

Chemnitz University of Technology

Faculty of Economics and Business Administration

Thüringer Weg 7

09107 Chemnitz, Germany

Phone +49 (0)371 531 26000

Fax +49 (0371) 531 26019

<https://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/index.php.en>

wirtschaft@tu-chemnitz.de



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Professur für Finanzwirtschaft und Bankbetriebslehre
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Optimierung der Flugbewegungszahlen in Europa

Möglichkeiten zur Reduktion der Zahl der Flugbewegungen
in Europa unter Berücksichtigung der Verbindungsgüte

Alexander Nollau, Friedrich Thießen

Arbeitskreis Luftverkehr
TU Chemnitz
Prof. Dr. Friedrich Thießen
finance@wirtschaft.tu-chemnitz.de
Tel. 0371-531-34174

Optimierung der Flugbewegungszahlen in Europa

Möglichkeiten zur Reduktion der Zahl der Flugbewegungen
in Europa unter Berücksichtigung der Verbindungsgüte¹

Zusammenfassung

Viele aktuelle Probleme im Luftverkehr hängen mit der Zahl der Flugbewegungen zusammen. Überfüllungen im Luftraum, erschwerte Koordination an Flughäfen, hohe Emissionen von Lärm und Schadstoffen sowie große Komplexität der Airlines sind Begleiterscheinungen zu vieler Flugbewegungen.

Die vorliegende Studie untersucht, auf welchen Umfang sich die Zahl der Flugbewegungen in Europa bei unveränderter Transportleistung reduzieren lässt. Dazu wird eine Optimierung der Flugbewegungszahlen für ein europäisches Flugnetz der 140 meistbeflogenen Strecken vorgenommen. Stichtag ist der 17. November 2017.

Es zeigt sich, dass bei gleicher Passagiertransportleistung die Zahl der Flugbewegungen auf 1/3 des gegenwärtigen Niveaus reduziert werden kann (von 2.040 Flügen pro Tag auf 738 Flüge pro Tag). Dabei kann die Verbindungsgüte teilweise sogar verbessert werden, weil alle Flüge des Netzes aufeinander abgestimmt sind.

Das bedeutet: Die gegenwärtige Luftverkehrsstruktur besitzt erhebliche Reserven. Es gibt zu viele Flugbewegungen, die redundant sind.

Es werden im Beitrag Reformmaßnahmen vorgeschlagen, die zu einer Verringerung der Zahl der Flugbewegungen (ohne die Passagiertransportleistungen und Reisegüte zu verringern) beitragen können.

Diese Studie kann heruntergeladen werden unter
https://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl4/pub/Nollau_Thiessen_DE.pdf

¹ Für wertvolle Hinweise ist der Arbeitskreis einer Vielzahl von Fachleuten zu Dank verpflichtet, die hier nicht alle namentlich genannt werden können.

Optimisation of flight movements in Europa

*Possibilities for reducing the number of flight movements in Europe,
taking the quality of the connections into account*

Abstract

Many current problems in air traffic are related to the number of aircraft movements. Overcrowding in the airspace, difficult coordination at airports, high emissions of noise and pollutants as well as complexity of airlines are side effects of too many aircraft movements.

This study examines the extent to which the number of flight movements in Europe can be reduced without change in transport performance. For this purpose, the number of flight movement for a European network of the 140 most frequently flown routes will be optimised. The reference date is November 17th 2017.

It shows that with the same passenger transport performance, the number of flight movements can be reduced to 1/3 of the current level (from 2.040 flights per day to 738 flights per day). In some cases, the quality of the connections can even be improved because all flights in the optimised network are coordinated.

This proves that the current air traffic structure has considerable reserves. There are too many aircraft movements which are redundant.

Reform measures are being proposed that can contribute to the needed reduction in the number of aircraft movements (without reducing passenger transport services and travel quality).

Please find an English abridged version of this study at

https://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl4/pub/Nollau_Thiessen_EN.pdf

Inhaltsverzeichnis

1	Executive Summary	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Vorgehensweise	3
1.3	Ergebnisse	5
1.4	Reformen	9
1.4.1	Slots und Stundeneckwerte	9
1.4.2	Hilfen für Airlines bei Investitionen in größere Flugzeuge	9
1.4.3	Reisendenverhalten	10
1.5	Umsetzung und Start der Reformen	11
2	Die Untersuchung	12
2.1	Datenerhebung	12
2.2	Hub- und Spokes-System	16
2.3	Minimum Connect Time (MCT)	17
2.4	Maximum Available Connect Time (MACT)	17
2.5	Verkehrswellenstruktur	17
2.6	Zeitzonekonzept	20
2.7	Netzplantechnik	21
2.8	Flugnetzerstellung	22
2.9	Flugroutenfestlegung	26
2.10	Flugzeuggrößen und Bahnanforderungen	29
2.11	Flughafeninfrastruktur	31
2.12	Fazit	33
3	Anlagen	35
3.1	Strecken und Ist-Flugdaten am Stichtag	35
3.2	Optimierte Flugpläne	50
3.3	Frankfurt am Main (FRA)	52
3.3.1	Frankfurt - Amsterdam	54
3.3.2	Frankfurt – Barcelona	55
3.3.3	Frankfurt – Paris-Charles-de-Gaulle	56
3.3.4	Frankfurt – Rom-Fiumicino	57
3.3.5	Frankfurt – Hamburg	58
3.3.6	Frankfurt – Istanbul-Atatürk	59
3.3.7	Frankfurt – London Heathrow	60
3.3.8	Frankfurt – Adolfo Suárez Madrid-Barajas	61
3.3.9	Frankfurt – München	62

3.3.10	Frankfurt – Berlin Tegel	63
3.3.11	Frankfurt – Wien	64
3.3.12	Frankfurt – Zürich	65
3.4	Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD)	66
3.4.1	Madrid – Amsterdam	68
3.4.2	Madrid – Barcelona.....	69
3.4.3	Madrid – Paris-Charles-de-Gaulle	70
3.4.4	Madrid – Rom-Fiumicino.....	71
3.4.5	Madrid – London Gatwick.....	72
3.4.6	Madrid – London Heathrow	73
3.4.7	Madrid – Las Palmas de Gran Canaria	74
3.4.8	Madrid – München	75
3.4.9	Madrid – Paris-Orly.....	76
3.4.10	Madrid – Palma de Mallorca	77
3.4.11	Madrid – Tenerife Norte.....	78
3.5	Barcelona El Prat (BCN).....	79
3.5.1	Barcelona – Amsterdam	81
3.5.2	Barcelona – Paris-Charles-de-Gaulle	82
3.5.3	Barcelona – Rom-Fiumicino	83
3.5.4	Barcelona – Ibiza	84
3.5.5	Barcelona – London Gatwick.....	85
3.5.6	Barcelona – London Heathrow	86
3.5.7	Barcelona – München.....	87
3.5.8	Barcelona – Paris-Orly.....	88
3.5.9	Barcelona – Palma de Mallorca.....	89
3.6	München (MUC)	90
3.6.1	München – Amsterdam.....	92
3.6.2	München – Paris-Charles-de-Gaulle	93
3.6.3	München – Düsseldorf.....	94
3.6.4	München – Rom-Fiumicino.....	95
3.6.5	München – Hamburg	96
3.6.6	München – London Heathrow.....	97
3.6.7	München – Berlin Tegel.....	98
3.7	Rom-Fiumicino (FCO)	99
3.7.1	Rom-Fiumicino – Amsterdam	101
3.7.2	Rom-Fiumicino – Paris-Charles-de-Gaulle	102

3.7.3	Rom-Fiumicino – Catania	103
3.7.4	Rom-Fiumicino – London Heathrow	104
3.7.5	Rom-Fiumicino – Mailand-Linate	105
3.7.6	Rom-Fiumicino – Palermo-Punta Raisi.....	106
3.8	London Heathrow (LHR).....	107
3.8.1	London Heathrow – Amsterdam	109
3.8.2	London Heathrow – Paris-Charles-de-Gaulle	110
3.8.3	London Heathrow – Dublin	111
3.8.4	London Heathrow – Edinburgh	112
3.8.5	London Heathrow – Zürich	113
3.9	London Gatwick (LGW)	114
3.9.1	London Gatwick – Amsterdam.....	115
3.9.2	London Gatwick – Dublin.....	116
3.9.3	London Gatwick – Edinburgh.....	117
3.10	Paris-Charles-de-Gaulle (CDG).....	117
3.10.1	Paris-Charles-de-Gaulle – Amsterdam.....	119
3.10.2	Paris-Charles-de-Gaulle – Nice Côte d’Azur	120
3.10.3	Paris-Charles-de-Gaulle – Toulouse-Blagnac	121
3.11	Paris Orly (ORY).....	123
3.11.1	Paris Orly – Nice Côte d’Azur	124
3.11.2	Paris Orly – Toulouse-Blagnac	125
3.12	Berlin Tegel (TXL).....	125
3.12.1	Berlin Tegel – Köln/Bonn	127
3.12.2	Berlin Tegel – Düsseldorf	128
3.12.3	Berlin Tegel – Zürich.....	129
3.13	Istanbul-Atatürk (IST).....	130
3.13.1	Istanbul-Atatürk – Adana	131
3.13.2	Istanbul-Atatürk – Izmir-Adnan Menderes	132
3.13.3	Istanbul-Atatürk – Antalya.....	133
3.13.4	Istanbul-Atatürk – Ankara-Esenboğa.....	134
3.14	Istanbul Sabiha Gökçen (SAW).....	135
3.14.1	Istanbul Sabiha Gökçen – Adana	136
3.14.2	Istanbul Sabiha Gökçen – Izmir-Adnan Menderes	137
3.14.3	Istanbul Sabiha Gökçen – Antalya.....	138
3.14.4	Istanbul Sabiha Gökçen – Ankara-Esenboğa	139
3.15	Izmir-Adnan Menderes (ADB) – Ankara-Esenboğa (ESB)	140

3.16	Amsterdam Schiphol (AMS)	140
3.17	Restriktion Flugzeuggröße.....	141
3.18	Restriktion Flughafen.....	144
3.18.1	Istanbul-Atatürk – Ankara-Esenboğa Maschine 3	144
3.18.2	Istanbul Sabiha Gökçen – Izmir-Adnan Menderes Maschine 3.....	145
3.18.3	Istanbul Sabiha Gökçen – Ankara-Esenboğa Maschine 3	147
3.19	Madrid –Tenerife Norte Alternativ.....	148
4	Literaturverzeichnis	XIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flugzeuge über Europa am 2.10.2018 um 17.30 Uhr	1
Abbildung 2: Entwicklung Passagieraufkommen und gewerbliche Passagierflüge in Europa .2	
Abbildung 3: Einbezogenes vollständiges Flugnetz	4
Abbildung 4: Die wichtigsten europäischen Flugrouten nach Passagieren und Flügen (2016)	14
Abbildung 5: Point-to-Point und Hub-Spoke System.....	16
Abbildung 6: Verkehrswellenstruktur des Flughafens München am 23.02.2018	18
Abbildung 7: Theoretisches Konstrukt einer Verkehrswelle nach Cossel	19
Abbildung 8: Netzplan Beispiel.....	22
Abbildung 9: Einbezogenes vollständiges Flugnetz	25
Abbildung 10: Detaillierte Datenerhebung der Route ORY - TLS	27
Abbildung 11: Detaillierte Datenerhebung der Route TLS – ORY	28
Abbildung 12: Beispielverbindung FRA – AMS	51
Abbildung 13: Verbindung FRA – AMS	54
Abbildung 14: Verbindung FRA – BCN	55
Abbildung 15: Verbindung FRA – CDG	56
Abbildung 16: Verbindung FRA – FCO	57
Abbildung 17: Verbindung FRA – HAM.....	58
Abbildung 18: Verbindung FRA – IST	59
Abbildung 19: Verbindung FRA – LHR.....	60
Abbildung 20: Verbindung FRA – MAD.....	61
Abbildung 21: Verbindung FRA – MUC.....	62
Abbildung 22: Verbindung FRA – TXL	63
Abbildung 23: Verbindung FRA – VIE	64
Abbildung 24: Verbindung FRA – ZRH	65
Abbildung 25: Verbindung MAD – AMS	68
Abbildung 26: Verbindung MAD – BCN	69
Abbildung 27: Verbindung MAD – CDG	70
Abbildung 28: Verbindung MAD – FCO	71
Abbildung 29: Verbindung MAD – LGW	72
Abbildung 30: Verbindung MAD – LHR.....	73
Abbildung 31: Verbindung MAD – LPA	74
Abbildung 32: Verbindung MAD – MUC.....	75
Abbildung 33: Verbindung MAD – ORY	76
Abbildung 34: Verbindung MAD – PMI.....	77
Abbildung 35: Verbindung MAD – TFN	78
Abbildung 36: Verbindung BCN – AMS.....	81
Abbildung 37: Verbindung BCN – CDG	82
Abbildung 38: Verbindung BCN – FCO.....	83
Abbildung 39: Verbindung BCN – IBZ.....	84
Abbildung 40: Verbindung BCN – LGW	85
Abbildung 41: Verbindung BCN – LHR	86
Abbildung 42: Verbindung BCN – MUC	87
Abbildung 43: Verbindung BCN – ORY.....	88
Abbildung 44: Verbindung BCN – PMI.....	89
Abbildung 45: Verbindung MUC – AMS	92
Abbildung 46: Verbindung MUC – CDG.....	93

Abbildung 47: Verbindung MUC – DUS	94
Abbildung 48: Verbindung MUC – FCO	95
Abbildung 49: Verbindung MUC – HAM	96
Abbildung 50: Verbindung MUC – LHR	97
Abbildung 51: Verbindung MUC – TXL	98
Abbildung 52: Verbindung FCO – AMS	101
Abbildung 53: Verbindung FCO – CDG	102
Abbildung 54: Verbindung FCO – CTA	103
Abbildung 55: Verbindung FCO – LHR	104
Abbildung 56: Verbindung FCO – LIN	105
Abbildung 57: Verbindung FCO – PMO	106
Abbildung 58: Verbindung LHR – AMS	109
Abbildung 59: Verbindung LHR – CDG	110
Abbildung 60: Verbindung LHR – DUB	111
Abbildung 61: Verbindung LHR – EDI	112
Abbildung 62: Verbindung LHR – ZRH	113
Abbildung 63: Verbindung LGW – AMS	115
Abbildung 64: Verbindung LGW – DUB	116
Abbildung 65: Verbindung LGW – EDI	117
Abbildung 66: Verbindung CDG – AMS	120
Abbildung 67: Verbindung CDG – NCE	120
Abbildung 68: Verbindung CDG – TLS	121
Abbildung 69: Verbindung ORY – NCE	124
Abbildung 70: Verbindung ORY – TLS	125
Abbildung 71: Verbindung TXL – CGN	127
Abbildung 72: Verbindung TXL – DUS	128
Abbildung 73: Verbindung TXL – ZRH	129
Abbildung 74: Verbindung IST – ADA	131
Abbildung 75: Verbindung IST – ADB	132
Abbildung 76: Verbindung IST – AYT	133
Abbildung 77: Verbindung IST – ESB	134
Abbildung 78: Verbindung SAW – ADA	136
Abbildung 79: Verbindung SAW – ADB	137
Abbildung 80: Verbindung SAW – AYT	138
Abbildung 81: Verbindung SAW – ESB	139
Abbildung 82: Verbindung ADB - ESB	140
Abbildung 83: Verbindung IST – ADB Pendelflug	143
Abbildung 84: Verbindung IST – ESB Pendelflug	145
Abbildung 85: Verbindung SAW – ADB Pendelflug	146
Abbildung 86: Verbindung SAW – ESB Pendelflug	147
Abbildung 87: Verbindung MAD – TFN Alternativ	148

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung - zeitliche Flugoptimierung	6
Tabelle 2: Auslastung von Flughäfen – Beispiele	7
Tabelle 3: Im optimierten Flugplan benötigte <i>Flugzeuggrößen</i> am Beispiel herkömmlicher Typen (linke Spalte) und deren Anzahl (rechte Spalte).....	8
Tabelle 4: Zeitzonen.....	21
Tabelle 5: am stärksten frequentierte Flugrouten Europas	23
Tabelle 6: Flughäfen - MCT, Flugbetriebszeiten, Bahnsystem Überblick	32
Tabelle 7: Verbindungen Hub Amsterdam Schiphol	36
Tabelle 8: Verbindungen Hub Barcelona-El Prat (BCN)	37
Tabelle 9: Verbindungen Paris-Charles-de-Gaulle (CDG)	38
Tabelle 10: Verbindungen Rom-Fiumicino (FCO).....	39
Tabelle 11: Verbindungen Frankfurt am Main (FRA)	41
Tabelle 12: Verbindungen Istanbul-Atatürk (IST).....	42
Tabelle 13: Verbindungen London Gatwick (LGW).....	43
Tabelle 14: Verbindungen London Heathrow (LHR)	44
Tabelle 15: Verbindungen Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD).....	45
Tabelle 16: Verbindungen München (MUC).....	46
Tabelle 17: Verbindungen Paris-Orly (ORY).....	47
Tabelle 18: Verbindungen Istanbul Sabiha Gökçen (SAW) inkl. Izmir-Adnan Menderes (ADB) – Ankara-Esenboğa (ESB).....	48
Tabelle 19: Verbindungen Berlin Tegel (TXL).....	48
Tabelle 20: zeitliche Einteilung Hub Frankfurt am Main (FRA)	53
Tabelle 21: zeitliche Einteilung Hub Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD).....	66
Tabelle 22: zeitliche Einteilung Hub Barcelona-El Prat (BCN).....	79
Tabelle 23: zeitliche Einteilung Hub München (MUC).....	90
Tabelle 24: zeitliche Einteilung Hub Rom-Fiumicino (FCO).....	99
Tabelle 25: zeitliche Einteilung Hub London Heathrow (LHR)	107
Tabelle 26: zeitliche Einteilung Hub London Gatwick (LGW).....	114
Tabelle 27: zeitliche Einteilung Hub Paris-Charles-de-Gaulle (CDG)	118
Tabelle 28: zeitliche Einteilung Hub Paris Orly (ORY)	123
Tabelle 29: zeitliche Einteilung Hub Berlin-Tegel (TXL).....	126
Tabelle 30: zeitliche Einteilung Hub Istanbul-Atatürk (IST).....	130
Tabelle 31: zeitliche Einteilung Hub Istanbul Sabiha Gökçen (SAW)	135
Tabelle 32: zeitliche Einteilung Point-to-Point ADB - ESB	140
Tabelle 33: zeitliche Einteilung Hub Amsterdam Schiphol (AMS).....	141
Tabelle 34: zeitliche Einteilung Pendelflug IST – ADB.....	143
Tabelle 35: zeitliche Einteilung Pendelflug IST – ESB	144
Tabelle 36: zeitliche Einteilung Pendelflug SAW – ADB	145
Tabelle 37: zeitliche Einteilung Pendelflug SAW – ESB	147
Tabelle 38: zeitliche Einteilung MAD – TFN Alternativ	148

Abkürzungsverzeichnis

ADA	Adana
ADB	Izmir - Adnan Menderes

AMS Amsterdam - Schiphol
 AYT Antalya
 BCN Barcelona-El Prat
 CGD Paris - Charles de Gaulle
 CGN Köln - Bonn
 CTA Catania
 DUB Dublin
 DUS Düsseldorf
 EDI Edinburgh
 ESB Ankara Esenboga
 FCO Rom - Fiumicino - Leonardo da Vinci
 FRA Frankfurt am Main
 HAM Hamburg
 IBZ Ibiza
 IST Istanbul - Atatürk
 LGW London - Gatwick
 LHR London - Heathrow
 LIN Mailand - Linate
 LPA Las Palmas - Gran Canaria
 MACT maximum available connect time
 MAD Adolfo Suárez Madrid - Barajas
 MCT minimum connect time
 MUC München - Franz Josef Strauß
 NCE Nice Côte d'Azur
 ORY Paris - Orly
 PMI Palma de Mallorca
 PMO Palermo - Punta Raisi
 SAW Istanbul - Sabiha Gökçen
 TFN Tenerife Norte
 TLS Toulouse - Blagnac
 TXL Berlin - Tegel
 VIE Wien - Schwechat
 ZRH Zürich - Kloten

1 Executive Summary

1.1 Problemstellung

Wer zu einem beliebigen Zeitpunkt die gleichzeitig in der Luft befindlichen Flugzeuge über Europa betrachtet (Abbildung 1), fragt sich unwillkürlich, ob dieses Bild ein effizientes System repräsentiert oder ob nicht Verbesserungen denkbar wären.



Abbildung 1: Flugzeuge über Europa am 2.10.2018 um 17.30 Uhr

Das jährliche Passagieraufkommen in Europa stieg in den Jahren 2008 bis 2017 von 800 auf fast 900 Mio. Personen pro Jahr an.² Im gleichen Zeitraum sank die Zahl der Flugbewegungen innerhalb Europas von 8 ½ auf rund 8 Mio. Flüge pro Jahr (Abbildung 2).

Flugbewegungen und Passagierzahlen koppeln sich voneinander ab.³ Eine Abkoppelung der Zahl der Flugbewegungen vom Passagierzahlenwachstum hat mehrere Vorteile:

- Die Komplexität des Luftverkehrs sinkt,
- der Luftraum wird sicherer,
- Airlines steuern weniger komplexe Strukturen,
- es werden weniger Flugzeuge und Crews, insbes. Piloten benötigt.
- die Kapitalbindung sinkt,
- die Emissionen gehen zurück⁴ und
- das Lärmproblem entspannt sind⁵.

² Vgl. Statistisches Amt der Europäischen Union (2017).

³ Vgl. Umweltbundesamt (2017a), S. 64.

⁴ Umweltbundesamt (2017b).

⁵ Bundesumweltministerium (2007), S. 5.

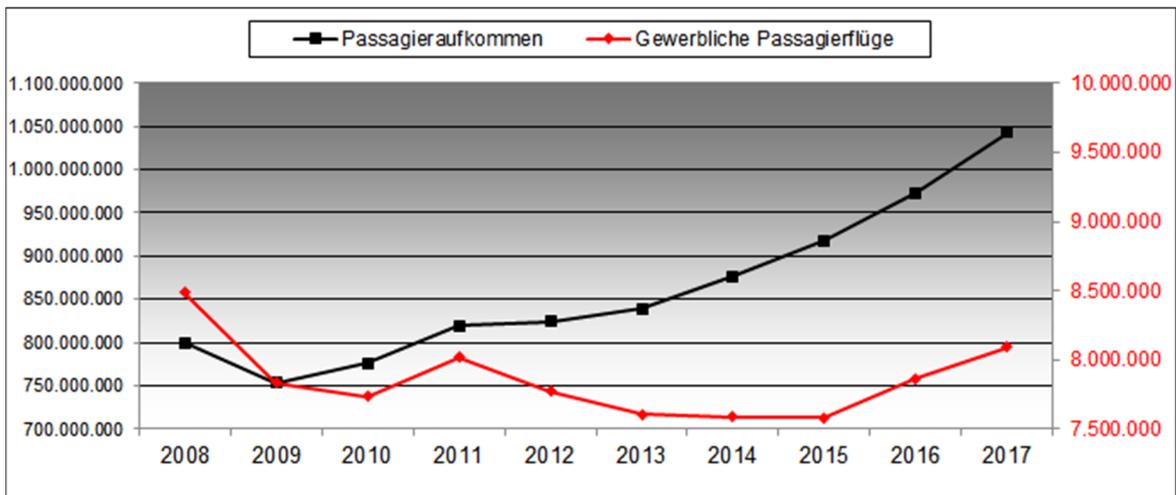


Abbildung 2: Entwicklung Passagieraufkommen und gewerbliche Passagierflüge in Europa

In der Vergangenheit wurde die Abkoppelung des Passagierzahlenwachstums von den Flugbewegungen durch eine höhere Auslastung und die Verwendung größerer Maschinen erreicht. Spektakulär war der Einsatz einer Boeing 747-400 der Lufthansa auf der Kurzstrecke zwischen *Frankfurt am Main* (FRA) und *Berlin Tegel* (TXL) nach der Insolvenz der Fluggesellschaft Air Berlin 2017.⁶ Auch bei anderen Verkehrsträgern setzt man auf größere Einheiten: Die Bahn z.B. plant 13-teilige ICE 4, die 913 Passagiere befördern. Im Güterverkehr auf der Straße wird über den überlangen „EuroCombi“ nachgedacht. Der europäische Luftverkehr transportiert im Schnitt rund 150 Passagiere in einem Verkehrsmittel.

Viele aktuelle Probleme im Luftverkehr hängen mit der Zahl der Flugbewegungen zusammen. Davon sollen nur einige genannt werden:

- Überfüllungen im Luftraum tragen zu Verspätungen und Risiken bei.⁷
- Die immer weiter steigenden Passagierzahlen führen bei unveränderten Flugzeuggrößen unweigerlich zu immer schwieriger zu bewältigender Komplexität am Boden, in der Luft und in der Organisation des Luftverkehrs bei Airlines und der Flugsicherung.
- Der Einsatz einer geringeren Anzahl an großen Maschinen verursacht tendenziell weniger Emissionen an Schadstoffen im Vergleich zu vielen kleinen Maschinen.
- Weniger Flugbewegungen reduzieren das durch Starts, Landungen und Überflüge in niedriger Höhe verursachte Lärmproblem.
- Weniger Flugbewegungen entspannen die Knappheit bei Piloten.
- Die Hersteller Boeing und Airbus sind ausgelastet und schieben einen Berg an Aufträgen kleinerer Maschinen vor sich her. Eine Hinwendung zu größeren Maschinen könnte entspannend wirken.

⁶ Vgl. Kurpjuweit, K. (2017).

⁷ Am 5. Oktober 2018 enthielt die Erklärung zum Treffen „Fortschrittstreiber Luftverkehr“ die folgenden Bemerkungen: „Das Ausmaß der in diesem Jahr aufgetretenen Flugausfälle und Verspätungen muss in Zukunft reduziert werden. [Es wurden] Maßnahmen vereinbart, ... den Abbau von Engpässen ... zu erreichen.“ Dies würde insbesondere bei der Sicherung und Entlastung des Luftraums, Entzerrung der Flugpläne und Verlagerung von Kurzstreckenflügen auf die Schiene geschehen.

Wenn der Luftverkehr weiter wachsen will, dann ist die Reduktion der Zahl der Flugbewegungen absolut oder relativ zur Zahl der beförderten Passagiere ein unausweichliches „Muss“.⁸ Die Frage ist, wie man diese Entwicklung fördern und unterstützen kann.

Der Arbeitskreis Luftverkehr der TU Chemnitz hat sich dieser Frage zugewandt. In einer ersten Studie sollte (i) das *Potential* der Reduzierungen der Flugbewegungen ermittelt und (ii) über *Anreize* zum Erreichen des Ziels nachgedacht werden. Die beiden Forschungsfragen lauteten:

1. Um welchen Betrag kann man die Zahl der Flugbewegungen in Europa reduzieren unter der Maxime, alle reisewilligen Passagiere mitzunehmen und dabei gleichzeitig die Verbindungsgüte nicht zu vernachlässigen?
2. Welche Anreize muss man setzen, um diesem Ziel in der Praxis näher zu kommen?

1.2 Vorgehensweise

Die vorliegende Studie geht diesen beiden Fragen nach. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:

- Grundlage sind jährliche statistische Daten von *Eurostat* und Daten einer eigenen Erhebung aller Flugbewegungen in Europa an einem Stichtag (17. Nov. 2017). Diese Daten geben Aufschluss über alle einzelnen Flüge, die Zahl der beförderten Passagiere, die gewünschten Routen und die Auslastung der Flugzeuge.
- Aus diesen Daten werden die bedeutendsten Strecken herausgefiltert, auf denen mehr als 1 Mio. PAX pro Jahr transportiert werden. Es ergeben sich 140 Strecken mit 33 Destinationen, für welche ein optimierter Flugplan mit verringerter Flugbewegungszahl erstellt wird (Abbildung 3).
- Der optimierte Flugplan gewährleistet, dass alle Passagiere des Stichtages auf allen gewünschten Start-Ziel-Relationen transportiert werden können.
- Transportiert werden die Passagiere in dem optimierten Flugplan mit den jeweils kleinsten Maschinen, die zum Transport aller Passagiere geeignet sind, um eine hohe Auslastung der Flugzeuge zu erreichen. Nebenbedingung ist die Gewährleistung einer Mindesteinsatzdauer der Flugzeuge pro Tag.⁹ Die durchschnittliche Einsatzdauer der Flugzeuge des (händisch gerechneten) Flugplans beträgt 8:02 h/Tag.
- Das derzeit übliche System von Umsteigeflughäfen (Hubs) und finalen Destinationen (Spokes) wird beibehalten.
- Die *minimum connect time* (MCT) aller Flughäfen werden beachtet.
- Die *maximum available connect time* (MACT) der Reisenden wird beachtet.
- Die maximalen Kapazitäten der Flughäfen hinsichtlich zulässiger Flugzeuggrößen werden beachtet.
- Nachtflugverbote werden beachtet.

⁸ Mittels einer Reduzierung der Flugbewegungszahlen könnten positive Effekte erzeugt werden. Die Sicherheit an den Flughäfen und innerhalb des Luftraums erhöht sich, wenn weniger Starts und Landungen erfolgen. Weiterhin kann die Verkehrsvermeidung zu einer sinkenden Lärmbelastigung für die Umwelt führen. Klimaschutzziele, beispielsweise die Emissionsminderungen, können besser realisiert werden.

⁹ Das System lässt sich ohne weiteres auch auf die Einsatzdauer von Flugzeugen hin maximieren. Dann ist die Nebenbedingung der Auslastungsgrad. Generell gilt, dass eine Maximierung der Flugeinsatzdauer pro Tag tendenziell größere Flugzeuge erfordert, die überall einsetzbar sind.

Die Reduktion der Zahl der Flugbewegungen wird mit drei Maßnahmen erreicht:

- Nutzung des Potentials großer Flugzeuge
- Volle Nutzung des Hub- und Spokes-Systems
- Zusammenfassung von Flügen innerhalb einer Zeitzone

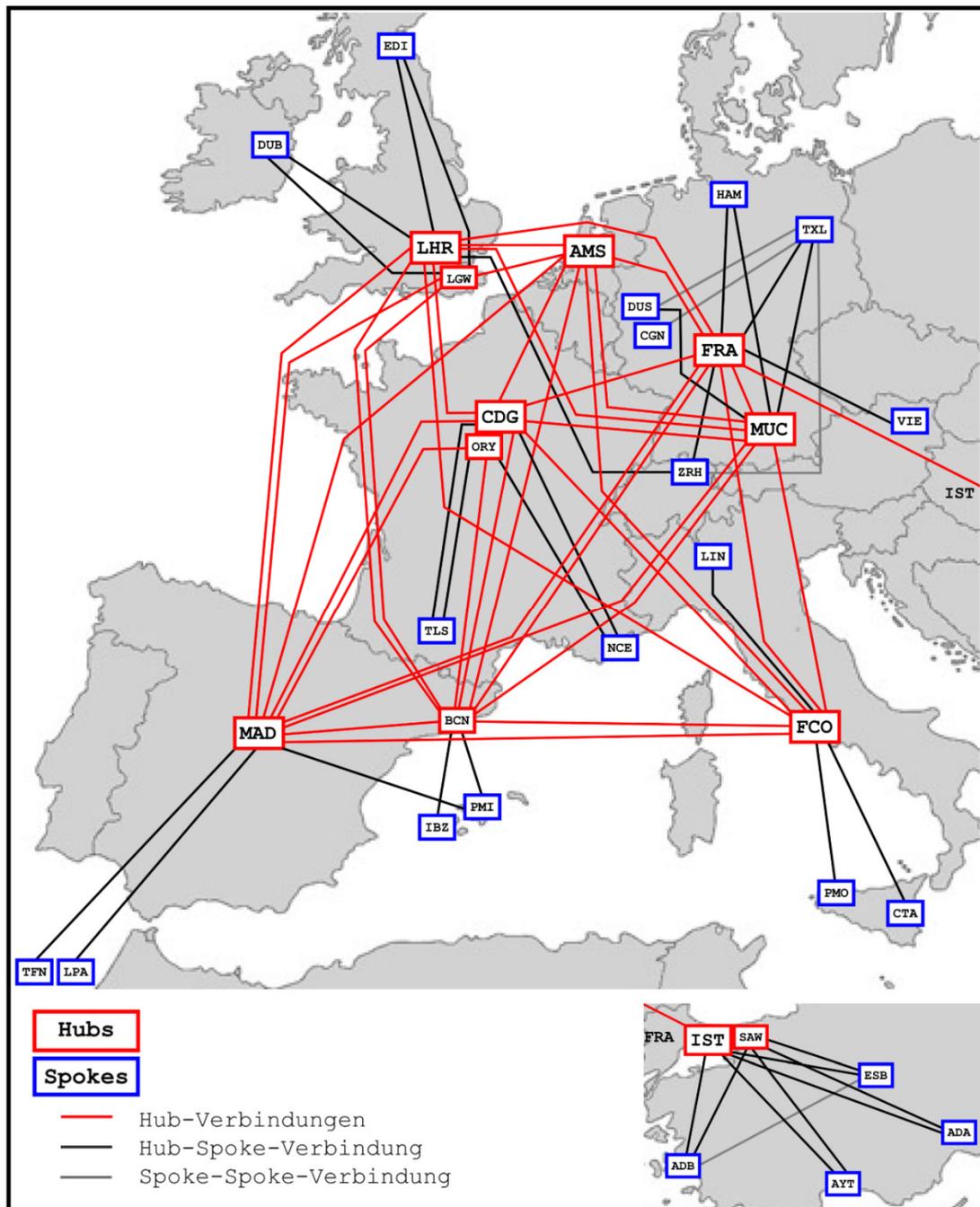


Abbildung 3: Einbezogenes vollständiges Flugnetz¹⁰

Die Zusammenfassung von Reisen zwischen zwei Destinationen in einer Zeitzone ist der Schlüssel zur Reduktion der Zahl der Flugbewegungen. Sie funktioniert folgendermaßen:

¹⁰ Eigene Darstellung

Statt z.B. mit zwei Flugzeugen von unterschiedlichen Airlines kurz hintereinander von Frankfurt nach London oder von Paris nach Toulouse zu fliegen (teilweise im Abstand von nur 10 oder 15 Minuten!), werden diese Flüge zu einem Flug zusammengefasst. Diese Zusammenfassung bedingt eine Konzentration der Reisezeiten. Wenn man mehrere Flüge, die kurz hintereinander zum gleichen Ziel starten, zusammenfassen will, muss man sich auf eine neue Abflugzeit einigen. Die Bahn macht vor, dass ein regelmäßiger Rhythmus von einer oder zwei Stunden ausreicht, die Reisewünsche angemessen zu befriedigen. Dieses Konzept wird aufgegriffen. Der im Luftverkehr anzustrebende Rhythmus lässt sich leicht aus der Wellenstruktur des Luftverkehrs im Hub- und Spokes-System ableiten. Ein typischer Hub hat 4 bis 5 Wellen über den Tag verteilt. Das bedeutet, dass man an den Spokes im 3½- bis 4-Stundentakt die Ziele erreichen kann. Häufigeres Abfliegen an den Spokes hat keinen Sinn, weil sich nur die Wartezeit an den Hubs bis zum Abflug der nächsten Welle verlängert. Wir teilen auf Basis der typischen Wellenstruktur an Hubs den Tag in fünf Zeitzonen ein, die folgenden Reisebedürfnissen entsprechen:¹¹

- Zeitzone 1 entspricht Reisen, die möglichst früh am Tag stattfinden, um dienstliche Besprechungen oder sonstige Aktivitäten am Zielort am Vormittag durchzuführen.¹²
- Zeitzone 2 entspricht solchen Reisen, die ohne frühes Aufstehen bequem am Vormittag starten und am Mittag am Zielort ankommen wollen.
- Zeitzone 3 repräsentiert Reisen, welche am Nachmittag stattfinden, um z.B. rechtzeitig zu einer Abendveranstaltung am Zielort zu sein.
- Zeitzone 4 entspricht Reisen, die nach dem Ende eines Arbeitstages durchgeführt werden. Es kann auf Nachtflugbeschränkungen Rücksicht zu nehmen sein.
- Zeitzone 5 repräsentiert Reisen in der Nacht. Hierbei ist auf Nachtflugbeschränkungen zwingend Rücksicht zu nehmen.

1.3 Ergebnisse

Welche Ergebnisse wurden erzielt?

Der optimierte Flugplan steht unter der Maxime, dass von jedem der 33 einbezogenen Flughäfen aus in jeder Zeitzone zu jedem anderen Flughafen geflogen werden kann. Nähere Erläuterungen über die Vorgehensweise finden sich in den Kapiteln 2 und 3 dieser Studie. Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt. Anschließend werden die Reformvorschläge unterbreitet. Tabelle 1 fasst die Ergebnisse zusammen:

¹¹ Vgl. Thießen, F./ Jahn, M./Troll, S. (2005), S. 10f.

¹² Es sind Nachtflugbeschränkungen am Startort zu beachten.

	Ausgangsdaten		1. Fall: ohne Restriktionen	
	gesamte Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	neue gesamte Fluganzahl	min. Sitzplatzanzahl
gesamt:	2040		698	
Abweichung:	100%		66%	
Mittelwert:	29,14	140	9,97	409,3
Abweichung:	100%		66%	292%

	2. Fall: Flugzeuggröße		3. Fall: Flugzeuggröße und Runway	
	neue gesamte Fluganzahl	min. Sitzplatzanzahl	neue gesamte Fluganzahl	min. Sitzplatzanzahl
gesamt:	708		738	
Abweichung:	65%		64%	
Mittelwert:	10,11	403,54	10,54	387,18
Abweichung:	65%	288%	64%	276%

Tabelle 1: Zusammenfassung - zeitliche Flugoptimierung

Tabelle 1 zeigt 4 Quadranten. Links oben ist die Ausgangslage abgebildet. Es wurde für den Referenzstichtag (17. Nov. 2017) erfasst, welche Flüge auf den einbezogenen 140 Einzelstrecken tatsächlich eingesetzt wurden. Dies waren 2.040 Flüge. Im Mittel fanden 29 Flüge zwischen zwei Destinationen statt, die 4.034 Menschen beförderten. Jeder Flug transportierte im Schnitt rund 140 PAX.

Die übrigen drei Quadranten bilden die Ergebnisse der Optimierungen in Form von drei behandelten Fälle ab.

- Fall 1 „*langfristiges Optimum*“: Der erste Fall ist ein optimierter Flugplan ohne Restriktionen, der die langfristig erreichbaren Möglichkeiten wiedergibt. Es wird angenommen, dass es genügend große Flugzeuge gibt, um alle Reisenden einer Zeitzone und einer Strecke auf einmal zu befördern und dass alle Flughäfen in die dafür notwendige Infrastruktur investiert haben. In diesem Fall kann die Zahl der Flüge in Europa zwischen den einbezogenen Destinationen von 2.040 pro Tag auf 698 reduziert werden. Das ist eine Reduktion um 66%.¹³ Die durchschnittliche Passagieranzahl pro Flug steigt von 140 auf 409 Reisende.
- Fall 2 „*aktuelle Flugzeuggröße*“: Im zweiten Fall wurde die *Restriktion der Flugzeuggröße* eingeführt. In diesem Fall wird angenommen, dass die entsprechende Passagierzahl durch Flugzeuge, welche die derzeit üblichen Größen haben, befördert werden muss. Diese Restriktion wirkt sich tatsächlich nur bei einer einzigen

¹³ Das ergibt grundsätzlich zehn Flüge pro Verbindung, fünf in jede Richtung. Die Ausnahme ist die Verbindung FRA – IST. Aus verschiedenen Gründen konnten hier nur acht anstelle von zehn Flügen eingetaktet werden. Somit erfolgten nur vier Ankünfte innerhalb der fünf Zeitintervalle.

Flugverbindung aus – bei allen anderen sind die Flugzeuge der verfügbaren Größen ausreichend. Die Ausnahme ist die Strecke zwischen dem Hub *Istanbul-Atatürk* (IST) und dem Spoke *Izmir-Adnan Menderes* (ADB). Pro Flug müssten hier 1.092 Passagiere transportiert werden, was mit den existierenden Flugzeuggrößen nicht geht und eine zusätzliche Maschine erfordert. Aus diesem Grund wurde eine dritte Maschine im Pendelflug zur Realisierung der Verbindung eingesetzt. Durch die Nutzung dieser dritten Maschinen zwischen IST und ADB erhöht sich die Zahl der Flugbewegungen im gesamten Netz geringfügig auf 708 Flüge pro Tag. Es werden durchschnittlich rund 404 Passagiere pro Flug befördert. Im Vergleich zu den Ausgangsdaten entspricht dies einer Senkung der Flugbewegungen um 65%.

- Fall 3 „kurzfristige Lösung“: Der dritte Fall spiegelt die kurzfristig erreichbare Lösung wieder. Es wird angenommen, dass kein Flughafen unverzüglich in infrastrukturelle Projekte investiert und nur die derzeit verfügbaren Flugzeugtypen eingesetzt werden können. Diese Einschränkung machte sich bei vier Verbindungen bemerkbar: IST – ADB, IST – ESB, SAW – ADB und SAW – ESB. Es musste jeweils eine dritte Maschine im Pendelflug zur Entlastung eingesetzt werden. Bei der Verbindung IST – ADB brauchte nur die Größe der drei bereits eingesetzten Maschinen (s. Fall 2) angepasst zu werden. Insgesamt reduziert sich die Gesamtzahl der Flugbewegungen im Netz ausgehend vom Ausgangsfall auf 738. Es sitzen durchschnittlich rund 387 Passagiere in jedem Flugzeug. Im Vergleich zu den Ausgangsdaten können somit die Flugbewegungen um 64% reduziert und die durchschnittliche Passagieranzahl pro Flug um 276% gesteigert werden.

Die folgende Tabelle zeigt, wie sich der optimierte Flugplan auf einzelne Flughäfen auswirkt. Beispielfhaft werden die Flughäfen Frankfurt, München und Berlin dargestellt.

Auslastung von Flughäfen vor und nach der Optimierung der Flugbewegungszahlen (Fb) für den Referenzstichtag				
	<i>Ausgangsfall</i>		<i>Optimierter Fall</i>	
	PAX	Flugbew.		Flugbew.
Frankfurt	40.372	308	40.776	118
München	38.528	298	38.948	100
Berlin	23.484	182	23.614	50
Summe	102.384	788	103.338	268

Tabelle 2: Auslastung von Flughäfen – Beispiele¹⁴

Wie Tabelle 2 zeigt, bleiben nach der Optimierung die Reisendenzahlen (PAX) in etwa unverändert, während die Flugbewegungszahlen deutlich sinken.^{15 16}

¹⁴ Quelle: eigene Berechnungen.

¹⁵ Geringfügige Abweichungen kommen auch dadurch zustanden, dass es zu leichten Differenzen in den Daten kommt, weil die meisten Daten aus dem tatsächlichen europäischen Flugplan des Stichtages stammen, während einige aus den Eurostat-Jahresdaten kommen. Dies gilt insbesondere für die Flugzeugauslastung, die nur als Jahresdurchschnitt verfügbar ist. Wenn man mit dieser durchschnittlichen Auslastung Berechnungen für den konkreten Stichtag vornimmt, kann es zu leichten Abweichungen kommen.

¹⁶ Ersteres liegt daran, dass bei der Optimierung die Grundstruktur der Hubs und Spokes unverändert bleibt, so dass Berlin als Spoke keine Reisenden verliert und auch die Hubs München und Frankfurt weiter in die Strecken

Die durchschnittliche Flugzeugeinsatzzeit beträgt 08:02 h pro Tag. Dazu ist anzumerken, dass der Flugplan händisch gerechnet wurde. Der Wert lässt sich bei Verwendung von Optimierungsprogrammen, von Dreiecksflügen oder komplizierteren Flugbahnen sicherlich noch deutlich erhöhen.¹⁷

Eine wichtige Bemerkung betrifft die *Flugzeuge*. Wir haben in unserer Analyse nur die Flugzeuggrößen betrachtet, nicht die Flugzeugtypen an sich. Aktuell sind Wide-Body-Flugzeugtypen ab 136 t Startgewicht konstruktiv nicht auf Kurzstreckenflüge ausgelegt. Ihre Konstruktion wurde optimiert auf lange Flugstrecken mit wenigen Starts und Landungen. Diese Flugzeugtypen könnten zwar auch in dem hier vorgestellten Flugplan eingesetzt werden, aber auf Dauer wäre dies nicht wirtschaftlich. Es sind deshalb Neukonstruktionen für verstärkten Kurz- und Mittelstreckeneinsatz erforderlich. Das spricht natürlich in keiner Weise grundsätzlich gegen das hier vorgestellte Konzept und ist auch nichts, was sich nicht mittelfristig realisieren ließe. Der Umstand beweist nur, wie sich die zwei verbliebenen Wettbewerber auf dem Flugzeugherstellermarkt auf ganz bestimmte Luftverkehrskonzepte eingestellt haben. Wir machen Vorschläge, welche Flugzeuggrößenklassen bei den Neukonstruktionen verwendet werden sollten, um einen guten Kompromiss zwischen universeller Einsetzbarkeit (also langer Einsatzdauer pro Tag) und hoher Auslastung pro Flug zu erreichen.

Die folgende Tabelle zeigt die im optimierten Flugplan benötigten Flugzeuggrößen:

A320 neo	6
A321 neo	14
A330-800 neo	2
A340-600	4
A350-800	10
A350-900	20
A350-1000	34
Boeing 737-700	1
Boeing 787-8	6
Boeing 747-8	8
747-400D	20
A380	18
Gesamt	143

Tabelle 3: Im optimierten Flugplan benötigte *Flugzeuggrößen* am Beispiel herkömmlicher Typen (linke Spalte) und deren Anzahl (rechte Spalte)¹⁸

eingebunden bleiben. An einigen Stellen im optimierten Flugplan entfallen auch Direktflüge, die durch Flüge über Hubs ausgeglichen werden. Deshalb kann es auch zu leicht abweichenden PAX-Zahlen kommen.

¹⁷ Bis auf sehr wenige Ausnahmen (aufgrund von Nachtflugrestriktionen) ist es z.B. auch möglich, die Maschinen über die Nachtzeit hinweg auf Mittel- und Langstreckenflügen einzusetzen und somit die Auslastung der Maschinen weiter zu verbessern. Aus diesem Grund ist die Gesamtauslastung der Maschinen nur innerhalb des erstellten Flugnetzes ermittelbar. Beispiel Strecke FRA-TXL: Maschine 1 Ankunft 22:00 Uhr in FRA; 22:00 plus 0:45 MCT = 22:45 Uhr frühester Start. Maschine muss 08:50 Uhr von FRA wieder nach TXL starten, d.h. 08:50 Uhr minus 0:45 MCT = 08:05 Uhr späteste Ankunft aus Nachtflug. Daher mögliche Zeit für Langstrecke: von 22:45 Uhr bis 08:05 Uhr = 09:20 h. D.h. Ziel darf abzüglich der MCT des Zielflughafens (bspw. 1h) 08:20 h:/2 = 04:10 h Flugzeit maximal entfernt sein. Gesamtauslastung könnte um 08:20 h erhöht werden.

¹⁸ Quelle: eigene Berechnungen.

1.4 Reformen

Es stellt sich die Frage, welche *Reformen* nötig sind und welche *Anreize* man setzen muss, um dem Ziel reduzierter Flugbewegungen in der Praxis näher zu kommen.

Es sind drei Gruppen von Anreizen denkbar bzw. notwendig: Eine Gruppe setzt am (i) Umgang mit Slots und Stundeneckwerten an. Eine zweite Gruppe (ii) hilft den Airlines, das geschäftliche Risiko der Investition in große Flugzeuge mit hohen Sitzplatzkapazitäten zu tragen. Die dritte Gruppe (iii) steuert das Verhalten der Reisenden.

1.4.1 Slots und Stundeneckwerte

*Stundeneckwerte reduzieren.*¹⁹ Die Stundeneckwerte der Flughäfen werden herabgesetzt. Es werden an den Flughäfen, insbesondere an den Hubs, weniger Slots angeboten. Die Slots bekommen einen größeren zeitlichen Abstand. Dies erhöht die Pünktlichkeitswahrscheinlichkeit. Es zwingt auch die Airlines, größere Flugzeuge zu benutzen, um alle Passagiere, die in einem Zeitraum – am Hub also in einer Welle – fliegen wollen, mitzunehmen.

*Größenabhängige Gebühren fördern.*²⁰ Flughäfen erheben seit langem Gebühren, welche die Größe der Flugzeuge berücksichtigen. In Zukunft sollen große Flugzeuge mit großer Passagierkapazität deutliche Gebührevorteile erhalten, um das Umsteigen auf größere Flugzeuge zu fördern. Kleinere Flugzeuge zahlen den Normsatz oder erhöhte Gebühren.

*Internalisierung externer Effekte.*²¹ Eine Variante größenabhängiger Gebühren liegt vor, wenn die Gebühren pro Flug so gestaltet werden, dass sie die externen Kosten des Fliegens vollständig abdecken. Dann entsteht ein monetärer Anreiz, die Zahl der Flugbewegungen zu reduzieren.

Passagierabhängige Gebühren entfallen. Derzeit beteiligen sich Flughäfen am Geschäftsrisiko der Airlines, indem sie bei gering ausgelasteten Flugzeugen auf Gebühren verzichten. Das spornt Airlines an, zusätzliche Flüge anzubieten, weil sie bei geringer Auslastung auch wenig bezahlen müssen. Dies ist kontraproduktiv. Solche Gebührenstaffeln belohnen die Ausweitung der Zahl der Flüge und sollten entfallen.

*Das Nichteinhalten von Slots bestrafen.*²² Airlines, die Slots wegen Verspätungen oder anderer Probleme nicht nutzen, zahlen Strafen. Dies wird dazu führen, dass Airlines nur sichere Flugpläne aufstellen. Die Pünktlichkeit erhöht sich. Alle Passagiere werden in der jeweiligen Zeitzone pünktlich transportiert. Die Zufriedenheit steigt. Das Hub- und Spokes-System beweist seine Funktionsfähigkeit. Das Zeitonenkonzept reicht aus. Nachfrage nach zusätzlichen Direktflügen entfällt.

1.4.2 Hilfen für Airlines bei Investitionen in größere Flugzeuge

Der Erwerb größerer Flugzeuge kann ein wirtschaftliches Risiko darstellen. So sinnvoll größere Flugzeuge für das System insgesamt sind, so riskant ist deren Anschaffung für die

¹⁹ „Der Vorschlag von Lufthansa-Chef Carsten Spohr zu Reduzierungen der Tageseckwerte an den vier größten deutschen Flughäfen ist zu begrüßen“, Helmut Breidenbach, Präsident der Bundesvereinigung gegen Fluglärm (BVF). Presseerklärung am 5.10.2018; vgl. die Erklärung vom 5. Oktober 2018, Bundesministerium für Verkehr.

²⁰ Vgl. die Erklärung vom 5. Oktober 2018, Bundesministerium für Verkehr.

²¹ Vgl. Bickenbach, Soltwedel, Wolf, 2007, S. 109.

²² Vgl. die Erklärung vom 5. Oktober 2018, Bundesministerium für Verkehr.

einzelne Airline. In anderen Branchen ist der Trend zur Größe bereits in vollem Gange. Die Luftverkehrswirtschaft hängt schon zu lange an zu kleinen Maschinen. Die Schwierigkeiten des A380 sind auf falsche Strukturen bei den Airlines zurückzuführen. Wie kann man Airlines helfen, das wirtschaftliche Risiko großer Flugzeuge zu schultern?

Bestrafung für Leerkosten. Wenn sich Flughäfen auf größere Flugzeuge einstellen, um große Passagiermengen im Batch schnell durch die Abwicklung schleusen zu können, dann führen kleine Maschinen mit wenigen Passagieren zu einer Unterauslastung der aufgebauten Systeme. Dafür müssen diese Airlines bestraft werden. Airlines mit kleinen Maschinen müssen einen Leerkostenaufschlag tragen.

Newcomer-Airlines, die mit kleinen Maschinen ohne große Risiken Renten auf einzelnen Strecken abschöpfen wollen, sollten keine Förderung bei Flughafengebühren erhalten. Gefördert werden können nur Airlines, die große Maschinen mit Aussicht auf ordentliche Auslastung einsetzen. Anreizsysteme müssen entsprechend geändert werden.

Luftverkehrsabkommen. Große Airlines mit genügend Kapitalkraft müssen vor einer ruinösen Konkurrenz untereinander geschützt werden. Nicht auf allen Strecken können mehrere Airlines große Maschinen auslasten. Dort wo Luftverkehrsabkommen bilateral ausgehandelt werden, kann man die Flugrechte per Verhandlung entsprechend aufteilen. Innerhalb der EU muss die Kommission entsprechende Regulierungen schaffen bzw. erlauben, welche die Hinwendung der Airlines zu großen Flugzeugen und die Reduktion der Zahl der Flugbewegungen fördert.

1.4.3 Reisendenverhalten

Auch das Verhalten der Reisenden kann dazu genutzt werden, das neue System zu forcieren. Hier gibt es erhebliche Fehlanreize.

Integration der Airlines erleichtern. Derzeit haben Airlines viele Weichen so gestellt, dass Reisende nur mit einer Airline bzw. einer Airlinegruppe fliegen. Dies ist suboptimal, denn Reisende können bei diesem Vorgehen nicht das ganze Netz nutzen. Vielmehr nutzen sie bei einer Reise nur den Teil des Netzes, den eine bestimmte Airline oder Airlinegruppe betreibt – was immer weniger ist als das Ganze. Wer von Frankfurt nach Inverness fliegt, kann nicht den für ihn besten Flug Frankfurt - London mit Airline x und den Weiterflug London - Inverness mit Airline y kombinieren. Der Wechsel von Airlines wird von der Branche unattraktiv gemacht. Das ist veraltet und nicht fortschrittlich. Ein Wechsel von Airlines auf einer Reise muss erleichtert werden, genauso wie man im Bahnverkehr auch die Anbieter verschiedener Teilstrecken wechselt.

Meilenboni. Es ist nicht zuletzt auch das System der Meilengutschriften, das dazu führt, dass die Reisenden ihre Reisen nicht nach der Hauptleistung, sondern (auch) nach der Nebenleistung betrachten. Das gilt besonders für Geschäftsreisende, weil die Geschäftsreise vom Unternehmen bezahlt wird und die privatisierte Meilengutschrift deshalb einen unglaublichen Stellenwert für den Reisenden hat.

Fortschrittliche Reiseverfahren. Wer ein effizientes, optimiertes Gesamtsystem haben will, der muss den Reisenden das Wechseln von Airlines innerhalb einer Reise erleichtern. Dazu gibt es mannigfaltige Vorbilder. Im Bahnverkehr ist es absolut üblich, eine Reise mit einer regionalen Bahngesellschaft zu beginnen, auf einem Umsteigebahnhof in Züge der

Deutschen Bahn zu wechseln, um im nächsten Umsteigebahnhof wieder mit einer (anderen) Regionalbahn weiterzufahren. Nur so kann das riesige Bahnnetz effizient genutzt werden.²³ Die Luftverkehrswirtschaft dagegen betreibt ihr anachronistisches System, alles über die eigenen Linien zu leiten. Sie hat ein Netz aufgebaut, aber niemand kann die vollen Vorteile davon nutzen. Das führt zu Doppelungen und Verdreifachungen redundanter Flüge (Abbildung 1). Deshalb ist zu fordern, dass die Luftverkehrswirtschaft zu ähnlichen Systemen kommt wie die Bahn, wo jeder Reisende das gesamte Netz nutzen kann. Dazu muss jeder beteiligte Anbieter einer Teilstrecke bzw. Teilleistung fair entlohnt werden, aber andererseits dürfen dem Reisenden auch keine Hürden aufgebaut werden, innerhalb des Netzes den Transporteur zu wechseln. *Wenn dies erreicht ist, dann steht die Tür zur Reduktion der Zahl der Flugbewegungen in Europa weit offen.*

1.5 Umsetzung und Start der Reformen

Der vorliegende Vorschlag beinhaltet eine radikale Neuorientierung der Organisation des Luftverkehrs. Angesichts der klimatischen Veränderungen auf der Erde ist eine Neuorientierung unausweichlich. Im Gegensatz zu anderen innovativen Vorschlägen nimmt der vorliegende Vorschlag niemandem Geschäft weg. Es kommt zu keiner Verringerung der Passagierzahlen – die existierenden Passagierströme müssen nur anders auf Kapazitäten verteilt werden. Die Frage ist, wie könnte das in der Praxis erfolgen? Die Antwort erfordert sicherlich weitere Überlegungen. Hier sollen nur grobe Denkrichtungen skizziert werden, wie die stufenweise Heranführung an optimale Auslastung von Teilstrecken und verfügbare Transportkapazitäten über eine gemeinsame IT-Plattform zur Buchung aller kommerziellen Airlines sowie die Verteilung der Ticketerlöse vollzogen wird.

- Zunächst einmal sollte die notwendige Reduktion der Flugbewegungszahlen zu einem Ziel der Politik werden. Die IATA, Buchungsportale wie Amadeus und andere müssen involviert werden.
- Zum Start des Systems könnten ad hoc Anreize geschaffen werden, Flüge zusammenzulegen. Dies kann z.B. einfach durch eine Reduktion der Zahl der Slots in belasteten Stunden initiiert werden. Gegen Absprachen von Airlines hinsichtlich der Aufteilung von Kapazitäten in Slot-reduzierten Perioden sollten keine wettbewerbspolitischen Einwände erhoben werden. Dafür gibt es Vorbilder: der Staat selbst nimmt etwa bei Luftverkehrsabkommen laufend solche Aufteilungen vor.
- Letztlich sollte eine Airline die Lizenz über eine Verbindung in einem Zeitfenster erhalten. Der Wettbewerb und die Qualitätssicherung wird wie im Bahnverkehr über Konzessionen einzelner Strecken, die zeitlich befristet sind, gewährleistet.
- Die in der Luftverkehrswirtschaft wenig beliebte Alternative wäre es, hohe Abgaben zur Internalisierung der negativen externen Effekte von Flugbewegungen zu verlangen. Dann würden die Airlines von selbst die Zahl der Flugbewegungen kostenbedingt optimieren.
- Im nächsten Schritt müsste den Passagieren das Wechseln von Fluggesellschaften innerhalb einer Reisebuchung erleichtert werden. Die IATA könnte beauftragt werden, ein solches System der Verrechnung der Ticketpreise zu entwickeln. Es

²³ Praktisch überall, wo es Netze gibt, ist die Nutzung durch mehrere Anbieter üblich. Dies gilt fürs Internet genauso wie viele andere Netze. Im internationalen Überweisungsverkehr z.B. ist es so, dass es dem Kunden völlig egal ist, über welche Korrespondenzbank eine Überweisung geleitet wird. Und auch die Banken haben nichts dagegen, wenn fremde Korrespondenzbanken eingeschaltet werden.

müsste für die Aufteilung von Reiseerlösen zwischen Carriern (die Konzessionen auf bestimmten Strecken besitzen), feste Regeln geben. Im Bahnverkehr ist das bereits europaweit realisiert. Auch in Luftverkehrsverbänden gibt es solche Verrechnungen von Teilleistungen. Alle damit zusammenhängenden Probleme sind bereits erkannt und weitgehend gelöst.

- Buchungen über Buchungsplattformen wie Amadeus würden analog zur Bahnauskunft Gesamtstrecken auswerfen, Gesamtpreise nennen und die Buchungen aller Teilstrecken vornehmen (genau wie im Bahnverkehr).
- Daneben könnten Reisende auch bei den Airlines wie bisher direkt buchen und umbuchen. Der Auskunftcomputer einer Airline wird dann vermutlich eigene Präferenzen berücksichtigen und z.B. Reisevarianten mit einem möglichst hohen Anteil der eigenen Airline bevorzugen bzw. zuerst vorschlagen.

Zusammenfassend zeigt sich also: wer ein effizientes Luftverkehrsnetz mit optimierter Zahl von Flugbewegungen in Europa erreichen will, der könnte zum einen die Zahl der Slots an den großen Flughäfen verringern. Die (i) Stundeneckwerte könnten herabgesetzt werden. Das führt dann automatisch dazu, dass der Einsatz größerer Maschinen lohnend wird. Dies kann durch entsprechende (ii) Entgeltstrukturen an den Flughäfen weiter gefördert werden. Schließlich muss es den Reisenden (iii) leicht gemacht werden, auf einem Umsteigeflug die Airlines zu wechseln, um die für sie jeweils optimale Verbindung zu erreichen.²⁴

2 Die Untersuchung

Im Folgenden werden die Grundlagen der Studie und das Vorgehen bei der Optimierung erläutert. Im Einzelnen betrifft dies

- (i) die Datenerhebung,
- (ii) das Hub- und Spokes System,
- (iii) die *minimum connect time* (MCT),
- (iv) die *maximum available connect time* (MACT),
- (v) die Verkehrswellenstruktur,
- (vi) das Zeitzonekonzept und
- (vii) die Netzplantechnik.

Im Anschluss daran werden in Kapitel 3 alle Flug- und Streckenpläne im Detail abgedruckt.

2.1. Datenerhebung

Die Daten zu den *Passagierzahlen* auf den jeweiligen Strecken stammen von *Eurostat*, dem Statistischen Amt der Europäischen Union.²⁵ Aus der Datenbank von *Eurostat* werden die Informationen zu Passagierzahlen, zu verfügbaren Sitzplätzen und der Gesamtzahl der Flüge aus dem Jahr 2016 in Europa isoliert, da die Daten für das Jahr 2017 am Tag der Erhebung Anfang 2018 noch nicht vollständig verfügbar waren.²⁶ Anhand der Werte des

²⁴ Zur Steuerung wettbewerbspolitisch schwieriger Bereiche mit Anreizen siehe Niemeier, 2013, und weitere dort angegebene Literatur.

²⁵ Vgl. Statistisches Amt der Europäischen Union (2018).

²⁶ Vgl. Statistisches Amt der Europäischen Union (2017).

Passagieraufkommens wird zunächst eine Übersichtsliste der wichtigsten europäischen Strecken erstellt, welche bis zu einem Aufkommen von einer Million Passagieren reicht (Abbildung 4).

Route	PAX 2016 ges	Flüge ges. 2016
ISTANBUL/ATATURK airport - IZMIR/ADNAN MENDERES airport	3296166	19826
IZMIR/ADNAN MENDERES airport - ISTANBUL/ATATURK airport	3295913	19813
LONDON HEATHROW airport - DUBAI INTERNATIONAL airport	3038958	9215
LONDON HEATHROW airport - NEW YORK/JOHN F. KENNEDY INTERNATIONAL, NY, airport	2960268	14073
IZMIR/ADNAN MENDERES airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	2538274	17348
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - IZMIR/ADNAN MENDERES airport	2538203	17338
TOULOUSE/MATABEAU airport - PARIS-ORLY airport	2358917	17378
PARIS-ORLY airport - TOULOUSE/MATABEAU airport	2358356	17377
BARCELONA/EL PRAT airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	2328726	15666
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - BARCELONA/EL PRAT airport	2328726	15666
ISTANBUL/ATATURK airport - ANTALYA airport	2325329	14851
ANTALYA airport - ISTANBUL/ATATURK airport	2321309	14827
ANKARA/ESENBOGA airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	2206296	18314
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - ANKARA/ESENBOGA airport	2204993	18302
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - ANTALYA airport	2179549	15212
ANTALYA airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	2179297	15216
NICE-COTE D'AZUR airport - PARIS-ORLY airport	2124792	14530
PARIS-ORLY airport - NICE-COTE D'AZUR airport	2124796	14523
ROMA/FIUMICINO airport - CATANIA/FONTANAROSSA airport	2047274	13782
CATANIA/FONTANAROSSA airport - ROMA/FIUMICINO airport	1998352	13452
ISTANBUL/ATATURK airport - ANKARA/ESENBOGA airport	1998156	13697
ANKARA/ESENBOGA airport - ISTANBUL/ATATURK airport	1996639	13688
MUENCHEN airport - BERLIN-TEGEL airport	1939820	15212
BERLIN-TEGEL airport - MUENCHEN airport	1939165	15162
BERLIN-TEGEL airport - FRANKFURT/MAIN airport	1935527	14155
FRANKFURT/MAIN airport - BERLIN-TEGEL airport	1935465	14163
DUBLIN airport - LONDON HEATHROW airport	1875373	13547
MUENCHEN airport - HAMBURG airport	1805211	13101
HAMBURG airport - MUENCHEN airport	1805194	13087
BARCELONA/EL PRAT airport - PALMA DE MALLORCA airport	1772613	12575
PALMA DE MALLORCA airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1772613	12575
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - PALMA DE MALLORCA airport	1697547	11623
PALMA DE MALLORCA airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1687547	11623
LONDON HEATHROW airport - DUBLIN airport	1750742	13540
LONDON HEATHROW airport - LOS ANGELES INTERNATIONAL, CA, airport	1565902	10866
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - LONDON HEATHROW airport	1611710	13091
ROMA/FIUMICINO airport - PALERMO/PLANTA RAISI airport	1565980	10866
LONDON HEATHROW airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1616714	13084
LONDON HEATHROW airport - HONG KONG INTERNATIONAL airport	1674741	11623
MUENCHEN airport - DUESSELDORF airport	1566506	12841
DUESSELDORF airport - MUENCHEN airport	1565997	12832
PALERMO/PLANTA RAISI airport - ROMA/FIUMICINO airport	1543462	10866
FRANKFURT/MAIN airport - LONDON HEATHROW airport	1486291	12739
GRAN CANARIA airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1508972	9084
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - GRAN CANARIA airport	1508972	9084
LONDON HEATHROW airport - FRANKFURT/MAIN airport	1493899	12736
ISTANBUL/ATATURK airport - ADANA airport	1478570	10161
ADANA airport - ISTANBUL/ATATURK airport	1478260	10158
ADANA airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	1477866	9886
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - ADANA airport	1475664	9876
DUBLIN airport - LONDON GATWICK airport	1426297	8675
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - NEW YORK/JOHN F. KENNEDY INTERNATIONAL, NY, airport	1424611	9041
IZMIR/ADNAN MENDERES airport - ANKARA/ESENBOGA airport	1420723	9041
ANKARA/ESENBOGA airport - IZMIR/ADNAN MENDERES airport	1420320	9040
TRABZON airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	1419610	8992
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - TRABZON airport	1418046	8684
EDINBURGH airport - LONDON HEATHROW airport	1052058	7338
LONDON HEATHROW airport - EDINBURGH airport	1055519	7291
FRANKFURT/MAIN airport - HAMBURG airport	1372185	10714
HAMBURG airport - FRANKFURT/MAIN airport	1371690	10678
BARCELONA/EL PRAT airport - LONDON GATWICK airport	1362488	9092
LONDON GATWICK airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1357078	9087
LONDON HEATHROW airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1317124	9192
ISTANBUL/ATATURK airport - TEHRAN/IMAM KHOJAI INTL airport	1321421	7818
BARCELONA/EL PRAT airport - ROMA/FIUMICINO airport	1319187	8217
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - LONDON HEATHROW airport	1317511	9194
ROMA/FIUMICINO airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1315868	8279
BARCELONA/EL PRAT airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1307902	8057
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1304541	8057
TENERIFE NORTE airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1305110	7834
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - TENERIFE NORTE airport	1305110	7834
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - LISBOA airport	1294295	11974
PALMA DE MALLORCA airport - DUESSELDORF airport	1284846	7491
KOELN/BONN airport - BERLIN-TEGEL airport	1271176	10814
BERLIN-TEGEL airport - KOELN/BONN airport	1270452	10783
DUESSELDORF airport - PALMA DE MALLORCA airport	1268891	7434
BARCELONA/EL PRAT airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	1268866	8514
LONDON HEATHROW airport - SINGAPORE/CHANGI airport	1314967	4511
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1298290	8078
LONDON HEATHROW airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	1144023	9690
PARIS-ORLY airport - LISBOA airport	1231895	8185
LONDON HEATHROW airport - MUENCHEN airport	1215548	10250
POINTE-A-PITRE LE RAIZET, GUADELOUPE airport - PARIS-ORLY airport	1218628	3237
PARIS-ORLY airport - POINTE-A-PITRE LE RAIZET, GUADELOUPE airport	1214916	3223
MUENCHEN airport - LONDON HEATHROW airport	1209972	10204
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - LONDON HEATHROW airport	1209158	9691
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - PARIS-ORLY airport	1203937	8186
TRABZON airport - ISTANBUL/ATATURK airport	1200361	7819
ISTANBUL/ATATURK airport - TRABZON airport	1199197	7820
PARIS-ORLY airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1197061	8181
MILANO/LINATE airport - ROMA/FIUMICINO airport	1189990	13350
ROMA/FIUMICINO airport - MILANO/LINATE airport	1188538	13270
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	1187339	8666
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1183298	8691
MALAGACOSTA DEL SOL airport - LONDON GATWICK airport	1175207	8186
HELISINKI/VANTAA airport - STOCKHOLM/ARLANDA airport	1166665	11028
WIEN-SCHWECHAT airport - FRANKFURT/MAIN airport	1165422	8905
FRANKFURT/MAIN airport - WIEN-SCHWECHAT airport	1163471	8990
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - MONTELEONE PIERRE ELLIOT TRUDEAU INTL, QC airport	1141939	9925
BERLIN-TEGEL airport - DUESSELDORF airport	1141739	9925
DUESSELDORF airport - BERLIN-TEGEL airport	1140858	9926
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - ROMA/FIUMICINO airport	1140979	8338
ROMA/FIUMICINO airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	1132984	8284
MUENCHEN airport - FRANKFURT/MAIN airport	1129139	9723
FRANKFURT/MAIN airport - MUENCHEN airport	1128915	9726
ROMA/FIUMICINO airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1108345	7206
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - ROMA/FIUMICINO airport	1107080	7186
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - DUBAI INTERNATIONAL airport	1101546	2805
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - ROMA/FIUMICINO airport	1099076	7217
ROMA/FIUMICINO airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1098610	7425
ZURICH airport - LONDON HEATHROW airport	1095451	9192
LONDON GATWICK airport - DUBLIN airport	1070720	8689
LONDON HEATHROW airport - ZURICH airport	1102297	9190
MUGLA/MILAS-BODRUM airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	1074480	7856
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - LONDON GATWICK airport	1073460	7288
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - MUGLA/MILAS-BODRUM airport	1072659	7843
DUBLIN airport - MANCHESTER airport	1066762	7806
FRANKFURT/MAIN airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1061646	7156
LONDON GATWICK airport - MALAGACOSTA DEL SOL airport	1167164	7426
LONDON HEATHROW airport - CHICAGO - O'HARE INTERNATIONAL, IL, airport	1073522	6316
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - FRANKFURT/MAIN airport	1065260	7151
LONDON GATWICK airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1070754	7314
LONDON HEATHROW airport - SAN FRANCISCO/INTL, CA, airport	1016616	3975
GENEVA airport - LONDON HEATHROW airport	1045571	9757
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	1045469	7168
LONDON HEATHROW airport - DELHI (IGI) airport	1043460	4822
LONDON HEATHROW airport - HAMAD INTERNATIONAL airport	1184994	4518
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1039097	7184
LONDON HEATHROW airport - TORONTO/LESTER B. PEARSON INTL, ON airport	1033908	6255
LONDON HEATHROW airport - MIAMI INTERNATIONAL, FL, airport	1030010	3840
PARIS-ORLY airport - AIME CESAIRE, MARTINIQUE airport	1030329	2884
AIME CESAIRE, MARTINIQUE airport - PARIS-ORLY airport	1029871	2884
LONDON HEATHROW airport - GENEVA airport	1053786	9758
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - MANCHESTER airport	1021278	9273
BARCELONA/EL PRAT airport - IBIZA airport	1017492	6912
IBIZA airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1017492	6912
BARCELONA/EL PRAT airport - PARIS-ORLY airport	1017410	6466
BARCELONA/EL PRAT airport - FRANKFURT/MAIN airport	1016712	6151
DUBLIN airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1016103	6155
FRANKFURT/MAIN airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1008709	6147
DUBLIN airport - BIRMINGHAM airport	1007935	6179
BERLIN-TEGEL airport - ZURICH airport	1007243	758
ZURICH airport - BERLIN-TEGEL airport	1005632	7580
PARIS-ORLY airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1005468	6437
LONDON HEATHROW airport - STOCKHOLM/ARLANDA airport	1002968	7899
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - LONDON GATWICK airport	1000636	6500
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1000517	6500
LONDON HEATHROW airport - NEWARK LIBERTY INTERNATIONAL, NJ, airport	952310	5759
LONDON GATWICK airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	947446	7008

Abbildung 4: Die wichtigsten europäischen Flugrouten nach Passagieren und Flügen (2016)²⁷

Anschließend werden die jeweils zusammengehörigen Strecken entsprechend der Hubs gruppiert und alphabetisch geordnet. Falls es notwendig ist (Verkehrsaufkommen unter 1 Mio.), werden die fehlenden Einzelstrecken ergänzt, um einen vollständigen Flugplan mit Hin- und Rückflügen zu erhalten. Mit Hilfe einer grafischen Visualisierung wurden die Routen ersichtlich, welche noch zur Vervollständigung des Flugstreckennetzes von Bedeutung sind. Dies sind im Besonderen die Flugverbindungen zwischen den einzelnen Hubs, welche ein Passagieraufkommen unter einer Million Passagieren pro Jahr aufweisen. Sie müssen noch ergänzt werden, um das Flugstreckennetz zu komplettieren.

Für die Ermittlung der *Anzahl der Passagiere je Flug*, die an dem Stichtag auf jedem Flug befördert wurden, ist es notwendig, die Sitzverteilungen der Flugzeuge der jeweiligen Fluggesellschaften zu bestimmen. Die spezifische Sitzverteilung wird mit der „Sitzauslastung der Route“ multipliziert und über alle Flüge aufsummiert.²⁸

Nachdem ein vollständiges Netz erstellt wurde, wurden die einzelnen Routen im zweiten Teil der Datenerhebung genauer betrachtet. Dazu wurde ein Freitag als Stichtag ausgewählt,²⁹ da die Vermutung nahe lag, dass an diesem Tag eine hohe Zahl von Flügen angeboten wird.³⁰

Für diesen Stichtag wurden die folgenden Informationen gesammelt:

- Anzahl sämtlicher Passagierflüge aller Fluggesellschaften,
- Start-, Flug- und Ankunftszeiten,
- eingesetzte Flugzeugtypen,
- Flugnummern.

Anhand des eingesetzten Flugzeugtyps der entsprechenden Airline in Verbindung mit der Sitzplatzauslastung der Route kann die beförderte Anzahl an Passagieren ermittelt werden. Diese Passagierzahlen in Kombination mit der gesamten Zahl an Flügen ergeben die an diesem Tag beförderte Menge an Fluggästen, welche für die weitere Informationsverwertung besonders wichtig ist. Die Daten zu den Abflugs- und Ankunftszeiten dienen dabei dem Überblick. Er gewährt es herauszufinden, zu welchen Tageszeiten ein erhöhtes Flugaufkommen stattfindet. Die Flugzeit ist für den letzten Schritt zur Verwertung der Informationen mit dem Zweck der Erstellung eines zeitlich abgestimmten Flugstreckennetzes von Bedeutung. Die Flugnummer in Verbindung mit dem Flugzeugtyp dient lediglich der Ermittlung, in welcher Form die jeweiligen Flugzeuge auf der Strecke operieren. Zudem lässt sich an ihr (bedingt) erkennen, ob die Maschinen nur auf dieser Strecke fliegen oder gegebenenfalls auch auf anderen Routen eingesetzt werden. Zwar ist die Flugnummernfolge kein absolut sicheres Kennzeichen einer Flugzeugstrecke, aber für die vorliegenden Zwecke reicht sie aus.

Nachdem dieser Teilschritt abgeschlossen ist, werden die Informationen zu den im Streckennetz enthaltenen Flughäfen gesammelt. Hierbei spielt die *minimum connect time*

²⁷ Quelle: Eurostat.

²⁸ Anmerkung: Sitzauslastung der Route wird aus dem Quotienten aus den „beförderten Fluggästen“ und den „verfügbaren Fluggast-Sitzplätzen“ ermittelt

²⁹ Anmerkung: Der gewählte Stichtag war der 17.11.2017.

³⁰ Vgl. Fraport (2017), Flugplan Passagier- und Frachtflüge.

(MCT) die entscheidende Rolle (Näheres s. unten). Sie dient später dazu, die Flüge zeitlich exakt aufeinander abzustimmen. Es könnten auch die Turnaroundzeiten der Flugzeuge genutzt werden, jedoch gewährleisten diese nicht in jedem Fall, dass Transitpassagiere ihren Anschlussflug rechtzeitig erreichen. Deshalb wurde davon Abstand genommen. Die Daten zur *minimum connect time* sind nicht immer frei zugänglich. In solchen Fällen wurden Onlinesuchmaschinen, wie *Google Flights*, genutzt, um die minimalen Transitzeiten zwischen zwei Flügen zu ermitteln. Andernfalls wurde die Annahme getroffen, dass die *minimum connect time* eine Stunde betrage. Das ist häufig der Fall bei den Spokes. Die Annahme ist weniger für Reisende wichtig als für Flugzeuge, die an den Spokes einen Turnaround durchführen.

Die Informationen zu den *Runways* sind die nächsten Daten, die erhoben werden müssen. Dazu müssen die Informationen über die Anforderungen, welche die Flugzeuge an die Start- und Landebahn stellen, gesammelt werden. Die *Airport Planning Documents* der Flugzeuge sowie andere Dokumente der Flugzeughersteller *Airbus* oder *Boeing* bilden dabei neben einschlägigen Luftfahrtseiten, die primären Quellen. Etwaige Sonderregelungen, ob ein jeweiliges Passagierflugzeug auf dem entsprechenden Flughafen starten und landen kann, werden mittels der Flughistorie sowie Pressemitteilungen überprüft.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die spätere zeitliche Koordinierung der Flüge besteht in den *Flugbetriebszeiten* der Flughäfen. Um das gewünschte Nebenziel, die Lärmreduktion, gewährleisten zu können, muss auf bestehende Flugverbote an den Tagesrandzeiten geachtet werden. Auch dabei trifft es nicht immer zu, dass diese Angaben öffentlich verfügbar sind. Die Flugbetriebszeiten werden in diesen Fällen anhand der Flugpläne der Flughäfen ermittelt. Dabei werden die frühesten und spätesten Flüge als zeitliche Grenzwerte gesetzt.

Hinsichtlich der Optimierung wurde in drei Schritten vorgegangen:

- Im ersten Schritt wird ohne Rücksicht auf die Flugzeuggrößen und die Infrastruktur der Flughäfen optimiert. Es wird also angenommen, es gebe genügend große Flugzeuge und die Flughäfen könnten beliebige Flugzeuge abfertigen. Dies entspricht den *langfristig realisierbaren Effizienzgewinnen*.
- Im zweiten Fall wird die Restriktion der Flugzeuggröße eingeführt. Das größte verfügbare Flugzeug ist der Airbus A380, der in der maximalen Sitzanordnung 853 Fluggäste befördern kann.³¹ Dies entspricht einer *mittelfristig erreichbaren Situation*.
- Im dritten Fall wird die Restriktion der Infrastruktur der Flughäfen hinzugefügt. Demzufolge muss nun darauf geachtet werden, dass ein entsprechend großes Flugzeug auch den Flughafen anfliegen und von selbigem wieder abfliegen kann. Runways und Rollwege müssen dabei die Minimalvoraussetzungen erfüllen.³² Dies entspricht einer Situation, die relativ zügig realisiert werden könnte, wenn die entsprechenden Weichen gestellt und Anreize geschaffen würden (*kurzfristig erreichbare Situation*).

³¹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2. Die Geeignetheit von Flugzeugen für Kurz- und Langstrecken wird ausgeblendet. Es wird als transitorisches Problem gesehen, solche Flugzeuge zu entwickeln.

³² Vgl. Kopp, M. (2016). Anforderungen an die Gebäudestrukturen, wie zum Beispiel das Vorhandensein von Doppelfluggastbrücken für den Airbus A380, werden unberücksichtigt gelassen, da solche Strukturen leicht errichtet werden können und kein grundsätzlicher Hinderungsgrund des Konzeptes sind.

2.2. Hub- und Spokes-System

Um das im weiteren Verlauf vorgestellte Flugnetz nachvollziehen zu können, ist es notwendig, das Hub und Spokes-System zu erklären. In diesem Gefüge bildet ein Hub den primären Flughafen, um den herum sämtliche sekundären Speichen-Flughäfen angeordnet sind.³³ Diese Anordnung dient dazu, dass weniger Point-to-Point Verbindungen aufrechterhalten werden müssen, welche zu vermeidbaren Kosten führen, wenn diese Routen weniger stark frequentiert sind.³⁴ Durch den Transfer auf den Hub kann eine Bündelung der Passagiere erfolgen. Dieses „Sammeln“ von Passagieren senkt den Break-Even-Punkt, Sitzplätze können günstiger angeboten werden und die jeweilige Airline kann folglich durch die höhere Sitzauslastung ihren Gewinn erhöhen. Zudem müssen von den Airlines insgesamt weniger Flugverbindungen aufrechterhalten werden. Trotz einer geringeren Anzahl von Flügen entsteht eine bessere Konnektivität für die Reisenden. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die Zusammenhänge.³⁵

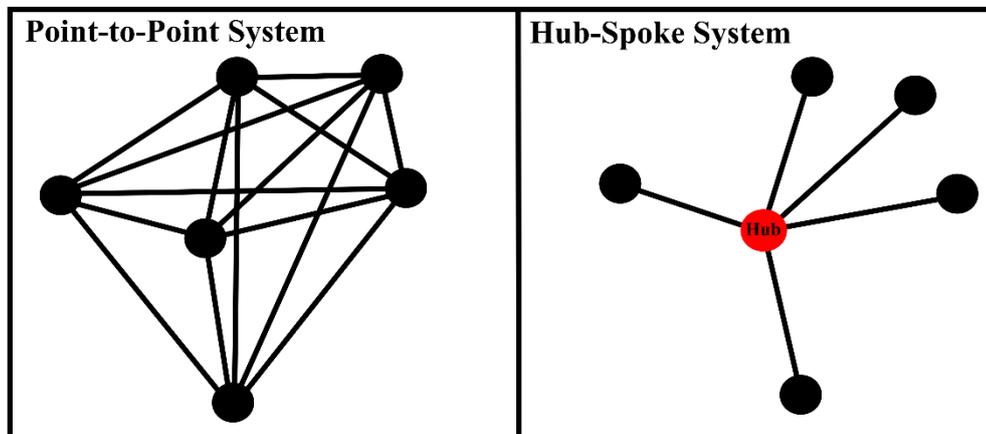


Abbildung 5: Point-to-Point und Hub-Spoke System

Direktflüge des Point-to-Point-Systems beinhalten zwar rein theoretisch die geringste Gesamtreisezeit für Fluggäste. Dennoch brauchen sie eine hinreichende Nachfrage und Zahlungsbereitschaft.³⁶ Gibt es nicht genügend Nachfrage und keine genügende Zahlungsbereitschaft für Direktflüge zwischen zwei Destinationen zu einer bestimmten Zeit, können die Airlines keine Flüge anbieten. Sie müssen längere Perioden abwarten, bis sie genügend Reisewillige zusammengesammelt haben, die fliegen wollen. Es kann also in einem Point-to-Point-System weniger Flugmöglichkeiten geben als in einem Hub- und Spokes-System, bei dem Reisende von allen möglichen Destinationen zusammengefasst werden.

³³ Vgl. Conrady (2013), S. 200.

³⁴ Vgl. Bonsor (2001).

³⁵ Eigene Darstellung in Anlehnung an Rodrigue, J. P. (2018).

³⁶ Vgl. Conrady (2013), S. 200.

2.3. Minimum Connect Time (MCT)

Dem Hub- und Spokes-System sind auch Grenzen gesetzt, wenn man die MCT beachtet³⁷. Die *minimum connect time* (MCT) gibt an, wie viel Zeit Reisende mindestens zwischen der Landung eines Fluges auf einem Hub und einem Anschlussflug als Transferzeit einplanen müssen. Eine zu hohe MCT macht Spoke-Hub-Spoke-Verbindungen unattraktiv. Die MCT ist meist technisch bedingt und hängt von den Abläufen an den jeweiligen Flughäfen ab.

2.4. Maximum Available Connect Time (MACT)

Die sogenannte *maximum available connect time* (MACT) bildet das Gegenstück zur MCT. Sie schließt das Intervall für die Transferzeit von Fluggästen und ist ausschlaggebend für die Güte der Verbindung. Die *maximum available connect time* wird als diejenige Zeit bezeichnet, die ein Reisender höchstens bereit ist, bei einem Transfer auf einem Flughafen, hinzunehmen.³⁸

Für das nachfolgende Streckennetz spielt die MACT bei der kontinentalen Verbindungsart die wichtigste Rolle. Sie wird als exzellent angesehen, wenn sie 90 Minuten nicht überschreitet und als gut, wenn sie bis zu 120 Minuten beträgt. Als absolutes Maximum bei kontinentalen Verbindungen wird eine Transferzeit von 180 Minuten bezeichnet. Jedoch wird dieses Intervall, welches größer als 120 Minuten und kleiner als 180 Minuten ist, als schlecht angesehen.

Das in dieser Studie optimierte Streckennetz kann durchweg gute MACT einhalten. Einzige Ausnahme stellen die Verbindungen zum *Istanbul Atatürk Airport* (IST) dar. Er ist aber in jeder Beziehung ein „Grenzflughafen“: Er liegt noch auf dem europäischen Kontinent (und wurde deshalb einbezogen), während seine wichtigsten Verbindungen auf dem asiatischen Kontinent liegen. Die Verbindung von Europa nach Asien, über den *Istanbul Atatürk Airport*, kann also als ein Transfer zwischen einem kontinentalen und einem interkontinentalen Flug angesehen werden, was Auswirkungen auf die akzeptable MACT hat. Dies berücksichtigt, sind alle Transferzeiten mindestens „akzeptabel“.³⁹

2.5. Verkehrswellenstruktur

Laut Cossel sowie Burghouwt und de Wit dient die Verkehrswellenstruktur von Flughäfen den Reisenden dahingehend, dass Anschlussflüge innerhalb optimaler Transitzeiten erreicht werden können.⁴⁰ Im Hinblick auf Frachtgüter soll sie einen reibungslosen Ablauf gewährleisten. Daraus leitet sich das Hauptziel der Verkehrswelle ab, die

³⁷ „For the purpose of Resolution 765, in a passenger context, a Minimum Connecting time (MCT) interval is defined as the shortest time interval required in order to transfer a passenger and his luggage from one flight to a connecting flight, in a specific location or metropolitan area“; IATA (2010), S. 678.

³⁸ Vgl. Bootsma (1997), S. 68.

³⁹ Unter 120 Minuten werden bei Interkontinentalverbindungen als ausgezeichnet angesehen und bis zu 180 Minuten als gut. Als schlecht wird dahingegen eine Umsteigezeit bis 300 Minuten erachtet. Bei einer exakten Betrachtung könnten die Flüge zwischen dem *Istanbul Atatürk Airport* und anderen türkischen Flughäfen der Verbindungsklasse zwischen zwei interkontinentalen Flügen zugeordnet werden. In dieser Klasse beträgt eine schlechte MACT 720 Minuten. Als gut werden bis zu 240 Minuten angesehen und als hervorragend unter 120 Minuten. Jedoch werden diese Flüge aufgrund der geografischen Nähe zueinander in der nachfolgenden Streckennetzplanung der Verbindungsart der Kontinentalverbindungen zugeordnet.

⁴⁰ Vgl. Cossel (2011), S. 22ff.; Burghouwt und De Wit (2003), S. 9ff.

Verbindungsoptionen auf ein Maximum zu bringen. Das Verkehrswellenkonzept hat sich international durchgesetzt. Für die Reisenden ist es auch unter Einschluss der Reisekosten wichtiger, die Verbindungsoptionen zu maximieren als ganz bestimmte Startzeiten zu haben. Wenn sich an einem Hub-Flughafen ein Wellenkonzept manifestiert hat, dann ist es selbstverständlich, dass an den Spokes nur zu bestimmten Zeiten abgeflogen wird, weil sich ansonsten nur die Verweilzeit am Hub verlängern und die MACT überschritten werden würde.

Die Verkehrswelle selbst kann als eine sich wiederholende diffizile Serie verstanden werden. Hierbei folgt auf eine Spitze von ankommenden eine Spitze von abgehenden Flugzeugen. Die eigentliche Struktur der Verkehrswelle entsteht dabei aufgrund der Abfolge der einzelnen Wellen. Das Gefüge wird von den im vorangegangenen Abschnitt erklärten Einflussgrößen bestimmt. Dazu zählt zum einen die minimale Umsteigezeit (MCT), die *maximum available connect time* (MACT) der jeweiligen Verbindungsarten und zum anderen die Start- und Landebahn selbst, welche im Hinblick auf deren mögliche maximale Kapazität die Struktur der Verkehrswelle beeinflussen kann. Weiterhin können externe Faktoren einen Einfluss auf die Planung der Verkehrswelle ausüben. Beispielsweise können saisonbedingte Starkwinde, schlechte Sichtweiten, Niederschläge, Schnee und Eis, Gewitter, aber auch Vulkanausbrüche, wie der des *Eyjafjallajökull* im Jahr 2010, allgemein erhebliche Auswirkungen auf den Flugverkehr nach sich ziehen.⁴¹

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Wellenstruktur für den Flughafen München am 23.02.2018.

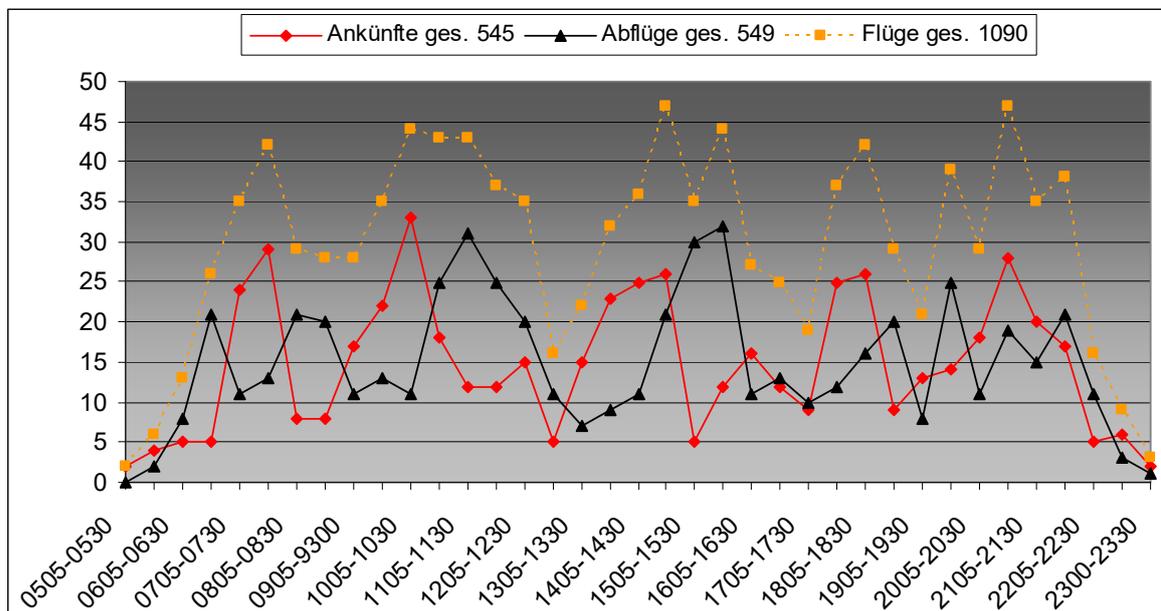


Abbildung 6: Verkehrswellenstruktur des Flughafens München am 23.02.2018⁴²

Die Daten des Diagramms wurden mit Hilfe der Abflüge und Ankünfte vom 23.02.2018 erhoben. Diese wurden auf der Internetseite des Münchner Flughafens veröffentlicht. Die Unterteilung in ein halbstündiges Intervall ergab, dass sich eine Verkehrswellenstruktur mit

⁴¹ Wäschenbach, J. (2015).

⁴² Eigene Darstellung nach den Daten der Flughafen München GmbH.

insgesamt circa 5 Wellen der ankommenden und abgehenden Flüge abzeichnete. Bis auf die unpräzise letzte Welle der Abflüge in der abendlichen Tagesrandzeit überschneiden sich die Scheitel der einzelnen Wellen nicht. Der Grund darin liegt, dass die ankommenden Passagiere genügend Zeit haben sollen, ihren Anschlussflug zu erreichen.⁴³ Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht das theoretische Modell einer Verkehrswelle.⁴⁴

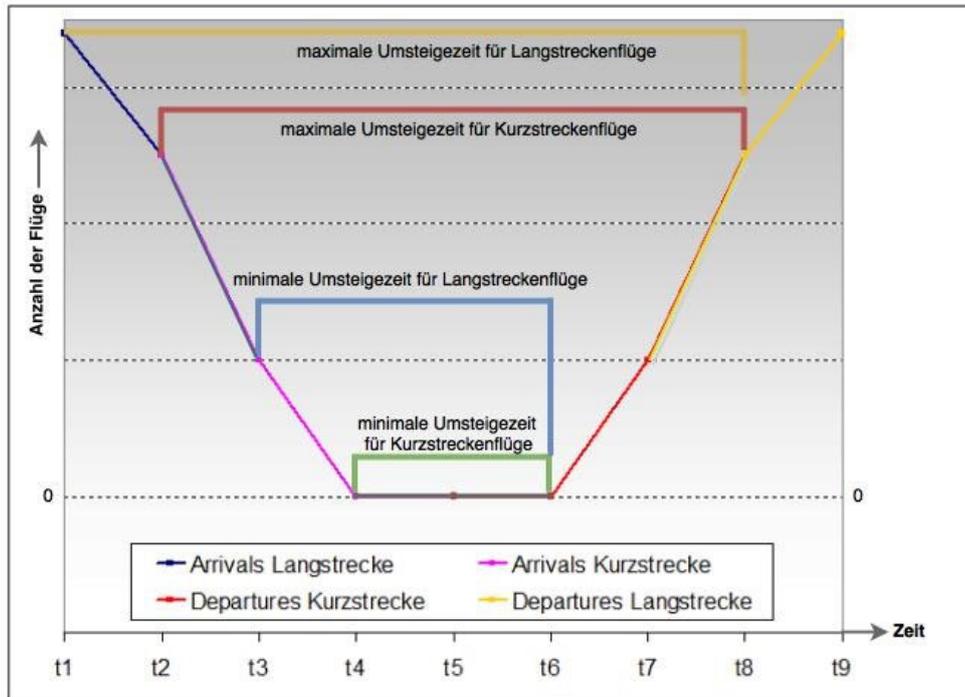


Abbildung 7: Theoretisches Konstrukt einer Verkehrswelle nach Cossel⁴⁵

Im Intervall von t1 bis t3 befinden sich die ankommenden Langstreckenflüge. Im Abschnitt von t2 bis t4 die Kurzstreckenflüge. Das Intervall t3 bis t6 ist in der Konzeption für die *minimum connect time* (MCT) der Langstreckenflüge bestimmt und von t4 bis t6 den Kurzstreckenflügen. Der Grund für die unterschiedlichen MCT wird in ungleichen Abfertigungszeiten gesehen.⁴⁶ Für Kurzstreckenflüge, beispielsweise Flugverbindungen innerhalb Deutschlands, müssen keine Pass- oder Zollkontrollen durchgeführt werden. Zudem fliegen viele Geschäftsreisende auf diesen Routen lediglich mit Handgepäck, was den Be- und Entladeprozess sowie die Gepäckausgabe erheblich beschleunigt. Ab t6 finden die Abflüge der Kurzstreckenflüge statt. Das Ende der Starts der Kurzstrecken in t8 leitet sich aus der maximalen Umsteigezeit (MACT) ab, welche Transitreisende allenfalls noch in Kauf nehmen würden. Im Intervall von t7 bis t9 liegen die Abflüge der Langstreckenflüge. Die Ausdehnung einer Verkehrswelle wird dabei durch die maximale Umsteigezeit begrenzt, aber ebenso durch die Kapazität an Zeitfenstern, welche für die Abflüge und Ankünfte an Flughäfen (Slots) verfügbar sind. Flüge können bei knappen Slotkapazitäten theoretisch fast immer an das Ende einer Welle gesetzt werden. Jedoch kann dies zur Folge haben, dass die Transitzeit zu stark ausgedehnt und die MACT überschritten wird. Der Flughafen könnte

⁴³ Vgl. Cossel (2011), S. 24.

⁴⁴ Vgl. Cossel (2011), S. 24.

⁴⁵ Eigene Darstellung nach Cossel (2011), S. 24.

⁴⁶ Vgl. Cossel (2011), S. 25.

somit für den Reisenden als Hub uninteressant werden. Um die MACT für einzelne Verbindungen im positiven Sinne zu beeinflussen, könnte die Anzahl der Wellen während der Betriebszeit des Flughafens erhöht werden. Das würde jedoch bedingen, dass die Anzahl der Flüge innerhalb einer Welle abnehmen muss. Das Problem besteht darin, dass dadurch andere Verbindungen in andere Wellen verschoben werden müssten und sich somit die MACT dieser verschobenen Verbindungen verschlechtern würde.

Weitere Probleme des theoretischen Modells sind laut Cossel die Spokes, die sich entweder zu nah oder zu weit entfernt vom Hub befinden könnten und somit ungeeignet für die Struktur der Verkehrswelle wären.⁴⁷ Beispielsweise sind innerdeutsche Verbindungen über die Hubs München oder Frankfurt aufgrund der kurzen direkten Flugzeit oder der geografischen Lage unattraktiv. So ist es zum Beispiel für einen Reisenden, der von Hamburg nach Berlin fliegen möchte, aus geografischer und zeitlicher Sicht wenig interessant, als Hub den Flughafen München zu nutzen. Nicht einmal der Direktflug ist interessant. Dies spiegelt sich beispielsweise am Umsteigestrom des Flughafens Münchens wieder, bei dem weniger als 1% des gesamten Umsteigeverkehrs auf das Inland im Jahr 2016 entfallen ist.⁴⁸ Auch land- und luftseitige Kapazitätsbeschränkungen, zum Beispiel durch die Anzahl und die Anordnung der Landebahnen oder Umweltrestriktionen, werden in dem erläuterten theoretischen Konstrukt nicht berücksichtigt, müssen aber in unserem optimierten Flugplan berücksichtigt werden, soweit sie an einem der einbezogenen Flughäfen relevant sind.

2.6. Zeitzonenkonzept

Aus dem Verkehrswellenkonzept, das heute den Luftverkehr dominiert, lässt sich das Konzept der Zeitzonen ableiten, bzw. es ist in diesem Konzept im Prinzip automatisch impliziert. Eine Zeitzone ist definiert als der Zeitbereich, in dem eine Luftverkehrsverbindung stattfindet. Die Bedeutung der Zeitzone wird im Folgenden erläutert.

Unser Ziel ist die Reduzierung der Zahl der Flugbewegungen. Dazu muss man bisher separat durchgeführte Flugbewegungen zusammenfassen, was eine Einigung auf eine neue Abflugzeit des zusammengefassten Fluges erfordert. Man muss auch entscheiden, wie viele Flugbewegungen man zusammenfassen will. Wir haben entschieden, die maximale Zahl von Flugbewegungen zusammenzufassen, bis drei Restriktionen greifen:

- Die erste Restriktion ist die Kapazitätsgrenze eines A 380 bzw. einer Boeing 747-400D.⁴⁹
- Die zweite Restriktion sind Flughafenlandebahnen, die kleinere Flugzeuge erzwingen.
- Die dritte Restriktion sind die Wünsche der Reisenden, die zu einer bestimmten Zeit starten bzw. ankommen wollen und spätere oder frühere Flüge als nutzenmindernde Beeinträchtigung empfinden würden.

Die dritte Restriktion wurde analog der Verkehrswellen des Flughafens München konkretisiert. Kurz gesagt, zeigt der Erfolg des Verkehrswellenkonzeptes, dass es für die Reisenden insgesamt offenbar weniger von Bedeutung ist, zu einer ganz bestimmten Uhrzeit

⁴⁷ Vgl. Cossel (2011), S. 25.

⁴⁸ Vgl. Flughafen München GmbH (2017a), S. 24.

⁴⁹ Zu dem Problem der Lang- und Kurzstreckenflugzeuge siehe oben Abschnitt 1.3.

abzufliegen oder anzukommen (also z.B. genau um 09:55 Uhr statt um 10:05 Uhr), sondern dass es auf einen vernünftigen Kompromiss von Reisekosten, Reisedauer und Zeitbereich einer Verbindung (im Folgenden „Zeitzone“) ankommt.⁵⁰ Die gewünschten Zeitzonen lassen sich aus den typischen Wellen der Hub-Flughäfen ableiten. Aus einer Hub-Struktur mit 5 Wellen lassen sich die folgenden Zeitzonen ableiten, in denen die Reisenden ihre Reisen abwickeln wollen:

	Zeitzone	Zeitdauer	
		von	bis
1	morgens	06:00	09:59
2	mittags	10:00	13:59
3	nachmittags	14:00	17:59
4	abends	18:00	21:59
5	nachts	22:00	05:59

Tabelle 4: Zeitzonen⁵¹

Die Zeitzonen eins bis vier erstrecken sich über ein Intervall von jeweils knapp vier Stunden. Die fünfte Zone ist die Nachtzeitzone. In ihr sind häufig Nachtflugverbote einzuhalten.^{52 53}

Grundsätzlich ist es möglich, das hier vorgestellte Konzept eines optimierten Flugplanes mit minimierter Flugbewegungszahl mit jeder beliebigen anderen Zeitzonenabgrenzung zu rechnen oder auf besonders neuralgischen Strecken auch Direktflüge zu bestimmten Uhrzeiten hinzuzufügen.

2.7. Netzplantechnik

Für die richtige Verwertung der Informationen im dritten Abschnitt des Hauptteils ist es dienlich, die spezifische Herangehensweise zu verstehen. Wir haben den Flugplan ohne Computerunterstützung auf traditionelle Weise erstellt. Die verwendete Vorgehensweise ähnelt der Netzplantechnik, einem Lösungsansatz aus dem Bereich der Optimierung, welcher häufig zur Unterstützung im Projektmanagement herangezogen wird.⁵⁴

Im Speziellen ist es die *Critical Path Method* (CPM), welche bei der Flugstreckennetzplanung angewendet wird.⁵⁵ Grundlage dieser Methode stellt ein grafisches Modell dar, welches den Projektablauf zeitlich veranschaulicht. Dieses Modell kann allgemein als Netzplan definiert werden. Innerhalb dieses Netzplans lassen sich diverse Zeiten und Zeitintervalle verzeichnen. Darüber hinaus lassen sich aus dem Modell und innerhalb seiner Zeitverläufe mögliche kritische und unkritische Pfade ermitteln, die einen erheblichen Einfluss auf die gesamte Struktur des Netzes haben. Der Ablauf zur Erstellung eines solchen Netzplans enthält die Schritte, die im Kapitel der Vorgehensweise näher erläutert sind.

⁵⁰ Vgl. Flug Berlin Tegel nach Frankfurt am Main am 30.03.2017, Flug LH 177 Ankunft 09:55 Uhr und Flug U2 5543 Ankunft 10:05 Uhr.

⁵¹ Vgl. Thießen, F./Jahn, M./Troll, S. (2005), S. 11.

⁵² Vgl. Bundesverwaltungsgericht (2012).

⁵³ Vgl. London Heathrow Airports Limited (2018), S.5ff.

⁵⁴ Werners, B. (2013), Grundlagen des Operations Research, S. 211; Vgl. Zimmermann, J./Stark, C./Rieck, J. (2006), S. 39.

⁵⁵ Vgl. Zimmermann, J./Stark, C./Rieck, J. (2006), S. 73ff.

Als veranschaulichendes Beispiel soll der folgende selbstkonstruierte Fall in einem Hub- und Spokes-System dienen. Es existieren insgesamt drei Spokes (A, B und C), die mittels des Hubs (H) verbunden sind. Direktverbindungen der Spokes sind nicht vorhanden. B und C benötigen jeweils eine Stunde von und zu H. A benötigt 01:30 h. Aufgrund von Nachtflugverboten ist die früheste Abflugzeit 7:00 Uhr. Die minimal benötigte Umsteigedauer (MCT), aufgrund von bautechnischen Gegebenheiten auf dem Hub, beträgt 30 Minuten.

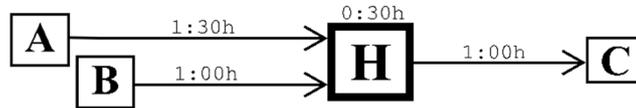


Abbildung 8: Netzplan Beispiel

Ziel ist es, von A und B über H nach C zu gelangen. Dabei kommt die Frage auf, wie sämtliche Flüge aufeinander abgestimmt werden können, so dass eine minimale Aufenthaltsdauer für die Reisenden existiert und sie schnellstmöglich ihre jeweilige Zieldestination erreichen. Weiterhin soll die Zahl der Flüge so gering wie möglich gehalten werden. Sämtliche Flüge könnten von A und B um 7:00 Uhr starten. Doch dann müssten Passagiere die von B starten, 30 Minuten länger in H warten, bis die Reisenden von A in H eintreffen. Wenn sie dies nicht akzeptieren, müsste ein weiterer Flug von H nach C eingerichtet werden. Der kritische Pfad ist dementsprechend A zu H zu C, da die Flugzeit zwischen A und H die längste in diesem Beispiel ist. Folglich startet A um 7:00 Uhr und B um 7:30 Uhr. Beide erreichen mit einer marginalen Zeitversetzung H um 9:00 Uhr. Sie haben 30 Minuten Umsteigezeit und starten 9:30 Uhr von H nach C. Dort kommen sie um 10:30 Uhr an. Somit haben alle Reisenden nur eine dreißigminütige minimale Umsteigezeit. Folglich werden insgesamt lediglich drei anstelle von vier Flügen benötigt.

2.8. Flugnetzerstellung

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt derjenigen Informationen, die durch die Datenbank von *Eurostat* gewonnen wurden. Die Liste ist nach den Gesamtpassagierzahlen von 2016 geordnet. Die Tabelle weist die Routen, Passagierzahlen, Anzahl der Flüge und die verfügbaren Sitzplätze aus. Die Sitzauslastung der Route wurde aus dem Quotienten der „beförderten Fluggäste“ und den „verfügbaren Sitzplätzen“ ermittelt.

Route		PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze	Sitzaus- lastung
IST	ADB	3.296.166	19.826	3.825.439	86%
ABD	IST	3.295.913	19.813	3.822.665	86%
ADB	SAW	2.538.274	17.348	3.037.423	84%
SAW	ADB	2.536.023	17.336	3.034.898	84%
TLS	ORY	2.358.917	17.378	3.216.650	73%
ORY	TLS	2.358.356	17.377	3.216.100	73%
BCN	MAD	2.328.726	15.666	3.039.379	77%
MAD	BCN	2.328.726	15.666	3.039.379	77%
IST	AYT	2.325.329	14.651	2.824.438	82%
AYT	IST	2.321.309	14.627	2.820.061	82%
ESB	SAW	2.206.296	18.314	2.966.498	74%
SAW	ESB	2.204.993	18.302	2.963.884	74%
SAW	AYT	2.179.549	15.212	2.687.874	81%
AYT	SAW	2.179.297	15.216	2.688.735	81%
NCE	ORY	2.124.792	14.530	2.640.439	80%
ORY	ORY	2.124.786	14.523	2.639.826	80%
FCO	CTA	2.047.274	13.782	2.471.961	83%
CTA	FCO	1.998.352	13.452	2.343.103	85%
IST	ESB	1.998.156	13.697	2.492.765	80%
ESB	IST	1.996.639	13.688	2.490.985	80%
MUC	TXL	1.939.820	15.212	2.582.104	75%
TXL	MUS	1.939.165	15.162	2.585.706	75%
TXL	FRA	1.935.727	14.155	2.543.007	76%
FRA	TXL	1.935.465	14.163	2.540.839	76%

Tabelle 5: am stärksten frequentierte Flugrouten Europas⁵⁶

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die hinsichtlich der Passagierzahlen am stärksten frequentierten Flugrouten Europas die innertürkischen Strecken sind. Sechs von den insgesamt zwölf abgebildeten Flugverbindungen finden innerhalb des türkischen Luftraumes statt. In diesem Ausschnitt besitzt zudem die Verbindung zwischen den Flughäfen *Istanbul-Atatürk* (IST) und *Izmir-Adnan Menderes* (ADB) die höchste Sitzauslastung mit rund 86%. Die Anzahl der Flüge zeigt, dass es sich dabei um klein- bis mittelgroße Maschinen handelt. Eine sich anschließende weitere Datenerhebung und detaillierte Analyse der jeweiligen Route soll einen genaueren Aufschluss darüber geben, welche Flugzeugtypen mit welcher Sitzverteilung eingesetzt wurden.

Auf dem zweiten Rang befindet sich die Route zwischen dem Flughafen *Izmir-Adnan Menderes* (ADB) und dem Istanbuler Sekundärhub *Sabiha Gökçen Airport* (SAW). Werden beide Strecken, IST – ADB und SAW – ADB, addiert, ergibt sich ein Fluggastaufkommen von über 5,83 Millionen Passagieren pro Jahr. Dies würde die Strecke Istanbul – Izmir auf Platz 4 der weltweit wichtigsten Flugstrecken positionieren.⁵⁷ Der Erfolg der Strecke erklärt sich durch das Fehlen einer terrestrischen Hochgeschwindigkeitsverbindung zusammen mit niedrigen Flugpreisen ab 30 Euro.

⁵⁶ Vgl. Statistisches Amt der Europäischen Union (2017).

⁵⁷ Vgl. Bartels, T. (2016).

Den dritten Rang belegt die erste westeuropäische Verbindung. Sie findet zwischen dem Flughafen *Toulouse-Blagnac* (TLS) und dem zweitgrößten Pariser Flughafen *Paris-Orly* (ORY) statt. Unter den passagierreichsten Strecken besitzt diese Verbindung die schlechteste Sitzplatzauslastung. Auch auf dieser Strecke gibt es keine terrestrische Hochgeschwindigkeitskonkurrenz. Autobahnen sind mit hohen Mautgebühren belastet.

Platz elf und zwölf der europäischen Strecken mit dem höchsten Passagierzahlen innerhalb eines Jahres belegen die innerdeutschen Routen *München* (MUC) – *Berlin Tegel* (TXL) sowie *Frankfurt* (FRA) – *Berlin Tegel* (TXL) mit jeweils knapp unter 2 Mio. Reisenden.

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt das komplettierte Flugstreckennetz. Es beinhaltet die aufkommensstärksten Routen über 1 Mio. PAX/Jahr sowie ergänzende Routen, die notwendig sind, das Netz zu komplettieren.⁵⁸

⁵⁸ Dass das Einfügen solcher Strecken notwendig ist, zeigt die Verbindung *Frankfurt am Main* (FRA) - *Istanbul-Atatürk* (IST). Jährlich fliegen die einfache Strecke nur knapp 800.000 Menschen und die Sitzauslastung ist mit 74% eine der Schlechtesten. Würde diese Flugstrecke nicht in das Netz aufgenommen werden, würde keine Verbindung zwischen der Türkei und dem Westen Europas existieren. Andere Verbindungen von und nach *Istanbul-Atatürk* (IST) wiesen noch geringere Fluggastzahlen auf, beispielsweise *München* (MUC) mit nicht ganz 500.000 Passagiere oder *Rom-Fiumicino* (FCO) mit knapp 400.000 Reisenden. Lediglich die Verbindung von und nach *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) weist mit über 900.000 Fluggästen ein noch höheres Passagieraufkommen auf als *Frankfurt am Main*. Doch ist dessen geografische Lage eher ungeeignet, da sie die Gesamt-reisezeit für alle östlich von ihm befindlichen Flughäfen deutlich erhöhen würde. Aufgrund des Umstandes, dass Frankfurt in diesem Streckennetz die einzige Verbindung in die Türkei aufrechterhält, müssen sämtliche Hubs von Frankfurt aus erreichbar sein und umgekehrt, zudem muss die Verbindung von und nach *Rom-Fiumicino* (FCO) mit nicht ganz 700.000 Fluggästen eingefügt werden. Aber auch Spoke-Strecken, wie der in der Schweiz befindliche Züricher Flughafen (ZRH) mit annähernd 650.000 Reisenden, müssen innerhalb des Flugnetzes an den Frankfurter Flughafen angeschlossen werden. Es existieren jedoch Ausnahmen. Die Passagierzahlen der Spokes Düsseldorf - Frankfurt sind deutlich zu gering und die Flugverbindung Frankfurt - Köln/Bonn existiert nicht. Zudem ist ihre intermodale Anbindung an den Frankfurter Flughafen sehr gut. Der Frankfurter Flughafen kann von beiden Spokes mit dem Zug in weniger als anderthalb Stunden erreicht werden. Aus diesen Gründen werden diese beiden Verbindungen nicht in das Flugnetz aufgenommen. Wegen der guten intermodalen Anbindung an den Frankfurter sowie an den Düsseldorfer Flughafen wird die Verbindung MUC – CGN mit rund 950.000 Passagieren pro Jahr nicht extra in das Netz einbezogen.

Weiterhin werden Routen zu bestimmten Spokes in das Netz eingefügt, die zwar schon eine Verbindung zu einem Hub besitzen, dieser Hub jedoch nicht der internationale Hub ist. Dies ist der Fall bei den französischen Routen *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) – *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) – *Nice Côte d'Azur* (NCE). Es existieren zwar die Verbindungen zwischen ORY – TLS und ORY – NCE, jedoch ist *Paris-Orly* eher als Sekundärhub im Vergleich zu *Paris-Charles-de-Gaulle* anzusehen. Aufgrund dessen ist ORY weniger in das grundlegende Hub-Netz eingebunden. Es besteht zwar eine Shuttle-Verbindung zwischen ORY und CDG, jedoch ist diese mit einem erheblich höheren Zeitaufwand verbunden. Aus diesem Grund benötigen die Spokes TLS und NCE einen guten Zugang zu dem grundlegenden Hub-Netz, weswegen die Verbindungen CDG – TLS und CDG – NCE eingefügt werden müssen. Dies trifft in ähnlicher Weise auf die Routen in Großbritannien zu. Allerdings muss hier die Route zum Sekundärhub *London Gatwick* (LGW) und dem Spoke *Edinburgh* (EDI) aufgrund der Vollständigkeit in das Netz eingegliedert werden.

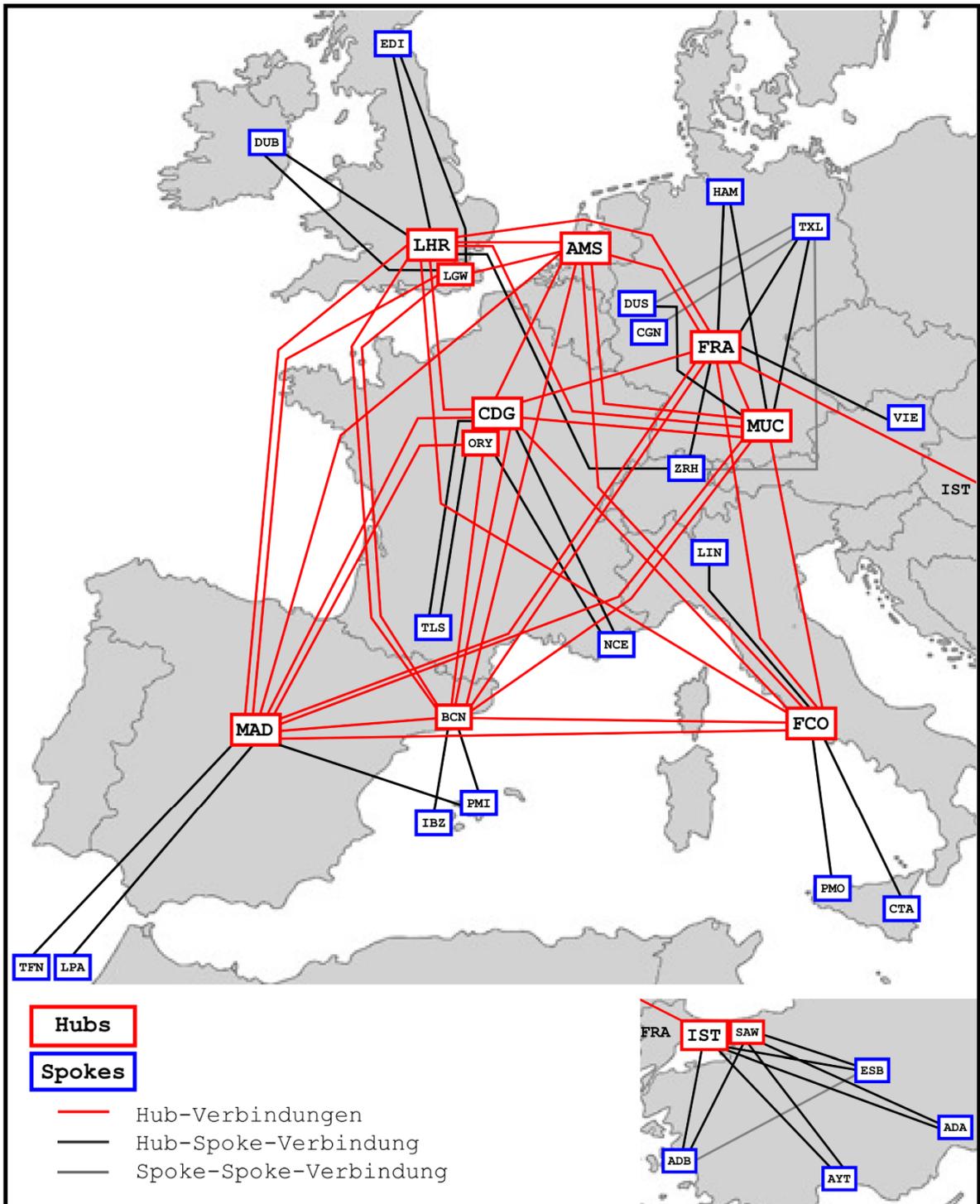


Abbildung 9: Einbezogenes vollständiges Flugnetz⁵⁹

⁵⁹ Eigene Darstellung

2.9. Flugroutenfestlegung

Nachdem das generelle Flugnetz festgelegt wurde, werden im nächsten Schritt die Daten der einzelnen Routen des Flugnetzes zusammengestellt. Am Beispiel der Verbindung *Paris-Orly* (ORY) - *Toulouse-Blagnac* (TLS) soll die Verfahrensweise dargestellt werden. Im Anhang werden dann die Daten aller 140 Einzelrouten des Flugnetzes abgedruckt.

Es sei angemerkt, dass sich die durch die im Folgenden gezeigte Streckeneinzelbetrachtung ermittelten Daten auch aus den Daten von Eurostat hätten abschätzen lassen. Eurostatdaten sind aber Jahresdaten. Man kommt auf tägliche Daten nur durch Division der Gesamtzahlen durch 365. Die Ergebnisse gelten dann nur für einen fiktiven Durchschnittstag. Um dadurch bedingte Ungenauigkeiten zu vermeiden, basieren wir die Untersuchung auf den tatsächlich durchgeführten Flügen in Europa eines Stichtages. Es war ein erheblicher Aufwand, die notwendigen Daten zusammenzutragen. Den Eurostatdaten musste bei diesem Vorgehen nur der Sitzladefaktor entnommen werden.

Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt sämtliche Flüge von ORY nach TLS vom 17.11.2017. Der Flugzeugtyp der jeweiligen Airline in Kombination mit dessen maximaler Sitzverteilung und dem Sitzladefaktor der Route ergibt die beförderte Anzahl an Passagieren. Beispielsweise sind mit dem Air France Flug Nummer 6100 (Airbus A319) 104 Passagiere geflogen. Diese Anzahl ergibt sich daraus, dass in einem Airbus A319 der *Air France* Fluggesellschaft maximal 143 Fluggäste auf innerfranzösischen Strecken fliegen können.⁶⁰ Da die Route ORY – TLS einen *errechneten* (Eurostat-Daten) Sitzladefaktor von 73% aufweist, werden 104 Reisende befördert. In einem Airbus A319 der Fluggesellschaft *easyJet* finden maximal 156 Reisende Platz.⁶¹ Diese Anzahl multipliziert mit dem *errechneten* (Eurostat-Daten) Sitzladefaktor von 73% ergibt, dass 114 Passagiere auf dieser Strecke geflogen sind.

Die Daten der Gegenflugrichtung (TLS nach ORY) werden in der Abbildung 11 dargestellt. Bei ihr liegt der Schwerpunkt der Verteilung eher auf den Zeitintervallen Morgen, Mittag und Abend. Das Nachmittags- und Nachtzeitintervall wird weniger beflogen.

Die Differenz in der Fluggastgesamtanzahl von 22 Passagieren mehr auf der Route (TLS nach ORY) ergibt sich durch den Einsatz unterschiedlicher Flugzeugtypen von *Air France*. Sie setzen auf der Strecke TLS nach ORY einen Airbus A321 mehr ein, anstelle eines Airbus A319. Deswegen erhöht sich der Gesamtdurchschnitt von 131 auf 133 der beförderten Passagiere pro Flug trotz gleichbleibender Anzahl an Flügen. Ein weiterer Unterschied, der in der späteren Verwertung beachtet werden muss, sind die minimalen Flugzeiten. Je nach Richtung betragen diese 01:20 h (TLS nach ORY) und 01:15 h (ORY nach TLS). Solche Zeitunterschiede sind vielfach auf die Windrichtungen zurückzuführen und treten meistens bei Ost – West Verbindungen auf.⁶² Eine größere Pufferzeit beim Anflug auf den Hub, um Verspätungen zu vermeiden, könnte ebenfalls eine Ursache sein.

⁶⁰ Vgl. Air France-KLM (2017).

⁶¹ Vgl. EasyJet (2016), S. 8.

⁶² Vgl. Braun, N. (2017).

Route: ORY - TLS

Datum: 17.11.2017

Fluggesellschaft: Air France

Start	Dauer	Ankunft	Flugnummer	Aircraft	PAX Route
06:30	01:15	07:45	Air France 6100	Airbus A319	104
07:00	01:15	08:15	Air France 6102	Airbus A321	146
08:15	01:15	09:30	Air France 6104	Airbus A320	130
08:40	01:15	09:55	Air France 6106	Airbus A321	146
09:00	01:15	10:15	Air France 6108	Airbus A319	104
09:20	01:15	10:35	Air France 6110	Airbus A320	130
10:15	01:15	11:30	Air France 6114	Airbus A320	130
10:45	01:15	12:00	Air France 6116	Airbus A320	130
11:30	01:15	12:45	Air France 6118	Airbus A321	146
14:00	01:15	15:15	Air France 6122	Airbus A321	146
15:00	01:15	16:15	Air France 6124	Airbus A321	146
15:30	01:15	16:45	Air France 6126	Airbus A321	146
15:55	01:15	17:10	Air France 6128	Airbus A319	104
16:30	01:15	17:45	Air France 6130	Airbus A320	130
17:00	01:15	18:15	Air France 6132	Airbus A320	130
17:30	01:15	18:45	Air France 6134	Airbus A321	146
18:10	01:15	19:25	Air France 6136	Airbus A320	130
18:40	01:15	19:55	Air France 6138	Airbus A321	146
19:10	01:15	20:25	Air France 6140	Airbus A321	146
19:40	01:15	20:55	Air France 6142	Airbus A320	130
20:10	01:15	21:25	Air France 6144	Airbus A319	104
20:50	01:15	22:05	Air France 6146	Airbus A319	104
21:40	01:15	22:55	Air France 6148	Airbus A321	146
Min:	01:15			ges.:	3020
Anzahl:	23			Durchschnitt:	131

Fluggesellschaft: easyJet

Start	Dauer	Ankunft	Flugnummer	Aircraft	PAX Route
06:50	01:15	08:05	easyJet 4019	Airbus A320	134
08:30	01:15	09:45	easyJet 4021	Airbus A319	114
09:15	01:15	10:30	easyJet 4023	Airbus A320	134
11:50	01:15	13:05	easyJet 4025	Airbus A320	134
15:30	01:15	16:45	easyJet 4027	Airbus A320	134
18:00	01:15	19:15	easyJet 4029	Airbus A320	134
19:10	01:15	20:25	easyJet 4031	Airbus A320	134
Min:	01:15			ges.:	918
Anzahl:	7			Durchschnitt:	131

Totales Minimum	Ges. Anzahl Flüge	Ges. Anzahl Passagiere	Gesamt Durchschnitt
01:15	30	3938	131

Air France Flugzeugtyp	Sitzplätze maximal	Sitzladefaktor	easyJet Flugzeugtyp	Sitzplätze maximal	Sitzladefaktor
A319	143	73%	A319	156	73%
A320	178	73%	A320	186	73%
A321	200	73%			

Abbildung 10: Detaillierte Datenerhebung der Route ORY - TLS

Route: TLS - ORY

Datum: 17.11.2017

Fluggesellschaft: Air France

Start	Dauer	Ankunft	Flugnummer	Aircraft	PAX Route
06:00	01:25	07:25	Air France 6101	Airbus A320	130
06:25	01:25	07:50	Air France 6103	Airbus A321	146
07:00	01:25	08:25	Air France 6105	Airbus A321	146
07:20	01:25	08:45	Air France 6107	Airbus A321	146
08:00	01:25	09:25	Air France 6109	Airbus A320	130
08:30	01:20	09:50	Air France 6111	Airbus A319	104
09:00	01:25	10:25	Air France 6113	Airbus A321	146
10:10	01:25	11:35	Air France 6115	Airbus A320	130
10:30	01:25	11:55	Air France 6117	Airbus A319	104
11:00	01:25	12:25	Air France 6119	Airbus A319	104
11:20	01:25	12:45	Air France 6121	Airbus A320	130
12:15	01:25	13:40	Air France 6125	Airbus A320	130
13:30	01:25	14:55	Air France 6127	Airbus A321	146
15:20	01:20	16:40	Air France 6131	Airbus A321	146
16:00	01:20	17:20	Air France 6133	Airbus A321	146
17:00	01:20	18:20	Air France 6135	Airbus A321	146
17:25	01:20	18:45	Air France 6137	Airbus A321	146
17:55	01:20	19:15	Air France 6139	Airbus A319	104
18:30	01:20	19:50	Air France 6141	Airbus A320	130
19:00	01:20	20:20	Air France 6143	Airbus A320	130
19:30	01:20	20:50	Air France 6145	Airbus A321	146
20:25	01:25	21:50	Air France 6147	Airbus A320	130
21:10	01:20	22:30	Air France 6149	Airbus A321	146
Min:	01:20			ges.:	3062
Anzahl:	23			Durchschnitt:	133

Fluggesellschaft: easyJet

Start	Dauer	Ankunft	Flugnummer	Aircraft	PAX Route
07:20	01:25	08:45	easyJet 4018	Airbus A319	114
08:35	01:25	10:00	easyJet 4020	Airbus A320	134
10:15	01:25	11:40	easyJet 4024	Airbus A320	134
13:30	01:20	14:50	easyJet 4026	Airbus A320	134
17:15	01:25	18:40	easyJet 4028	Airbus A320	134
19:45	01:25	21:10	easyJet 4030	Airbus A320	134
20:50	01:25	22:15	easyJet 4032	Airbus A320	134
Min:	01:20			ges.:	918
Anzahl:	7			Durchschnitt:	131

Totales Minimum	Ges. Anzahl Flüge	Ges. Anzahl Passagiere	Gesamt Durchschnitt
01:20	30	3980	133

Air France Flugzeugtyp	Sitzplätze maximal	Sitzladefaktor	easyJet Flugzeugtyp	Sitzplätze maximal	Sitzladefaktor
A319	143	104	A319	156	114
A320	178	130	A320	186	136
A321	200	146			

Abbildung 11: Detaillierte Datenerhebung der Route TLS – ORY

2.10. Flugzeuggrößen und Bahnanforderungen

In diesem Unterkapitel werden die Anforderungen, die große Flugzeuge wie der Airbus A380 an die Landebahnen haben, beschrieben. Dies ist insbesondere für den dritten Fall der behandelten Fälle notwendig, der die gegebene Flughafeninfrastruktur berücksichtigt.⁶³

Der Airbus A380 besitzt eine Länge von 72,72m, eine Flügelspannweite von 79,95m und ein 14,34m breites Hauptfahrwerk.⁶⁴ Mit diesen Abmessungen wird er gemäß der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) der Kategorie 4F zugeordnet.⁶⁵ Entsprechend dieser Zuordnung empfiehlt die ICAO eine Runway-Mindestlänge von 4.000m und 60m Breite.⁶⁶ Interimsanforderungen empfehlen jedoch nur eine Runway-Mindestbreite von 45m um das Wettbewerbspotential des Airbus A380 sowie von Flughäfen zum Positiven zu beeinflussen.⁶⁷ Möglich macht dies die Tatsache, dass der A380 nur für die inneren beiden Triebwerke mit einer Schubumkehr ausgestattet ist. Somit besteht keine Gefahr, dass die äußeren Triebwerke beschädigt werden können, wie zum Beispiel durch Schmutzpartikel, welche neben den Bahnen aufgewirbelt werden könnten.

Etwaige Sonderzulassungen für bestimmte Flughäfen, die diese Anforderungen unterschreiten, werden im Rahmen dieser Studie für die jeweiligen Flughäfen in einer Einzelfallprüfung untersucht. Dazu wird überprüft, ob Airlines den Airbus A380 auf aktiven Routen von und zu den einzelnen Flughäfen einsetzen. Darüber hinaus wird in der Historie des Flughafens geschaut, ob ein A380 diesen bereits angefliegen hat. Sollte einer dieser drei Gesichtspunkte erfüllt werden, so wird die Annahme getroffen, dass auf dem jeweiligen Flughafen auch jegliche kleinere Flugzeuge landen können.⁶⁸

Sollte keines dieser drei Dinge zutreffen, so muss angenommen werden, dass der Airbus A380 nicht auf diesem Flughafen eingesetzt werden kann. Es könnte zwar das *Airbus A380 aircraft characteristics, airport and maintenance planning*⁶⁹ Dokument genutzt werden, um zu bestimmen, ob die Runway des jeweiligen Flughafens über die ausreichende Länge verfügen würde. Jedoch hängt dies von zu vielen Einflussvariablen ab. Die wichtigsten Faktoren sind das Abfluggewicht (TOW), aus dem Englischen *Take-Off Weight*, der Druck entsprechend der Höhenlage des Flugplatzes sowie dessen Temperatur. Aufgrund dessen, dass diese Parameter stark variieren können, wird davon abgesehen.

Falls der Einsatz eines A380 nicht möglich oder notwendig ist, werden kleinere Flugzeugtypen eingesetzt. Das wäre beispielsweise die Boeing 747-400 Domestic. Diese wurde speziell für den japanischen Inlandsverkehr entwickelt.⁷⁰ Sie besitzt eine sehr hohe Passagierkapazität von maximal 624 Economy-Sitzplätzen.⁷¹ Mittels geringfügiger Modifikationen, beispielsweise durch eine herkömmliche Oberdeckverlängerung, könnten zusätzliche

⁶³ Zu dem Problem der Lang- und Kurzstreckenflugzeuge siehe oben Abschnitt 1.3.

⁶⁴ Vgl. Airbus S.A.S. (2018).

⁶⁵ Vgl. ICAO (2016), Kapitel 1 S.13

⁶⁶ Vgl. ICAO (2016), Kapitel 3 S.1ff.

⁶⁷ Vgl. Stopka, U. (2016).

⁶⁸ Wie schon in der Fallbeschreibung kurz erläutert, wird auf die gebäudeinfrastrukturellen Anforderungen nicht näher eingegangen. Doppelfluggastbrücken für den Airbus A380 gestatten zwar eine Zeiteinsparung bei der Abfertigung des Flugzeuges und somit einen schnelleren Turnaround, dennoch sind sie nicht zwangsweise erforderlich; vgl. Kopp, M. (2016).

⁶⁹ Vgl. Airbus S.A.S. (2016), S. 3-3-1.

⁷⁰ Vgl. Eiselin, S. (2014).

⁷¹ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

Sitzplatzkapazitäten geschaffen werden.⁷² Die Verlängerung würde bis zu 650 Sitzen ermöglichen. In einer Zwei-Klassen-Konfiguration wären letztendlich durch bestimmte Fahrwerksanpassungen und Karosserieerweiterungen bis zu 700 Sitzplätze technisch möglich. Neben der hohen Passagierkapazität ist der größte Vorteil, dass die 747-400 Domestic eine relativ kurze Start- und Landebahn benötigt.⁷³ Aus diesem Grund kann sie auf allen Flughäfen, die im Streckennetz enthalten sind, eingesetzt werden.

In einigen Fällen ist der Einsatz des Airbus A380 oder der Boeing 747-400 Domestic nicht erforderlich. Dann werden mittelgroße Flugzeuge, wie der Airbus A350 mit einer Maximalbestuhlung von 440 Sitzen, eingesetzt.⁷⁴ Speziell dieser Typ hebt sich durch seine ökonomische wie ökologische Effizienz ab. Er ermöglicht bis zu 25% Kerosin- und Betriebskosteneinsparungen. Da seine Lautstärke (gemäß Airbus) knapp 21 Dezibel unter den Anforderungen der ICAO liegt, besitzt er zudem noch den großen Vorteil, dass er sehr leise im Vergleich zu ähnlich großen Passagiermaschinen ist.⁷⁵ Diese Umstände wirken sich positiv auf das Unterziel der Lärmreduktion aus. Aber auch innerhalb der Kabine ist die Lautstärke sehr gering, was den Reisekomfort der Passagiere erhöht.⁷⁶

In Fällen, in denen sich die jährliche Passagierzahl nahe der Millionengrenze befindet, ist es sinnvoll, kleinere Flugzeugtypen einzusetzen, beispielsweise den Airbus A321 neo. Dieser besitzt in der typischen Sitzanordnung 206 und in der Maximalauslastung 240 Sitzplätze.⁷⁷ Zudem ist er, ähnlich wie der Airbus A350, gemäß Herstellerangaben ökonomisch wie ökologisch durch seinen geringen Kerosinverbrauch und verminderten Geräuschpegel effizient.⁷⁸

Allgemein ist anzumerken, dass die eingesetzten Flugzeuge dahingehend ausgewählt wurden, dass sie die nötige Passagierzahl bewältigen können, um somit die Zahl der Flugbewegungen zu reduzieren. Bei den angeführten Flugzeugen wird dabei nur eine geringfügige Rücksicht auf die Klasseneinteilung genommen. Da die Routen unterschiedliche Passagierzahlen aufweisen, würde es sich empfehlen, zum Teil die maximal mögliche Sitzplatzanzahl oder gegebenenfalls für längere Strecken eine Zwei-Klassen-Bestuhlung zu verwenden, da ein Wechsel zwischen den einzelnen Verbindungen möglich ist.

Es sei abschließend angemerkt, dass in dieser Arbeit das Problem der gegenwärtigen Wide-Body-Flugzeuge, nicht für den *Kurzstreckeneinsatz* konstruktiv ausgelegt zu sein, nicht gesondert betrachtet wird. Solche Flugzeuge lassen sich grundsätzlich herstellen – ihr derzeitiges Fehlen spricht deshalb nicht gegen unseren Ansatz. Wir fokussieren auf die Flugzeuggrößen, für die wir nur beispielhaft die herkömmlichen Flugzeugtypen verwenden, um zu zeigen, wie unser Konzept in einer realistischen Umgebung aussehen würde. Am Schluss entwickeln wir Ideen, welche neukonstruierten Flugzeuggrößen einen guten Kompromiss zwischen universeller Einsetzbarkeit und hoher Auslastung pro Flug darstellen würden.

⁷² Vgl. Boeing (2002), S. 186.

⁷³ Vgl. Narita Airport

⁷⁴ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 9f.

⁷⁵ Vgl. Preuß, O. (2015).

⁷⁶ Vgl. Dahlenburg, D. (2014).

⁷⁷ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

⁷⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 3.

2.11. Flughafeninfrastruktur

Nachdem die Anforderungen der größten Flugzeuge an die Landebahn ermittelt wurden, wird nun überprüft, ob die Flughäfen diese erfüllen können. Des Weiteren werden in diesem Schritt die Flugbetriebszeiten sowie die *minimum connect time* (MCT) erarbeitet und in der nachfolgenden Tabelle wiedergeben.

Die in der anschließenden Tabelle enthaltenen Daten wurden in der Regel den jeweiligen Homepages der entsprechenden Flughäfen entnommen. Sie stammen aber auch von Luftfahrtorganisationen, wie der *Devlet Hava Meydanları İşletmesi* (DHMI), der türkischen Staatsbehörde für den zivilen Luftfahrtsektor.⁷⁹ Im Hinblick auf die Flugbetriebszeiten der Flughäfen wurde bereits oben darauf hingewiesen, dass diese Informationen nicht immer frei zugänglich sind. Die Zeiten wurden in solchen Fällen anhand der Flugpläne ermittelt. Die frühesten und spätesten Flüge wurden als zeitliche Grenzen gesetzt.

Auch die Informationen zur *minimum connect time* (MCT) waren oftmals nicht frei verfügbar. Sie wurden zum Teil indirekt mit Hilfe von Onlinesuchmaschinen, wie beispielsweise *Google Flights*, ermittelt, indem die minimalen Transitzeiten zwischen zwei Flügen der gleichen Airline festgestellt wurden. Im Hinblick auf die Spokes wurde mitunter die Annahme getroffen, dass die *minimum connect time* eine Stunde beträgt.

Entsprechend der Runway-Dimensionen wurde zunächst die Zuteilung des größtmöglichen Flugzeuges durchgeführt. Im ersten Schritt wurden die Flughäfen, die die Anforderungen der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) erfüllten, identifiziert und entsprechend mit der Kurzform A380 gekennzeichnet. Im zweiten Schritt erfolgte die Einzelfallprüfung, wie sie oben beschrieben wurde. Im letzten Schritt wurden die restlichen Flughäfen hinsichtlich des Einsatzes der Boeing 747-400 Domestic überprüft.

Flughafen	Flugbetriebszeiten		MCT	größte Runway		größtmögl. Flugzeug
	von	bis		Länge	Breite	
ADA	24 h		01:00	2.750 m	45 m	747-400D
ADB	24 h		01:00	3.240 m	45 m	747-400D
AMS	24 h		00:40	3.800 m	60 m	A380
AYT	24 h		01:00	3.400 m	45 m	747-400D
BCN	04:00	01:30	00:45	3.552 m	45 m	A380
CGD	24 h		01:10	4.215 m	45 m	A380
CGN	24 h		00:45	3.815 m	60 m	A380
CTA	24 h		01:00	2.435 m	45 m	747-400D
DUB	04:00	01:00	01:00	2.637 m	45 m	747-400D
DUS	06:00	23:00	00:35	3.000 m	45 m	A380
EDI	05:50	23:59	01:00	2.560 m	46 m	747-400D
ESB	24 h		01:00	3.750 m	60 m	747-400D
FCO	04:00	00:30	00:45	3.900 m	60 m	A380
FRA	05:00	23:00	00:45	4.000 m	60 m	A380
HAM	06:00	00:00	00:45	3.666 m	46 m	A380
IBZ	06:30	23:00	01:00	2.800 m	45 m	747-400D
IST	24 h		00:40	3.000 m	45 m	747-400D

⁷⁹ Vgl. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (2017).

LGW	05:00	23:30	01:00	3.159 m	45 m	A380
LHR	04:30	23:00	01:00	3.902 m	45 m	A380
LIN	06:30	23:00	01:00	2.440 m	60 m	747-400D
LPA	05:00	00:00	01:00	3.100 m	45 m	747-400D
MAD	24 h		00:45	4.350 m	60 m	A380
MUC	05:00	00:00	00:30	4.000 m	60 m	A380
NCE	24 h		01:00	2.960 m	45 m	A380
ORY	06:00	23:00	00:35	3.650 m	45 m	A380
PMI	03:45	23:30	01:00	3.000 m	45 m	A380
PMO	06:00	23:00	01:00	3.326 m	60 m	747-400D
SAW	05:30	01:00	00:45	3.000 m	45 m	747-400D
TFN	07:00	23:00	01:00	3.400 m	45 m	747-400D
TLS	03:00	23:00	01:00	3.500 m	75 m	A380
TXL	06:00	23:00	00:45	3.023 m	46 m	A380
VIE	05:00	00:15	00:25	3.600 m	45 m	A380
ZRH	06:00	23:30	01:00	3.700 m	60 m	A380
MIN	03:00	23:00	00:25	2.435 m	45 m	747-400D
MAX	07:00	01:30	01:10	4.350 m	75 m	A380

Tabelle 6: Flughäfen - MCT, Flugbetriebszeiten, Bahnsystem Überblick

Als problematisch kann sich die Einhaltung der Flugbetriebszeiten des Flughafens *Teneriffa Nord* (TFN) gestalten. Unter Berücksichtigung der Zeitverschiebung und dem Beginn der frühesten Abflugmöglichkeit um 7:00 Uhr besteht keine Option, dass der Flug auf dem zugehörigen Hub, dem Flughafen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD), innerhalb der Morgen-Zeitzone landet. Aus diesem Grund besteht lediglich die Möglichkeit, diesen Flug außerhalb des ersten Zeitintervalls einzutakten, wenn keine Nachtflugrestriktionen verletzt werden sollen.

Bei der *minimum connect time* (MCT) wurden ausschließlich die kleinsten Umsteigezeiten ausgewählt. Beispielsweise variiert die MCT auf dem Münchner Flughafen in Abhängigkeit des Terminals in dem der erste Flug ankommt und in welchem Terminal der Weiterflug stattfindet.⁸⁰ Die kleinste Umsteigezeit von 30 Minuten kann erreicht werden, wenn der Transfer innerhalb des Terminal 1 stattfindet. 35 Minuten beträgt sie innerhalb des Terminals 2 und 40 Minuten, wenn zwischen den beiden Terminals gewechselt werden muss. Mit dieser minimalen Umsteigezeit von 30 Minuten befindet sich der Münchner Flughafen auf dem zweiten Rang. Lediglich der Wiener Flughafen (VIE) besitzt noch eine geringere MCT mit 25 Minuten. Die schlechteste *minimum connect time* besitzt der Flughafen *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG). Sie beträgt bestenfalls 70 Minuten, falls der Wechsel innerhalb des gleichen Terminals stattfindet.⁸¹ Würde ein Terminalwechsel notwendig sein, müssten 01:30 h als Minimum eingeplant werden. Zudem gelten diese Zeiten nur, wenn der Reisende bereits ein Ticket zur Zieldestination besitzt und das Gepäck ebenfalls bis dahin durchgebucht wurde. Aus dem Grund, dass die jeweilige MCT eingehalten werden kann, wird wie bereits in der Fallbeschreibung erläutert, nachfolgend von einem „Ein-Airline-Fall“ ausgegangen. Zudem wird unterstellt, dass sämtliche Flugzeuge nur an einem Terminal

⁸⁰ Vgl. Flughafen München GmbH (2017b).

⁸¹ Vgl. Bruno, C. (2018).

abgefertigt werden. Die Abfertigungsmöglichkeiten für den Airbus A380 werden als gegeben betrachtet, falls diese Maschine in der Vergangenheit den Flughafen angefliegen hat.

Gemäß der 4F Kategorisierung des Airbus A380 würden lediglich drei Flughäfen den Anforderungen der ICAO mit ihren Runway-Dimensionen entsprechen. Dies wären die beiden deutschen Flughäfen *Frankfurt am Main* (FRA) und *München* (MUC) und der spanische Flughafen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD). Entsprechend den Interimsanforderungen käme nur noch der Flughafen *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) hinzu. Die Einzelfalluntersuchung, anhand der Historie und mittels des aktiven Routeneinsatzes des Airbus A380, hat jedoch ergeben, dass dieser auf mehr als der Hälfte der Flughäfen starten und landen darf. Dies sind 19 der insgesamt 33 Flughäfen, die im Flugnetz eingegliedert sind. Die kleinste Start- und Landebahn, auf dem ein A380 landet, besitzt dabei der Flughafen *Nice Côte d'Azur* (NCE).⁸² Dessen längste Runway 04R/22L des Parallelbahnsystems ist dabei 2.960m lang und 45m breit.⁸³ Andere Flughäfen besitzen zwar deutlich längere Bahnen, da jedoch bis dato der Einsatz des Airbus A380 auf ihnen nicht erfolgt ist, ist anzunehmen, dass keine Sonderregelung erteilt wurde. Somit kann davon auch nicht in der nachfolgenden Informationsverwertung ausgegangen werden, weshalb lediglich die Boeing 747-400 Domestic als größtes Passagierflugzeug eingeplant werden kann.

Im Hinblick auf die nachfolgende Informationsverwertung werden die allgemeinen Annahmen getroffen, dass wenn der Airbus A380 auf einem speziellen Flughafen starten und landen kann, dann können dies auch andere große Flugzeugtypen sowie auch kleinere. Eine gesonderte Überprüfung erfolgt dann nicht. Anders ist dies der Fall, wenn die Boeing 747-400 Domestic als größtmöglicher Flugzeug nutzbar ist. Ihre Verwendung schließt nicht ein, dass andere große Flugzeugtypen genutzt werden können. Dann muss gegebenenfalls geprüft werden, ob der jeweilige Flugzeugtyp auf der entsprechenden Bahn genutzt werden kann.

2.12. Fazit

Die vorliegende Arbeit zeigte eine Möglichkeit auf, die Anzahl der Flugbewegungen zu reduzieren bei Erhalt einer angemessenen oder sogar verbesserten Verbindungsgüte. Durch die im Anhang dargestellten zeitlichen Koordinierungen der Flugbewegungen und durch den Einsatz größerer Maschinen zu den entsprechenden Bedarfszeiten wird eine Reduktion der Zahl der Flugbewegungen ermöglicht, die erhebliche derzeit gebundene Kapazitäten freisetzt. In welcher Weise die jeweiligen Maschinen schlussendlich eingetaktet, an bestehende Verkehrswellen angepasst oder die genutzten Zeitintervalle übernommen oder geändert werden, obliegt den entsprechenden Entscheidungsträgern.

Die in der Arbeit getroffenen Annahmen näherten sich innerhalb der drei Fallunterscheidungen immer weiter der gegenwärtigen Situation an. In der Konsequenz könnte das vorgestellte Flugnetz tatsächlich schrittweise so implementiert werden, wie hier vorstellt. Es müssten nur die behördlichen Vorgaben getroffen oder entsprechende Verhaltensanreize geschaffen werden.

⁸² Vgl. The Emirates Group (2018).

⁸³ Vgl. World Aero Data (2018a).

Wie bereits erwähnt, sind die vorgeschlagenen Flugzeugtypen lediglich als Empfehlung hinsichtlich der Größe anzusehen. Sie wurden zur *Veranschaulichung* der Realisierbarkeit mit einer größtmöglichen Sitzauslastung ausgewählt. Die Problematik der Dauerbeschäftigung der Flugzeuge und deren Anpassung konnte zum Teil durch die Option der Routenwechsel umgesetzt werden. Ein einheitlicher Flugzeugtyp mit einer übereinstimmenden und ausreichenden Sitzplatzanordnung würde diesen Wechsel erleichtern und die Dauerauslastung verbessern. Allerdings existieren auf den diversen Strecken sehr unterschiedliche Passagierzahlen. Demnach würde es sich anbieten, eine Kategorisierung der Flugzeuggrößen vorzunehmen, beispielsweise in die drei Klassen groß, mittel und klein. Die große Klasse würde eine Sitzplatzanzahl von 441 bis 853 innehaben. Die zweite Klasse würde sich von 241 bis 440 Sitzplätzen erstrecken. In der letzten Kategorie werden nur maximal 240 Sitzplätze benötigt. Eine weitere Aufgliederung der Kategorien wäre ebenfalls denkbar. Sie würde zwar den Routenwechsel der Flugzeuge erschweren, aber die Sitzauslastung erhöhen. Ein weiterer Vorteil der Kategorisierung der Flugzeugtypen in drei Klassen wäre die mögliche Verteilung der Reisenden über den Tagesverlauf hinweg. Der Einsatz eines größeren Flugzeugtyps würde zwar zu weniger nachgefragten Zeiten die Sitzauslastung verringern, aber zu Spitzenzeiten würde eine ausreichende Kapazität vorhanden sein. Dadurch könnte zudem die Annahme der relativen Gleichverteilung der Nachfrage an Sitzplätzen über den Tagesverlauf hinweg relativiert werden.

3 Anlagen

3.1 Strecken und Ist-Flugdaten am Stichtag

Die folgenden Tabellen enthalten alle in das Flugnetz einbezogenen Strecken mit den verfügbaren Daten hinsichtlich Passagieraufkommen, Flugbewegungen und Auslastungen an dem Stichtag, an dem die Daten erhoben wurden. Die Strecken sind nach den Hubs sortiert, und die Hubs werden in alphabetischer Reihenfolge geordnet. Die an den jeweiligen Hubs hängenden Verbindungen werden kurz vorgestellt und die wichtigsten Eigenschaften der Strecken näher erläutert.

Allgemein beinhaltet die Flugzeit bereits die Zeitverschiebung. Beispielsweise beträgt die kürzeste Flugzeit der Verbindung *Amsterdam Schiphol (AMS) – London Gatwick (LGW)* reell 01:10 h und in der Gegenrichtung 01:20 h. Nachfolgend werden diese Zeiten mit 00:10 h und 02:20 h angegeben. Der Grund dafür ist, dass die Ankunftszeit am jeweiligen Flughafen bei der späteren Optimierung entscheidend ist.

Der Flughafen *Amsterdam Schiphol (AMS)* besitzt insgesamt acht Flugverbindungen. Er ist der einzige Hub in dem Streckennetz, der ausschließlich Verbindungen zu anderen Hubs besitzt. Der erste Spoke wäre *Dublin (DUB)* gewesen. Diese Route nutzten 2016 jedoch nur lediglich knapp über 900.000 Passagiere. Der Flughafen *Dublin* ist allerdings schon an die beiden britischen Flughäfen *London Heathrow (LHR)* und *London Gatwick (LGW)* angebunden. Da das Ziel besteht, die Flugbewegungen zu reduzieren, wurde Dublin nicht mit dem Flughafen *Amsterdam Schiphol* vernetzt.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
AMS	BCN	02:10	2.066	90%	12	172	1.305.45 1	8.079	1.458.43 9
BCN	AMS	02:30	1.998	88%	12	167	1.307.90 2	8.057	1.481.60 5
AMS	CDG	01:15	1.889	84%	12	157	1.187.33 9	8.666	1.415.07 5
CDG	AMS	01:10	1.836	80%	12	153	1.183.29 8	8.691	1.483.04 1
AMS	FCO	02:10	1.614	87%	10	161	1.099.07 6	7.317	1.264.55 8
FCO	AMS	02:25	1.574	85%	10	157	1.098.61 0	7.425	1.286.39 0
AMS	FRA	01:05	1.242	80%	12	104	817.514	8.177	1.019.81 5
FRA	AMS	01:05	1.260	81%	12	105	814.640	8.158	1.004.35 8
AMS	LGW	00:10	1.375	89%	12	115	1.073.46 0	7.288	1.207.20 5
LGW	AMS	02:20	1.343	87%	12	112	1.050.88 6	7.280	1.269.39 5
AMS	LHR	00:15	2.333	84%	18	130	1.617.17 0	13.09 1	1.921.83 4

LHR	AMS	02:10	2.393	81%	17	141	1.616.71 4	13.08 4	1.985.71 5
AMS	MAD	02:35	1.407	86%	9	156	992.455	6.509	1.157.32 7
MAD	AMS	02:30	1.373	84%	9	153	1.000.51 7	6.500	1.187.96 4
AMS	MUC	01:20	1.700	84%	14	121	809.887	5.946	960.184
MUC	AMS	01:30	1.665	81%	14	119	814.026	5.938	1.001.64 0
	Min	00:10	1.242	80%	9	104	809.887	5.938	960.184
	Mittelwert	01:40	1.692	84%	12	139	1.111.80 9	8.138	1.319.03 4
	Max	02:35	2.393	90%	18	172	1.617.17 0	13.09 1	1.985.71 5

Tabelle 7: Verbindungen Hub Amsterdam Schiphol

Der kritische Pfad bildet die Route zum spanischen Flughafen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) mit einer Flugzeit von 02:35 h. Die längste Flugzeit zum Flughafen Amsterdamer Flughafen, mit 02:30 h, wird ebenfalls von Madrid ausgehend benötigt, sowie auch vom Flughafen *Barcelona-El Prat* (BCN).

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
BCN	AMS	02:30	1.998	88%	12	167	1.307.90 2	8.057	1.481.60 5
AMS	BCN	02:10	2.066	90%	12	172	1.305.45 1	8.079	1.458.43 9
BCN	CDG	01:55	1.765	87%	12	147	1.268.86 6	8.514	1.459.37 6
CGD	BCN	01:40	1.800	85%	12	150	1.268.29 0	8.578	1.500.66 3
BCN	FCO	01:45	1.570	87%	10	157	1.319.18 7	8.217	1.519.29 1
FCO	BCN	01:45	1.570	87%	10	157	1.315.86 8	8.279	1.513.97 9
BCN	FRA	02:10	1.204	88%	7	172	1.016.71 2	6.151	1.151.09 6
FRA	BCN	02:00	1.180	87%	7	169	1.008.70 9	6.147	1.165.43 3
BCN	IBZ	00:55	1.116	83%	7	159	1.017.49 2	6.912	1.231.98 7
IBZ	BCN	00:55	1.116	83%	7	159	1.017.49 2	6.912	1.231.98 7
BCN	LGW	01:10	1.891	82%	13	145	1.362.48 8	9.092	1.659.03 0
LGW	BCN	03:00	1.891	82%	13	145	1.347.99 0	9.388	1.593.55 3
BCN	LHR	01:15	839	80%	7	120	745.996	5.544	935.457
LHR	BCN	03:05	831	79%	7	119	745.963	5.543	944.538

BCN	MAD	01:15	4.249	77%	28	152	2.328.726	15.666	3.039.379
MAD	BCN	01:15	3.546	77%	24	148	2.328.726	15.666	3.039.379
BCN	MUC	02:00	1.073	84%	7	153	775.410	5.067	925.992
MUC	BCN	02:05	1.087	83%	7	155	769.209	5.072	923.968
BCN	ORY	01:50	1.641	84%	10	164	1.017.410	6.466	1.215.583
ORY	BCN	01:35	1.603	82%	10	160	1.005.468	6.437	1.224.433
BCN	PMI	00:45	2.788	77%	19	147	1.772.613	12.575	2.261.213
PMI	BCN	00:50	2.788	77%	19	147	1.772.613	12.575	2.261.213
	Min	00:45	831	77%	7	119	745.963	5.067	923.968
	Mittelwert	01:43	1.801	83%	12	153	1.264.481	8.406	1.533.527
	Max	03:05	4.249	90%	28	172	2.328.726	15.666	3.039.379

Tabelle 8: Verbindungen Hub Barcelona-El Prat (BCN)

Der zweitgrößte spanische Flughafen *Barcelona-El Prat* (BCN) besitzt insgesamt elf Verbindungen innerhalb des Flugnetzes. Die Route BCN – MAD befindet sich auf Rang vier der passagierreichsten Verbindungen innerhalb des erstellten Flugnetzes. Die unterschiedlichen Werte, die in der Spalte „PAX/Tag berechnet“ für den Hin- und Rückflug auf dieser Strecke auftreten, resultieren aus einer unterschiedlichen Fluggesamtzahl. Diese Differenz stellt allerdings die Ausnahme dar. Die Tatsache, dass die Werte „PAX 2016“, „Flüge 2016“ und die „verfügbaren Sitze“ absolut identisch sind, lässt auf einen Fehler in der *Eurostat*-Statistik hindeuten. Er kommt zum Teil mehrfach vor, jedoch beeinflusst dieser Fehler die weitere Verwertung der Informationen nicht.

Von den beiden Spokes stellt die Route *Barcelona-El Prat* (BCN) – *Ibiza* (IBZ) innerhalb dieses Flugnetzes eine Besonderheit dar. Denn die Anbindung der Baleareninsel an das Netz ist ausschließlich über Barcelona möglich. Die Verbindung MAD – IBZ nutzten 2016 zu wenig Reisende. Deswegen ist es nicht sinnvoll, sie in das Netz einzugliedern. Aus diesem Grund muss in der sich anschließenden Informationsverwertung darauf geachtet werden, dass diese Verbindung zeitlich so eingetaktet wird, dass sämtliche Anschlussflüge erreicht werden können. Es muss zudem berücksichtigt werden, dass die Flüge, die nach Ibiza stattfinden sollen, so eingebunden werden, dass sie von den anderen, in Barcelona ankommenden Flügen aus, genutzt werden können.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzauslastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
CDG	AMS	01:10	1.836	80%	12	153	1.183.298	8.691	1.483.041
AMS	CDG	01:15	1.889	84%	12	157	1.187.339	8.666	1.415.075
CGD	BCN	01:40	1.800	85%	12	150	1.268.290	8.578	1.500.663

BCN	CDG	01:55	1.765	87%	12	147	1.268.86 6	8.514	1.459.37 6
CGD	FCO	02:00	1.281	77%	10	128	1.140.97 3	8.388	1.483.04 9
FCO	CDG	02:10	1.281	77%	10	128	1.132.98 4	8.294	1.473.57 7
CDG	FRA	01:45	1.425	71%	14	102	906.148	9.084	1.277.21 9
FRA	CDG	01:10	1.380	73%	14	99	906.005	9.073	1.232.99 0
CDG	LHR	00:15	1.615	77%	14	115	1.209.15 8	9.691	1.575.32 1
LHR	CDG	02:15	1.530	74%	14	109	1.144.02 3	9.690	1.543.74 4
CDG	MAD	02:05	1.616	85%	11	147	1.039.09 7	7.184	1.227.91 2
MAD	CDG	02:00	1.636	86%	11	149	1.045.06 9	7.168	1.217.54 9
CDG	MUC	01:25	1.418	69%	13	109	860.548	7.962	1.249.19 5
MUC	CDG	01:30	1.501	73%	13	115	860.180	7.958	1.178.33 8
CGD	NCE	01:30	1.157	86%	8	145	852.579	5.849	990.602
NCE	CDG	01:35	1.157	86%	8	145	850.613	5.849	988.526
CDG	TLS	01:20	1.347	83%	9	150	901.718	5.724	1.088.17 1
TLS	CDG	01:30	1.281	80%	9	142	898.718	5.716	1.119.13 5
	Min	00:15	1.157	69%	8	99	850.613	5.716	988.526
	Mittelwert	01:35	1.495	80%	11	133	1.036.42 3	7.893	1.305.74 9
	Max	02:15	1.889	87%	14	157	1.268.86 6	9.691	1.575.32 1

Tabelle 9: Verbindungen Paris-Charles-de-Gaulle (CDG)

Der Flughafen *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) ist der größte französische Flughafen. In dem erstellten Flugnetz besitzt er insgesamt neun Verbindungen. Sieben davon sind in das grundlegende Hub-Netz eingebunden. Zwei Verbindungen unterhält er zu Spokes. Die Gründe für deren Anschluss an CDG wurden bereits oben erläutert. Bei der zeitlichen Taktung dieser zwei Spoke-Verbindungen muss selbiges beachtet werden, wie zum Beispiel bei der Verbindung BCN – IBZ.

Den kritischen Pfad des Pariser Primärhubs bildet die Verbindung von und nach *Rom-Fiumicino* (FCO), welcher nachfolgend dargestellt wird. Die Flugdauer von FCO nach CDG beläuft sich auf 02:10 h und in der Gegenrichtung auf 2 Stunden. Ebenfalls wenig Raum für verspätete Ankünfte bietet die Verbindung CDG – MAD, mit 02:05 h sowie 2 Stunden Flugzeit. An diesen Routen müssen die Verbindungen ausgerichtet werden die keine eigene direkte Verbindung zu diesen Destinationen besitzen. Dies sind im Fall von CDG dessen Spokes *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE).

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfüg- b. Sitze
FCO	AMS	02:25	1.574	85%	10	157	1.098.610	7.425	1.286.390
AMS	FCO	02:10	1.614	87%	10	161	1.099.076	7.317	1.264.558
FCO	BCN	01:45	1.570	87%	10	157	1.315.868	8.279	1.513.979
BCN	FCO	01:45	1.570	87%	10	157	1.319.187	8.217	1.519.291
FCO	CDG	02:10	1.281	77%	10	128	1.132.984	8.294	1.473.577
CGD	FCO	02:00	1.281	77%	10	128	1.140.973	8.388	1.483.049
FCO	CTA	01:15	2.810	83%	19	148	2.047.274	13.782	2.471.961
CTA	FCO	01:20	2.907	85%	19	153	1.998.352	13.452	2.343.103
FCO	FRA	01:30	886	75%	7	127	693.567	5.357	927.342
FRA	FCO	01:45	907	77%	7	130	692.315	5.354	899.901
FCO	LHR	01:50	1.092	77%	9	121	987.509	7.036	1.276.426
LHR	FCO	03:30	1.119	77%	9	124	989.031	7.039	1.290.462
FCO	LIN	01:10	2.442	73%	27	90	1.188.538	13.270	1.631.690
LIN	FCO	01:10	2.404	73%	27	89	1.189.090	13.350	1.189.090
FCO	MAD	02:35	1.554	81%	10	155	1.108.345	7.206	1.361.312
MAD	FCO	02:25	1.529	80%	10	153	1.107.080	7.186	1.383.806
FCO	MUC	01:30	1.030	77%	8	129	711.495	5.522	928.045
MUC	FCO	01:30	998	78%	8	125	710.085	5.527	914.537
FCO	PMO	01:05	1.989	82%	14	142	1.595.980	10.866	1.956.089
PMO	FCO	01:10	1.967	81%	14	141	1.543.462	10.555	1.899.969
	Min	01:05	886	73%	12	89	692.315	5.354	899.901
	Mittelwert	01:48	1.626	80%	12	136	1.183.441	8.671	1.450.729
	Max	03:30	2.907	87%	27	161	2.047.274	13.782	2.471.961

Tabelle 10: Verbindungen Rom-Fiumicino (FCO)

Der italienische Flughafen *Rom-Fiumicino* (FCO) besitzt insgesamt zehn Verbindungen, wovon sieben zum Hub-Netz gehören. Die restlichen drei sind Inlandsrouten. Eine führt in den Norden Italiens, nach *Mailand-Linate* (LIN) und zwei nach Sizilien, nach *Catania-Fontanarossa* (CTA) und *Palermo-Punta Raisi* (PMO). Wobei sich die Verbindung zwischen FCO und CTA auf Platz 9 der passagierreichsten Routen innerhalb Europas befindet.

Mit einer Reisezeit von 02:50 h bildet die Strecke *Rom-Fiumicino (FCO) – London Heathrow (LHR)* den kritischen Weg. Innerhalb der Zeitintervalle wird diese Verbindung schwierig zu realisieren. Unter Einhaltung der *minimum connecting time* (MCT) der beiden Flughäfen und unter Berücksichtigung der Zeitverschiebung dauert ein Gesamtturnus insgesamt 07:05 h. Die Zeitspanne zweier Intervalle beträgt 8 Stunden. Zudem muss auf beiden Flughäfen, FCO sowie LHR, die Abstimmung mit deren anderen Flugverbindungen beachtet und gegebenenfalls zeitlich angepasst werden.

Bei der Strecke *Rom-Fiumicino (FCO) – Mailand-Linate (LIN)* tritt ein Fehler im *Eurostat* Datensatz auf. Die Gesamtpassagierzahlen aus dem Jahr 2016 und die verfügbaren Sitzplätze sind identisch. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Zahl der verfügbaren Sitzplätze zu niedrig ist, da die Anzahl der beförderten Passagiere ungefähr deckungsgleich mit der der Gegenroute FCO – LIN ist. Dieser Umstand hätte einen Sitzladefaktor von exakt 100% ergeben, was als unrealistisch erachtet wird. Auf Grund dieser Tatsache wird für die Strecke LIN – FCO der Sitzladefaktor der Gegenrichtung FCO – LIN von 73% angenommen.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
FRA	AMS	01:05	1.260	81%	12	105	814.640	8.158	1.004.358
AMS	FRA	01:05	1.242	80%	12	104	817.514	8.177	1.019.815
FRA	BCN	02:00	1.180	87%	7	169	1.008.709	6.147	1.165.433
BCN	FRA	02:10	1.204	88%	7	172	1.016.712	6.151	1.151.096
FRA	CDG	01:10	1.380	73%	14	99	906.005	9.073	1.232.990
CDG	FRA	01:45	1.425	71%	14	102	906.148	9.084	1.277.219
FRA	FCO	01:45	907	77%	7	130	692.315	5.354	899.901
FCO	FRA	01:30	886	75%	7	127	693.567	5.357	927.342
FRA	HAM	01:05	2.484	75%	18	138	1.372.185	10.714	1.825.939
HAM	FRA	01:10	2.414	75%	18	134	1.371.690	10.678	1.825.098
FRA	IST	05:00	906	74%	6	151	795.482	5.624	1.069.056
IST	FRA	01:10	906	74%	6	151	797.587	5.611	1.072.324
FRA	LHR	00:35	2.006	67%	18	111	1.486.291	12.739	2.079.349
LHR	FRA	02:40	2.120	71%	18	118	1.493.899	12.736	2.221.050
FRA	MAD	02:35	1.656	81%	11	151	1.061.646	7.156	1.269.734
MAD	FRA	02:30	1.666	84%	11	151	1.052.260	7.151	1.296.707
FRA	MUC	01:00	1.968	70%	15	131	1.128.915	9.736	1.614.425

MUC	FRA	00:55	1.924	70%	15	128	1.129.13 9	9.723	1.615.51 8
FRA	TXL	01:10	3.388	76%	23	147	1.935.46 5	14.16 3	2.540.83 9
TXL	FRA	01:10	3.412	76%	23	148	1.935.72 7	14.15 5	2.543.00 7
FRA	VIE	01:20	1.839	74%	13	141	1.163.47 1	8.990	1.565.55 0
VIE	FRA	01:25	1.873	75%	13	144	1.165.42 2	8.905	1.558.13 9
FRA	ZRH	00:50	1.163	69%	10	116	646.630	6.965	942.526
ZRH	FRA	01:10	1.163	69%	10	116	645.983	6.862	939.292
	Min	00:35	886	67%	6	99	645.983	5.354	899.901
	Mittelwert	01:35	1.682	76%	13	133	1.084.89 2	8.725	1.444.02 9
	Max	05:00	3.412	88%	23	172	1.935.72 7	14.16 3	2.543.00 7

Tabelle 11: Verbindungen Frankfurt am Main (FRA)

Der größte deutsche Flughafen *Frankfurt am Main* (FRA) besitzt mit insgesamt zwölf Destinationen die größte Verflechtung innerhalb des Flugnetzes. Lediglich der nachfolgend noch beschriebene Flughafen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) weist ebenfalls zwölf Verbindungen auf.

Der Frankfurter Flughafen verfügt zudem über die einzige Flugverbindung zum Flughafen *Istanbul-Atatürk* (IST). Die damit zusammenhängenden verbindungstechnischen Aspekte wurden bereits oben erläutert. Durch die Flugzeit tritt bei der Verbindung FRA – IST die gleiche Problematik auf, wie bei der Verbindung FCO – LHR. Der Gesamtturnus, inklusive der MCTs der beiden Flughäfen und unter der Beachtung der Zeitverschiebung, beträgt in diesem Fall 08:10 h. Er überschreitet dementsprechend die Dauer zweier Zeitintervalle. Aus diesem Grund wird diese Verbindung gesondert betrachtet und versucht, so in die Zeitplanung einzugliedern, dass dennoch gute Verbindungsmöglichkeiten realisierbar sind. Den neuen, sich daraus ergebenden kritischen Pfad stellt demnach die Verbindung FRA – MAD dar.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
IST	ADA	01:30	2.211	84%	14	158	1.478.57 0	10.16 1	1.762.51 8
ADA	IST	01:35	2.211	84%	14	158	1.478.28 0	10.15 8	1.761.93 4
IST	ADB	01:00	5.461	86%	33	165	3.296.16 6	19.82 6	3.825.43 9
ADB	IST	01:00	5.421	86%	33	164	3.295.91 3	19.81 3	3.822.66 5
IST	AYT	01:10	2.833	82%	18	157	2.325.32 9	14.65 1	2.824.43 8
AYT	IST	01:10	2.731	82%	17	161	2.321.30 9	14.62 7	2.820.06 1

IST	ESB	01:05	3.572	80%	22	162	1.998.156	13.697	2.492.765
ESB	IST	01:10	3.572	80%	22	162	1.996.639	13.688	2.490.985
IST	FRA	01:10	906	74%	6	151	797.587	5.611	1.072.324
FRA	IST	05:00	906	74%	6	151	795.482	5.624	1.069.056
	Min	01:00	906	74%	6	151	795.482	5.611	1.069.056
	Mittelwert	01:35	2.982	81%	19	159	1.978.343	12.786	2.394.219
	Max	05:00	5.461	86%	33	165	3.296.166	19.826	3.825.439

Tabelle 12: Verbindungen Istanbul-Atatürk (IST)

Der Flughafen *Istanbul-Atatürk* (IST) weist in dem erstellten Flugnetz lediglich fünf Verbindungen auf. Zwei dieser Routen gehören zu den Top fünf der passagierreichsten Strecken Europas. Er ist, wie bereits zuvor genannt, lediglich durch den Frankfurter Hub mit dem restlichen Teil der Flughäfen verbunden. Aus diesem Grund müssen seine vier Spoke-Verbindungen zeitlich genauso abgestimmt werden, dass diese Anschlussmöglichkeit nach *Frankfurt am Main* (FRA) realisierbar ist. Ebenso müssen die Passagiere, welche aus FRA kommen, die Spoke-Flüge erreichen können. Diese Abstimmung aufeinander könnte jedoch zu Problemen hinsichtlich der *maximum available connect time* (MACT) führen. Die Passagiere, die Istanbul für den Transfer zwischen zwei türkischen Flughäfen nutzen, könnten die Verbindungsqualität als schlecht erachten, angesichts langer Wartezeiten durch die Abstimmung auf die Frankfurter Flüge. Eine genauere Betrachtung dieser Problematik erfolgt im Kapitel der Informationsverarbeitung.

Aber auch aufgrund der großen Anzahl an Passagieren auf der meistgefliegenen Verbindung Europas, zwischen *Istanbul-Atatürk* (IST) und *Izmir-Adnan Menderes* (ADB), werden zusätzliche Flugzeuge eingesetzt werden müssen. Diese gehen mit einer größeren Anzahl an Flugbewegungen einher. Gesamttechnisch betrachtet ergibt sich allerdings immer noch eine geringere Anzahl an Flügen, als die derzeitigen 35 Flüge, welche am Stichtag ermittelt wurden.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
LGW	AMS	02:20	1.343	87%	12	112	1.050.886	7.280	1.269.395
AMS	LGW	00:10	1.375	89%	12	115	1.073.460	7.288	1.207.205
LGW	BCN	03:00	1.891	82%	13	145	1.347.990	9.388	1.593.553
BCN	LGW	01:10	1.891	82%	13	145	1.362.488	9.092	1.659.030
LGW	DUB	01:20	2.098	82%	14	150	1.307.020	8.689	1.589.063

DUB	LGW	01:25	2.302	90%	14	164	1.426.29	7	8.675	1.587.12	0
LGW	EDI	01:25	1.068	82%	8	134	700.391	5.336	851.001		
EDI	LGW	01:25	1.068	82%	8	134	702.047	5.344	853.097		
LGW	MAD	03:20	1.344	79%	10	134	947.446	7.008	1.202.00		9
MAD	LGW	01:20	1.412	83%	10	141	1.000.63	6	6.997	1.209.66	8
	Min	00:10	1.068	79%	8	112	700.391	5.336	851.001		
	Mittelwert	01:41	1.579	84%	11	137	1.091.86	6	7.510	1.302.11	4
	Max	03:20	2.302	90%	14	164	1.426.29	7	9.388	1.659.03	0

Tabelle 13: Verbindungen London Gatwick (LGW)

Der Flughafen *London Gatwick* (LGW) ist der kleinere der beiden britischen Hubs. Er besitzt fünf Verbindungen innerhalb des Flugnetzes. Diese geringe Anzahl resultiert daraus, dass er eher als Sekundärhub angesehen wird. Aufgrund dieser Einordnung ist er nicht so stark in das grundlegende Hub-Netz eingebunden und fungiert eher als Hub zwischen den Spokes. Trotzdem besitzt er Routen mit über einer Million Passagieren pro Jahr zu anderen großen Hubs, worauf er die Verbindungen seiner Spokes abstimmen muss. So zum Beispiel auf den kritischen Weg mit der Verbindung nach Madrid.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
LHR	AMS	02:10	2.393	81%	17	141	1.616.71	13.08	1.985.71
							4	4	5
AMS	LHR	00:15	2.333	84%	18	130	1.617.17	13.09	1.921.83
							0	1	4
LHR	BCN	03:05	831	79%	7	119	745.963	5.543	944.538
BCN	LHR	01:15	839	80%	7	120	745.996	5.544	935.457
LHR	CDG	02:15	1.530	74%	14	109	1.144.02	3	9.690
							1.209.15		1.543.74
CDG	LHR	00:15	1.615	77%	14	115	8	9.691	1.575.32
							1.750.74	13.54	2.262.72
LHR	DUB	01:15	2.332	77%	19	123	2	0	0
DUB	LHR	01:15	2.553	83%	19	134	3	7	2.263.34