesituationen ist einfach möglich und wird durch die angegebene Prognoseoberfläche zusätzlich unterstützt.

Das so erhaltene Modell basiert auf einer detaillierten Analyse der bedeutendsten Interdependenzen des Personenluftverkehrs, enthält damit die wichtigsten Einflussgrößen und ist dennoch auch von einem Luftverkehrslaien nutzbar. Es erzeugt plausible Ergebnisse mit einem sehr niedrigen Kalibrierungsfehler, ist kausal, generell und enthält ein Minimum an Subjektivität.

Die Prognose routenspezifischer Passagierzahlen ist für eine Vielzahl von Unternehmen und Institutionen von großer Bedeutung. Verkehrswissenschaftliche Forschungsinstitute produzieren Prognosen für sämtliche Verkehrsbereiche, um damit die Steuerungsmöglichkeiten staatlicher Organe zu verbessern und auf Handlungsnotwendigkeiten hinzuweisen.

Das wichtigste öffentliche europäische Forschungszentrum, das sich mit einer Prognose des Luftverkehrs beschäftigt, ist das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Dieses hat vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) einen Auftrag zur Ausweitung aktueller Prognoseelemente des Luftverkehrs auf die räumliche Aggregation von Routen erhalten. Das hier vorgestellte Modell schafft erstmalig die Möglichkeit, diesem Auftrag in Zukunft nachzukommen.

Neben staatlichen Stellen sind aber auch Fluggesellschaften, ihre Allianzen und Flughäfen an Prognosen auf kleinem Aggregierungsniveau interessiert. Deren Ergebnisse dienen zur Erleichterung ihrer Planung, der Verbesserung ihres Angebots und zur Stärkung ihrer Wettbewerbsfähigkeit. So sind volkswirtschaftliche Optimierungen und Referenzszenarien, die Bestimmung einer Brandkonstante der Fluggesellschaften, optimale Frequenzen und Flugzeuggrößen, verbesserte Preis- und Kapazitätsabstimmungen, eine Wirtschaftlichkeitsprüfung neuer Direktflugangebote, Effektivitätsbemessungen veränderter Hub- und Netzwerkstrukturen und ideale Relationszuordnungen innerhalb der Allianzen durch eine Benutzung dieses Modells möglich.

Der besondere darüber hinausgehende Wert dieser Modellierung liegt aber gerade in seiner Allgemeinheit, die eine Übertragbarkeit auf andere Verkehrsmodi möglich macht. So lässt sich durch angepasste Nutzenfunktionen eine quantitative Beschreibung der Verkehrsmengengrößen basierend auf dem allgemeinen Modell des Kapitels 4 für beliebige Verkehrsmodi erreichen.

So wird gegenwärtig - basierend auf der hier vorgestellten Modellierung - innerhalb einer projektbezogenen Kooperation zwischen dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der Deutschen Bahn AG (DB) der Zubringerverkehr zu den Flughäfen der Bundesrepublik Deutschland beschrieben. Die Modellierung wird angepasst durch eine Nutzenfunktion mit etwas abweichend definiertem Service- und einem zielgebietsbezogenen Flughafennutzenterm. So können *gleichzeitig* die Aufteilung der Reisenden auf die Zubringerverkehrsmodi PKW, Taxi, Fernzug, S-Bahn und Bus und auf die alternativ wählbaren Startflughäfen beschrieben werden.

Die Ergebnisse dieses in seinen Ursprüngen deskriptiven Modells werden dann für eine Prognose zukünftiger, veränderter Reiseströme in Folge neuer Verkehrsangebote der Deutschen Bahn verwandt. Dies macht einen Test auf Wirtschaftlichkeit angedachter veränderter Bahnangebote – geänderter Frequenz, neuer Züge, neuer Bahnanschlüsse oder Hochgeschwindigkeitsschienenverbindungen – möglich.

Die dort angewandte Modellierung zeigt, dass auch für beliebige andere Verkehrsträger eine quantitative Beschreibung auf der Basis der hier entwickelten Modellbildung durchführbar ist. Die ermittelten Präferenzenkoeffizienten der verschiedenen Modi und Fragestellungen können zusätzlich durch einen weiteren Vergleich auf Plausibilität getestet werden.

Anhang A - Lösungsverhalten

Bei der Optimierung der Entscheidungsvariablen gibt es vier zu betrachtende Gruppen:

- Die Anzahl der Pauschalreisenden der verschiedenen Relationen
- Die Anteile der Kundenbindungsprogramme inklusive des Anteils der Personen ohne Kundenbindungsprogramm
- Die Gewichtungskoeffizienten der Kundenbindungsprogramme
- Die Gewichtungskoeffizienten der sonstigen Einflussgrößen

Zur Beurteilung der Güte der Modellbildung ist zu überprüfen, ob eine geringe Veränderung dieser vier Gruppen der Einflussgrößen lediglich zu einer kleinen Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen führt oder ob dies auch größere oder unregelmäßige Veränderungen der Zielgrößen hervorrufen kann.

Im folgenden wird daher für diese vier Variablen getestet, in wie weit ein – sicher in geringem Umfang unvermeidbarer – Unterschied zwischen dem die Realität am besten beschreibenden Wert und dem durch die Kalibrierung erhaltenen zu einer fehlerhaften Abschätzung der Zielgröße führt.

I Anzahl der Pauschalreisenden

Ziel ist es, die Änderung des Erwartungswerts der Zielgröße der routenspezifischen Passagierzahlen $E\langle N(i) \rangle$ für den Fall unterschiedlicher Anzahlen Pauschalreisender zu bestimmen. Sei N^{pa}_{ges} die ursprüngliche Anzahl Pauschalreisender und $\tilde{N}^{pa}_{ges}$ die variierte, mit:

$$\tilde{N}^{pa}_{ges} := N^{pa}_{ges} + \Delta \quad (269)$$

Dann lässt sich die Differenz der Erwartungswerte der routenspezifischen Passagierzahlen angeben als (Siehe Gleichungen (247), (253), (254)):

$$\begin{aligned}
 E\langle \tilde{N}(i) \rangle - E\langle N(i) \rangle &= E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle = (\tilde{N}^{pa}_{ges} - N^{pa}_{ges}) \cdot \delta_{dir}(i) \\
 &+ [\tilde{N}^{rp}_{ges} - N^{rp}_{ges}] \cdot \left[\begin{aligned} &m^{rp}(i) \cdot \frac{\exp(u^{rp}_{det}(i)) \cdot [\exp(u^{rp}_{KB}) - 1]}{\exp(u^{rp}_{det}(i)) \cdot [\exp(u^{rp}_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} \\ &+ \sum_k m^{rp}(k) \cdot \frac{\exp(u^{rp}_{det}(i))}{\exp(u^{rp}_{det}(k)) \cdot [\exp(u^{rp}_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} \\ &+ m^{rp}_{okb} \cdot \frac{\exp(u^{rp}_{det}(i))}{\sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} \end{aligned} \right] \quad (270)
 \end{aligned}$$

Einsetzen der Definition von $\tilde{N}^{pa}_{ges}$, Gleichung (269), ergibt dann:

$$\begin{aligned}
 E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle &= \Delta \cdot \\
 &\left[\begin{aligned} &\delta_{dir}(i) - \exp(u^{rp}_{det}(i)) \cdot \left[\begin{aligned} &m^{rp}(i) \cdot \frac{\exp(u^{rp}_{KB}) - 1}{\exp(u^{rp}_{det}(i)) \cdot [\exp(u^{rp}_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} \\ &+ \sum_k m^{rp}(k) \cdot \frac{1}{\exp(u^{rp}_{det}(k)) \cdot [\exp(u^{rp}_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} \\ &+ m^{rp}_{okb} \cdot \frac{1}{\sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} \end{aligned} \right] \end{aligned} \right] \quad (271)
 \end{aligned}$$

Dieses Ergebnis zeigt, dass die Veränderung der routenspezifischen Passagierzahlen für eine Variation der Anzahl der Pauschalreisenden vollkommen unabhängig ist von den Variablen, die sich auf die Gruppe der Geschäftsreisenden beziehen. Die Abhängigkeit von solchen, die den Restprivatreisenden zuzuordnen sind, ist hierbei ausschließlich ursächlich in der Struktur der beschafften Daten, welche die Anzahl der relationsspezifischen Resturlaubs- und Pauschalreisenden nicht einzeln sondern nur gesamt erfasst. Erst dies führt indirekt zu einer Abhängigkeit der Passagierzahlen von den zu den Resturlaubsreisenden gehörenden Variablen.

Die Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen ist linear zu der Änderung der Anzahl an Pauschalreisenden, Δ .

Die Analyse dieses Ergebnisses vereinfacht sich, berücksichtigt man folgende Identität (die sich dadurch ergibt, dass die Summe der Wahrscheinlichkeiten, eine Route zu wählen über alle möglichen Routen gleich eins sein muss):

$$\sum_i \exp(u^{rp}_{det}(i)) \cdot \left[m^{rp}(i) \cdot \frac{\exp(u^{rp}_{KB}) - 1}{\exp(u^{rp}_{det}(i)) \cdot [\exp(u^{rp}_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} + \sum_k m^{rp}(k) \cdot \frac{1}{\exp(u^{rp}_{det}(k)) \cdot [\exp(u^{rp}_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} + m^{rp}_{okb} \cdot \frac{1}{\sum_j \exp(u^{rp}_{det}(j))} \right] = 1 \quad (272)$$

Beachtet man zusätzlich noch, dass jeder der Brüche von Gleichung (272) echt größer null ist, so lässt sich genauer abschätzen, wie groß eine Veränderung der routenspezifischen Passagierzahlen im hier betrachteten Falle ist: Für den Direktflug ergibt sich eine Zunahme der Passagierzahlen linear zu der Änderung der Anzahl der Pauschalreisenden mit einem Faktor zwischen null und eins.

Analog verringert sich für die anderen Flüge die Anzahl um insgesamt den gleichen Wert, um den die Menge der Direktreisenden zunimmt. Auch hier ist die Änderung linear zu der Änderung der Anzahl der Pauschalreisenden, allerdings geringer als im Falle des Direktflugs. Der Proportionalitätsfaktor zu Δ , der die Verringerung der Passagierzahlen für diese Flüge angibt, liegt ebenfalls zwischen null und eins.

Mit diesem Ergebnis ist nachgewiesen, dass eine geringe Änderung der Anzahl der Pauschalreisenden nur zu unwesentlichen Veränderungen bei den routenspezifischen Passagierzahlen führt.

II Anteile der Kundenbindungsprogramme

Neben der Anzahl der Pauschalreisenden sind auch die Anteile der Kundenbindungsprogramme Entscheidungsvariablen. Daher ist auch für diese nachzuweisen, dass eine geringe Veränderung dieser Anteile nur zu geringen Änderungen der routenspezifischen Passagierzahlen führt.

Im Gegensatz zu der Variation der Anzahl der Pauschalreisenden ist nicht ohne weiteres klar, was eine Variation der Anteile der Kundenbindungsprogramme impliziert, oder genauer, welche Konsequenz die Veränderung des einen Anteils für die anderen aufweist. Um dies zu klären, ist daher jeweils die Benutzung mindestens einer zusätzlichen Annahme zur vollständigen mathematischen Beschreibung notwendig.

Bei der Variation der Kundenbindungsanteile sind folgende Aspekte zu überlegen:

- Wird der Anteil eines aktiven Kundenbindungsprogramms oder derjenige der Personen ohne Kundenbindungsprogramm variiert?
- Bleibt der Anteil an Personen ohne Kundenbindungsprogramm für den Fall einer Variation des Anteils eines aktiven Kundenbindungsprogramms identisch oder nicht?

Generell ist jedoch davon auszugehen, dass ein Festhalten an dem Verhältnis der nicht veränderten Kundenbindungsprogramme zueinander sinnvoll ist. Dann bleibt lediglich zu entscheiden, ob dies auch auf den Anteil der Personen ohne Kundenbindungsprogramm zu übertragen ist.

Dies macht für eine vollständige Analyse die Betrachtung von insgesamt drei Fällen notwendig. Exemplarisch sollen hier zwei von diesen, die zueinander die größten Unterschiede in den Annahmen aufweisen, betrachtet werden. Zur Ergänzung bleibt zu sagen, dass die Vorgehensweise und das so erhaltene Ergebnis für den dritten möglichen Fall dem der beiden ersten ähnlich ist.

In diesem Abschnitt werden die folgenden beiden plausiblen Variationen betrachtet:

- Eine Variation des Anteils der Personen ohne Kundenbindungsprogramm unter der zusätzlichen Annahme, dass das Verhältnis der Anteile der Kundenbindungsprogramme zueinander jeweils gleich bleibt.
- Eine Variation für einen Anteil an Personen mit gültigem Kundenbindungsprogramm unter der zusätzlichen Annahme, dass der Anteil an Personen ohne Kundenbindungsprogramm identisch bleibt und zusätzlich das Verhältnis der verschiedenen Anteile der anderen Kundenbindungsprogramme zueinander sich nicht ändert.

Als dritter Fall wäre schlussendlich obige Variation zu betrachten, dann aber für den Fall, dass auch der Anteil der Personen ohne Kundenbindungsprogramm im Verhältnis zu den Anteilen der anderen Kundenbindungsprogramme identisch bleibt.

Anteil der Personen ohne Kundenbindungsprogramm

Eine Veränderung des Anteils der Personen ohne Kundenbindungsprogramm um eine Differenz Δ lässt sich darstellen durch:

$$\tilde{m}_{okb}^l := m_{okb}^l + \Delta \quad (273)$$

l steht hierbei für eine mögliche Zugehörigkeit sowohl zur Gruppe der Geschäfts- wie der Restprivatreisenden.

Zusätzlich soll für alle Anteile von Personen mit gültigen Kundenbindungsprogrammen deren Verhältnis zueinander identisch bleiben. Dies bedeutet:

$$\frac{m^l(i)}{m^l(j)} = \frac{\tilde{m}^l(i)}{\tilde{m}^l(j)} \quad \forall i, j \quad (274)$$

Daraus folgt:

$$\frac{m^l(i)}{\sum_j m^l(j)} = \frac{\tilde{m}^l(i)}{\sum_j \tilde{m}^l(j)} \quad \forall i \quad (275)$$

Mit der bekannten Normierung, dass die Summe aller Personengruppenanteile gleich eins ist, folgt daraus:

$$\frac{m^l(i)}{1 - m_{okb}^l} = \frac{\tilde{m}^l(i)}{1 - \tilde{m}_{okb}^l} \quad \forall i \quad (276)$$

Auflösen nach dem veränderten Anteil der Personen mit einem gültigen Kundenbindungsprogramm für die Route i bei Einsetzen der Definition des Personenanteils ohne Kundenbindungsprogramm führt zu:

$$\tilde{m}^l(i) = m^l(i) \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{1 - m_{okb}^l} \right) \quad (277)$$

Damit ist es möglich, die veränderte Anzahl der routenspezifischen Passagierzahlen zu bestimmen:

$$E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle = N_{ges}^l \cdot \left[\begin{aligned} & (\tilde{m}^l(i) - m^l(i)) \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1]}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \\ & + (\tilde{m}_{okb}^l - m_{okb}^l) \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(i))}{\sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \\ & + \sum_k (\tilde{m}^l(k) - m^l(k)) \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(i))}{\exp(u_{det}^l(k)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \end{aligned} \right] \quad (278)$$

Mit dem Einsetzen der veränderten Anteile der Kundenbindungsprogramme wird dies zu:

$$E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle = N_{ges}^l \cdot \Delta \cdot \exp(u_{det}^l(i)) \cdot \left[\begin{aligned} & \frac{-m^l(i)}{1 - m_{okb}^l} \cdot \frac{\exp(u_{KB}^l) - 1}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \\ & + \frac{1}{\sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \\ & - \frac{1}{1 - m_{okb}^l} \sum_k \frac{m^l(k)}{\exp(u_{det}^l(k)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \end{aligned} \right] \quad (279)$$

Die Änderungen der routenspezifischen Passagierzahlen sind auch in diesem Fall linear zu der Größe der Veränderung des Anteils der Kundenbindungsprogramme, zusätzlich ist sie noch proportional zur Größe der betrachteten Gruppe der Geschäfts- oder Restprivatreisenden. Der Wert des Betrags des Terms in der großen Klammer ist erheblich kleiner eins.

Neben der Abhängigkeit vom Nutzen der betrachteten Route und dem betroffenen Kundenbindungsprogramm ist eine Erhöhung der routenspezifischen Passagierzahlen bei den Routen zu erwarten, die einen geringen Anteil an Personen mit aktivem Kundenbindungsprogramm aufweisen. Dies lässt sich daraus ableiten, dass in diesem Fall der Wert $-m^l(i)/(1 - m_{okb}^l)$ sehr gering, für Routen mit einem großen Anteil an Personen mit gültigem Kundenbindungsprogramm dagegen hoch ist.

Eine exakte Rechnung ergibt, dass eine Erhöhung der routenspezifischen Passagierzahlen für diejenigen Routen auftritt, für die folgende Ungleichung gilt:

$$m^l(i) \cdot \frac{\exp(u_{KB}^l) - 1}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \leq \varepsilon_{od} \quad (280)$$

ε_{od} bezeichnet in diesem Fall eine relationsspezifische Konstante echt größer null. Umgekehrt ergibt sich eine Verringerung der routenspezifischen Passagierzahlen für jene Flüge für die obiger Term größer der angegebenen Konstante ist. Es erhöhen sich vor allem die Passagierzahlen mit geringem Kundenbindungsanteil.

Die Tatsache, dass die Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen proportional zu $N_{ges}^l \cdot \Delta$ mit einer Proportionalitätskonstante mit einem Betrag kleiner eins ist, zeigt, dass eine Änderung des Anteils der Personen ohne Kundenbindungsprogramm nur zu geringen Veränderungen der routenspezifischen Passagierzahlen führt.

Anteil der Personen mit Kundenbindungsprogramm für die Route i

Eine andere Möglichkeit der Variation der Anteile der Kundenbindungsprogramme besteht in der Erhöhung eines Anteils um den Wert Δ :

$$\tilde{m}^l(i) := m^l(i) + \Delta \quad (281)$$

Zusätzlich soll für alle anderen Kundenbindungsprogramme das Verhältnis ihrer Anteile identisch bleiben:

$$\frac{m^l(j)}{m^l(k)} = \frac{\tilde{m}^l(j)}{\tilde{m}^l(k)} \quad \forall j, k \neq i \quad (282)$$

Diese Gleichung lässt sich alternativ formulieren:

$$\frac{m^l(j)}{\sum_{k \neq i} m^l(k)} = \frac{\tilde{m}^l(j)}{\sum_{k \neq i} \tilde{m}^l(k)} \quad \forall j \neq i \quad (283)$$

Bei der Einbeziehung des Anteils der Personen ohne aktives Kundenbindungsprogramm ist entweder eine Übertragung der letzten Gleichung auf diese Personengruppe möglich oder aber es wird davon ausgegangen, dass eine Variation des Anteils von Personen in einem bestimmten Kundenbindungsprogramm nur von Einfluss auf die anderen Kundenbindungsprogramme ist, nicht aber auf den Anteil an Personen ohne jedes Kundenbindungsprogramm. Letzteres bedeutet:

$$m^l_{okb} = \tilde{m}^l_{okb} \quad (284)$$

Eine Kombination der letzten beiden Gleichungen mit der Normierung aller Anteile zu eins liefert dann:

$$\frac{m^l(j)}{1 - m^l_{okb} - m^l(i)} = \frac{\tilde{m}^l(j)}{1 - m^l_{okb} - \tilde{m}^l(i)} \quad \forall j \neq i \quad (285)$$

Einsetzen des variierten Anteils für Personen mit einem Kundenbindungsprogramm für die Route i ergibt für die anderen, sich ändernden Kundenbindungsanteile:

$$\tilde{m}^l(j) = m^l(j) \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{1 - m^l_{okb} - m^l(i)} \right) \quad \forall j \neq i \quad (286)$$

Eine Übertragung des Gedankens identischer Verhältnisse der Anteile vor und nach der Variation auf die Personengruppe ohne Kundenbindungsprogramm wird hier nicht explizit behandelt, führt aber zu analogen Ergebnissen.

Dies bedeutet, dass im Falle eines positiven Deltas die veränderten Anteile für die anderen Kundenbindungsprogramme dann etwas größer, der veränderte Anteil ohne Kundenbindungsprogramm entsprechend etwas niedriger wird.

Man erhält so für die geänderten Erwartungswerte der Passagierzahlen:

$$E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle = N_{ges}^l \cdot \Delta \cdot \left[\frac{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot \exp(u_{KB}^l)}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} - \sum_{k \neq i} \frac{m^l(k)}{1 - m_{okb}^l - m^l(i)} \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(i))}{\exp(u_{det}^l(k)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \right] \quad (287)$$

Zu beachten ist hier die geänderte Summierung über alle $k \neq i$. Dies führt dazu, dass beim ersten Bruch die minus eins im Zähler wegfällt.

Für die Route i bedeutet dies eine Veränderung der routenspezifischen Passagierzahlen proportional zu Delta und der Größe der betrachteten Personengruppe, N_{ges}^l .

Zur Abschätzung hilfreich sind folgende Gleichungen und Ungleichungen:

$$\exp(u_{KB}^l) > 1 \quad \text{mit } u_{KB}^l > 0 \quad (288)$$

und:

$$\exp(u_{det}^l(i)) > 0 \quad \forall i \quad (289)$$

und damit auch:

$$\sum_j \exp(u_{det}^l(j)) > 0 \quad (290)$$

sowie:

$$\sum_j \exp(u_{det}^l(j)) > \exp(u_{det}^l(i)) \quad (291)$$

weiter ist:

$$\frac{m^l(k)}{1 - m^l_{okb} - m^l(i)} \in [0,1] \quad \forall k \quad (292)$$

mit der Normierung:

$$\sum_{k \neq i} \frac{m^l(k)}{1 - m^l_{okb} - m^l(i)} = 1 \quad (293)$$

So erhält man durch einfache Umformungen, dass für die geänderten Erwartungswerte der routenspezifischen Passagierzahlen der Proportionalitätsfaktor des großen Bruchs zwischen null und eins liegt. Für eine Route mit positivem Δ erhöht sich dann wie erwartet die Anzahl der routenspezifischen Passagierzahlen.

Für die anderen Routen, $h \neq i$, erhält man analog:

$$E\langle \tilde{N}(h) - N(h) \rangle = N^l_{ges} \cdot \left[\begin{aligned} & (\tilde{m}^l(h) - m^l(h)) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(h)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1]}{\exp(u^l_{det}(h)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^l_{det}(j))} \\ & + (\tilde{m}^l(i) - m^l(i)) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(h))}{\exp(u^l_{det}(i)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^l_{det}(j))} \\ & + \sum_k (\tilde{m}^l(k) - m^l(k)) \cdot \frac{\exp(u^l_{det}(h))}{\exp(u^l_{det}(k)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^l_{det}(j))} \end{aligned} \right] \quad (294)$$

Im Unterschied zur Berechnung der routenspezifischen Passagierzahlen für die Route i tauchen bei dieser Darstellung drei Summanden auf, da eine Aufteilung der Summendarstellung in zwei Elemente

aufgrund der unterschiedlichen Transformation der veränderten Anteile der Kundenbindungsprogramme nötig ist.

Das Einsetzen der veränderten Kundenbindungsanteile führt dann für alle Routen $h \neq i$ zu den veränderten routenspezifischen Passagierzahlen:

$$E\langle \tilde{N}(h) - N(h) \rangle = N_{ges}^l \cdot \Delta \cdot \left[\begin{aligned} & \frac{-m^l(h)}{1 - m_{okb}^l - m^l(i)} \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(h)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1]}{\exp(u_{det}^l(h)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \\ & + \frac{\exp(u_{det}^l(h))}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \\ & + \sum_k \frac{m^l(k)}{1 - m_{okb}^l - m^l(i)} \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(h))}{\exp(u_{det}^l(k)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \end{aligned} \right] \quad (295)$$

Auch für die anderen Flugrouten, $h \neq i$, ergibt sich somit eine Veränderung der routenspezifischen Passagierzahlen proportional zu der Änderung Δ , und der Anzahl der betroffenen Personengruppe, N_{ges}^l . Aufgrund des erhöhten Nutzens für den Flug h führt eine zu der Route i analoge Betrachtung zu einer leichten Verringerung der routenspezifischen Passagierzahlen.

Generell ist somit für alle Fälle einer Variation der Anteile der Kundenbindungsprogramme gezeigt, dass eine Veränderung der routenspezifischen Passagierzahlen immer proportional zur Änderung Δ , sowie der Anzahl der betroffenen Personengruppe ist. Die Größe des Proportionalitätsfaktors ist vom Betrag jeweils kleiner als eins.

Damit hat sich für eine Variation der Anteile der Kundenbindungsprogramme ergeben, dass die Auswirkung auf die routenspezifischen Passagierzahlen die gewünschte Form aufweisen.

III Nutzen der Kundenbindungsprogramme

In diesem und dem folgenden Abschnitt werden die Elemente der Nutzenfunktion betrachtet, die Aufschluss über die Präferenzenbildung der Passagiere geben. Zuerst wird eine Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen für den Fall eines variierten Nutzens für ein aktives Kundenbindungsprogramm untersucht. Dies bedeutet:

$$\tilde{u}^l_{KB}(i) := u^l_{KB}(i) + \Delta \quad (296)$$

Und für alle weiteren Kundenbindungsprogramme:

$$\tilde{u}^l_{KB}(j) := u^l_{KB}(j) \quad \forall j \neq i \quad (297)$$

Dies entspricht inhaltlich einer Veränderung des Nutzens des Kundenbindungsprogramms für eine Route i , während für alle anderen Kundenbindungsprogramme der Nutzen dagegen identisch bleibt.

Alternativ wäre der Fall zu untersuchen, bei dem sich gleichzeitig die Nutzen für alle Kundenbindungsprogramme um den gleichen Wert ändern. Allerdings zeigt eine einfache Überlegung, dass sich die routenspezifischen Passagierzahlen stärker verändern, wenn lediglich der Nutzen des Kundenbindungsprogramms für eine Fluggesellschaft variiert wird. Kann für diesen Fall nachgewiesen werden, dass diese Änderung lediglich einen geringen Umfang erreicht, so ist dies ohne weiteres auf eine Veränderung der Nutzen der Kundenbindungsprogramme aller Fluggesellschaften zu übertragen. Umgekehrt gilt dies nicht.

Für den Fall eines geänderten Nutzens eines Kundenbindungsprogramms wird die Differenz der routenspezifischen Passagierzahlen für die Route i :

$$E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle = N^l_{ges} \cdot m^l(i) \cdot \exp(u^l_{det}(i)) \cdot \left[\frac{\exp(\tilde{u}^l_{KB}(i))}{\exp(u^l_{det}(i)) \cdot [\exp(\tilde{u}^l_{KB}(i)) - 1] + \sum_j \exp(u^l_{det}(j))} - \frac{\exp(u^l_{KB}(i))}{\exp(u^l_{det}(i)) \cdot [\exp(u^l_{KB}(i)) - 1] + \sum_j \exp(u^l_{det}(j))} \right] \quad (298)$$

Die Minus eins im Zähler fällt in diesem Fall fort, da eine Veränderung des Nutzens nur auf einer Route auftritt, was eine Änderung der Summierung sinnvoll macht.

Einsetzen der Definition des variierten Nutzens des Kundenbindungsanteils für die Route i und Bildung des Hauptnenners liefert:

$$E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle = \frac{N_{ges}^l \cdot m^l(i) \cdot \exp(u_{det}^l(i))}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l(i)) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \cdot \frac{\exp(u_{KB}^l(i)) \cdot (\exp(\Delta) - 1) \cdot \left(\sum_j \exp(u_{det}^l(j)) - \exp(u_{det}^l(i)) \right)}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l(i)) \cdot \exp(\Delta) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \quad (299)$$

Dies lässt sich noch an einer Stelle im Zähler zusammenfassen:

$$E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle = \frac{N_{ges}^l \cdot m^l(i) \cdot \exp(u_{det}^l(i))}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l(i)) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \cdot \frac{\exp(u_{KB}^l(i)) \cdot (\exp(\Delta) - 1) \cdot \sum_{j \neq i} \exp(u_{det}^l(j))}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l(i)) \cdot \exp(\Delta) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \quad (300)$$

Die Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen ist im Falle eines veränderten Nutzen des Kundenbindungsprogramms für dieselbe Route proportional zur Größe der betroffenen Personengruppe, N_{ges}^l , sowie zum Anteil des Kundenbindungsprogramms dieser Route. Sie ist nicht linear zur Variation Δ des Nutzens des ausgewählten Kundenbindungsprogramms. Allerdings führt eine Erhöhung des Nutzens des Kundenbindungsprogramms zu einer Erhöhung der entsprechenden routenspezifischen Passagierzahlen und umgekehrt.

Möchte man genauer untersuchen, wie sich diese Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen für den hier interessanten Fall einer lediglich kleinen Änderung des Nutzens der Kundenbindungsprogramme, also: $|\Delta| \ll 1$, verhält, so ist es möglich, die folgende Taylorabschätzung zu benutzen:

$$\exp(\Delta) \approx 1 + \Delta \quad \text{falls } |\Delta| \ll 1 \quad (301)$$

Diese Abschätzung führt für kleine Änderungen des Nutzens des Kundenbindungsprogramms zu veränderten routenspezifischen Passagierzahlen der Route i mit:

$$E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle \approx N_{ges}^i \cdot m^i(i) \cdot \Delta \cdot \frac{\exp(u_{KB}^i(i)) \cdot \exp(u_{det}^i(i)) \cdot \sum_{j \neq i} \exp(u_{det}^i(j))}{\left[\exp(u_{det}^i(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^i(i)) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^i(j)) \right]^2} \quad (302)$$

Bei diesem Ergebnis ist zu erkennen, dass für dieselbe Route i die Veränderung der routenspezifischen Passagierzahlen proportional zu der betroffenen Personengruppe, zum Anteil des betroffenen Kundenbindungsprogramms und - im Falle kleiner Variationen - auch zur Größe der Änderung selbst ist.

Mittels einfacher Umformungen lässt sich zeigen, dass der Proportionalitätsfaktor des großen Bruchs der obigen Gleichung zwischen null und eins liegt.

Für alle anderen Flugrouten, $h \neq i$, verändert sich ebenfalls die Menge der routenspezifischen Passagierzahlen. Für diese gilt:

$$E\langle \tilde{N}(h) - N(h) \rangle = N_{ges}^i \cdot m^i(i) \cdot \exp(u_{det}^i(h)) \cdot \left[\frac{1}{\exp(u_{det}^i(i)) \cdot [\exp(\tilde{u}_{KB}^i(i)) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^i(j))} - \frac{1}{\exp(u_{det}^i(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^i(i)) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^i(j))} \right] \quad (303)$$

Diese Gleichung ist von ihrer Form dem Fall für die Route i sehr ähnlich. Ein Vergleich zeigt lediglich zwei Unterschiede, auf die an späterer Stelle eingegangen wird.

Auch hier ist es sinnvoll, wieder den Hauptnenner zu bilden. Dies führt zusammen mit der Definition des veränderten Nutzens des Kundenbindungsprogramms zu:

$$E\langle \tilde{N}(h) - N(h) \rangle = \frac{N_{ges}^i \cdot m^i(i) \cdot \exp(u_{det}^i(h))}{\exp(u_{det}^i(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^i(i)) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^i(j))} \cdot \frac{\exp(u_{det}^i(i)) \cdot (\exp(u_{KB}^i(i)) - 1) \cdot (\exp(u_{KB}^i(i)) \cdot \exp(\Delta) - 1)}{\exp(u_{det}^i(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^i(i)) \cdot \exp(\Delta) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^i(j))} \quad (304)$$

Zusammenfassen der Differenz im Zähler ergibt:

$$E\langle \tilde{N}(h) - N(h) \rangle = \frac{-N_{ges}^l \cdot m^l(i) \cdot \exp(u_{det}^l(h))}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l(i)) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \cdot \frac{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot \exp(u_{KB}^l(i)) \cdot (\exp(\Delta) - 1)}{\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l(i)) \cdot \exp(\Delta) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j))} \quad (305)$$

Ein Vergleich mit der Gleichung für die Route i zeigt, dass sich dieses Ergebnis durch das Vorzeichen, das aufgrund der Normierung umgekehrt ist, unterscheidet. Zusätzlich findet statt der kompletten Summe aller exponentiellen Nutzen der Flüge, für die der Nutzen des Kundenbindungsprogramms nicht verändert wurde, nur noch das Element dieser Summe Berücksichtigung, das sich auf die jeweils betrachtete Route bezieht.

Auch diese Gleichung lässt sich mit Hilfe der Taylorabschätzung für kleine Änderungen Δ abschätzen und man erhält als Näherung:

$$E\langle \tilde{N}(h) - N(h) \rangle \approx -N_{ges}^l \cdot m^l(i) \cdot \Delta \cdot \frac{\exp(u_{KB}^l(i)) \cdot \exp(u_{det}^l(i)) \cdot \exp(u_{det}^l(h))}{\left[\exp(u_{det}^l(i)) \cdot [\exp(u_{KB}^l(i)) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j)) \right]^2} \quad (306)$$

Auch für diese Gleichung gilt der identische Unterschied zu der entsprechenden für die Route i . Das Vorzeichen hat sich geändert und im Zähler wird nur noch mit dem Nutzen der hier betrachteten Route h multipliziert.

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass für alle Flugrouten eine Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen proportional zur Anzahl der betrachteten Personengruppe N^a und dem Anteil des Kundenbindungsprogramms, dessen Nutzen verändert wurde, ist. Zusätzlich ist sie für kleine Variationen Δ auch etwa proportional zu dieser, mit einem Betrag des Proportionalitätsfaktors kleiner eins.

Damit ist auch für eine solche Variation gezeigt, dass eine kleine Veränderung des Nutzens von Kundenbindungsprogrammen nur zu geringen Änderungen der routenspezifischen Passagierzahlen führt.

IV Gewichtungskoeffizienten der Nutzenfunktion

Abschließend bleibt die Frage zu klären, wie sich eine Änderung der Gewichtungskoeffizienten der Nutzenfunktion auf die routenspezifischen Passagierzahlen auswirkt.

Die Nutzenfunktion der Flugroutenwahlentscheidung – wie ausführlich im Abschnitt 5.1 betrachtet – lässt sich mit ihrem deterministischen Teil als Summe von Produkten von Gewichtungskoeffizienten a_{λ} , mit den jeweiligen Funktionen f_{λ} ihrer Einflussvariablen λ abbilden:

$$u^l_{\text{det}}(i) := \sum_{\lambda} a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) \quad (307)$$

Folgend wird der Fall betrachtet, bei dem einer dieser Präferenzenkoeffizienten variiert wird. Dann ist für ein ausgewähltes λ :

$$\tilde{\alpha}^l_{\lambda} := \alpha^l_{\lambda} + \Delta \quad (308)$$

Für alle anderen Einflussvariablen $\kappa \neq \lambda$ gilt:

$$\tilde{\alpha}^l_{\kappa} := \alpha^l_{\kappa} + \Delta \quad \forall \kappa \neq \lambda \quad (309)$$

Zur Vereinfachung wird folgende Kurznotation für die deterministische Restnutzenfunktion eingeführt:

$$u^{l,\lambda}_{\text{det}}(i) := \sum_{\kappa \neq \lambda} a^l_{\kappa} \cdot f^l_{\kappa}(i) \quad (310)$$

Dies bedeutet für die Veränderung der routenspezifischen Passagierzahlen:

$$\begin{aligned}
 E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle &= N^l_{ges} \cdot m^l(i) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] \cdot \\
 &\left[\frac{\exp(\tilde{a}^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) + u^{l,\lambda}_{det}(i))}{\exp(\tilde{a}^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) + u^{l,\lambda}_{det}(i)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(\tilde{a}^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(j) + u^{l,\lambda}_{det}(j))} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{\exp(a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) + u^{l,\lambda}_{det}(i))}{\exp(a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) + u^{l,\lambda}_{det}(i)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(j) + u^{l,\lambda}_{det}(j))} \right] \\
 &+ N^l_{ges} \cdot \sum_k m^l(k) \\
 &\left[\frac{\exp(\tilde{a}^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) + u^{l,\lambda}_{det}(i))}{\exp(\tilde{a}^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(k) + u^{l,\lambda}_{det}(k)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(\tilde{a}^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(j) + u^{l,\lambda}_{det}(j))} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{\exp(a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) + u^{l,\lambda}_{det}(i))}{\exp(a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(k) + u^{l,\lambda}_{det}(k)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(j) + u^{l,\lambda}_{det}(j))} \right] \quad (311) \\
 &+ N^l_{ges} \cdot m^l_{okb} \\
 &\left[\frac{\exp(\tilde{a}^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) + u^{l,\lambda}_{det}(i))}{\sum_j \exp(\tilde{a}^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(j) + u^{l,\lambda}_{det}(j))} - \frac{\exp(a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(i) + u^{l,\lambda}_{det}(i))}{\sum_j \exp(a^l_{\lambda} \cdot f^l_{\lambda}(j) + u^{l,\lambda}_{det}(j))} \right]
 \end{aligned}$$

Auflösen der Differenzen der Brüche durch Bildung eines Hauptnenners, sowie Einsetzen des veränderten Gewichtungskoeffizienten ergibt nach einigen weiteren Umformungen:

$$\begin{aligned}
 E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle &= \frac{N^l_{ges} \cdot m^l(i) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] \cdot \exp(u^l_{det}(i))}{\exp(u^l_{det}(i)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^l_{det}(j))} \cdot \\
 &\quad \frac{\sum_j \exp(u^l_{det}(j)) \cdot (\exp(\Delta \cdot f^l_{\lambda}(i)) - \exp(\Delta \cdot f^l_{\lambda}(j)))}{\exp(u^l_{det}(i)) \cdot \exp(\Delta \cdot f^l_{\lambda}(i)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(\Delta \cdot f^l_{\lambda}(j)) \cdot \exp(u^{l,\lambda}_{det}(j))} \\
 &+ N^l_{ges} \cdot \sum_j \exp(u^l_{det}(j)) \cdot (\exp(\Delta \cdot f^l_{\lambda}(i)) - \exp(\Delta \cdot f^l_{\lambda}(j))) \cdot \\
 &\quad \sum_k m^l(k) \cdot \left[\frac{\left(\exp(u^l_{det}(k)) \cdot \exp(\Delta \cdot f^l_{\lambda}(k)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(\Delta \cdot f^l_{\lambda}(j)) \cdot \exp(u^l_{det}(j)) \right)}{\left(\exp(u^l_{det}(k)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^l_{det}(j)) \right)} \right]^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + N_{ges}^l \cdot \sum_k m^l(k) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] \cdot \exp\left(\sum_{\kappa} a_{\kappa}^l \cdot (f_{\kappa}^l(i) + f_{\kappa}^l(k))\right) \cdot (\exp(\Delta \cdot f_{\lambda}^l(i)) - \exp(\Delta \cdot f_{\lambda}^l(k))) \cdot \\
 & \left[\left(\exp(u_{det}^l(k)) \cdot \exp(\Delta \cdot f_{\lambda}^l(k)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(\Delta \cdot f_{\lambda}^l(j)) \cdot \exp(u_{det}^l(j)) \right) \right]^{-1} \\
 & \left[\exp(u_{det}^l(k)) \cdot [\exp(u_{KB}^l) - 1] + \sum_j \exp(u_{det}^l(j)) \right] \\
 & + N_{ges}^l \cdot m_{okb}^l \cdot \frac{\left(\sum_j \exp(u_{det}^l(j)) \cdot (\exp(\Delta \cdot f_{\lambda}^l(i)) - \exp(\Delta \cdot f_{\lambda}^l(j))) \right)}{\left(\sum_j \exp(\Delta \cdot f_{\lambda}^l(j)) \cdot \exp(u_{det}^l(j)) \right) \cdot \left(\sum_j \exp(u_{det}^l(j)) \right)} \quad (312)
 \end{aligned}$$

Bei einer Betrachtung der Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen für den interessanten Fall einer lediglich kleinen Änderung der Gewichtungskoeffizienten, also falls $|\Delta \cdot x_{\lambda}^a| \ll 1$ ist, kann hier erneut eine Taylorabschätzung benutzt werden:

$$\exp(\Delta \cdot f_{\lambda}^l) \approx 1 + \Delta \cdot f_{\lambda}^l \quad \text{falls } |\Delta \cdot f_{\lambda}^l| \ll 1 \quad (313)$$

Diese Abschätzungen liefert dann für die geänderten routenspezifischen Passagierzahlen im Falle geringerer Variationen der Gewichtungskoeffizienten:

$$E\langle \tilde{N}(i) - N(i) \rangle = N_{ges}^l \cdot \Delta \cdot \left(\begin{aligned} & \frac{m^l(i) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] \cdot \exp(u^l \det(i)) \cdot \left(\sum_j \exp(u^l \det(j)) \cdot (f^l_\lambda(i) - f^l_\lambda(j)) \right)}{\left(\exp(u^l \det(i)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^l \det(j)) \right)^2} \\ & + m^l_{okb} \cdot \frac{\left(\sum_j \exp(u^l \det(j)) \cdot (f^l_\lambda(i) - f^l_\lambda(j)) \right)}{\left(\sum_j \exp(u^l \det(j)) \right)^2} \\ & + \sum_k \frac{m^l(k) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] \cdot \exp\left(\sum_\kappa a^l_\kappa \cdot (f^l_\lambda(i) + f^l_\lambda(j)) \right) \cdot (f^l_\lambda(i) - f^l_\lambda(j))}{\left(\exp(u^l \det(k)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^l \det(j)) \right)^2} \\ & + \sum_k \frac{m^l(k) \cdot \left(\sum_j \exp(u^l \det(j)) \cdot (f^l_\lambda(i) - f^l_\lambda(j)) \right)}{\left(\exp(u^l \det(k)) \cdot [\exp(u^l_{KB}) - 1] + \sum_j \exp(u^l \det(j)) \right)^2} \end{aligned} \right) \quad (314)$$

An diesem Ergebnis erkennt man, dass für kleine Änderungen der Gewichtungskoeffizienten die Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen proportional zur Anzahl der betrachteten Personengruppe und zur Änderung Δ ist. Der Proportionalitätsfaktor ist hierbei vom Betrag kleiner eins und hängt wesentlich von der Differenz der entsprechenden Einflussgrößenfunktion für die verschiedenen Routen ab. So hätte im Falle einer identischen Einflussgrößenfunktion für alle Routen - wie erwartet - eine Erhöhung des Gewichtungskoeffizienten keine Auswirkung auf die routenspezifischen Passagierzahlen, da die Entscheidung der Passagiere in diesem Fall von dieser Einflussvariable unabhängig ist.

Damit ist für alle Zielgrößen ein lineares Verhalten der Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen für eine kleine Änderung der Entscheidungsvariablen gezeigt. Dies ist eine wesentliche Grundlage zur Bestätigung des gewählten indirekten Vorgehens bei der Prognose zukünftiger Passagierzahlen. Denn es ist damit bewiesen, dass eine - durch die aktuellen Daten bedingte - geringe Abweichung der Bestimmung der Entscheidungsvariablen, die unvermeidlich ist, für die zukünftigen Passagierzahlen zu lediglich geringen Abweichungen führt.

Zusätzlich ist noch gezeigt, dass eine Erhöhung (und analog eine Verringerung) einer beliebigen Einflussvariable immer zu einer analogen Veränderung der routenspezifischen Passagierzahlen führt oder

mathematisch formuliert: die Ableitung der routenspezifischen Passagierzahlen nach den Entscheidungsgrößen ist für jede Route entweder immer größer oder gleich null oder immer kleiner oder gleich null. Der Betrag dieser Ableitung ist dabei immer kleiner oder gleich der Größe der entsprechenden Personengruppe.

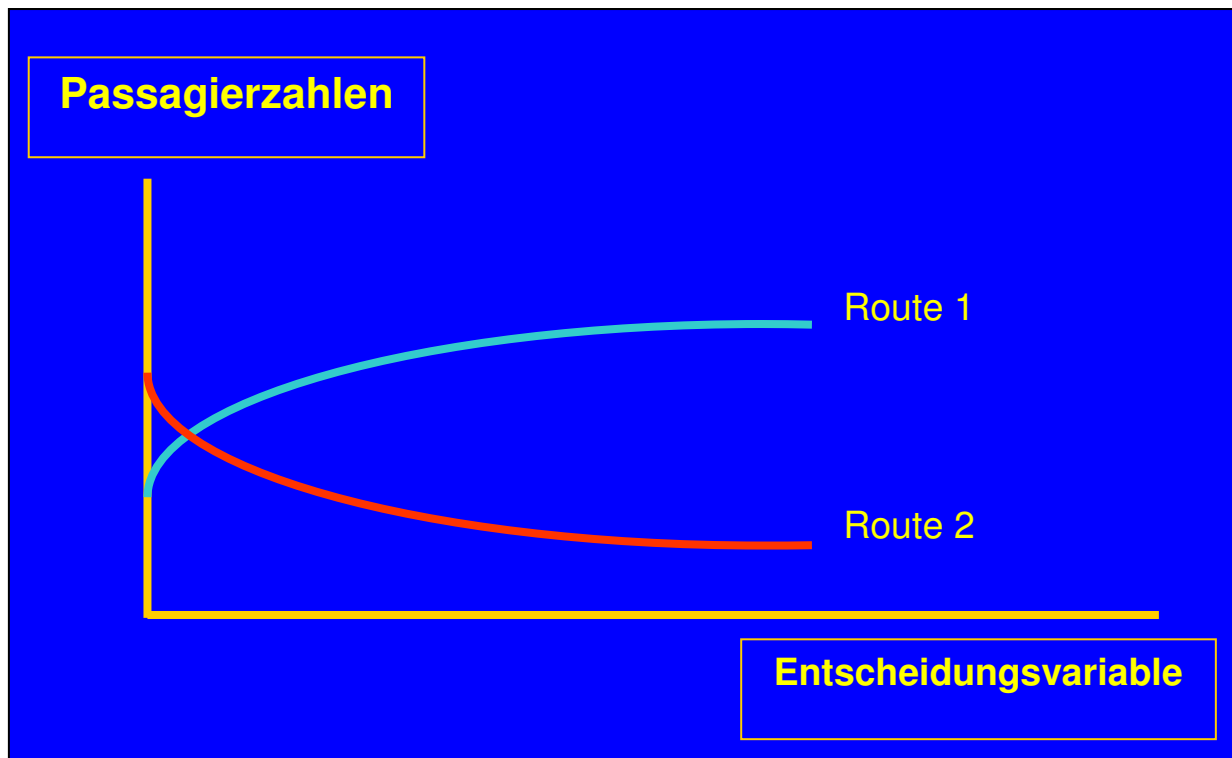


Abb. 62: Eine Veränderung einer Entscheidungsvariablen führt zu einer kontinuierlichen und streng monotonen Änderung der routenspezifischen Passagierzahlen.

Anhang B - Methode der kleinsten Quadrate

Ist ein funktionaler Zusammenhang durch Angabe der Funktionenschar identifiziert, so stellen sich folgend zwei Fragen zur Bestimmung der zugehörigen bestmöglichen Funktion:

- Nach welchem Kriterium wählt man die Funktion und wie wird diese bestimmt?
- Wie gut oder genau ist die gewählte Funktion und wie bedeutend ist dieses Maß für eine mögliche Interpretation der Güte des benutzten Ansatzes?

Ziel der Auswahl einer bestimmten Funktion aus einer Funktionenschar ist der Wunsch nach einem minimalen Fehler oder einer minimalen Abweichung.

Bei der Auswahl der Funktion ist die Interpretation eines Gesamtfehlers als Summe der einzelnen Fehler naheliegend. Die einzelnen Fehler sind beispielsweise interpretierbar als Beträge der Abstände der gemessenen von den theoretischen Werten und können, falls dies sinnvoll sein sollte, unterschiedlich gewichtet werden.

Sei $y(t_i)$ der gemessene Wert an der Stelle $t = t_i$ und $f(t_i)$ der Funktionswert einer beliebigen Funktion der Funktionenschar an derselben Stelle, dann erhält man die optimale Funktion unter dem Kriterium eines minimalen, gesamten, absoluten, ungewichteten Fehlers durch die Minimierung:

$$\min_f \sum_i |f(t_i) - y(t_i)| \quad (315)$$

Tatsächlich wird diese naheliegende Wahl des Kriteriums zur Bestimmung der optimalen Funktion nur sehr selten benutzt. Ursache dafür ist vor allem, dass die Ableitung des Betrags bei der Bestimmung der optimalen Funktion häufig erhebliche Schwierigkeiten bereitet.

Abbildung 63 zeigt am Beispiel vierer, gemessener Punkte die Ermittlung einer Trendfunktion durch Summierung der absoluten, betragsmäßigen Fehler (hier dargestellt mittels gestrichelter Doppelpfeile).

Ein alternatives Konzept ist die Methode der kleinsten Quadrate. Bei dieser wird aus der Funktionenschar diejenige ausgewählt, welche die geringste Summe der quadratischen, ungewichteten, absoluten Fehler aufweist.

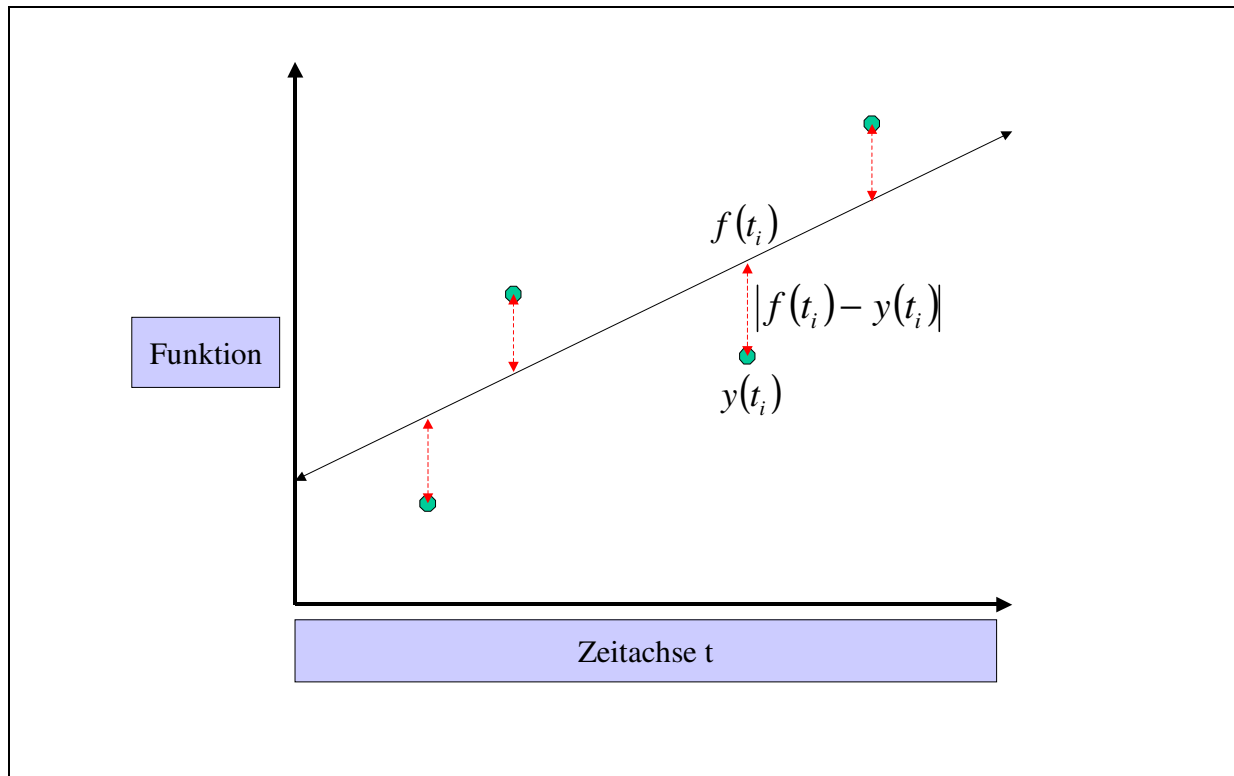


Abb. 63: Eine Möglichkeit zur Identifizierung der bestmöglichen Funktion einer Funktionenschar ist die Wahl derjenigen mit der geringsten Summe ihrer absoluten Fehler $|f(t_i) - y(t_i)|$. [Eigenständige Abbildung]

Vorteil der quadratischen Funktion ist, dass sie ebenfalls nur von dem Betrag der absoluten Fehler, nicht aber von ihrem Vorzeichen abhängt, und sich eine Ableitung ohne Problem bilden lässt. Dies gilt entsprechend für alle anderen geraden Potenzen. Gleichzeitig erhält man bei der Bildung der Ableitung eine lineare Funktion, was im Gegensatz zu höherzahligen Potenzen eine größere Wahrscheinlichkeit für die Eindeutigkeit der Lösung bedeutet. Zusätzlich weist die Definition dieses quadratischen Fehlers eine strukturelle Ähnlichkeit zur Definition der Varianz auf, was eine verbesserte Vergleichsmöglichkeit und auch Analogie in der Bewertung möglich macht.

Eine wichtige Eigenschaft der Methode der kleinsten Quadrate ist allerdings, dass im Vergleich zu der Summenbildung der Betragsabstände eine höhere Gewichtung der großen Abweichungen und eine niedrigere Gewichtung der kleinen Abstände auftritt. Dies ist bei der Analyse zu beachten. Besonders wenn es um die Vermeidung methodischer oder Messfehler geht, die nicht frühzeitig identifiziert werden konnten, führt dies im Falle der quadratischen Fehler zu einer größeren, ungewünschten Veränderung bei der Ermittlung der optimalen Funktion, als dies bei den einfachen betragsmäßigen Fehlern gewesen wäre.

Mathematisch geschieht die Auswahl der Funktion auch hier durch eine Minimierung:

$$\min_f \sum_i (f(t_i) - y(t_i))^2 \quad (316)$$

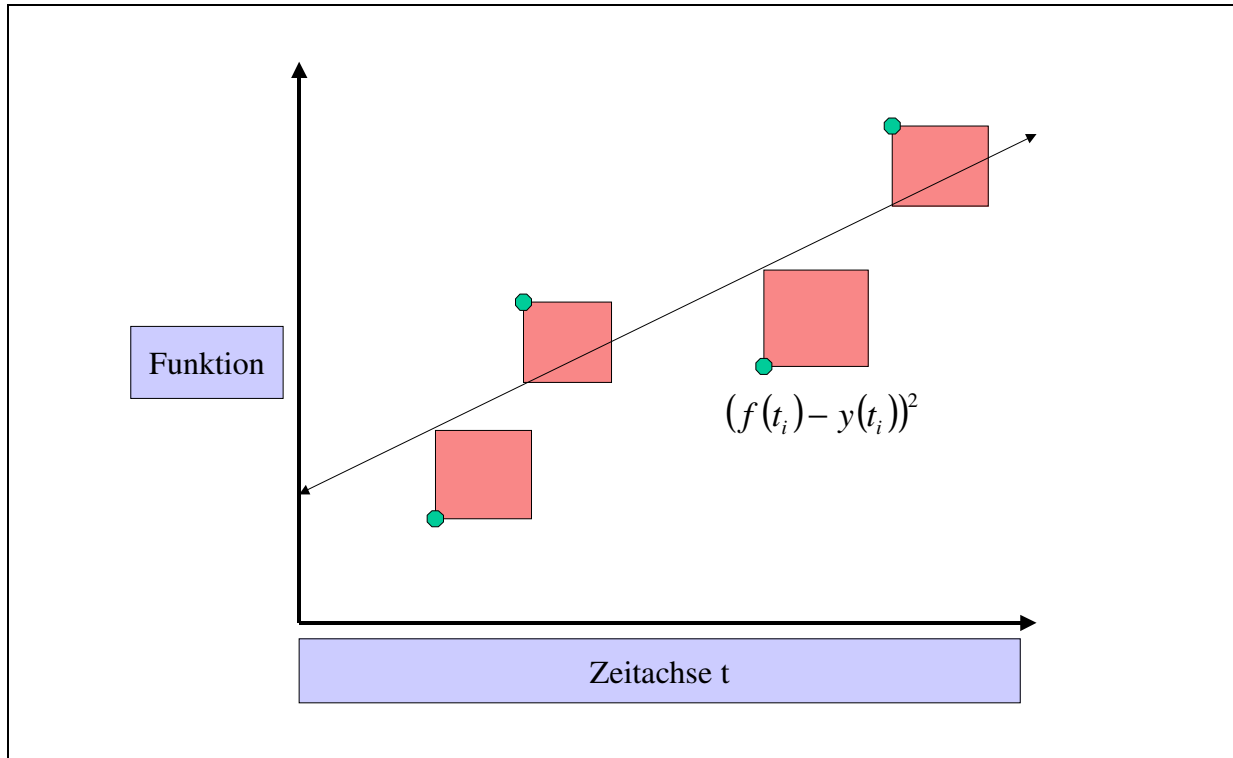


Abb. 64: Die Methode der kleinsten Quadrate wählt die optimale Zielfunktion so, dass die Summe der Quadrate der Differenzen der gemessenen und der berechneten Funktionswerte (hier durch rote Quadrate dargestellt) minimal wird. [Eigenständige Abbildung]

Abbildung 64 zeigt die quadratischen Fehler als Quadrate mit einer Seitenlänge des Betrags der Differenz des gemessenen Werts mit dem Funktionswert der genäherten Funktion. Die Minimierung der absoluten quadratischen Fehler entspricht in dieser Abbildung einer Auswahl der Funktion dergestalt, dass die Summe der Flächen der Quadrate minimal wird.

Nachdem zwei alternative Möglichkeiten dargestellt wurden, für eine gewählte Funktionenschar unter Berücksichtigung der gemessenen Werte die jeweils entsprechend beste Funktion auszuwählen, ist anschließend die Frage zu beantworten, wie sich die Güte der optimalen Funktion bewerten und angeben lässt, und ob aus diesem Maß ein solches zur Verifizierung oder Falsifizierung der Theorie respektive der Wahl der Funktionsschar angegeben werden kann.

Als Maß für die Erklärungsleistung eines Modells wird oft der Determinationskoeffizient R^2 verwendet, der bei einer „normalen“, inhomogenen Regression (inklusive Achsenabschnitt b_1) als Quotient aus der erklärten Quadratsumme $SQR = \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ und der totalen Quadratsumme $SQT = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$ definiert ist:

$$R^2 := \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} = \frac{SQR}{SQT} = \frac{SQT - SQF}{SQT} = 1 - \frac{SQF}{SQT} \quad (\text{siehe [Paul1999]}) \quad (317)$$

Hierbei wurde $\bar{y}$ definiert als ungewichteter, arithmetischer Mittelwert aller y_i :

$$\bar{y} := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_i \quad (318)$$

und zusätzlich die unerklärte Fehlerquadratsumme SQF mit:

$$SQF := \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (319)$$

Zusätzlich lässt sich leicht zeigen:

$$SQF \leq SQT \quad (320)$$

Damit wird R^2 zum Maß der Güte der Annäherung einer Funktion an eine Menge diskreter Punkte:

$$R^2 \in [0,1] \quad (321)$$

Ein hoher Wert bedeutet eine gute Annäherung der Funktion an die vorgegebenen Messpunkte und analog ein niedriger Wert eine schlechte.

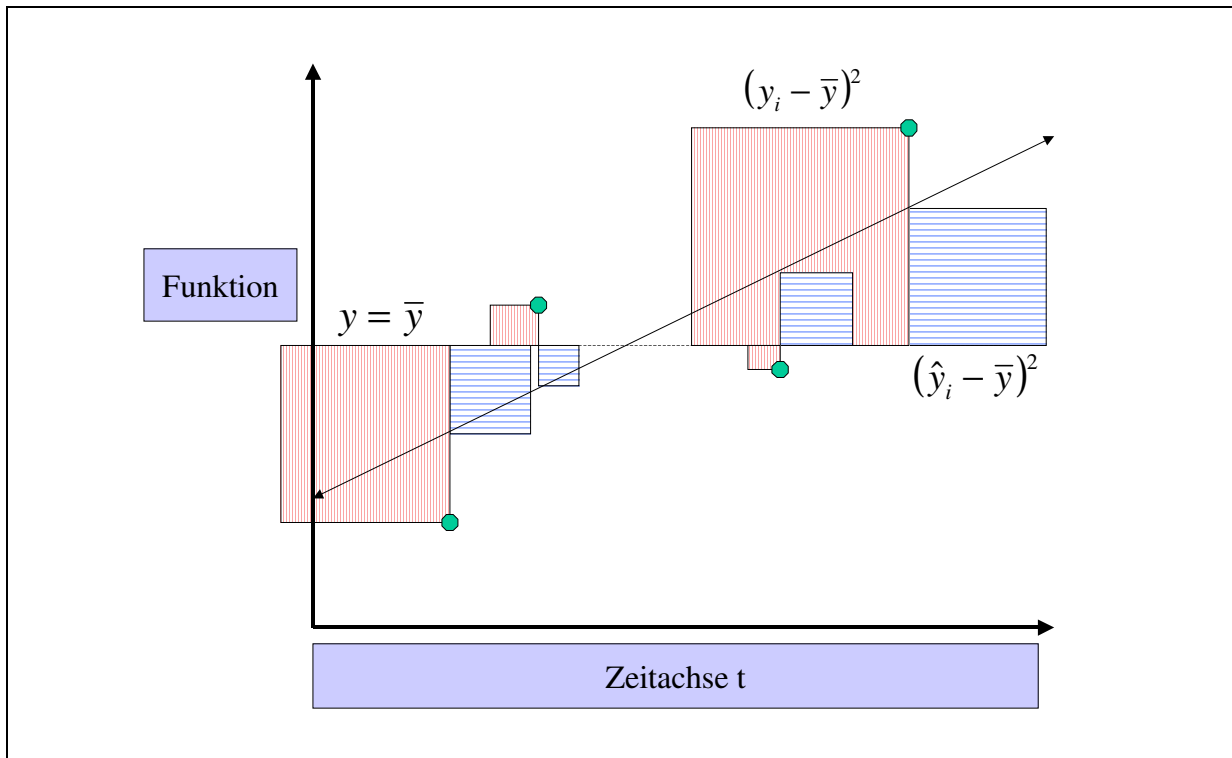


Abb. 65: Zur Messung der Güte einer mit der Methode der kleinsten Quadrate bestimmten Funktion wird der Determinationskoeffizient R^2 verwendet. Dieser ist definiert als der Quotient der Summe der quadratischen Abstände der Funktionswerte vom Mittelwert (hier dargestellt durch blaue quergestreifte Quadrate) durch die Summe der quadratischen Abstände der Messpunkte vom Mittelwert (hier dargestellt durch rote längsgestreifte Quadrate). [Eigenständige Abbildung]

Abbildung 65 illustriert die Methode des Determinationskoeffizienten R^2 . Hierbei wird der Quotient der Summe der quadratischen Differenzen der Funktionswerte vom Mittelwert der Messpunkte zu der Summe der quadratischen Differenzen der Messwerte vom Mittelwert gebildet.

Es lässt sich leicht erkennen, dass die Summe der Größe der roten Quadrate größer ist, als die der blauen Quadrate, was der Ungleichung $R^2 \leq 1$ entspricht. Zusätzlich ist zu sehen, dass ein hoher Wert des Determinationskoeffizienten einer geringen Größe der blau illustrierten Quadrate entspricht. Dies ist dann der Fall, wenn die durch die Funktion erhaltenen Werte nahe an den Messwerten liegen, also falls

$$\frac{SQF}{SQT} \ll 1.$$

Der Determinationskoeffizient beschreibt die Übereinstimmung der Funktionswerte mit den Messwerten. Er sagt damit nicht automatisch etwas über die Güte eines Ansatzes aus. So lässt sich praktisch immer eine Funktion finden, die alle Messpunkte identisch erzeugt. Hierzu muss in aller Regel nur bei einer geeigneten Wahl der Funktionenschar die Größe der Einstellparameter mindestens gleich der Menge der Messpunkte sein. Um dies zu berücksichtigen, ist ein erweiterter Koeffizient R_a^2 definiert worden, der zusätzlich die Menge an Freiheitsgraden berücksichtigt.

Während also ein hoher Determinationskoeffizient nicht unbedingt ein sicheres Zeichen für eine gute Wahl der Funktion ist, ist umgekehrt ein schlechter Determinationskoeffizient tendenziell immer als ungünstig zu sehen, kann aber auch auf stochastische Prozesse oder Messfehler hindeuten.

Anhang C - Exempel des verwendeten Datenmaterials

Im folgenden finden sich drei Beispiele für das ursprüngliche Datenmaterial (Die zusätzlich wichtigen Daten der ADV-Befragung können aus Vertraulichkeitsgründen auch nicht in Ausschnitten abgedruckt werden):

- Ein Beispiel für die Ausgabe der Frequenzen (Hamburg - Düsseldorf), als Ausdruck des Systems AMADEUS.
- Ein Beispiel für die Ausgabe der Preise (Frankfurt – New York), als Ausdruck des Systems AMADEUS
- Ein Beispiel für die Angabe routenspezifischer Passagierzahlen (Hier aller deutschen Flughäfen nach Mailand). Dies ist zu finden unter [StaBu2000 81.]

Insgesamt waren etwa knapp 200 Relationen zu betrachten. Es lässt sich leicht am Umfang erkennen, dass die Beschaffung der routenspezifischen Passagierzahlen mit wenig Aufwand zu erreichen ist. Der Hauptunterschied zwischen der Analyse der Frequenzen und Preise, die beide über das System AMADEUS ausgedruckt werden, liegt in der schwierigen Interpretation der verschiedenen Preistarife. Damit sind die Preisdaten nicht nur umfangreich – dies ist, wie zu sehen ist, für die Frequenzen auch der Fall – sondern sie erfordern viel Zeit für eine sinnvolle Aggregation und Weiterverarbeitung. Der Abdruck all dieser Daten hätte den maximalen Umfang dieser Arbeit wesentlich überschritten.

Frequenzen für die Strecke Hamburg – Düsseldorf

EXP	ARR	LD	VE	M							1 AMR	
THO1FEBHAMFRA -MD-												
** AMCHUS - TD ** FRA FRANKFURT,DE												
03FEB03 10FEB03												
1LH:J88838	41	HAM	4	FRA	1	0640	0750	0	06FEB03	08FEB03	713	1:10
2LH:UA3894	44	HAM	4	FRA	1	0640	0750	0	06FEB03	08FEB03	713	1:10
3LH:J88838	51	HAM	4	FRA	1	0640	0750	0	07FEB03	07FEB03	321	1:10
4 LH 351	5	HAM	4	FRA	1	0640	0750	0	07FEB03	07FEB03	321	1:10
5 LH 351	46	HAM	4	FRA	1	0640	0750	0	06FEB03	08FEB03	713	1:10
6 LH 081	5	HAM	4	FRA	1	0705	0815	0	07FEB03	28FEB03	AB6	1:10
7LH:UA3895	34	HAM	4	FRA	1	0710	0820	0	12JAN03	23MAR03	320	1:10
8LH:N34541	34	HAM	4	FRA	1	0710	0820	0	02JAN03	27MAR03	AB6	1:10
9LH:UA3895	133	HAM	4	FRA	1	0710	0820	0	07JAN03	27MAR03	AB6	1:10
10LH:N34541	78	HAM	4	FRA	1	0710	0820	0	28OCT02	25MAR03	AB6	1:10
11LH:N34541	78	HAM	4	FRA	1	0710	0820	0	05JAN03	23MAR03	320	1:10
12 LH 081	12	HAM	4	FRA	1	0710	0820	0	03FEB03	04FEB03	AB6	1:10
6												

KVP	NR	LD	VB	M	1. AMA					
TH03FHHAMFRA -MD-										
** AMACBUS - TR ** FRA FRANKFURT.DE										
								03FEB03	10FEB03	
1	LH 081	6	HAM 4 FRA 1	0710	0820	0	08FEB03	08FEB03	321	1:10
2	LH 081	1	HAM 4 FRA 1	0710	0820	0	10FEB03	10FEB03	AB6	1:10
3	LH 081	7	HAM 4 FRA 1	0710	0820	0	09FEB03	09MAR03	320	1:10
4	LH 081	34	HAM 4 FRA 1	0710	0820	0	05FEB03	27FEB03	AB6	1:10
5	LH 205	7	HAM 4 FRA 1	0810	0920	0	12JAN03	02MAR03	735	1:10
6	LH 205	15	HAM 4 FRA 1	0810	0920	0	20JAN03	28FEB03	AB6	1:10
7	LH:UA3609	2	HAM 4 FRA 1	0810	0920	0	24JAN03	02MAR03	735	1:10
8	LH:UA3609	2	HAM 4 FRA 1	0810	0920	0	08JAN03	12MAR03	AB6	1:10
9	LH 205	3	HAM 4 FRA 1	0810	0920	0	08JAN03	26FEB03	AB6	1:10
10	LH:UA3609	2	HAM 4 FRA 1	0810	0920	0	24JAN03	07MAR03	AB6	1:10
11	LH:UA3609	2	HAM 4 FRA 1	0810	0920	0	27JAN03	24MAR03	AB6	1:10
12	LH 205	6	HAM 4 FRA 1	0810	0920	0	08FEB03	08FEB03	AB6	1:10
>										
10 / 16										

```

EXP      AMR      LR      VB      M
TMOJFHHHMFRA -MD-
** AMADHUS - TH ** FRA FRANKFURT.DE
03FEB03 10FEB03
1LH:UA3609 / HAM 4 FRA 1 0810 0920 0 09FEB03 08FEB03 AB6 1:10
2 LH 305 24 HAM 4 FRA 1 0815 0925 0 11DEC02 27FEB03 AB6 1:10
3LH:UA3609 / HAM 4 FRA 1 0815 0925 0 09JAN03 13MAR03 AB6 1:10
4LH:UA3609 / HAM 4 FRA 1 0815 0925 0 28JAN03 21OCT03 AB6 1:10
5 LH 115 1 HAM 4 FRA 1 1020 1130 0 30DEC02 24FEB03 AB6 1:10
6LH:UA3721 / HAM 4 FRA 1 1020 1130 0 29JAN03 26FEB03 AB6 1:10
7LH:UA3721 / HAM 4 FRA 1 1020 1130 0 07JAN03 25MAR03 AB6 1:10
8 LH 115 7 HAM 4 FRA 1 1020 1130 0 02FEB03 09FEB03 320 1:10
9LH:UA3721 / HAM 4 FRA 1 1020 1130 0 02FEB03 09FEB03 320 1:10
10 LH 115 23 HAM 4 FRA 1 1020 1130 0 07JAN03 26FEB03 AB6 1:10
11 LH 115 45 HAM 4 FRA 1 1025 1135 0 03JAN03 28FEB03 AB6 1:10
12LH:UA3721 / HAM 4 FRA 1 1025 1135 0 09JAN03 28MAR03 AB6 1:10
>
8129

```

EXP	ARR.	LD	VB	M	1. ANA					
TNO1FREHMFR -MD-										
** AMDEUS - TM ** FRA FRANKFURT.DE										
								03FEB03	10FEB03	
1	LH 115	6	HAM 4	FRA 1	1025	1135	0	04FEB03	08FEB03	733 1:10
2	LH:UA3721	2	HAM 4	FRA 1	1025	1135	0	04FEB03	08FEB03	733 1:10
3	HA:HA4503	2	HAM 4	FRA 1	1100	1210	0	22JAN03	05FEB03	320 1:10
4	LH:UA3615	2	HAM 4	FRA 1	1100	1210	0	28JAN03	12FEB03	320 1:10
5	LH 157	1	HAM 4	FRA 1	1100	1210	0	13JAN03	01FEB03	314 1:10
6	LH:JK9364	2	HAM	FRA 1	1100	1210	0	31JAN03	07FEB03	AB6 1:10
7	LH:UA3615	2	HAM 4	FRA 1	1100	1210	0	31JAN03	07FEB03	AB6 1:10
8	LH 157	3	HAM 4	FRA 1	1100	1210	0	22JAN03	12FEB03	320 1:10
9	LH 157	2	HAM 4	FRA 1	1100	1210	0	14JAN03	25FEB03	320 1:10
10	LH:UA3615	2	HAM 4	FRA 1	1100	1210	0	28JAN03	25FEB03	320 1:10
11	LH 157	3	HAM 4	FRA 1	1100	1210	0	31JAN03	28FEB03	AB6 1:10
12	LH:JK9364	2	HAM	FRA 1	1100	1210	0	02FEB03	04FEB03	320 1:10

2

5/29

```

EXP      AMS      LB      VB      M
TNOJFRAHAMFRA -MD-
** AIRBUS - TN ** FRA FRANKFURT.DE
1 LH 157 4 HAM 4 FRA 1 1100 1210 0 04FEB03 06FEB03 314 1:10
10LH:JK9364 14 HAM FRA 1 1100 1210 0 03FEB03 06FEB03 313 1:10
10LH:QA3615 14 HAM 4 FRA 1 1100 1210 0 03FEB03 06FEB03 313 1:10
41LH:N24503 14 HAM 4 FRA 1 1100 1210 0 03FEB03 03FEB03 313 1:10
51LH:JK9364 14 HAM FRA 1 1100 1210 0 08FEB03 08FEB03 733 1:10
6 LH 157 4 HAM 4 FRA 1 1100 1210 0 08FEB03 08FEB03 733 1:10
71LH:N24503 14 HAM 4 FRA 1 1100 1210 0 08FEB03 08FEB03 733 1:10
81LH:QA3615 14 HAM 4 FRA 1 1100 1210 0 08FEB03 08FEB03 733 1:10
9 LH 157 7 HAM 4 FRA 1 1100 1210 0 09FEB03 09FEB03 321 1:10
10LH:JK9364 14 HAM FRA 1 1100 1210 0 09FEB03 09FEB03 321 1:10
11LH:JK9364 23 HAM FRA 1 1100 1210 0 05FEB03 18FEB03 320 1:10
12LH:QA3615 14 HAM 4 FRA 1 1100 1210 0 09FEB03 09FEB03 321 1:10

```

2

3/82

EXP	ARR	LB	VB	M	1 AMA						
TWO/FERHAMFRA -MD-											
** AMDB08 - TN **				FRA FRANKFURT.DE	01FEB03 10FEB03						
1LB:UA3615	24	HAM	4	FRA	1	1100	1210	0	10FEB03	13FEB03	AB6 1:10
2LB:JN9184	24	HAM	4	FRA	1	1100	1210	0	10FEB03	13FEB03	AB6 1:10
3LB:H24503	24	HAM	4	FRA	1	1100	1210	0	10FEB03	10FEB03	AB6 1:10
4 LB 157	1	HAM	4	FRA	1	1100	1210	0	10FEB03	10FEB03	AB6 1:10
5LB:UA3595	24	HAM	4	FRA	1	1220	1330	0	24JAN03	14FEB03	320 1:10
6 LB 079	2	HAM	4	FRA	1	1220	1330	0	28JAN03	11FEB03	319 1:10
7LB:UA3595	24	HAM	4	FRA	1	1220	1330	0	27JAN03	24FEB03	713 1:10
8 LB 079	1	HAM	4	FRA	1	1220	1330	0	13JAN03	24FEB03	713 1:10
9 LB 079	3	HAM	4	FRA	1	1220	1330	0	29JAN03	05FEB03	715 1:10
10LB:UA3595	24	HAM	4	FRA	1	1220	1330	0	24JAN03	11FEB03	319 1:10
11LB:UA3595	24	HAM	4	FRA	1	1220	1330	0	29JAN03	05FEB03	715 1:10
12 LB 079	57	HAM	4	FRA	1	1220	1330	0	11JAN03	07FEB03	320 1:10
2											
S/PZ											

5/32

IXP AMR LB VD M 1 AMR
 TMO3FEBBHAMFRA -HD-
 ** AMADEUS - TN ** FRA FRANKFURT,DE 03FEB03 16FEB03
 1 LH 079 67 HAM 4 FRA 1 1220 1330 0 03FEB03 16FEB03 735 1:10
 2 LH 079 6 HAM 4 FRA 1 1220 1330 0 08FEB03 08FEB03 731 1:10
 3LH:0A3595 HAM 4 FRA 1 1220 1330 0 08FEB03 08FEB03 731 1:10
 4LH:0A3595 HAM 4 FRA 1 1220 1330 0 08FEB03 16FEB03 735 1:10
 5LH:0A3595 HAM 4 FRA 1 1225 1335 0 21JAN03 06FEB03 320 1:10
 6 LH 079 4 HAM 4 FRA 1 1225 1335 0 09JAN03 06FEB03 320 1:10
 7 LH 191 1 HAM 4 FRA 1 1330 1440 0 03FEB03 10FEB03 319 1:10
 8 LH 191 4 HAM 4 FRA 1 1330 1440 0 02JAN03 27MAR03 319 1:10
 9 LH 191 5 HAM 4 FRA 1 1335 1445 0 07FEB03 21FEB03 319 1:10
 10 LH 191 3 HAM 4 FRA 1 1335 1445 0 05FEB03 05FEB03 321 1:10
 11 LH 191 6 HAM 4 FRA 1 1340 1450 0 08FEB03 08FEB03 326 1:10
 12 LH 191 2 HAM 4 FRA 1 1345 1455 0 04FEB03 04FEB03 733 1:10
 >

AD / 47

EXP	ARR	LB	VB	M	1. AMR							
TH03FEBHAMFRA -MD-												
** AMACBUS - TH ** FRA FRANKFURT.DE 01FEB03 10FEB03												
11H:UA3657	18	HAM	4	FRA	1	1430	1540	0	20JAN03	04FEB03	321	1:10
2 LH 257	1	HAM	4	FRA	1	1430	1540	0	10FEB03	10FEB03	AB6	1:10
3 LH 257	13	HAM	4	FRA	1	1430	1540	0	03FEB03	04FEB03	321	1:10
4LH:M24529	4	HAM	4	FRA	1	1435	1545	0	23JAN03	04FEB03	AB6	1:10
5LH:UA3657	2	HAM	4	FRA	1	1435	1545	0	02FEB03	14FEB03	AB6	1:10
6 LH 257	47	HAM	4	FRA	1	1435	1545	0	04FEB03	09FEB03	AB6	1:10
7LH:M24529	2	HAM	4	FRA	1	1435	1545	0	02FEB03	16FEB03	AB6	1:10
8LH:UA3657	8	HAM	4	FRA	1	1435	1545	0	23JAN03	08FEB03	AB6	1:10
9 LH 257	5	HAM	4	FRA	1	1445	1555	0	07FEB03	24FEB03	AB6	1:10
10 LH 257	6	HAM	4	FRA	1	1450	1600	0	08FEB03	08FEB03	320	1:10
11LH:UA3657	8	HAM	4	FRA	1	1450	1600	0	08FEB03	08FEB03	320	1:10
12 LH 257	3	HAM	4	FRA	1	1455	1605	0	05FEB03	05FEB03	321	1:10
8/15												

EXP	ANR	LA	VL	M	1 ANA			
TNGSFEEDSAMFRA -SD-								
** AMADIRUS - TN ** FRA FRANKFURT.DE								
						03FEB03	10FEB03	
1	LH 031	2	HAM 4	FRA 1	1530	1640	0 04FEB03	18FEB03 731 1:10
2	LH:JK8840	X	HAM	FRA 1	1530	1640	0 01FEB03	15FEB03 320 1:10
3	LH 031	6	HAM 4	FRA 1	1530	1640	0 01FEB03	15FEB03 320 1:10
4	LH:JK8840	X	HAM	FRA 1	1530	1640	0 04FEB03	18FEB03 731 1:10
5	LH:JK8840	X	HAM	FRA 1	1540	1650	0 07FEB03	07FEB03 AM6 1:10
6	LH 031	5	HAM 4	FRA 1	1540	1650	0 07FEB03	07FEB03 AM6 1:10
7	LH 031	1	HAM 4	FRA 1	1545	1655	0 03FEB03	03FEB03 735 1:10
8	LH:JK8840	X	HAM	FRA 1	1545	1655	0 03FEB03	03FEB03 735 1:10
9	LH 031	1	HAM 4	FRA 1	1545	1655	0 10FEB03	10FEB03 AM6 1:10
10	LH:JK8840	X	HAM	FRA 1	1545	1655	0 10FEB03	10FEB03 AM6 1:10
11	LH 031	7	HAM 4	FRA 1	1550	1700	0 19JAN03	09FEB03 320 1:10
12	LH:JK8840	X	HAM	FRA 1	1550	1700	0 19JAN03	09FEB03 320 1:10
6/61								

EXP	NR	LB	VR	M							1 AMA
THOIFFEENHAFRA -MD-											
** AMCHUS - TG ** FRA FRANKFURT.DE											
01FEB03 10FEB03											
1LH:JH8840	2	HAM	FRA	1	1550	1700	0	05FEB03	05FEB03	320	1:10
2LH:UA3697	2	HAM	FRA	1	1550	1700	0	15JAN03	05FEB03	320	1:10
3 LH 031	3	HAM	FRA	1	1550	1700	0	05FEB03	05FEB03	320	1:10
4 LH 031	4	HAM	FRA	1	1600	1710	0	16JAN03	06FEB03	321	1:10
5LH:JH8840	2	HAM	FRA	1	1800	1710	0	06FEB03	06FEB03	321	1:10
6 LH 177	1	HAM	FRA	1	1815	1925	0	03FEB03	10FEB03	AB4	1:10
7 LH 177	234	HAM	FRA	1	1815	1925	0	14JAN03	27FEB03	AB4	1:10
8LH:NHG070	2	HAM	FRA	1	1815	1925	0	15JAN03	27MAR03	AB6	1:10
9LH:NHG070	2	HAM	FRA	1	1815	1925	0	03FEB03	10FEB03	AB6	1:10
10LH:NHG070	2	HAM	FRA	1	1815	1925	0	04FEB03	04MAR03	AB6	1:10
11 LH 177	5	HAM	FRA	1	1815	1925	0	07FEB03	07FEB03	AB6	1:10
12LH:NHG070	2	HAM	FRA	1	1815	1925	0	02FEB03	07FEB03	AB6	1:10
7/68											

```

EXP      ARR      LB      VR      M
TSDJFKEHAMFRA -MD-
** AMAGUS - TM ** FRA FRANKFURT.DE
03FEB03 10FEB03
1LH:HH6070 / HAM 4 FRA 1 1815 1925 0 09FEB03 09FEB03 320 1:10
2 LH 177 7 HAM 4 FRA 1 1815 1925 0 09FEB03 09FEB03 321 1:10
3LH:HH6070 / HAM 4 FRA 1 1815 1925 0 09FEB03 09FEB03 321 1:10
4 LH 177 6 HAM 4 FRA 1 1815 1925 0 09FEB03 09FEB03 320 1:10
5 LH 073 6 HAM 4 FRA 1 1905 2015 0 18JAN03 08FEB03 713 1:10
6 LH 073 1 HAM 4 FRA 1 1905 2015 0 04JAN03 03FEB03 713 1:10
7 LH 073 3 HAM 4 FRA 1 1905 2015 0 04JAN03 18FEB03 AB6 1:10
8 LH 073 4 HAM 4 FRA 1 1905 2015 0 02JAN03 27FEB03 AB6 1:10
9 LH 073 5 HAM 4 FRA 1 1905 2015 0 16JAN03 28FEB03 AB6 1:10
10 LH 073 12 HAM 4 FRA 1 1905 2015 0 04FEB03 10FEB03 321 1:10
11 LH 073 7 HAM 4 FRA 1 1905 2015 0 09FEB03 09FEB03 320 1:10
12 LH 141 1 HAM 4 FRA 1 2005 2115 0 13JAN03 24MAR03 319 1:10

```

» M 74

```

INF      AIR      LB      VE      M                                     1 ANA
TH03FEBHAMFRA -MD-
** AMDEUS - TH ** FRA FRANKFURT.DE                                03FEB03 10FEB03
1  LH 141 2      HAM 4 FRA 1 2005      2115      0 04FEB03 04FEB03 314 1:10
2  LH 141 4      HAM 4 FRA 1 2005      2115      0 06FEB03 27FEB03 AB6 1:10
3  LH 141 7      HAM 4 FRA 1 2015      2125      0 09FEB03 09FEB03 AB6 1:10
4  LH 141 6      HAM 4 FRA 1 2015      2125      0 18JAN03 19FEB03 320 1:10
5  LH 141 3      HAM 4 FRA 1 2015      2125      0 05FEB03 12FEB03 314 1:10
6  LH 141 5      HAM 4 FRA 1 2025      2135      0 10JAN03 07FEB03 AB6 1:10

```

TO DISPLAY CONNECTIONS ENTER -MD-

>

6185

Preistarife für die Strecke Frankfurt – New York JFK

FQDFRAJFK/10NOV01/S ñ
 ALSO SEE FRAEWR FRALGA XF MAY APPLY ñ
 MORE FARES AVAIL IN USD GBP 5.42XY EXCLUDED ñ
 YY* AA AC AF AK AZ CO C6 C9 OTHER TAX MAY APPLY ñ
 DL DY D2 FR F9 GX G3 HP JD SURCHG MAY APPLY-CK RULE ñ
 JJ JM KL LH LL LO LX NW NZ ñ
 OS OV RG RV RY R3 SK SN SP ñ
 SR TW TX UA UK US U2 VB VK ñ
 VS WW XF X5 YC ZH 2D 6Q 7A ñ
 9B 9G ñ
 ROE 0.823727 UP TO 1.00 EUR ñ
 10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
 LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
 01+LPRGE 320 NRF B30NOVO10DEC+ +SU+ 1M AZ R ñ
 02 SLRCEUR 320 + S12DECM21NOV+ +SU+ 12M BA R ñ
 03 LPROMDE 329 NRF O16DECM15NOV 7+SU+ 1M AF M ñ
 04+WSS4D 329 NRF S01NOV 16DEC+ 7+SU+ - OS R ñ
 05+WNN5W 329 NRF B16NOVO16DEC+ 7+SU - UA R ñ
 06 NL7E9H 329 NRF S16DECB16NOV+ 7+SU+ 1M AA M ñ
 07+WNN5W 329 NRF B16NOVO16DEC+ 7+SU - LH R
 > PAGE 1/12

```

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621      ñ
LN FARE BASIS  OW  EUR RT  PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R      ñ
08+QSALEUS      329 NRF B16NOVO16DEC+ - SU  1M NW R      ñ
09+QSALEUS      329 NRF B16NOVO16DEC+ - SU  1M KL R      ñ
10 WLS198W      329 NRF S16DECB16NOV+ +SU+ - US R      ñ
11 VNNFI        329 NRF B16NOVO16DEC+ 7+SU - FI M      ñ
12 LSP5W        329 NRF S16DECB16NOV+ 7+SU +AC M      ñ
13+UMSSDL0      329 NRF B16NOVC31MAR+ - SU+ 60 DL M      ñ
14 VMPXDE       360 NRF S09DECM30MAR+ - + 1M KL R      ñ
15 VLAB9MDE     360 NRF S09DECX18JUL+14+SU+ 9M LX R      ñ
16 VMRCDE       360 + S09DECM22MAR+14+SU+ 9M AA M      ñ
17+LMAPDE6      360 NRF S09DECX14DEC+14+SU+ 9M DL M      ñ
18 VMRCDEW      360 NRF S09DECM12JUL+14+SU+ 9M LH R      ñ
19 VMRCDEW      360 NRF S09DECM12JUL+14+SU+ 9M UA R      ñ
20 VME14DEW     360 + S09DECM23MAR+14+SU+ 9M US R      ñ
21 VMPXDE       360 NRF S09DECM30MAR+ - + 1M NW R      ñ
22 VMRCDEW      360 NRF S01NOV 09DEC+14+SU+ 9M SK R      ñ
23 IMAN5W       360 NRF S09DECO17MAR+14+SU+ 9M CO R      ñ
24 VMZZDE       360 + S09DECM02DEC +SU+ 12M AF M      ñ
25 TMFIDEW      360 NRF S09DECM02MAY+14+SU+ 9M FI M
>
>
PAGE 2/12

```

```

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621      ñ
LN FARE BASIS  OW  EUR RT  PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R      ñ
26 QLAPTAP      360 NRF S01NOV 09DEC+14+SU+ 9M TP R      ñ
27 VMAN9M       360 NRF S01NOV 09DEC+14+SU+ 9M OS R      ñ
28 VMABDE5      360 NRF S09DECX15DEC 14+SU+ 9M AF M      ñ
29 QMAP9M       360 NRF S01NOV 09DEC+14+SU 9M AC M      ñ
30 LLRCEUR      380 + S12DECM21NOV+ +SU+ 12M BA R      ñ
31 QMPXDE       390 NRF S09DECM30MAR+ - SU+ 1M KL R      ñ
32 LLAB9MDE     390 NRF S09DECX18JUL+14+SU+ 9M LX R      ñ
33 VJZZ2W       390 NRF S09DECX13JUL +SU+ 12M OS M      ñ
34 LMRCDE       390 + S09DECM22MAR+14+SU+ 9M AA M      ñ
35 VMZZ2W       390 NRF S09DECX12JUL+ +SU+ 12M LH R      ñ
36 VMZS         390 + S09DECM22MAR+ + 7 12M NW R      ñ
37 QMAB9M       390 NRF S01NOV 09DEC+14+SU+ 9M OS R      ñ
38 HMZR5W       390 NRF S09DECO17MAR+14+SU+ 12M CO R      ñ
39 QMAB         390 NRF S09DECX18AUG+14+SU+ 9M SQ M      ñ
40+LMAPDE5     390 NRF S09DECX14DEC+ 7+SU+ 9M DL M      ñ
41 UMAP5W       390 + S09DECO17MAR+14+SU+ 9M CO R      ñ
42 OLZZDE       390 + S09DECX18JUL+ - SU+ 12M LX R      ñ
43 QMPXDE       390 NRF S09DECM30MAR+ - SU+ 1M NW R
>
>
PAGE 3/12

```

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
44 QMZZDE 390 NRF S09DECM02MAY +SU+ 12M FI M ñ
45 QME14DEW 390 + S09DECM23MAR+14+SU+ 9M US R ñ
46+LMZZDE 390 NRF S09DECX20DEC+ +SU+ 12M DL M ñ
47 VMZZDEW 390 + S09DECM23MAR +SU+ 12M+US R ñ
48 QMFIDEW 390 NRF S09DECM02MAY+14+SU+ 9M FI M ñ
49 QMRCDEW 390 NRF S09DECM12JUL+14+SU+ 9M UA R ñ
50 VMAPDE4 390 NRF S09DECX15DEC 7+SU+ 9M AF M ñ
51 QMRCDEW 390 NRF S09DECM12JUL+14+SU+ 9M LH R ñ
52 VMAP9M 390 NRF S01NOV 09DEC+14+SU 9M AC M ñ
53 VMZS 390 + S09DECM30MAR+ + 7 12M KL R ñ
54 VMZZ2W 390 NRF S09DECX12JUL+ +SU+ 12M UA R ñ
55 NMZZ2DE 390 + S09DECM22MAR +SU+ 12M AA M ñ
56 QMRCDEW 390 NRF S01NOV 09DEC+14+SU+ 9M SK R ñ
57 NLSXGE 422 NRF S12DECM07FEB 14+SU+ 21 AZ R ñ
58 WLTAP3 422 NRF S09DECM06JAN 14+SU+ 21 TP R ñ
59 NLZZGE 422 NRF S12DECM17FEB +SU+ 12M AZ R ñ
60 OFZZDE 430 + X18JUL - + - SU+ 12M LX R ñ
61 VLZZ2W 430 NRF S09DECX13JUL +SU+ 12M OS M
> PAGE 4/12
>

```

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621      ñ
LN FARE BASIS  OW  EUR RT  PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R      ñ
62 MLRCEUR      450 + S12DECM21NOV+ +SU+ 12M BA R      ñ
63 TLSXGE      450 NRF S12DECM07FEB 14+SU+ 1M AZ R      ñ
64 TMAPDE3      470 NRF S09DECX15DEC 7+SU+ 9M AF M      ñ
65+KMABDE4      470 NRF S09DECX14DEC+ 7+SU+ 9M DL M      ñ
66 HME7DEW      500 + S09DECM23MAR+ 7+SU+ 9M US R      ñ
67 HMPXDE      500 NRF S09DECM30MAR+ - + 3M KL R      ñ
68 KMFIDEW      500 NRF S09DECM02MAY+ 7+SU+ 9M FI M      ñ
69 HMAP9M      500 NRF S01NOV 09DEC+ 7+SU 9M AC M      ñ
70 MMRCDE      500 + S09DECM22MAR+ 7+SU+ 9M AA M      ñ
71 BMSX5W      500 + S09DECO17MAR+ 7+SU+ 9M CO R      ñ
72 HMRCDEW      500 NRF S09DEC - + 7+SU+ 9M LH R      ñ
73 MLAP9MDE      500 NRF S09DECX18JUL+ 7+SU+ 9M LX R      ñ
74 HMPXDE      500 NRF S09DECM30MAR+ - + 3M NW R      ñ
75 OJZZDE      500 + X18JUL - + - SU+ 12M LX R      ñ
76 HMRCDEW      500 NRF S09DEC - + 7+SU+ 9M UA R      ñ
77 HMPEX      500 NRF S09DECM18AUG+ 7+SU+ 9M SQ M      ñ
78 HMAP9M      500 NRF S01NOV 09DEC+ 7+SU+ 9M OS R      ñ
79 HMRCDEW      500 NRF S01NOV 09DEC+ 7+SU+ 9M SK R
>      PAGE 5/12
>

```

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
80 KLPXGE 534 NRF S12DECM07FEB 7+SU+ 3M AZ R ñ
81 H LAPDE 540 + S09DEC - + 7+SU+ 3M NW R ñ
82 H LAPDE 540 + S09DEC - + 7+SU+ 3M KL R ñ
83+HMAPDE3 600 NRF S09DECX03JAN+ +SU+ 9M DL M ñ
84 HMSXDE2 600 NRF S09DECX15DEC +SU+ 9M AF M ñ
85 TPX1M2 642 NRF - - + - - 1M AT R ñ
86 BMPEX9M 660 NRF S01NOV 09DEC+ +SU 9M AC M ñ
87 MMPEX 660 NRF S09DECM18AUG+ +SU+ 9M SQ M ñ
88 KMRCDE 660 + S09DECM22MAR+ +SU+ 9M AA M ñ
89 MMFIDEW 660 NRF S09DECM02MAY+ +SU+ 9M FI M ñ
90 MMPX9M 660 NRF S01NOV 09DEC+ +SU+ 9M OS R ñ
91 MMRCDEW 660 NRF S01NOV 09DEC+ +SU+ 9M SK R ñ
92 MME0DEW 660 + S09DECM23MAR+ +SU+ 9M US R ñ
93 MMRCDEW 660 NRF S09DEC - + +SU+ 9M LH R ñ
94 HLPX9MDE 660 + S09DECX18JUL+ +SU+ 9M LX R ñ
95 MMPXDE 660 NRF S09DECM30MAR+ - + 4M NW R ñ
96 MMRCDEW 660 NRF S09DEC - + +SU+ 9M UA R ñ
97 MMPXDE 660 NRF S09DECM30MAR+ - + 4M KL R ñ
> PAGE 6/12
>

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
98 KMPX5W 660 + S09DECO17MAR+ +SU+ 9M CO R ñ
99 HLPXGE 702 NRF S12DECM07FEB +SU+ 6M AZ R ñ
100KPX1M2 733 NRF - - + - - 1M AT R ñ
101TLRCEUR 750 + S12DECM21NOV+ +SU+ 12M BA R ñ
102MLSX3MW 803 + S16DECM23NOV +7+ 3M YY M ñ
103IZSRT2 825 + X30MAR - + + - 12M AT R ñ
104IPX2M2 825 + X30MAR - + - - 2M AT R ñ
105ICDRT2 825 + X30MAR - + + - 12M AT R ñ
106MLPXGE 897 + S12DECM07FEB +SU+ 6M AZ R ñ
107MLPX6MW 903 + S16DECM23NOV +7+ 6M YY M ñ
108BL6MDE 907 - S09DECM22MAR 3 - 6M+AA M ñ
10+MMSXDE2 908 NRF S09DECX14DEC+ +SU+ 6M DL M ñ
110BLPXDE 924 + S09DEC - + +SU+ 6M NW R ñ
111BLPXDE 924 + S09DEC - + +SU+ 6M KL R ñ
112MPX3M2 962 + - - + - - 3M AT R ñ
113WFFEUR 1094 - M21NOV - + - - 12M BA R ñ
114KMPXDE1 1131 NRF S09DECX15DEC +SU+ 6M AF M ñ
115BEE6M2 1146 + - - + + - 6M AT R
> PAGE 7/12
>

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
116MOW2 577 + - - + - - - AT R ñ
11+BMPXDE1 1181 NRF S09DECX14DEC+ +SU+ 6M DL M ñ
118BLEE6M 1230 - S10DECM23JUN+ - + +IB M ñ
11+IRT5 1499 + B03DECO18DEC+15+ 7+ 30 AZ M ñ
120BEE6M 1615 - O31DECM24JUN+ - SU+ 6M SQ M ñ
12+BEEDE 1615 - M23MAR - + - - 6M DL M ñ
122BEE6W 1615 - M21JUN - + - SU+ 6M LH R ñ
123HEE5W 1615 - M22MAR - - SU+ 6M CO M ñ
124BEEDE 1615 - M23MAR - + - 6M+US R ñ
125BEEDE 1615 - - - - - - AF M ñ
126BEE 1615 - - - - - SU+ 6M OS R ñ
127BEE6W 1615 - M21JUN - + - SU+ 6M UA R ñ
128BEE6W 1615 - - - - - SU+ +AC M ñ
129BEE6MDE 1615 - M22OCT - + - SU+ 6M LX R ñ
130BEE6M1 1615 - M02MAY - - SU+ 6M SK R ñ
131MEEDE 1615 - M02MAY - +SU+ 6M FI M ñ
132YEEDE6M 1654 - X28DEC - + - SU+ 6M+NW R ñ
133SEEDE6M 1654 - X28DEC - + - SU+ 6M+KL R
> PAGE 8/12
>

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
134BRTGE 1755 - M07FEB - - - - AZ M ñ
135YDERT 1765 - - - - - AF M ñ
13+YEEDE 1765 - M23MAR - + - - 6M DL M ñ
137MEE6MW 1788 - M23NOV - - SU+ 6M YY M ñ
138ZRS81W 1800 + M23MAR - 60+ 7+ 45+US R ñ
13+JSPEC 1810 + X02MAY - +60+ 7+ 1M SK M ñ
14+DSPEC 1810 NRF O31DECM18AUG+60+ 7+ 1M SQ M ñ
141IRTGE 1810 300+M07FEB - +60+ 7+ 1M AZ M ñ
14+ISPEC 1810 NRF X28JUL - +60+14+ 1M IB M ñ
14+ZSPEC 1810 NRF M27OCT - +60+ 7+ 1M LH M ñ
14+IRDEWB 1810 + M23MAR - 60+ 7+ 1M DL M ñ
14+ZSPEC 1810 NRF M27OCT - +60+ 7+ 1M UA M ñ
146I2SPEC 1810 + M22MAR - 60+ 7 1M AA M ñ
147ZR5S5W 1810 + M22MAR - +60+ 7+ 1M CO R ñ
148ZAPDE 1810 300+ - - 60+ 7+ 1M AF M ñ
14+JR8 1810 NRF M30NOV - 60+ 7+ 1M OS R ñ
150DFFEUR 1999 - M21NOV - + - - 12M BA R ñ
151Y1US 2301 - M01NOV - + - - - BA R
> PAGE 9/12
>

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
 LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
 152Y1US 2311 300+O31DECM24JUN+ - 4+ 3M SQ M ñ
 153Y1USW 2311 - M21JUN - + - 4+ 1M LH M ñ
 154HRNS5W 2311 - M22MAR - - 4+ 1M CO M ñ
 155B1US 2311 - M23MAR - + + - - US R ñ
 156M1USW 2311 - - - + - 4+ 3M AC M ñ
 157Y1USW 2311 - M21JUN - + - 4+ 1M UA M ñ
 158Y1US 2311 - M02MAY - + - 4+ 3M SK M ñ
 159Y1USDE 2311 - - - + + 4+ 1M LX R ñ
 160Y1US 2311 300+ - - - 4+ 1M OS R ñ
 161B2R 2352 - M22MAR - - - 6M+AA M ñ
 162YRT 2721 - X13JUN - + - - - IB M ñ
 163YRT 2759 - M23NOV - - - - YY M ñ
 164YRTGE 2776 - X08FEB - - - - AZ M ñ
 165CFFEUR 2784 - M21NOV - + - - 12M BA R ñ
 16+YRWB 2786 - M23MAR - - - - DL M ñ
 167YR1 2786 - M23MAR - + - 12M+US M ñ
 168YRT 2786 - - - - - AF M ñ
 169HR5W 2786 - M22MAR - - - - CO M
 > PAGE 10/12
 >

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
 LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
 17+DRTGE 2856 - M07FEB - + - 4+ 3M AZ R ñ
 171YR 2860 - M24JUN - - - - SQ M ñ
 172YRTDE 2860 - - - + + - LX M ñ
 173YR 2860 - M21JUN - - - - UA M ñ
 174YR 2860 - M21JUN - - - - LH M ñ
 175MR 2860 - M02MAY - + - - FI M ñ
 176YRT 2860 - M28DEC - + - - 12M NW M ñ
 177YR 2860 - - - - - OS R ñ
 178SRT 2860 - M28DEC - + - - KL M ñ
 179YRT 2860 - - - - - 12M+AC M ñ
 180YR 2860 - M22MAR - - - 12M+AA M ñ
 181YR101 2860 - M02MAY - + - - +SK M ñ
 18+ZRNS5W 2866 - M17DEC - - 4+ 30+CO R ñ
 18+D1USW 2866 - M21JUN - + - 4+ 1M LH M ñ
 18+D1US 2866 300+ - - - 4+ 1M OS R ñ
 18+D1USWB 2866 - X14DEC - - 4+ 3M DL M ñ
 18+D1USW 2866 - M21JUN - + - 4+ 1M UA M ñ
 187DR1US 2866 - M23MAR - - 4+ 12M+US M
 > PAGE 11/12
 >

10NOV01**10NOV01/FRANYC/NSP;AT/TPM 3851/MPM 4621 ñ
LN FARE BASIS OW EUR RT PEN DATES DAYS AP MIN MAX AL R ñ
188D1US 2866 - M22MAR - - 4+ 1M AA M ñ
189DDERT 2866 - M16DEC - - 4+ 3M AF M ñ
190CEE1MDE 2866 - M22OCT - + + 4+ 1M LX R ñ
191CRE1M 2866 - M02MAY - + + 4 1M FI M ñ
19+J1US 2866 300+O31DECM24JUN+ - 4+ 3M SQ M ñ
193D1US 2866 - M02MAY - + - 4+ 3M SK M ñ
19+C1USW 2866 - - - + - 4+ 3M AC M ñ
195C1US 2884 - X28DEC - + - 4+ 6M NW R ñ
196C1US 2884 - X28DEC - + - 4+ 6M KL R ñ
197JRT1 3267 - X13JUN - + - - - IB M ñ
198YOW 1657 - M23NOV - - - - YY M ñ
199JRTGE 3333 - M07FEB - - - - AZ M ñ
200JFFEUR 3333 - M21NOV - + - - 12M BA R ñ
MORE FARES EXIST - USE SUBSEQUENT ENTRY TO MODIFY
> PAGE 12/12

Beispiel der Bestimmung routenspezifischer Passagierzahlen (all jene von deutschen Flughäfen nach Mailand)

Literaturverzeichnis

- [AB2001a] Airline Business: The World Airline Rankings, Airline Business, September 2001, S. 57-92
- [AB2001b] Airline Business: Beneath the turmoil, Airline Business, December 2001, S. 9
- [Aboulafia2002] Aboulafia, Richard: Bad Times get worse for Transport Makers, Aviation Week & Space Technology, January 14, 2002, S. 49-51
- [Adler2001] Adler, Nicole: Competition in a deregulated Air Transportation Market, European Journal of Operations Research 129, 2001, S. 337-345
- [Adler2002] Adler, Nicole: The effect of Competition on the Choice of an Optimal Network in a Liberalized Aviation Market with an Application to Western Europe, Seminar Norway, 2002
- [ADV1999] Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen: Deutsche Flughäfen entwickeln ihre strategischen Positionen weiter, Pressemitteilung der Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) am Flughafen Münster / Osnabrück, 1999
- [ADV2002] Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen: Informationsdienst ADV, Jahrgang 54, 5/2002, S. 1-2
- [Agusdinata2002] Agusdinata, Buyung, de Klein, Wouter: The Dynamics of Airline Alliances, Journal of Air Transport Management 8, 2002, S. 201-211
- [Aharoni2002] Aharoni, Yair: European Air Transportation: Integration, Globalization, and structural changes, European Integration in Swedish Economic Research, May 6, 2002, S. 1-26
- [Airbus2000] Airbus Industrie: Global Market Forecast 2000-2019, Airbus Frankreich 2000
- [ATA2002a] Air Transport Association: State of the U.S. Airline Industry, a report on recent trends for U.S. air carriers, 2002

- [ATA2002b] Air Transport Association: Economic Trends and Challenges for the U.S. Airline Industry, April 2002
- [AWST2002] Aviation Week & Space Technology: Major Airline Profiles, Aviation Week & Space Technology, January 14, 2002, S. 331-364
- [Backx2002] Backx, Mattijs, Carney, Michael, Gedajlovic, Eric: Public, Private and Mixed Ownership and the Performance of International Airlines, Journal of Air Transport Management 8, 2002, S. 213-220
- [Baker2001a] Baker, Colin: EC says no to state aid, Airline Business, October 2001, S. 17
- [Baker2001b] Baker, Colin: Slot trading revealed in DoT filings, Airline Business, October 2001, S.18
- [Baker2002] Baker, Colin: Route tie-ups crucial for SN Brussels, Airline Business, July 2002, S. 19
- [Balance2002] Balance: Besser vernetzen, Interview mit Eckard Seeböhm, Herausgeber: Lufthansa, 2002, S. 24-25
- [Bamberg2004] Bamberg, Günter, Coenenberg, Adolf G.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, Vahlen, München, 12. Auflage, 2004
- [Barrett2000] Barrett, Sean D.: Airport Competition in the Deregulated European Aviation Market, Journal of Air Transport Management 6, 2000, S. 13-27
- [Baum2002] Baum, Herbert, Peters, Heiko, Schneider, Jutta, Schott, Volker, Schulz, Wolfgang H., Suthold, Roman: Kapazitätssituation der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland, Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Heft 1, Verkehrs-Verlag J. Fischer, Düsseldorf, 2002, S. 1-24
- [BBFHG2002] Berlin Brandenburger Flughafen Holding GmbH: Berliner Flughäfen: International Business Forum - "Airport of the Future" - bringt im September internationale Experten und Flughafen-Entscheider in Berlin zusammen, Presseinformation, 22. Mai 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 04/2002, S. 150-152
- [Belobaba2002] Belobaba, Peter B.: What's ahead for the Global Airline Industry?, MIT Global Airline Industry Program, Presentation to Sloan-ESI Forum, Washington, DC, January 14, 2002
- [Ben-Akiva1985] Ben-Akiva, Moshe, Lerman, Steven R.: Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, Cambridge, 1985

- [Ben-Akiva1999] Ben-Akiva, Moshe; Bierlaire, Michel: Discrete Choice Methods and their Applications to short term Travel Decisions, Handbook of Transportation Science, Chapter 2, 1999
- [Bierlaire2004] Bierlaire, M., Crittin, F. : An efficient Algorithm real-time Estimation and Prediction of Dynamic OD Tables, Operations Research, 52(1), 2004
- [Blackburn1972a] Blackburn, Anthony J.: A Non-Linear Model of the Demand for Travel, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 163-180
- [Blackburn1972b] Blackburn, Abnthonny J.: An Alternative Approach to Aggregation and Estimation in the Non-Linear Model, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 181-196
- [BMVBW1999] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Konzept für die Kapazitätsentwicklung des dezentralen Flughafensystems in Deutschland, 31. August 1999
- [BMVBW2002] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Staatssekretär Wittling: Fachkonferenz Air & Rail & Road im Rahmen der ILA 2002 verbindet Verkehr für die Zukunft, Informationen für die Presse, 8.5.2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 05/2002, S. 191
- [Boeing2001] Boeing Commercial Airplanes: Current Market Outlook, World demand for commercial airplanes and aviation support services, 2001
- [Bond2002a] Bond, David: United, US Airways try again to Link Up, Aviation Week & Space Technology, July 29, 2002, S. 50-51
- [Bond2002b] Bond, David: Network Airlines survive as Niche Carriers profit, Aviation Week & Space Technology, March 18, 2002, S. 52-55
- [Bond2002c] Bond, David: United, US Airways put Loan Guarantees to Test, Aviation Week & Space Technology, July 1, 2002, S. 39
- [Bond2002d] Bond, David: Optimism on Surface, Skepticism beneath, Aviation Week & Space Technology, March 18, 2002, S. 44-46
- [Bond2002e] Bond, David: Major Airlines` Traffic stays sluggish in June, Aviation Week & Space Technology, July 15, 2002, S. 39

- [Bond2002f] Bond, David: Fleet utilization is key to ATA's Strategy, rank, Aviation Week & Space Technology, July 1, 2002, S. 66-67
- [Bond2002g] Bond, David: Agents against a change have lost the battle, Aviation Week & Space Technology, March 25, 2002, S. 44
- [BRG2000] Entwurf des Flughafen-Konzeptes der Bundesregierung vom 30. August 2000
- [Brueckner1999] Brueckner, Jan K., Whalen, W. Tom: The Pros and Cons of Airline Alliances, University of Illinois, Institute of Government and Public Affairs, 1999
- [Brueckner2000] Brueckner, Jan K.: Global Airline Alliances dominate travel landscape, University of Illinois, Government and Public Affairs, 2000
- [Brueckner2001] Brueckner, Jan K.: Airline Alliances benefit Consumers, University of Illinois, Institute of Government and Public Affairs, Policy Forum, Volume 14, Number 3, 2001
- [Brueckner2002] Brueckner, Jan K.: Internalization of Airport Congestion, Journal of Air Transport Management 8, 2002, S. 141-147
- [BT2002] BT: Luftverkehr, BT-Drucksache 14/8565, May 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 05/2002, S. 188-189
- [Button2002] Button, Kenneth: Debunking some common Myths about Airport Hubs, Journal of Air Transport Management 8, 2002, S. 177-188
- [Cambridge2001] Cambridge Systematics: Land Use and Travel Demand Forecasting Models, Executive Summary, Final Report, June 30, 2001
- [Carey1858] Carey, H. C.: Principles of Social Science, Philadelphia, Lippincott, New York, 1858, Reprint 1963
- [Chang2001] Chang, Yu-Hern, Yeh, Chung-Hsing: Evaluating airline competitiveness using multiattribute decision making, Omega, The International Journal of Management Science, 29, 2001, S. 405-415
- [Clemons2002] Clemons, Eric K., Hann, Il-Horn, Hitt, Lorin M.: Price Dispersion and Differentiation in Online Travel: An Empirical Investigation, Management Science, Vol. 48, No. 4, April 2002, S. 534-549
- [Cline1998] Cline, Richard C., Ruhl, Terry A., Gosling, Geoffrey D., Gillen, David W.: Air Transportation Demand Forecasts in Emerging Market Economies: A Case

- Study of the Kyrgyz Republic in the former Soviet Union, Journal of Air Transport Management, No. 4, 1998, S. 11-23
- [Cooper2001] Cooper, Mark N.: Mergers between Major Airlines: the Anti-competitive and Anti-consumer Effects of the creation of a private cartel, Consumer Federation of America, 21. March 2001
- [Cordle2002] Cordle, Vaughn: How David joined the Goliaths, The AVMARK Aviation Economist, April 2002, S. 13-15
- [COST318,1998] European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research, COST 318, Interactions between High-Speed Rail and Air Passenger Transport, Final Report, European Commission Directorate General Transport, Luxembourg 1998
- [Croft2002a] Croft, John: Security deadline angst doesn't deter Magaw, Aviation Week & Space Technology, June 24, 2002, S. 64
- [Croft2002b] Croft, John: Taming Loss-of-Control Solutions are elusive, Aviation Week & Space Technology, August 26, 2002, S. 50-52
- [Cusenier2002] Cusenier, Gael: Execs still prefer seat to screen, The AVMARK Aviation Economist, April 2002, S. 10-12
- [Dennis2000] Dennis, Nigel: Scheduling issues and network strategies for international airline alliances, Journal of Air Transport Management 6, 2000, S. 75-85
- [Dennis2001a] Dennis, Nigel, Graham, Anne: Airport Environmental Capacity and Developments in Airline Operations, SCAN-UK, International Conference, April 2001, Manchester
- [Dennis2001b] Dennis, William: Chinese Carriers slip into the Red, Aviation Week & Space Technology, August 13, 2001, S. 36
- [Dennis2001c] Dennis, William: China begins second round of Airline Consolidation, Aviation Week & Space Technology, December 17, 2001, S. 90
- [Dennis2002] Dennis, William: Chinese question long-term commitment of Global Alliances, Aviation Week & Space Technology, June 24, 2002, S. 70-71
- [DIHK2002] Stellungnahme des Deutschen Industrie- und Handelskammertages (DIHK) zum Weißbuch der Europäischen Gemeinschaften: Die Europäische Verkehrspolitik bis 2010- Weichenstellungen für die Zukunft, 2002

- [DoT1977] Department of Transportation: An Introduction to Urban Travel Demand Forecasting, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Urban Mass Transportation Administration, 1977
- [Dugge2000] Dugge, Birgit: Nachfragemodellierung mit VISEVA, Schulungsunterlagen, Fakultät für Verkehrswissenschaft, TU Dresden, 4.8.2000
- [Ehmer2002] Ehmer, Hansjochen, Berster, Peter: Globale Allianzen von Fluggesellschaften und ihre Auswirkungen auf die Bundesrepublik Deutschland, Verkehrswissenschaftliche Beiträge, Institut für Verkehrsforschung, Köln, 2002
- [Eisenführ2003] Eisenführ, Franz, Weber, Martin: Rationales Entscheiden, 4. Auflage, Berlin 2003
- [Endres2001a] Endres, Günter: Russian Reformer, Airline Business, December 2001, S. 28-30
- [Endres2001b] Endres, Günter: Slow Progress, Airline Business, December 2001, S. 32-33
- [Engelhardt2002] Engelhardt, Kay, Follmer, Robert, Hellenschmidt, Jens, Kloas, Jutta, Kuhfeld, Hartmut, Kunert, Uwe, Smid, Menno: Mobilität in Deutschland, KONTIV 2002: Methodenstudie mit experimentellem Design zur Vorbereitung der Erhebung, Internationales Verkehrswesen (54), 4, 2002, S. 140-144
- [Exel2001] Exel, Job van, Rietveld, Piet: Inertia of Travel Behaviour – a Stated Preference Analysis of Commuting, NECTOR, Conference, No. 6, Espoo, Finland, 2001
- [Fadden1973] Fadden, Mc, Daniel: Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour in Zarembka, P. (ed.): Frontiers in Econometrics, New York, 1973
- [Fadden1976] Fadden, Mc, Daniel L.: The Mathematical Theory of Demand Models, in Behavioral Travel-Demand Models, Stopher, Peter R., Meyburg, Arnim H. (Hrsg.), Lexington Books, 1976, S. 305-314
- [Fadden1977] Fadden, Mc, Daniel, Talvitie, Antti P.: Demand Model Estimation and Validation, Berkeley, 1977
- [Fadden2000] Fadden, Mc, Daniel: Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side, A 30_year Retrospective, Berkeley, 2000
- [Fan2001] Fan, Terence, Vigeant-Langlois, Laurence, Geissler, Christine, Bosler, Björn, Wilmking, Jan: Evolution of Global Airline Strategic Alliance and Consolida-

- tion in the twenty-first century, *Journal of Air Transport Management* 7, 2001, S. 349-360
- [FAZ2002a] FAZ: Bündnis von easyJet und Go mobilisiert die Branche, *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 7. Mai 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 05/2002, S. 220-221
- [FAZ2002b] FAZ: Luftverkehrsallianzen beunruhigen EU-Wettbewerbschüter, *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 7. Mai 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 05/2002, S. 189-190
- [Field2001] Field, David: A helping hand with strings, *Airline Business*, October 2001, S. 31-32
- [Fischer2001] Fischer, Philip, Bitzan, John, Tolliver, Denver: Analysis of Economies of Size and Density for Short Line Railroads, North Dakota State University, Fargo, October 2001
- [Flint1998] Flint, Perry: Behind DOT's recent concern over a lack of new entry is an obsession that hubs are too powerful, *Air Transport World*, 1998, S. 1-15
- [Flottau2001] Flottau, Jens: Asian Carriers advised to seek new Formulas, *Aviation Week & Space Technology*, December 3, 2001, S. 45
- [Flottau2002] Flottau, Jens: Europe's Low-Costs, Majors wage Fare Wars, *Aviation Week & Space Technology*, June, 10, 2002, S. 47
- [Francis2002] Francis, Robert T.: Human Factors insights can Aid Aviation Security, *Aviation Week & Space Technology*, March 25, 2002, S. 70
- [Fraport2002a] Fraport: Flughafen Frankfurt bleibt pünktlichster Hub-Airport, Fraport AG, Informationen für Presse, Funk und Fernsehen, 15. Februar 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 02/2002, S. 58
- [Fraport2002b] Fraport: Fraport AG hofft auf Stationierung des neuen leisen und schadstoffarmen Großraum-Jets der Lufthansa in Frankfurt - Anpassungsmaßnahmen für A380 erfordern eigenes Planfeststellungsverfahren, Fraport AG, Informationen für Presse, Funk und Fernsehen, 13. Juni 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 05/2002, S. 201-202

- [Fraport2002c] Fraport: Nachtruhe der Nachbarn schützen - Fraport startet „Passives Schallschutzprogramm“, Fraport AG, Mitarbeiterzeitung „Unser Flughafen“, Nr.4, 2002 veröffentlicht in ADV ID Nr. 04/2002, S. 159
- [FRBSF2002] Federal Reserve Bank of San Francisco: Competition and Regulation in the Airline Industry, FRBSF Economic Letter, January 2002
- [FS2000a] FlightSimmers: Ranking of the TOP 10 international Airports, <http://www.flightsimmers.net/skysoft/top10.htm> (Jan.2002)
- [FS2000b] FlightSimmers: Ranking of the Top 100 Airports, <http://www.flightsimmers.net/skysoft/top100.htm> (Jan.2002)
- [Gallagher2002] Gallagher, Brendan: Rising towards Open Skies, The AVMARK Aviation Economist, May-June 2002, S. 16-17
- [Galperin2002] Galperin, E. A.: Balance Space in Airport Construction: Application to the North Sea Island Option for Schiphol Airport, Mathematical and Computer Modelling, 35, 2002, S. 759-764
- [Gibson1998] Gibson, Scott C.: Where is international Air Transport going?, Economic Strategy Institute, March 1998
- [Givoni2001] Givoni, Moshe: Airline and Railway co-operation, a new Approach to Inter-modality - a Research Perspective, Nector, Conference, No. 6, Espoo, Finland, May 2001
- [Graham2000] Graham, Anne: Demand for leisure air travel and limits to growth, Journal of Air Transport Management 6, 2000, S. 109-118
- [Grübmeier1998] Grübmeier, Jürgen, Wesseli, Michael: Flughafenverbindungen in Deutschland, Eine Form der Kooperation von Bahn- und Flugverkehr, rail international, Schienen der Welt, Juli/August 1998, S. 2-7
- [Gunnarsson1999] Gunnarsson, S. Olof: Mobilistics Proposal to a Scientific Discipline, Urban Transport Systems, Conference, Lund, Sweden, June 7-8, 1999
- [Gunnarsson2000] Gunnarsson, S.O.: Studies in Travel Behaviour and Mobility Management need a Special Scientific Discipline: „Mobilistics“, IATSS Research , Vol. 24, No.1, 2000
- [Handelsblatt2002a] Handelsblatt: Paris stoppt Planung für dritten Flughafen, Handelsblatt, 13. Mai 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 05/2002, S. 211-212

- [Handelsblatt2002b] Handelsblatt: Lufthansa-Chef kritisiert neue Milliardenhilfe der Regierung Bush - EU beklagt sich vergeblich, 6. Mai 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 05/2002, S. 215-217
- [Hanlon1996] Hanlon, Pat: Global Airlines, competition in a transnational industry, Butterworth Heinemann, Oxford 1996
- [Hartung2002a] Hartung, Thomas: Andocken mit Hindernissen, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, Juni 2002, S. 14-17
- [Hartung2002b] Hartung, Thomas, Jegminat, Georg: Low Cost ist keine schwarze Magie, Interview mit Eurowings-Chef F.-W. Weitholz, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 26. Juli 2002, S. 54-57
- [Hartung2002c] Hartung, Thomas: Ungewollte Schwangerschaft, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 26. Juli 2002, S. 3
- [Hartung2002d] Hartung, Thomas, Jegminat, Georg: British Airways lichtet Preisdtschungel, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 31. Mai 2002, S. 76-77
- [Hartung2002e] Hartung, Thomas, Jegminat, Georg: Alle steuern auf Nettopreise zu, Interview mit Vorstandschef der AUA-Gruppe Vagn Sorensen, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 9. August 2002, S. 64-66
- [Hildebrandt2002] Hildebrandt, Klaus: Low Cost, High Risk im Billigflug, zu den TUI-Plänen für einen Low Cost Carrier, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 31. Mai 2002, S. 3
- [Huang2002] Huang, Hai-Jun: Pricing and Logit-based Mode Choice Models of a Transit and Highway System with Elastic Demand, European Journal of Operational Research, 140, 2002, S. 562-570
- [Hugo2000] Hugo, Joachim: Modellierung von Mobilitätsdaten mit Methoden der Künstlichen Intelligenz, Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Fischer, Düsseldorf, Nr. 4, 2000, S. 355-377
- [Huntsville2002] Huntsville Transportation Plan: Travel Demand Model Development, Huntsville Transportation Plan 2000-2020, June 4, 2002
- [ICAO2001] International Civil Aviation Organisation (ICAO): Outlook for Air Transport to the Year 2010, 2001

- [Infoletter2002] Infoletter: Konzentration, Globalisierung und Kundenorientierung, Delphi-Studie zum Wandel im Transportmarkt zeigt Trends, Deutsches Verkehrsforum, Infoletter, Juni, Juli, 4/2002, S. 3-4
- [Ionides2002a] Ionides, Nicholas: IATA praises China's consolidation, Airline Business, July 2002, S. 23
- [Ionides2002b] Ionides, Nicholas: Recovery gathers pace, Airline Business, July 2002, S. 85
- [Janic1997] Janic, Milan: Liberalisation of European aviation: analysis and modelling of the airline behaviour, Journal of Air Transport Management, Vol. 3, No. 4, 1997, S. 167-180
- [Janic2001a] Janic, Milan: An Analysis of the concepts of Airport sustainable Capacity and Development, SCAN-UK, Conference, Manchester, April 2001
- [Janic2001b] Janic, Milan: Multicriteria Evaluation of a New Hub Airport for an EU Airline, NECTAR Conference, No. 6, Helsinki, Finland 2001
- [Janigan2001] Janigan, Michael: Turbulence ahead for Canadian air travel, based on US experience, Canadian Association of Airline Passengers, air article, February 2001
- [Jarillo2003] Jarillo, Jose-Carlos: Strategische Logik, die Quellen der langfristigen Unternehmensrentabilität, Wiesbaden 2003
- [Jegminat2002a] Jegminat, Georg: Europas Airlines im Kreuzfeuer der Politik, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, Juni 2002, S. 32-34
- [Jegminat2002b] Jegminat, Georg: Für DBA läuft die Frist, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 26. Juli 2002, S. 60
- [Jegminat2002c] Jegminat, Georg: British Airways tritt gegen Billig-Carrier an, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 15. Februar 2002, S. 85
- [Jegminat2002d] Jegminat, Georg: British Airways benötigt eine neue Strategie, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 15. Februar 2002, S. 91
- [Jürs2002a] Jürs, Martin: Weg mit den Bonusmeilen, VDR fordert Abschaffung von Airline-Programmen, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 9. August 2002, S. 19
- [Jürs2002b] Jürs, Martin: Bonusmeilen sind Privatsache, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 9. August 2002, S. 8

- [KLM2002] KLM, Homepage, http://www.klm.com/de_ge/index.jsp (Juli 2002)
- [Knoflacher2002] Knoflacher, Hermann: Technikfolgenabschätzung am Beispiel Verkehr - Überschreitung evolutionärer Raum-Zeiterfahrungen, <http://www.oeaw.ac.at/ita/TA01/knoflacher.pdf> [Oktober2002]
- [Lancaster1972] Lancaster, Kevin J.: A New Approach to Consumer Theory, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 17-54
- [Lees2000] Lees, Eliot: How Global Alliances are Reshaping Canadian Aeropolitics, CAC/ACI-NA Airport Management Conference, Ottawa, Kanada, Dezember 2000
- [Levine1998] Levine, Michael E. : Hubs, Spokes, Pricing and Airline Competition, Northwest Airlines, October 19, 1998
- [Lill1891] Lill, E.: Das Reisegesetz und seine Anwendungen auf den Eisenbahnverkehr, Wien, 1891
- [Löffler2002] Löffler, Antje: Unternehmensstrategien von Low Cost Carriern, Diplomarbeit, European-Business-College Berlin, 2002
- [Lufthansa2002a] Lufthansa Dialog: Mehr Effizienz am Himmel, 3/2002, S. 3
- [Lufthansa2002b] Lufthansa Dialog: Drehscheibe Frankfurt: unteilbarer Vorteil, 3/2002, S. 3
- [Lufthansa2002c] Lufthansa Nachricht: Fluggesellschaft sieht im europäischen Umfeld durch „Kartellamtstarif“ benachteiligt - Kein Verständnis bei der Lufthansa für vorläufige Entscheidung des Oberlandesgerichts, 10. April 2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 04/2002, S. 176-177
- [Lufthansa2002d] Lufthansa Dialog: Lärmkontingent, 2/2002, veröffentlicht in ADV ID Nr. 05/2002, S. 228
- [Lukaschewski2002] Lukaschewski, Marc: Beschleunigung bereits am Boden, Logistik Heute, 3/2002, S. 22-23
- [Mayberry1972] Mayberry, John P.: Structural Requirements for Abstract-Mode Models of Passenger Transportation, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 103-126
- [Mecham2002] Mecham, Michael: Are there too many Aircraft even with the Desert Full?, Aviation Week & Space Technology, April 22, 2002, S. 40-41

- [MLIT1995] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan: Basic Concepts of the seventh 5-year Airport Construction Program (Interim summary), Basic Approach to Airport Development, August 1995
- [Moses1972] Moses, Leon N., Williamson, Harold F., Jr.: Value of Time, Choice of Mode, and the Subsidy Issue in Urban Transportation, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 197-220
- [Mterminal2002] M terminal: Terminal 2 reserviert für "Star-Alliance"- Mitglieder, Zeitung der Flughafen München GmbH, Juli, August, 4/2002, S. 1
- [Murthy1998] Murthy, Sudhir, Salem, Rajesh: The Rhode Island Travel Demand Forecasting Model, Statewide Travel Demand Forecasting Conference Proceedings, Irvine, California, December 6-8, 1998, S. 83-100
- [Nijkamp2002] Nijkamp, Peter, Pels, Eric: Developments in Air Transport economics: Introduction, Journal of Air Transport Management, 8, 2002, S. 137-139
- [Nitsch2002] Nitsch, Rüdiger v.: Entscheidungslehre, Stuttgart, 2002
- [Nordwall2002a] Nordwall, Bruce D.: FAA faulted for slow Progress in ATC Modernization, Aviation Week & Space Technology, March 18, 2002, S. 50-51
- [Nordwall2002b] Nordwall, Bruce D.: U.S. changing to one Type of Instrument Approach, Aviation Week & Space Technology, July 8, 2002, S. 45-46
- [North2002] North, David M.: Chinese Aerospace: An Arena of Contrasts, Aviation Week & Space Technology, March 18, 2002, S. 78
- [Oneworld2002] Oneworld, Homepage, <http://oneworldalliance.com/hom.cfm> (Juli 2002)
- [Ortuzar2002] Ortuzar, Juan de Dios, Gonzalez, Rosa Maria: Inter-Island Travel Demand Response with Discrete Choice Models, Journal of Transport Economics, Volume 36, Part1, 2002, S. 115-138
- [Ott2002] Ott, James: Latin Alliance opens way to restructuring, Aviation Week & Space Technology, April 15, 2002, S. 63
- [Pavaux1995] Pavaux, Jacques: Air Transport: Horizon 2020, key factors and future prospects, Institut du Transport Aerien, Paris 1995
- [Pfaffenbichler2002] Pfaffenbichler, Paul C., Stein, David: Die Prognose der EU-Erweiterung auf die Verkehrsnachfrage in der Region Wien-Bratislava-Brünn-Györ, CORP 2002, Wien, 26.2 - 2.3.2002

- [Phillips2002a] Phillips, Edward D.: Africa leads in Hull Losses; FSF cites Challenges to Flying, Aviation Week & Space Technology, April 22, 2002, S. 44-45
- [Philips2002b] Philips, Edward H.: AMR/American bleeds in second Quarter, Aviation Week & Space Technology, July 22, 2002, S. 76
- [Pinkham2002a] Pinkham, Richard: Rewriting the rules, Airline Business, January 2002, S. 30-32
- [Pinkham2002b] Pinkham, Richard: Global Gameplans, Airline Business, July 2002, S. 48-49
- [Profilidis2000] Profilidis, V. A.: Econometric and fuzzy models for the forecast of demand in the airport of Rhodes, Journal of Air Transport management 6, 2000, S. 95-100
- [Psaraki2002] Psaraki, Voula, Abacoumkin, Costas: Access Mode Choice for Relocated Airports: The New Athens International Airport, Journal of Air Transport Management, No. 8, 2002, S. 89-98
- [Quandt1972a] Quandt, Richard E.: Introduction to the Analysis of Travel Demand, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 1-16
- [Quandt1972b] Quandt, Richard E., Young, Kan, Hua : Cross-Sectional Travel Demand Models : Estimates and Tests, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 127-146
- [Quandt1972c] Quandt, Richard E.: Estimation of Modal Splits, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 147-162
- [Quarmby1972] Quarmby, D. A.: Choice of Travel Mode for the Journey to Work: Some Findings, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 235-296
- [Ravenstein1885] Ravenstein, E. G.: The Laws of Migration, Journal of the Royal Statistical Society, No. 43, 1885
- [Reuter2002] Reuter, Heiko: Das Hemd ist näher als der Rock, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 28. Juni 2002, S. 3
- [Rolls-Royce2001] Rolls-Royce: The Outlook 2001-2020, Derby, England, 2001
- [Schiphol2001] Amsterdam Airport Schiphol, Marketing Team: Global Reach, Airline Business, December 2001, S. 62-64

- [Schirmeister1981] Schirmeister, Raimund: Modell und Entscheidung. Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von Modellen zur Alternativenbewertung im Entscheidungsprozeß der Unternehmung, C. E. Poeschel Verlag, Stuttgart, 1981
- [Schmidt2002a] Schmidt, Lutz: Köln/Bonn hofft auf Trumpfkarte, fvw, Magazin für die Tourismuswirtschaft, Juni 2002, S. 12-13
- [Schmidt2002b] Schmidt, Lutz: Das Jahr der Nischenflughäfen, Deutsche Airports im Überblick, fvw, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 5. Februar 2002, S. 61
- [Schmidt2002c] Schmidt, Lutz: Germania bringt Unruhe in den Markt, fvw, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 12. Juli 2002, S. 269
- [Sekigawa2002] Sekigawa, Eiichiro, Mecham, Michael: JAL gains Parity in Home Market, Aviation Week & Space Technology, May 6, 2002, S. 36-37
- [Skyteam2002] Skyteam, Homepage, <http://www.skyteam.com/EN/index.jsp> (Juli 2002)
- [Slot2001] Ewers, Hans-Jürgen, Tegner, Henning, Joerss, Ingomar, Eckhardt, Carl Friedrich, Jakubowski, Peter, Meyer, Carsten E., Brenck, Andreas, Czerny, Achim I.: Slot-Studie, Möglichkeiten der besseren Nutzung von Zeitnischen auf Flughäfen [Slots] in Deutschland und der EU, TU Berlin, WIP Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik, Berlin, Januar 2001
- [Smith2002] Smith, Bruce A.: Operational issues raise Profile of Sonic Cruiser Design Options, Aviation Week & Space Technology, July 22, 2002, S. 130-134
- [Solon2002a] Solon, Daniel: Ryanair leads the low-cost charge, The AVMARK Aviation Economist, March 2002, S. 4-5
- [Solon2002b] Solon, Daniel: Competition game is changing as carriers seek strength in numbers, Airline Alliances analysed, The AVMARK Aviation Economist, May-June 2002, S. 11-13
- [Solon2002c] Solon, Daniel: US Airports the big losers in 2001, The AVMARK Aviation Economist, May-June 2002, S. 6
- [Sonesson2001] Sonesson, Thomas: Inter-Urban Travel Demand Elasticities with Emphasis on Trip Generation and Destination Substitution, Journal of Transport Economics and Policy, Volume 35, Part 2, May 2001, S. 301-326
- [Sparaco2002a] Sparaco, Pierre: EC Vice President Advocates Transatlantic Deregulation, Aviation Week & Space Technology 18, 2002, S. 47

- [Sparaco2002b] Sparaco, Pierre: France Reassessing New Airport Policy, Aviation Week & Space Technology 20, 2002, S. 52
- [Sparaco2002d] Sparaco, Pierre: EasyJet's shopping spree signals that size matters, Aviation Week & Space Technology May 13, 2002, S. 36-37
- [Sparaco2002e] Sparaco, Pierre: European Initiative targets increased Aviation Safety, Aviation Week & Space Technology June 24, 2002, S. 70-71
- [Sparaco2002f] Sparaco, Pierre: Sonic Cruiser Team grows as Boeing refines Concept, Aviation Week & Space Technology, August 5, 2002, S. 38-39
- [Sparaco2002g] Sparaco, Pierre: European Mega-Transport gains momentum, Aviation Week & Space Technology, July 22, 2002, S. 120-121
- [StaBu2000] Öffentliche Luftverkehrsstatistik des Statistischen Bundesamtes, 2000
- [StaBu2001] Öffentliche Luftverkehrsstatistik des Statistischen Bundesamtes, 2001
- [Star2002] Star Alliance, Homepage, <http://www.star-alliance.com/cgi-bin/sa.storefront> (Juli 2002)
- [Sterzenbach1999] Sterzenbach, Rüdiger: Luftverkehr, Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 2. Auflage, 1999
- [Sterzenbach2002] Sterzenbach, Rüdiger: Zusammenfassung SPNV Skript, Virtuelle Hochschule, http://mitarbeiter.fhheilbronn.de/~drsterz/Frei/Zusammenfassung_SPNV.pdf (Oktober 2002)
- [Stockmann2002] Stockmann, Ulrich: EU-Himmel wird sicherer – Agentur für Flugsicherheit startet im Sommer, veröffentlicht in ADV ID Nr. 02/2002, S. 86-87
- [Storm1999] Storm, Susanne: Air Transport Policies and Frequent Flyer Programmes in the European Community - a Scandinavian Perspective, Tourism Research, Research Centre of Bornholm, 1999
- [Storm2001] Storm, Susanne: An air transport marketing initiative: are frequent flyer programmes desirable from the point of view of consumer protection and competition law in Europe?, Trafikdage, Aalborg Universitet 2001, S. 373-383
- [Stuart2001] Spencer Stuart: The global challenge, study by international executive search firm Spencer Stuart, Airline Business, August 2001, S. 80-84

- [Swelbar2002] Swelbar, Bill: Ten of the Things we `ll be watching closely that will impact the Structure of the US Airline Industry, Economic Strategy Institute, January 14, 2002
- [Tacken2001] Tacken, Mart, Marcellini, Fiorella, Mollenkopf, Heidrun, Ruoppila, Isto: Trip Making Behaviour of Older People understood from their Personal Experiences, NECTAR Conference, No. 6, Espoo, Finland, 2001
- [Thakuriah2000] Thakuriah, Piyushimita, Virmani, Deepak, Yun, Seongsoon, Metaxatos, Paul: Estimating of the Demand for Inter-City Travel, Issues with using the American Travel Survey, 2000, S. 255-269
- [Theis2002] Theis, Georg: Telematik-Anwendungen im Luftverkehr, Optimierung von Bodenprozessen, Internationales Verkehrswesen (54) 5/2002, S. 225-228
- [Toole2002a] Toole, Kevin O`: The heir apparent, Lufthansa`s next chairman Wolfgang Mayrhuber brings a new lightness of touch to the group`s management style, Airline Business, July 2002, S. 30-33
- [Toole2002b] Toole, Kevin O`: Star`s Constellation gains Strength, Airline Business, July 2002, S. 11
- [Train1978] Train, K., Fadden, D. Mc : The Goods/Leisure Trade-off and Disaggregate Work Trip Mode Choice Models, Transportation Research, 12, 1978
- [Turner1997] Turner, Shawn, Shunk, Gordon: Bicycle and Pedestrian Travel demand Forecasting: Literature Review, Texas Transpotation Institute, Research Report 1723-1, August 1997
- [Ucdavis2002] UCDavis, Department of Economics: Transportation Economics: Production and Costs II, Robert Feenstra, www.econ.ucdavis.edu/faculty/fzfeens/trans/Transport-lecture13.ppt (September2002)
- [Uidaho2002a] University of Idaho: Travel Demand Forecasting, Theory and Concepts, University of Idaho, Transportation Engineering, http://www.webs1.uidaho.edu/niatt_labmanual/Chapters/TravelDemandForecasting/TheoryAndConcepts/index.htm (Oktober 2002)
- [Uidaho2002b] University of Idaho: Travel Demand Forecasting, Professional Practice, University of Idaho, Transportation Engineering,

- http://www.webs1.uidaho.edu/niatt_labmanual/Chapters/traveldemandforecasting/ProfessionalPractice/index.htm (Oktober 2002)
- [Urbatzka1999] Urbatzka, Eckhard, Focke, Horst, Stader, Andrea, Wilken, Dieter: Szenarien des Luftverkehrs Deutschlands im Jahr 2010 vor dem Hintergrund kapazitätsbeengter Flughafeninfrastruktur, DLR, Köln, 1999
- [Vanhove2002] Vanhove, Johan: Umfangreiche Bahninvestitionen in die Erreichbarkeit der Stadt Brüssel und ihres Flughafens, Rail International, Schienen der Welt, Mai 2002, S.18-23
- [VCD2002] Verkehrsclub Deutschland: Stellungnahme des Verkehrsclubs Deutschland (VCD) zum Raumordnungsverfahren (ROV) für den geplanten Ausbau des Verkehrslandeplatzes Kassel-Calden zu einem Verkehrsflughafen, 24.02.2002
- [Veldhuis1997] Veldhuis, Jan: The competitive position of airline networks, Journal of Air Transport Management, Vol. 3, No. 4, 1997, S. 181-188
- [Velocci2002] Velocci, Anthony L. Jr., Sonic Cruiser plans secure, despite Market Unknowns, Aviation Week & Space Tecgnology, April 15, 2002, S. 52
- [Verkehrsn.2000] Verkehrsnachrichten, Bürger und Verkehr, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Expandierender Luftverkehr birgt Beschäftigungspotentiale, Berlin, Oktober 2000, S. 1-2
- [Vries2000] Vries, de Jacob J., Nijkamp, Peter, Rietveld, Piet: Alonso's General Theory of Movement, Tinbergen Institute Discussion Paper, Rotterdam, 2000
- [Vrtic2001] Vrtic, Milenko: Verkehrsverteilungsmodelle, Materialien zur Vorlesung Verkehrsplanung, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, 2001
- [Waser2002] Waser, Gregor: Start mit Fragezeichen, Schweizer National Carrier, fww, Magazin für die Tourismuswirtschaft, 15. Februar 2002, S. 90
- [Weber2000] Weber, Mathieu, Dinwoodie, John: Fifth freedoms and airline alliances. The role of fifth freedom traffic in an understanding of airline alliances, Journal of Air Transport Management 6, 2000, S. 51-60
- [Wilson1967] Wilson, A. G.: A Statistical Theory of Spatial Distribution Models, Transportation Research, No. 1, 1967

- [Wilson1972] Wilson, A. G.: A Statistical Theory of Spatial Distribution Models, in: Quandt, Richard E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Lexington, 1972, S. 55-82
- [Witte1982] Witte, Hermann, Voigt, Fritz, Laschet, Wilhelm: Die Preisbildung im Luftverkehr, Verkehrswissenschaftliche Forschungen, Band 43, Duncker & Humblot, Berlin, 1982
- [Zapp2002] Zapp, Kerstin: Umweltschutz ist Innovationsmotor, Internationales Verkehrswesen (54), 4, 2002, S. 176-178
- [Zijst1998] Zijst, Wouter A. van: Zusammenarbeit zwischen Schiphol und den Niederländischen Eisenbahnen, rail international, Schienen der Welt, Juli/August 1998, S. 15-18

Glossar

a	Reelle Konstante
$\bar{a}$	Durchschnittlicher Wachstumsfaktor
a_g	Verkehrsgenerierungskonstante Geschäftsverkehr
a_{Ho}	Verkehrsgenerierungskonstante Urlaubsverkehr
a_p	Preisbewertungskonstante
a_{od}	Relationsspezifischer Wachstumsfaktor
a_{VFR}	Verkehrsgenerierungskonstante Besuchsverkehr
a_λ	Präferenzenkoeffizient der Einflußvariable λ
a_1^j	Präferenzenkoeffizient für den Preis des j-ten Tarifs
A	Anzahl nötiger Flugverbindungen
b	Reelle Konstante
$\bar{b}$	Konstanter Bruttonutzen
$\bar{b}_{od}$	Bruttonutzen der Relation od
B	Bevölkerungszahl
B_o	Bevölkerungszahl der Ursprungsregion
B_d	Bevölkerungszahl der Zielregion
BSP	Bruttosozialprodukt

BSP_d	Bruttosozialprodukt der Zielregion
BSP_o	Bruttosozialprodukt der Quellregion
c	Reelle Konstante
c_N	Variable Kosten je Passagier
c_S	Variable Kosten je Start
$c_{s,N}$	Kosten je Passagierkilometer
C_F	Kapazität des Flugzeugs F
$C_{F,\min}$	Minimale Kapazität
C_{Fg}	Flugkapazität einer Fluggesellschaft
C_{Fh}	Kapazität Flughafen Fh
D	Anzahl erreichbarer Flughäfen
$E(t)$	Zeitabhängige Summe der quadratischen Fehler
$E\langle x \rangle$	Erwartungswert von x
f	Allgemeine Funktion
$f_{\min}$	Minimale Frequenz
f_{ij}	Angebotene Frequenz vom Flughafen i zum Flughafen j
f_λ	Funktion der Einflußvariable λ
F	Ausgewähltes Flugzeug
F_{bil}	Nachfragegenerierungsfaktor durch Billigflugangebot
F_{HSR}	Nachfragereduzierender Faktor durch Hochgeschwindigkeitsbahn

$|F|$	<i>Betrag der Kraft</i>
F_g	<i>Ausgewählte Fluggesellschaft</i>
F_h	<i>Ausgewählter Flughafen</i>
g	<i>Allgemeine Funktion</i>
ge	<i>Index für geschäftlichen Reiseanlass</i>
G	<i>Gewinn</i>
$\hat{G}$	<i>Maximaler Gewinn</i>
$\bar{h}(\Delta t)$	<i>Durchschnittliche Reishäufigkeit je Intervall Δt</i>
H	<i>Anzahl Städtepaare je Verbindung</i>
Ho_d	<i>Attraktivitätspotential der Zielregion d für den Urlaubsverkehr</i>
i	<i>Index</i>
$\tilde{i}$	<i>Ausgewählter Index i</i>
I	<i>Fluganzahl</i>
$Im(i, j)$	<i>Verkehrsimpedanz zwischen Region i und j</i>
In	<i>Einkommen</i>
In_o	<i>Einkommen der Ursprungsregion</i>
j	<i>Index</i>
$\tilde{j}$	<i>Ausgewählter Index j</i>
J	<i>Anzahl Preisstufen</i>
k_{od}	<i>Generalisierte Kosten der Relation od</i>
k^{eff}_{od}	<i>Effektiver Preis der Relation od</i>

k_{od}^j	Kosten der j -ten Preiskategorie der Relation od
$k_{od}(g)$	Generalisierte Kosten der Geschäftsreisenden auf der Relation od
$k_{od}(HSR)$	Generalisierte Kosten Hochgeschwindigkeitsbahn der Relation od
$k_{od}(pr)$	Generalisierte Kosten der Privatreisenden auf der Relation od
$k_{od}(pr, Ho)$	Generalisierte Kosten der Urlaubsreisenden auf der Relation od
$k_{od}(pr, VFR)$	Generalisierte Kosten der Besuchsreisenden auf der Relation od
K	Kosten
$\bar{K}$	Durchschnittliche Stückkosten
K_a	Flughafenservicekosten
K_F	Fixkosten
K_{mar}	Marginale (Stück)Kosten
l	Ladefaktor
l_{min}	Minimaler Ladefaktor
$\bar{l}$	Mittlerer Ladefaktor
L_{Fh}	Anzahl Landungen am Flughafen Fh
Le	Freizeit
m	Masse
$m(i)$	Anteil Personen mit Kundenbindungsprogramm für die Route i
m_{okb}	Anteil Personen ohne Kundenbindungsprogramm
n_D	Anzahl Datensätze
N	Passagierzahl

$\bar{N}$	Durchschnittliche Passagierzahl
$N(i)$	Stromgröße der Alternative i
$\tilde{N}(i)$	Varierte (Strom)Größe
$\hat{N}(i, od)$	Gemessene routenspezifische Passagierzahl der Route i der Relation od
N_0	Maximale Passagierzahl
$N(i = dir)$	Passagierzahl der Direktflugroute i
$N(i = ums)$	Passagierzahl der Umsteigeflugroute i
N_{geb}	Passagierzahl eines Gebiets
N_{ges}	Gesamtstromgröße
N_p	Passagierzahl Privatreisende
N_{od}	Anzahl Reisender einer Relation od
$N_{od}(g)$	Anzahl Geschäftsreisender einer Relation od
$N_{od}(pr)$	Anzahl Privatreisender einer Relation od
$N_{od}(pr, Ho)$	Anzahl Urlaubsreisender einer Relation od
$N_{od}(pr, VFR)$	Anzahl Besuchsreisender einer Relation od
$N_{ges,d}$	Gesamtzielverkehr zum Ort d
$N_{o,ges}$	Gesamtquellverkehr vom Ort o
$N_{od}(Fg)$	Anzahl Reisender einer Relation od der Fluggesellschaft Fg
o	Flugzeuganzahl
od	Relation

O	<i>Infinitesimales Teilgebiet der Nachfrageregion</i>
$\tilde{O}$	<i>Betrachteter Flughafenstandort</i>
p	<i>Preis</i>
p_0	<i>Maximaler Preis</i>
p_{bil}	<i>Preis Billigfluggesellschaften</i>
p_N	<i>Einnahme je Passagier</i>
$\hat{p}_G$	<i>Preis mit maximalem Gewinn</i>
$\hat{p}_U$	<i>Preis mit den maximalen Einnahmen</i>
p_{od}	<i>Preis der Relation od</i>
pa	<i>Index für Pauschalreise</i>
pr	<i>Index für privaten Reiseanlass</i>
P	<i>Anzahl Prognosegrößen</i>
P_i	<i>Prognosegrößen i</i>
P_{od}	<i>Wahrscheinlichkeit eines Reisenden vom Ort o das Ziel d zu wählen</i>
$P(i)$	<i>Wahrscheinlichkeit eines Reisenden bei einer Reise die Alternative i zu wählen</i>
$P(i = KB)$	<i>Wahrscheinlichkeit der Wahl der Route mit Kundenbindungsprogramm</i>
$P(i = OKB)$	<i>Wahrscheinlichkeit der Wahl der Route ohne Kundenbindungsprogramm</i>
PKP	<i>Zurückgelegte Passagierkilometer</i>
$PYield$	<i>Ertrag je Passagierkilometer</i>
q	<i>Anzahl Kundenbindungsprogramme</i>

Q	<i>Menge eines Guts</i>
r	<i>Anteil der Flugreisenden einer ausgewählten Gruppe</i>
r_d	<i>Anteil der verspäteten Flüge</i>
r_D	<i>Returns in Density</i>
r_{sc}	<i>Return to scale</i>
r_{si}	<i>Return in size</i>
rp	<i>Index für Restprivatreisenden</i>
R^2	<i>Determinationskoeffizient</i>
$s_{i\ j}$	<i>Streckenlänge zwischen Flughafen i und j</i>
$\bar{s}$	<i>Gewichtete, mittlere Streckenlänge</i>
S_F	<i>Anzahl Starts eines Flugzeugs</i>
$\hat{S}_F$	<i>Maximale Anzahl Starts eines Flugzeugs</i>
S_{Fh}	<i>Anzahl der Starts am Flughafen Fh</i>
SQR	<i>Erklärte Quadratsumme</i>
SQT	<i>Totale Quadratsumme</i>
t	<i>Zeit</i>
t_a	<i>Summe der An- und Abreisezeit zum / vom Flughafen</i>
t_b	<i>Zeitintervall zwischen zwei Flügen</i>
t_c	<i>Summe der Ein- und Auscheckzeit</i>
t_d	<i>Verspätungsdauer</i>

$\bar{t}_{d,p}$	Durchschnittliche Verspätung der Passagiere über alle Flüge
$\bar{t}_{d,r}$	Durchschnittliche Verspätungszeit der tatsächlich verspäteten Flüge
t_f	Plangemäße Flugdauer
t_g	Zeitdauer eines Flugzeugs auf dem Flughafen
t_j	Gesamtreisedauer
t_p	Zeitpunkt des Prognoseziels
t_r	Gesamtflugreisedauer
t_s	Zeitpunkt status quo
t_u	Umsteigezeit
t_v	Beginn Zeitintervall in der Vergangenheit
t_w	Wartezeit
$\bar{t}_w$	Durchschnittliche Wartezeit
t_z	Ende Zeitintervall in der Zukunft
t_{od}	Reisedauer der Relation <i>od</i>
u	Fehlerterm
u_{det}	Deterministischer Teil der Nutzenfunktion
u_{FG}	Fluggesellschaftsspezifischer Teil des Serviceaspekts der Nutzenfunktion
u_{KB}	Zusätzlicher Nutzen durch Mitgliedschaft in einem Kundenbindungsprogramm
u_{UFH}	Umsteigeflughafenspezifischer Teil des Serviceaspekts der Nutzenfunktion

u_s	<i>Serviceanteil der Nutzenfunktion</i>
u_{od}	<i>Nutzen der Reise auf der Relation od</i>
$u^{l,\lambda}_{det}$	<i>Deterministischer Restteil der Nutzenfunktion ohne Einflussvariable λ</i>
U	<i>Einnahmen</i>
$\hat{U}$	<i>Maximale Einnahmen</i>
v_E	<i>Gewichtung des Entscheidungskriteriums E</i>
$\bar{v}$	<i>Durchschnittliche Geschwindigkeit</i>
$\bar{v}_{od}$	<i>Mittlere Reisegeschwindigkeit der Relation od</i>
V_i	<i>Wahrscheinlichkeit der Bekanntschaft von Personen</i>
W	<i>Anzahl möglicher Flughafenpaare</i>
x	<i>Einflussvariable</i>
$x(E)$	<i>Funktion des Entscheidungskriteriums E</i>
$\mathbf{X}$	<i>Intervall der Einflussvariable</i>
y	<i>Messwert</i>
$\bar{y}$	<i>Mittlerer Messwert</i>
$\hat{y}$	<i>Mit der Theorie übereinstimmender Messwert</i>
z	<i>Zielfunktionswert</i>
α_D	<i>Messwert der economies of density</i>
α_{sc}	<i>Messwert der economies of scale</i>
α_{si}	<i>Messwert der economies of size</i>

β	Binäre Variable
γ_j	Gewichtungsfaktor der j-ten Preiskategorie
δ_{bil}	Binäre Variable der Existenz eines Billigflugangebots
$\delta_{dir}(i)$	Binäre Variable der Route i als Direktflug
δ_{HUB}	Binäre Variable der Zuordnung zu einem Hubflughafen
δ_{HSR}	Binäre Variable der Existenz eines Hochgeschwindigkeitsbahnangebots
$\delta_{KB}(i)$	Binäre Variable der Mitgliedschaft in Kundenbindungsprogramm der Route i
δ_{IVF}	Binäre Variable der Zuordnung zu einem Internationalen Verkehrsflughafen
δ_{MD}	Binäre Variable der Zugehörigkeit zu Mitteldeutschland
$\delta_{ums}(i)$	Binäre Variable eines Umsteigevorganges der betrachteten Route i
δ_{WD}	Binäre Variable der Zugehörigkeit zu Westdeutschland
$\delta(N(O))$	Reiseshäufigkeitsdichte je Fläche
$\delta(N(\Delta t))$	Mittlere Reiseshäufigkeit pro Person und Zeitintervall Δt
Δ	Differenz
ΔBSP	Änderung des Bruttosozialprodukts
ΔD	Veränderung Flughafenanzahl
ΔK	Kostendifferenz
ΔN	Passagierzahländerung
Δt	Zeitintervall
ΔTK	Änderung des Flugverkehrsaufkommens

ε_{od}	<i>Relationsabhängige Konstante</i>
E	<i>Entscheidungskriterium</i>
λ	<i>Einflussvariable der Wahlentscheidung</i>
θ	<i>Streuungsvariable der Nutzenfunktion</i>
σ_{od}	<i>Leitfähigkeit der Relation od</i>
$\sigma_{od}(g)$	<i>Leitfähigkeit der Relation od der Geschäftsreisenden</i>
$\sigma_{od}(pr, Ho)$	<i>Leitfähigkeit der Relation od der Urlaubsreisenden</i>
$\sigma_{od}(pr, VFR)$	<i>Leitfähigkeit der Relation od der Besuchsreisenden</i>
ζ_i	<i>Stochastischer Nutzen der Alternative i</i>
ζ_r	<i>Stochastischer Restnutzen</i>
$\zeta_s(i)$	<i>Stochastische Servicekomponente der Nutzenfunktion der Alternative i</i>
ζ_1	<i>Stochastische Komponente des Präferenzenkoeffizienten der Reisekosten</i>
ζ_2	<i>Stochastische Komponente des Präferenzenkoeffizienten der Reisedauer</i>
ζ_3	<i>Stochastische Komponente des Präferenzenkoeffizienten der Reisefrequenz</i>

Curriculum Vitae

Thorsten Makowski,

geb. 7.8.1970 in Dinslaken

Senior Consultant

Berufliche Erfahrung

Seit 03/2004	Selbständiger Unternehmensberater
09/2003 – 02/2004	Assistent der Geschäftsführung & Senior Consultant Henry Lambertz GmbH & Co. KG (Aachen)
02/2003 – 08/2003	Senior Consultant Henry Lambertz GmbH & Co. KG (Aachen)
06/2002 - 08/2002	Consultant Ungarische Aluminium Produktions- und Handels AG (MAL) (Szekesfehervar, Ungarn)

Externe Projekte & Kooperationen

Kooperative Projekte mit der **GSBA, Zürich (Schweiz)**

01/2005	Kiesweg Egli AG (Riedikon, Schweiz)
11/2004	Fair Play AG (Pfäffikon, Schweiz)

Kooperative Projekte mit dem **Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln**

07/2002 – 05/2003	Deutsche Bahn AG (Frankfurt/M.)
<u>Kooperative Projekte mit der RWTH, Aachen</u>	
10/2002 – 04/2003	Deutsche Post World Net, e-Business Division (Bonn)
04/2002 – 10/2002	Deutsche Post World Net, Letter Division (Bonn)
10/2001 – 04/2002	Ruhrgas AG (Essen)
04/2001 – 10/2001	May & Cie. (Gangelt)
10/2000 – 04/2001	Henry Lambertz GmbH & Co. KG (Aachen)

04/2000 – 10/2000

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR, Köln)

Ausbildung

Voraussichtlich 03/2008	Executive Master of Business Administration (MBA) , an der University of Chicago Graduate School of Business (Chicago, London, Singapore) (ranked #2 weltweit durch Financial Times für Executive MBA Programme), die Business School mit den meisten Nobelpreisträgern in ihrer Fakultät weltweit
05/2006	Promotion in Wirtschaftswissenschaften , (Dr.rer.pol.), an der Rheinisch Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen , Institut für Operations Research and Logistics Management. Dissertation: „Die Zukunft des Personenluftverkehrs“
03/2005	Executive Bachelor of Business Administration (BBA) an der, Graduate School of Business Administration (GSBA) Zürich , Schweiz (ranked #9 weltweit, #3 in Europa durch Financial Times für Executive MBA Programme), in Kooperation mit der State University of New York (SUNY), New York Grosse schriftliche Ausarbeitung: „Sachbereiche im Recht der Personalführung mit Informationsbedarf aus der Psychologie“ Note: 1,2
03/2000	Diplom in Physik , RWTH Aachen Diplomarbeit: „Untersuchung elektromagnetisch induzierter Segregation in Aluminium-Silizium Schmelzen durch Einwirkung eines elektromagnetischen Wechselfeldes“ Note: 1,6
08/1985-06/1989	Schüler am Collegium Augustinianum Gaesdock, Bischöfliches Gymnasium , Goch. Abschluss: Abitur
08/1980-06/1985	Schüler am Gymnasium Voerde

Wissenschaftliche Aktivitäten

01/2002 – 06/2004	Promotionsstelle am Institut für Verkehrsforschung, DLR , Köln
08/2000 – 04/2003	Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Operations Research & Logistic Management , RWTH Aachen
02/1998 - 06/2000	Hilfswissenschaftler am Aachen Center of Solids in Space (ACCESS) , Kooperationsprojekt mit der Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG)
04/1997 - 10/1997	Hilfswissenschaftler am Institut für Experimentalphysik , RWTH Aachen

Weitere Kenntnisse

- Scores: GMAT: 640, TOEFL: 270