



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
Stand: 17. Januar 2019

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. Besonderer Dank gebührt Frau Uta Martin für die Bewältigung des Manuskriptes..

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.....	10
1.4.3	Reisendenverhalten.....	10
1.5	Umsetzung und Start der Reformen.....	11
2	Die Untersuchung.....	12
2.1	Datenerhebung.....	13
2.2	Hub- und Spokes-System.....	17
2.3	Minimum Connect Time (MCT).....	18
2.4	Maximum Available Connect Time (MACT).....	18
2.5	Verkehrswellenstruktur.....	18
2.6	Zeitzonekonzept.....	21
2.7	Netzplantechnik.....	22
2.8	Flugnetzerstellung.....	23
2.9	Flugroutenfestlegung.....	27
2.10	Flugzeuggrößen und Bahnanforderungen.....	30
2.11	Flughafeninfrastruktur.....	32
2.12	Fazit.....	34
3	Anlagen.....	36
3.1	Strecken und Ist-Flugdaten am Stichtag.....	36
3.2	Optimierte Flugpläne.....	47
3.3	Frankfurt am Main (FRA).....	49
3.3.1	Frankfurt - Amsterdam.....	51
3.3.2	Frankfurt – Barcelona.....	52
3.3.3	Frankfurt – Paris-Charles-de-Gaulle.....	53
3.3.4	Frankfurt – Rom-Fiumicino.....	54
3.3.5	Frankfurt – Hamburg.....	55

3.3.6	Frankfurt – Istanbul-Atatürk.....	56
3.3.7	Frankfurt – London Heathrow.....	57
3.3.8	Frankfurt – Adolfo Suárez Madrid-Barajas	58
3.3.9	Frankfurt – München.....	59
3.3.10	Frankfurt – Berlin Tegel	60
3.3.11	Frankfurt – Wien.....	61
3.3.12	Frankfurt – Zürich.....	62
3.4	Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD)	63
3.4.1	Madrid – Amsterdam	65
3.4.2	Madrid – Barcelona	66
3.4.3	Madrid – Paris-Charles-de-Gaulle.....	67
3.4.4	Madrid – Rom-Fiumicino	68
3.4.5	Madrid – London Gatwick.....	69
3.4.6	Madrid – London Heathrow.....	70
3.4.7	Madrid – Las Palmas de Gran Canaria	71
3.4.8	Madrid – München.....	72
3.4.9	Madrid – Paris-Orly.....	73
3.4.10	Madrid – Palma de Mallorca.....	74
3.4.11	Madrid – Tenerife Norte.....	75
3.5	Barcelona El Prat (BCN)	76
3.5.1	Barcelona – Amsterdam.....	78
3.5.2	Barcelona – Paris-Charles-de-Gaulle	79
3.5.3	Barcelona – Rom-Fiumicino	80
3.5.4	Barcelona – Ibiza.....	81
3.5.5	Barcelona – London Gatwick	82
3.5.6	Barcelona – London Heathrow.....	83
3.5.7	Barcelona – München	84
3.5.8	Barcelona – Paris-Orly.....	85
3.5.9	Barcelona – Palma de Mallorca	86
3.6	München (MUC)	87
3.6.1	München – Amsterdam	89
3.6.2	München – Paris-Charles-de-Gaulle.....	90
3.6.3	München – Düsseldorf.....	91

3.6.4	München – Rom-Fiumicino	92
3.6.5	München – Hamburg	93
3.6.6	München – London Heathrow	94
3.6.7	München – Berlin Tegel	95
3.7	Rom-Fiumicino (FCO)	96
3.7.1	Rom-Fiumicino – Amsterdam	98
3.7.2	Rom-Fiumicino – Paris-Charles-de-Gaulle	99
3.7.3	Rom-Fiumicino – Catania	100
3.7.4	Rom-Fiumicino – London Heathrow.....	101
3.7.5	Rom-Fiumicino – Mailand-Linate.....	102
3.7.6	Rom-Fiumicino – Palermo-Punta Raisi	103
3.8	London Heathrow (LHR).....	104
3.8.1	London Heathrow – Amsterdam.....	106
3.8.2	London Heathrow – Paris-Charles-de-Gaulle.....	107
3.8.3	London Heathrow – Dublin.....	108
3.8.4	London Heathrow – Edinburgh	109
3.8.5	London Heathrow – Zürich.....	110
3.9	London Gatwick (LGW).....	111
3.9.1	London Gatwick – Amsterdam.....	112
3.9.2	London Gatwick – Dublin.....	113
3.9.3	London Gatwick – Edinburgh	114
3.10	Paris-Charles-de-Gaulle (CDG).....	115
3.10.1	Paris-Charles-de-Gaulle – Amsterdam	117
3.10.2	Paris-Charles-de-Gaulle – Nice Côte d’Azur	118
3.10.3	Paris-Charles-de-Gaulle – Toulouse-Blagnac.....	119
3.11	Paris Orly (ORY).....	120
3.11.1	Paris Orly – Nice Côte d’Azur.....	121
3.11.2	Paris Orly – Toulouse-Blagnac	122
3.12	Berlin Tegel (TXL).....	123
3.12.1	Berlin Tegel – Köln/Bonn	124
3.12.2	Berlin Tegel – Düsseldorf.....	125
3.12.3	Berlin Tegel – Zürich	126
3.13	Istanbul-Atatürk (IST)	127

3.13.1	Istanbul-Atatürk – Adana.....	128
3.13.2	Istanbul-Atatürk – Izmir-Adnan Menderes.....	129
3.13.3	Istanbul-Atatürk – Antalya.....	130
3.13.4	Istanbul-Atatürk – Ankara-Esenboğa.....	131
3.14	Istanbul Sabiha Gökçen (SAW).....	132
3.14.1	Istanbul Sabiha Gökçen – Adana.....	133
3.14.2	Istanbul Sabiha Gökçen – Izmir-Adnan Menderes.....	134
3.14.3	Istanbul Sabiha Gökçen – Antalya.....	135
3.14.4	Istanbul Sabiha Gökçen – Ankara-Esenboğa.....	136
3.15	Izmir-Adnan Menderes (ADB) – Ankara-Esenboğa (ESB).....	137
3.16	Amsterdam Schiphol (AMS).....	138
3.17	Restriktion Flugzeuggröße.....	139
3.18	Restriktion Flughafen.....	141
3.18.1	Istanbul-Atatürk – Ankara-Esenboğa Maschine 3.....	141
3.18.2	Istanbul Sabiha Gökçen – Izmir-Adnan Menderes Maschine 3.....	142
3.18.3	Istanbul Sabiha Gökçen – Ankara-Esenboğa Maschine 3.....	144
3.19	Madrid –Tenerife Norte Alternativ.....	145
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.....	17
Abbildung 6: Verkehrswellenstruktur des Flughafens München am 23.02.2018	19
Abbildung 7: Theoretisches Konstrukt einer Verkehrswelle nach Cossel	20
Abbildung 8: Netzplan Beispiel	23
Abbildung 9: Einbezogenes vollständiges Flugnetz	26
Abbildung 10: Detaillierte Datenerhebung der Route ORY - TLS	28
Abbildung 11: Detaillierte Datenerhebung der Route TLS – ORY	29
Abbildung 12: Beispielverbindung FRA – AMS	48
Abbildung 13: Verbindung FRA – AMS	51
Abbildung 14: Verbindung FRA – BCN	52
Abbildung 15: Verbindung FRA – CDG	53
Abbildung 16: Verbindung FRA – FCO	54
Abbildung 17: Verbindung FRA – HAM.....	55
Abbildung 18: Verbindung FRA – IST	56
Abbildung 19: Verbindung FRA – LHR.....	57
Abbildung 20: Verbindung FRA – MAD	58
Abbildung 21: Verbindung FRA – MUC.....	59
Abbildung 22: Verbindung FRA – TXL	60
Abbildung 23: Verbindung FRA – VIE	61
Abbildung 24: Verbindung FRA – ZRH.....	62
Abbildung 25: Verbindung MAD – AMS	65
Abbildung 26: Verbindung MAD – BCN	66
Abbildung 27: Verbindung MAD – CDG	67
Abbildung 28: Verbindung MAD – FCO	68
Abbildung 29: Verbindung MAD – LGW	69
Abbildung 30: Verbindung MAD – LHR.....	70
Abbildung 31: Verbindung MAD – LPA.....	71
Abbildung 32: Verbindung MAD – MUC.....	72
Abbildung 33: Verbindung MAD – ORY	73
Abbildung 34: Verbindung MAD – PMI	74
Abbildung 35: Verbindung MAD – TFN.....	75
Abbildung 36: Verbindung BCN – AMS.....	78
Abbildung 37: Verbindung BCN – CDG	79
Abbildung 38: Verbindung BCN – FCO.....	80
Abbildung 39: Verbindung BCN – IBZ	81
Abbildung 40: Verbindung BCN – LGW.....	82

Abbildung 41: Verbindung BCN – LHR	83
Abbildung 42: Verbindung BCN – MUC.....	84
Abbildung 43: Verbindung BCN – ORY	85
Abbildung 44: Verbindung BCN – PMI.....	86
Abbildung 45: Verbindung MUC – AMS.....	89
Abbildung 46: Verbindung MUC – CDG.....	90
Abbildung 47: Verbindung MUC – DUS.....	91
Abbildung 48: Verbindung MUC – FCO.....	92
Abbildung 49: Verbindung MUC – HAM.....	93
Abbildung 50: Verbindung MUC – LHR.....	94
Abbildung 51: Verbindung MUC – TXL	95
Abbildung 52: Verbindung FCO – AMS	98
Abbildung 53: Verbindung FCO – CDG.....	99
Abbildung 54: Verbindung FCO – CTA.....	100
Abbildung 55: Verbindung FCO – LHR.....	101
Abbildung 56: Verbindung FCO – LIN	102
Abbildung 57: Verbindung FCO – PMO.....	103
Abbildung 58: Verbindung LHR – AMS.....	106
Abbildung 59: Verbindung LHR – CDG	107
Abbildung 60: Verbindung LHR – DUB	108
Abbildung 61: Verbindung LHR – EDI.....	109
Abbildung 62: Verbindung LHR – ZRH	110
Abbildung 63: Verbindung LGW – AMS.....	112
Abbildung 64: Verbindung LGW – DUB.....	113
Abbildung 65: Verbindung LGW – EDI	114
Abbildung 66: Verbindung CDG – AMS.....	117
Abbildung 67: Verbindung CDG – NCE	118
Abbildung 68: Verbindung CDG – TLS.....	119
Abbildung 69: Verbindung ORY – NCE	121
Abbildung 70: Verbindung ORY – TLS.....	122
Abbildung 71: Verbindung TXL – CGN.....	124
Abbildung 72: Verbindung TXL – DUS.....	125
Abbildung 73: Verbindung TXL – ZRH.....	126
Abbildung 74: Verbindung IST – ADA	128
Abbildung 75: Verbindung IST – ADB.....	129
Abbildung 76: Verbindung IST – AYT	130
Abbildung 77: Verbindung IST – ESB.....	131
Abbildung 78: Verbindung SAW – ADA.....	133
Abbildung 79: Verbindung SAW – ADB.....	134
Abbildung 80: Verbindung SAW – AYT.....	135
Abbildung 81: Verbindung SAW – ESB.....	136
Abbildung 82: Verbindung ADB - ESB	137

Abbildung 83: Verbindung IST – ADB Pendelflug.....	140
Abbildung 84: Verbindung IST – ESB Pendelflug	142
Abbildung 85: Verbindung SAW – ADB Pendelflug	143
Abbildung 86: Verbindung SAW – ESB Pendelflug.....	144
Abbildung 87: Verbindung MAD – TFN Alternativ	145

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.....	22
Tabelle 5: am stärksten frequentierte Flugrouten Europas	24
Tabelle 6: Flughäfen - MCT, Flugbetriebszeiten, Bahnensystem Überblick.....	33
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)	40
Tabelle 12: Verbindungen Istanbul-Atatürk (IST).....	41
Tabelle 13: Verbindungen London Gatwick (LGW)	42
Tabelle 14: Verbindungen London Heathrow (LHR)	42
Tabelle 15: Verbindungen Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD).....	43
Tabelle 16: Verbindungen München (MUC)	44
Tabelle 17: Verbindungen Paris-Orly (ORY)	45
Tabelle 18: Verbindungen Istanbul Sabiha Gökçen (SAW) inkl. Izmir-Adnan Menderes (ADB) – Ankara-Esenboğa (ESB).....	46
Tabelle 19: Verbindungen Berlin Tegel (TXL)	46
Tabelle 20: zeitliche Einteilung Hub Frankfurt am Main (FRA).....	50
Tabelle 21: zeitliche Einteilung Hub Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD).....	64
Tabelle 22: zeitliche Einteilung Hub Barcelona-El Prat (BCN)	76
Tabelle 23: zeitliche Einteilung Hub München (MUC).....	87
Tabelle 24: zeitliche Einteilung Hub Rom-Fiumicino (FCO)	96
Tabelle 25: zeitliche Einteilung Hub London Heathrow (LHR).....	104
Tabelle 26: zeitliche Einteilung Hub London Gatwick (LGW).....	111
Tabelle 27: zeitliche Einteilung Hub Paris-Charles-de-Gaulle (CDG)	115
Tabelle 28: zeitliche Einteilung Hub Paris Orly (ORY).....	120
Tabelle 29: zeitliche Einteilung Hub Berlin-Tegel (TXL).....	123
Tabelle 30: zeitliche Einteilung Hub Istanbul-Atatürk (IST)	127
Tabelle 31: zeitliche Einteilung Hub Istanbul Sabiha Gökçen (SAW).....	132
Tabelle 32: zeitliche Einteilung Point-to-Point ADB - ESB	137
Tabelle 33: zeitliche Einteilung Hub Amsterdam Schiphol (AMS).....	138
Tabelle 34: zeitliche Einteilung Pendelflug IST – ADB	140
Tabelle 35: zeitliche Einteilung Pendelflug IST – ESB.....	141
Tabelle 36: zeitliche Einteilung Pendelflug SAW – ADB.....	142
Tabelle 37: zeitliche Einteilung Pendelflug SAW – ESB	144
Tabelle 38: zeitliche Einteilung MAD – TFN Alternativ.....	145

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.

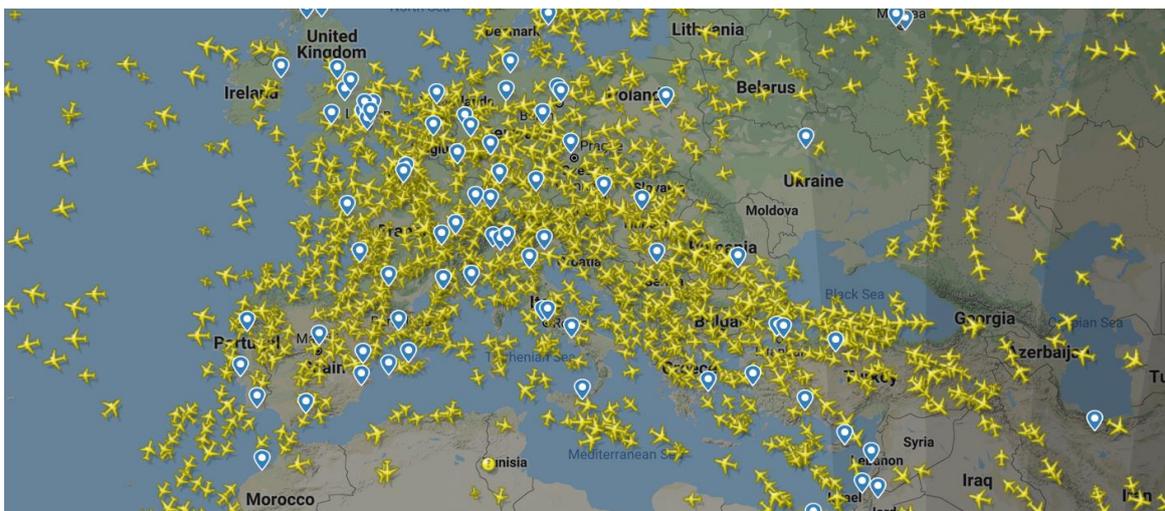


Abbildung 1: Flugzeuge über Europa am 2.10.2018 um 17.30 Uhr

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.

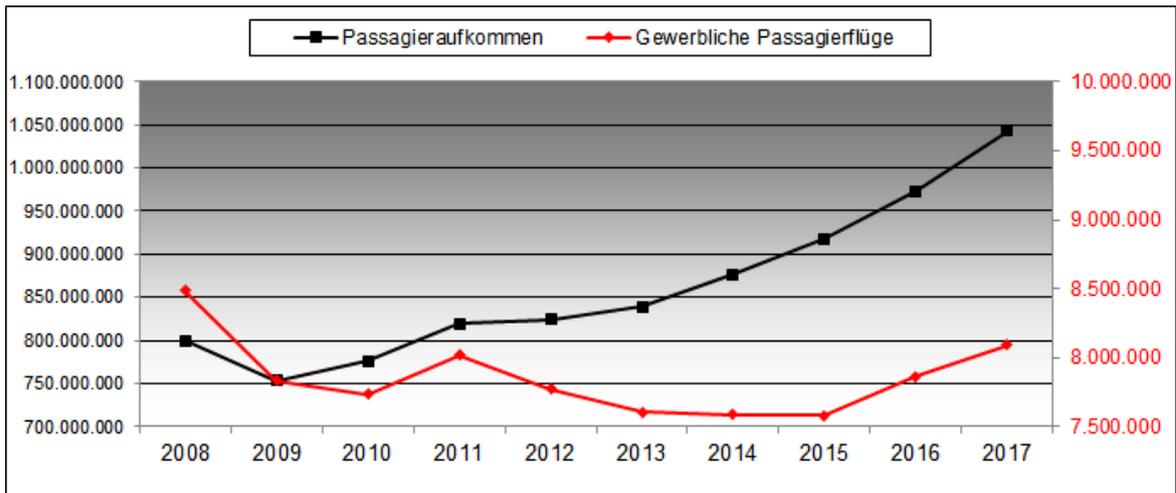


Abbildung 2: Entwicklung Passagieraufkommen und gewerbliche Passagierflüge in Europa

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.

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.

- Nachtflugverbote werden beachtet.

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

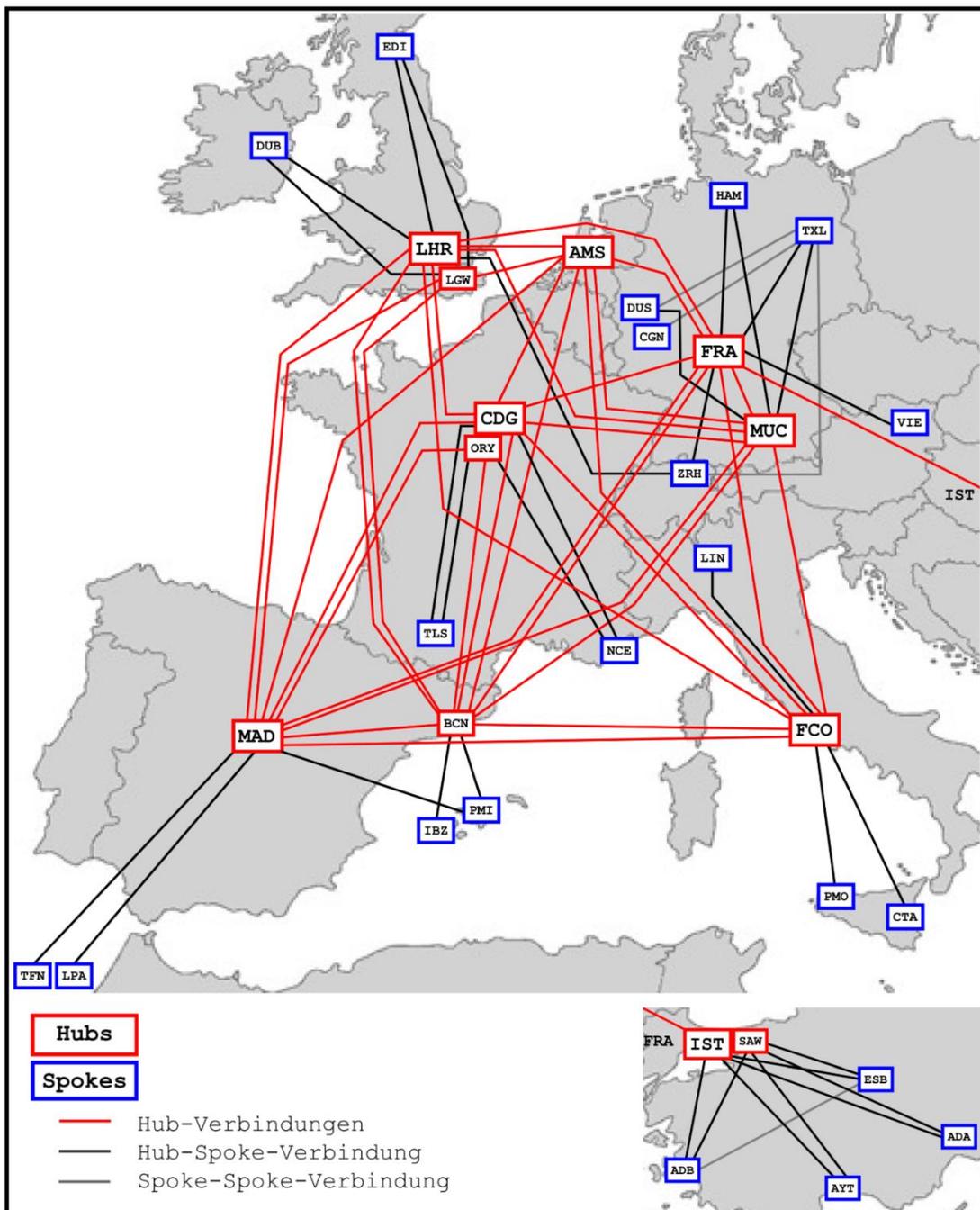


Abbildung 3: Einbezogenes vollständiges Flugnetz¹⁰

¹⁰ Eigene Darstellung

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

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.

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. Beispielhaft werden die Flughäfen Frankfurt, München und Berlin dargestellt.

Auslastung von Flughäfen vor und nach der Optimierung der Flugbewegungszahlen (Fb) für den Referenzstichtag				
	Ausgangsfall		Optimierter Fall	
	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 zustande, 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 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.

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 Einsatzbarkeit (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

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 Zeitzonekonzept reicht aus. Nachfrage nach zusätzlichen Direktflügen entfällt.

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.

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 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.

²³ Praktisch überall, wo es Netze gibt, ist die Nutzung durch mehrere Anbieter üblich. Dies gilt fürs Internet genauso wie 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.

- 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 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.

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

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

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

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

Route	PAX 2016 ges	Flüge ges. 2016
ISTANBUL/ATATURK airport - IZMIR/ADNAN MENDERES airport	329516	1826
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	2902028	14073
IZMIR/ADNAN MENDERES airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	2538274	17348
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - IZMIR/ADNAN MENDERES airport	2536023	17336
TOULOUSE/MATABEAU airport - PARIS-ORLY airport	2358917	17378
PARIS-ORLY airport - TOULOUSE/MATABEAU airport	2358356	17371
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	14651
ANTALYA airport - ISTANBUL/ATATURK airport	2321309	14627
ANKARA/ESEBBOGA airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	2206296	16314
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - ANKARA/ESEBBOGA airport	2204993	16302
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/ESEBBOGA airport	1999156	13697
ANKARA/ESEBBOGA airport - ISTANBUL/ATATURK airport	1996639	13688
MUENCHEN airport - BERLIN/TEGEL airport	1939820	15212
BERLIN/TEGEL airport - MUENCHEN airport	1839165	15162
BERLIN/TEGEL airport - FRANKFURT/MAIN airport	1935727	14155
FRANKFURT/MAIN airport - BERLIN/TEGEL airport	1935465	14163
DUBLIN airport - LONDON HEATHROW airport	1875373	13847
MUENCHEN airport - HAMBURG airport	1865211	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	1772813	12573
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - PALMA DE MALLORCA airport	1687547	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	1669992	9671
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - LONDON HEATHROW airport	1617170	13091
ROMA/FIUMICINO airport - PALERMO/PUNTA RAISI airport	1599990	10066
LONDON HEATHROW airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1619174	11614
LONDON HEATHROW airport - HONG KONG/INTERNATIONAL airport	1574741	5693
MUENCHEN airport - DUESSELDORF airport	1566506	12841
DUESSELDORF airport - MUENCHEN airport	1565997	12832
PALERMO/PUNTA RAISI airport - ROMA/FIUMICINO airport	1543462	10555
FRANKFURT/MAIN airport - LONDON HEATHROW airport	1486291	12739
GRAN CANARIA airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1508972	9064
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - GRAN CANARIA airport	1508972	9064
LONDON HEATHROW airport - FRANKFURT/MAIN airport	1493899	12736
ISTANBUL/ATATURK airport - ADANA airport	1478570	10161
ADANA airport - ISTANBUL/ATATURK airport	1474290	10159
ADANA airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	1477966	9886
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - ADANA airport	1476564	9876
DUBLIN airport - LONDON GATWICK airport	1432927	8672
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - NEW YORK/JOHN F. KENNEDY INTERNATIONAL, NY airport	1424611	5521
IZMIR/ADNAN MENDERES airport - ANKARA/ESEBBOGA airport	1420723	9041
ANKARA/ESEBBOGA airport - IZMIR/ADNAN MENDERES airport	1420320	9040
TRABZON airport - ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport	1419618	8690
ISTANBUL/SABIHA GOKCEN airport - TRABZON airport	1418046	8684
EDINBURGH airport - LONDON HEATHROW airport	1062058	7338
LONDON HEATHROW airport - EDINBURGH airport	1065519	7291
FRANKFURT/MAIN airport - HAMBURG airport	1372185	10714
HAMBURG airport - FRANKFURT/MAIN airport	1371690	10678
BARCELONA/EL PRAT airport - LONDON GATWICK airport	1362486	9082
LONDON GATWICK airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1357078	9153
LONDON HEATHROW airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1317124	9192
ISTANBUL/ATATURK airport - TEHRAN/IMAM KHOMEINI INTL airport	1321421	7818
BARCELONA/EL PRAT airport - ROMA/FIUMICINO airport	1319187	9100
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	1307907	8079
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1305451	8079
TENERIFE NORTE airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1306110	7834
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - TENERIFE NORTE airport	1305110	7834
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - LISBOA airport	1294295	11670
PALMA DE MALLORCA airport - DUESSELDORF airport	1284846	7491
KOELNBONN airport - BERLIN/TEGEL airport	1271176	10814
BERLIN/TEGEL airport - KOELNBONN airport	1270452	10793
DUESSELDORF airport - PALMA DE MALLORCA airport	1268891	7434
BARCELONA/EL PRAT airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	1268686	8514
LONDON HEATHROW airport - SINGAPORE/CHANGI airport	1314967	7418
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1268290	8578
LONDON HEATHROW airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	1144023	9690
PARIS-ORLY airport - LISBOA airport	1231695	9226
LONDON HEATHROW airport - MUENCHEN airport	1215548	10202
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	10201
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	1199197	7820
ISTANBUL/ATATURK airport - TRABZON airport	1199197	7820
PARIS-ORLY airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1197061	8181
MILANO/LINATE airport - ROMA/FIUMICINO airport	1189390	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
MALAGA/COSTA DEL SOL airport - LONDON GATWICK airport	1175207	7418
HELSINKI/VANTAA airport - STOCKHOLM/ARLANDA airport	1165955	11020
WIEN/SCHNEFELT airport - FRANKFURT/MAIN airport	1165422	8905
FRANKFURT/MAIN airport - WIEN/SCHNEFELT airport	1163471	8905
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - MONTREAL/PIERRE ELLIOT TRUDEAU INTL, QC airport	1148800	3469
BERLIN/TEGEL airport - DUESSELDORF airport	1147139	9925
DUESSELDORF airport - BERLIN/TEGEL airport	1146858	9926
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - ROMA/FIUMICINO airport	1140973	8388
ROMA/FIUMICINO airport - PARIS-CHARLES DE GAULLE airport	1132984	8294
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	1101595	7151
AMSTERDAM/SCHIPHOL airport - ROMA/FIUMICINO airport	1099076	7317
ROMA/FIUMICINO airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1098610	7425
ZURICH airport - LONDON HEATHROW airport	1095451	8182
LONDON GATWICK airport - DUBLIN airport	1307020	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 - MALAGA/COSTA DEL SOL airport	1167164	7426
LONDON HEATHROW airport - CHICAGO - O'HARE INTERNATIONAL, IL airport	1073522	6316
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - FRANKFURT/MAIN airport	1052260	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	1045269	7168
LONDON HEATHROW airport - DELHI (IGI) airport	1043460	4822
LONDON HEATHROW airport - HAMAD INTERNATIONAL airport	1184894	4518
PARIS-CHARLES DE GAULLE airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	1039097	7184
LONDON HEATHROW airport - TORONTO/LESTER B. PEARSON INTL, ON airport	1053808	4325
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	1028871	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	6486
BARCELONA/EL PRAT airport - FRANKFURT/MAIN airport	1016712	6511
DUBLIN airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1016703	6135
FRANKFURT/MAIN airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1008709	6147
DUBLIN airport - BIRMINGHAM airport	1007935	7179
BERLIN/TEGEL airport - ZURICH airport	1007443	7887
ZURICH airport - BERLIN/TEGEL airport	1005932	7580
PARIS-ORLY airport - BARCELONA/EL PRAT airport	1005468	6437
LONDON HEATHROW airport - STOCKHOLM/ARLANDA airport	1012528	7689
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - LONDON GATWICK airport	1000636	6997
ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport - AMSTERDAM/SCHIPHOL airport	1000517	6500
LONDON HEATHROW airport - NEWARK/LIBERTY INTERNATIONAL, NJ airport	9523210	6100
LONDON GATWICK airport - ADOLFO SUAREZ MADRID-BARAJAS airport	947446	7008

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

²⁷ Quelle: Eurostat.

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* (MCT) die entscheidende Rolle (Näheres s. unten). Sie dient später dazu, die Flüge zeitlich exakt aufeinander abzustimmen. Es könnten auch die

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.

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 Online-suchmaschinen, 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

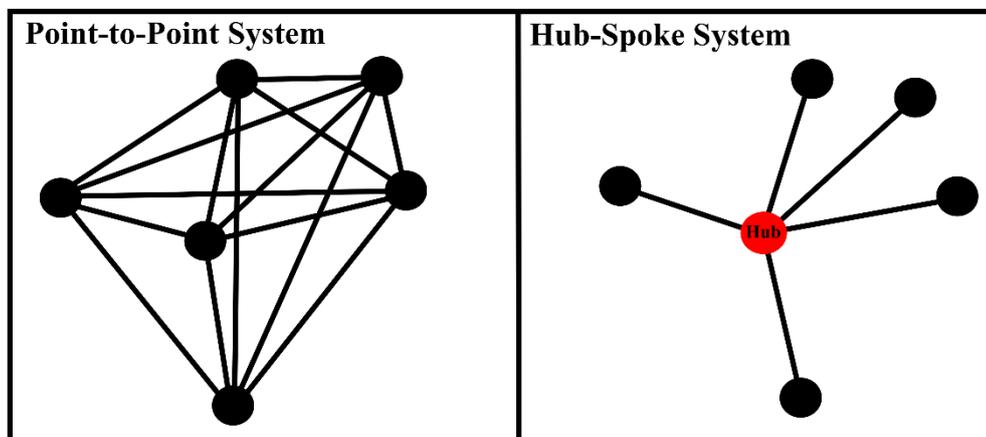


Abbildung 5: Point-to-Point und Hub-Spoke System

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

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.

auf Frachtgüter soll sie einen reibungslosen Ablauf gewährleisten. Daraus leitet sich das Hauptziel der Verkehrswelle ab, die 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.

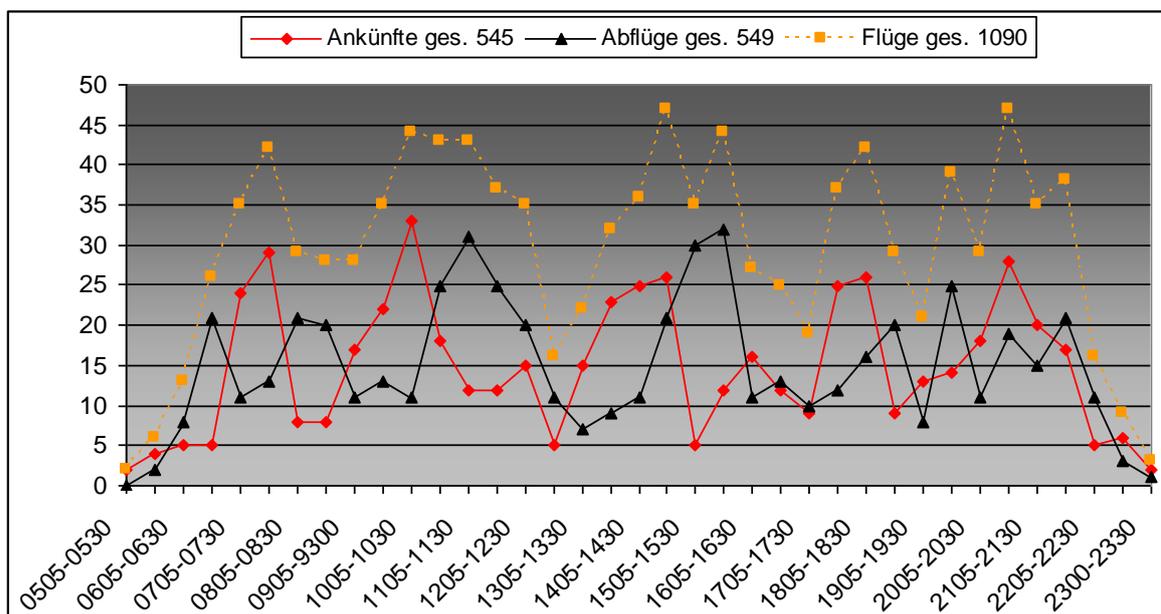


Abbildung 6: Verkehrswellenstruktur des Flughafens München am 23.02.2018⁴²

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 insgesamt circa 5 Wellen der ankommenden und

⁴¹ Wäschenbach, J. (2015).

⁴² Eigene Darstellung nach den Daten der Flughafen München GmbH.

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

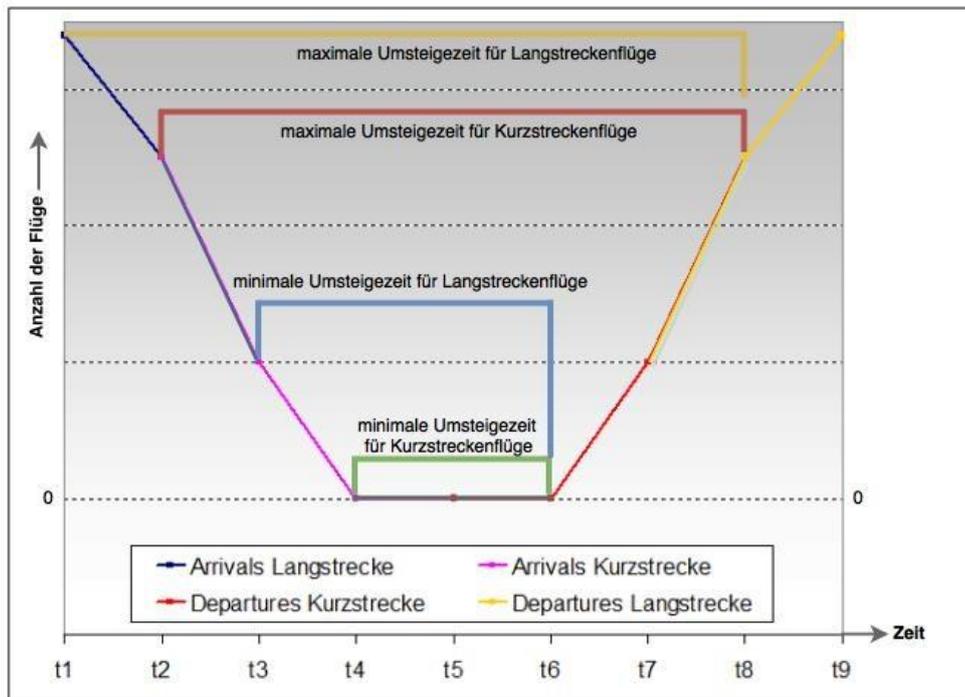


Abbildung 7: Theoretisches Konstrukt einer Verkehrswelle nach Cossel⁴⁵

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 somit für den Reisenden als Hub uninte-

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.

ressant 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 *Cosset* 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 747-400.⁴⁹
- 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

⁴⁷ Vgl. *Cosset* (2011), S. 25.

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

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

Bedeutung ist, zu einer ganz bestimmten Uhrzeit 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 Projektlauf 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.

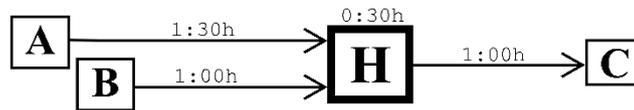


Abbildung 8: Netzplan Beispiel

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	Sitzauslastung
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

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

⁵⁷ Vgl. Bartels, T. (2016).

der Strecke erklärt sich durch das Fehlen einer terrestrischen Hochgeschwindigkeitsverbindung zusammen mit niedrigen Flugpreisen ab 30 Euro.

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 passagiereichsten 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 Gesamtreisezeit 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.

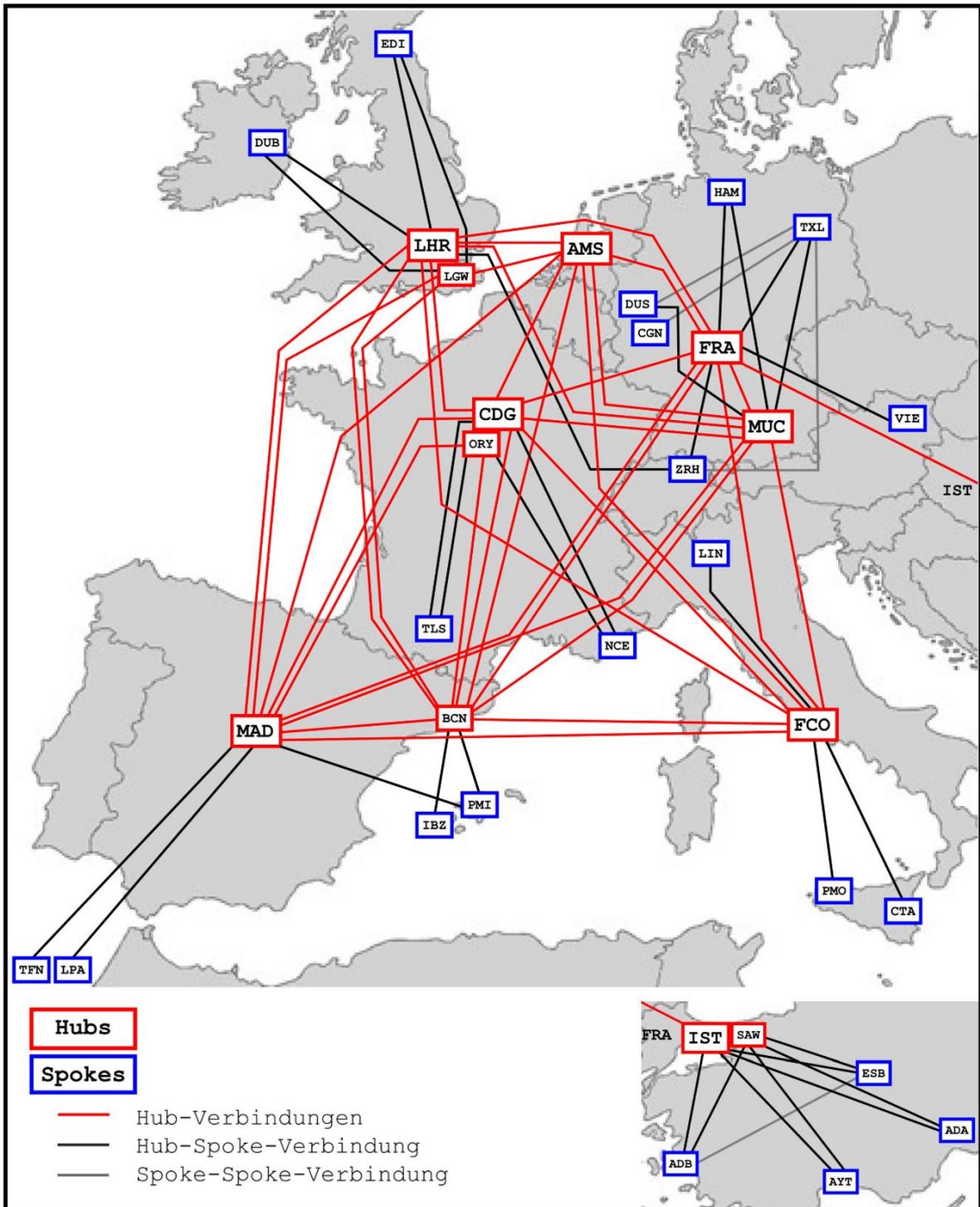


Abbildung 9: Einbezogenes vollständiges Flugnetz⁵⁹

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	73%	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-

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).

Sitzplätzen.⁷¹ Mittels geringfügiger Modifikationen, beispielsweise durch eine herkömmliche Oberdeckverlängerung, könnten zusätzliche 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.

⁷¹ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

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

⁷⁹ Vgl. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (2017).

IST	24 h		00:40	3.000 m	45 m	747-400D
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, Bahnensystem 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

⁸⁰ Vgl. Flughafen München GmbH (2017b).

⁸¹ Vgl. Bruno, C. (2018).

Fallbeschreibung erläutert, nachfolgend von einem „Ein-Airline-Fall“ ausgegangen. Zudem wird unterstellt, dass sämtliche Flugzeuge nur an einem Terminal 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 eingetaut, 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	verfüg. Sitze
AMS	BCN	02:10	2.066	90%	12	172	1.305.451	8.079	1.458.439
BCN	AMS	02:30	1.998	88%	12	167	1.307.902	8.057	1.481.605
AMS	CDG	01:15	1.889	84%	12	157	1.187.339	8.666	1.415.075
CDG	AMS	01:10	1.836	80%	12	153	1.183.298	8.691	1.483.041
AMS	FCO	02:10	1.614	87%	10	161	1.099.076	7.317	1.264.558
FCO	AMS	02:25	1.574	85%	10	157	1.098.610	7.425	1.286.390
AMS	FRA	01:05	1.242	80%	12	104	817.514	8.177	1.019.815
FRA	AMS	01:05	1.260	81%	12	105	814.640	8.158	1.004.358
AMS	LGW	00:10	1.375	89%	12	115	1.073.460	7.288	1.207.205
LGW	AMS	02:20	1.343	87%	12	112	1.050.886	7.280	1.269.395
AMS	LHR	00:15	2.333	84%	18	130	1.617.170	13.091	1.921.834
LHR	AMS	02:10	2.393	81%	17	141	1.616.714	13.084	1.985.715
AMS	MAD	02:35	1.407	86%	9	156	992.455	6.509	1.157.327
MAD	AMS	02:30	1.373	84%	9	153	1.000.517	6.500	1.187.964
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	1.001.640
	Min	00:10	1.242	80%	9	104	809.887	5.938	960.184
	Mittelwert	01:40	1.692	84%	12	139	1.111.809	8.138	1.319.034
	Max	02:35	2.393	90%	18	172	1.617.170	13.091	1.985.715

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	1.307.902	8.057	1.481.605
AMS	BCN	02:10	2.066	90%	12	172	1.305.451	8.079	1.458.439
BCN	CDG	01:55	1.765	87%	12	147	1.268.866	8.514	1.459.376
CGD	BCN	01:40	1.800	85%	12	150	1.268.290	8.578	1.500.663
BCN	FCO	01:45	1.570	87%	10	157	1.319.187	8.217	1.519.291
FCO	BCN	01:45	1.570	87%	10	157	1.315.868	8.279	1.513.979
BCN	FRA	02:10	1.204	88%	7	172	1.016.712	6.151	1.151.096
FRA	BCN	02:00	1.180	87%	7	169	1.008.709	6.147	1.165.433
BCN	IBZ	00:55	1.116	83%	7	159	1.017.492	6.912	1.231.987
IBZ	BCN	00:55	1.116	83%	7	159	1.017.492	6.912	1.231.987
BCN	LGW	01:10	1.891	82%	13	145	1.362.488	9.092	1.659.030
LGW	BCN	03:00	1.891	82%	13	145	1.347.990	9.388	1.593.553
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	Sitzaus- lastung	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	1.268.866	8.514	1.459.376
CGD	FCO	02:00	1.281	77%	10	128	1.140.973	8.388	1.483.049
FCO	CDG	02:10	1.281	77%	10	128	1.132.984	8.294	1.473.577
CDG	FRA	01:45	1.425	71%	14	102	906.148	9.084	1.277.219
FRA	CDG	01:10	1.380	73%	14	99	906.005	9.073	1.232.990
CDG	LHR	00:15	1.615	77%	14	115	1.209.158	9.691	1.575.321
LHR	CDG	02:15	1.530	74%	14	109	1.144.023	9.690	1.543.744
CDG	MAD	02:05	1.616	85%	11	147	1.039.097	7.184	1.227.912
MAD	CDG	02:00	1.636	86%	11	149	1.045.069	7.168	1.217.549
CDG	MUC	01:25	1.418	69%	13	109	860.548	7.962	1.249.195
MUC	CDG	01:30	1.501	73%	13	115	860.180	7.958	1.178.338
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	1.088.171
TLS	CDG	01:30	1.281	80%	9	142	898.718	5.716	1.119.135
	Min	00:15	1.157	69%	8	99	850.613	5.716	988.526
	Mittelwert	01:35	1.495	80%	11	133	1.036.423	7.893	1.305.749
	Max	02:15	1.889	87%	14	157	1.268.866	9.691	1.575.321

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	verfügb. 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	1.129.139	9.723	1.615.518
FRA	TXL	01:10	3.388	76%	23	147	1.935.465	14.163	2.540.839
TXL	FRA	01:10	3.412	76%	23	148	1.935.727	14.155	2.543.007
FRA	VIE	01:20	1.839	74%	13	141	1.163.471	8.990	1.565.550
VIE	FRA	01:25	1.873	75%	13	144	1.165.422	8.905	1.558.139
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	1.084.892	8.725	1.444.029
	Max	05:00	3.412	88%	23	172	1.935.727	14.163	2.543.007

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 Zeitpla-

nung 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	1.478.570	10.161	1.762.518
ADA	IST	01:35	2.211	84%	14	158	1.478.280	10.158	1.761.934
IST	ADB	01:00	5.461	86%	33	165	3.296.166	19.826	3.825.439
ADB	IST	01:00	5.421	86%	33	164	3.295.913	19.813	3.822.665
IST	AYT	01:10	2.833	82%	18	157	2.325.329	14.651	2.824.438
AYT	IST	01:10	2.731	82%	17	161	2.321.309	14.627	2.820.061
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 meistgeflogenen 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	1.426.297	8.675	1.587.120
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	1.202.009
MAD	LGW	01:20	1.412	83%	10	141	1.000.636	6.997	1.209.668
	Min	00:10	1.068	79%	8	112	700.391	5.336	851.001
	Mittelwert	01:41	1.579	84%	11	137	1.091.866	7.510	1.302.114
	Max	03:20	2.302	90%	14	164	1.426.297	9.388	1.659.030

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	1.616.714	13.084	1.985.715
AMS	LHR	00:15	2.333	84%	18	130	1.617.170	13.091	1.921.834
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	1.144.023	9.690	1.543.744
CDG	LHR	00:15	1.615	77%	14	115	1.209.158	9.691	1.575.321
LHR	DUB	01:15	2.332	77%	19	123	1.750.742	13.540	2.262.720
DUB	LHR	01:15	2.553	83%	19	134	1.875.373	13.547	2.263.346
LHR	EDI	01:20	1.827	81%	15	122	1.055.519	7.291	1.307.631
EDI	LHR	01:20	1.806	80%	15	120	1.052.058	7.338	1.314.803
LHR	FCO	03:30	1.119	77%	9	124	989.031	7.039	1.290.462
FCO	LHR	01:50	1.092	77%	9	121	987.509	7.036	1.276.426
LHR	FRA	02:40	2.120	71%	18	118	1.493.899	12.736	2.221.050
FRA	LHR	00:35	2.006	67%	18	111	1.486.291	12.739	2.079.349
LHR	MAD	03:20	1.840	71%	13	142	1.317.124	9.192	1.846.071
MAD	LHR	01:15	1.856	71%	13	143	1.317.511	9.194	1.846.037
LHR	MUC	02:45	1.579	70%	15	105	1.215.548	10.202	1.730.972
MUC	LHR	01:00	1.705	74%	15	114	1.209.972	10.204	1.627.032
LHR	ZRH	02:45	1.540	72%	13	118	1.102.297	9.190	1.533.194
ZRH	LHR	00:55	1.578	74%	13	121	1.095.451	9.192	1.478.396
	Min	00:15	831	67%	14	105	745.963	5.543	935.457
	Mittelwert	01:45	1.725	76%	14	123	1.251.367	9.754	1.649.205
	Max	03:30	2.553	84%	19	143	1.875.373	13.547	2.263.346

Tabelle 14: Verbindungen London Heathrow (LHR)

Der Flughafen *London Heathrow* (LHR) stellt den britischen Primärhub dar. Er besitzt insgesamt zehn Verbindungen, wovon drei Spokes sind. Die restlichen sieben stellen die Vernetzung mit den anderen Hubs sicher.

Den kritischen Weg von LHR aus bildet die bereits vorher beschriebene Route zwischen *London Heathrow* (LHR) und dem Flughafen *Rom-Fiumicino* (FCO). Das bedeutet, dass auch hier die Spoke-Verbindungen zeitlich auf diese Route abgestimmt werden müssen.

Problematisch wird bei der Erstellung des Flugplanes der englischen Flughäfen die Berücksichtigung der Zeitverschiebung zu den restlichen europäischen Flughäfen. Der Zeitunterschied von einer Stunde ist bereits in den obigen Tabellen eingerechnet, sodass dieser nicht extra für jede Verbindung neu berechnet werden muss.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
MAD	AMS	02:30	1.373	84%	9	153	1.000.517	6.500	1.187.964
AMS	MAD	02:35	1.407	86%	9	156	992.455	6.509	1.157.327
MAD	BCN	01:15	3.546	77%	24	148	2.328.726	15.666	3.039.379
BCN	MAD	01:15	4.249	77%	28	152	2.328.726	15.666	3.039.379
MAD	CDG	02:00	1.636	86%	11	149	1.045.069	7.168	1.217.549
CDG	MAD	02:05	1.616	85%	11	147	1.039.097	7.184	1.227.912
MAD	FCO	02:25	1.529	80%	10	153	1.107.080	7.186	1.383.806
FCO	MAD	02:35	1.554	81%	10	155	1.108.345	7.206	1.361.312
MAD	FRA	02:30	1.666	84%	11	151	1.052.260	7.151	1.296.707
FRA	MAD	02:35	1.656	81%	11	151	1.061.646	7.156	1.269.734
MAD	LGW	01:20	1.412	83%	10	141	1.000.636	6.997	1.209.668
LGW	MAD	03:20	1.344	79%	10	134	947.446	7.008	1.202.009
MAD	LHR	01:15	1.856	71%	13	143	1.317.511	9.194	1.846.037
LHR	MAD	03:20	1.840	71%	13	142	1.317.124	9.192	1.846.071
MAD	LPA	01:50	1.928	82%	13	148	1.508.972	9.084	1.829.338
LPA	MAD	03:45	2.068	82%	14	148	1.508.972	9.084	1.829.338
MAD	MUC	02:30	1.119	81%	8	140	814.026	5.938	1.001.640
MUC	MAD	02:30	1.159	84%	8	145	809.887	5.946	960.184
MAD	ORY	02:00	1.723	82%	11	157	1.203.937	8.186	1.473.697
ORY	MAD	02:00	1.723	82%	11	157	1.197.061	8.181	1.458.860
MAD	PMI	01:20	2.409	81%	17	142	1.687.547	11.623	2.084.490
PMI	MAD	01:20	2.528	81%	18	140	1.687.547	11.623	2.084.490
MAD	TFN	01:50	1.801	84%	12	150	1.305.110	7.834	1.555.939
TFN	MAD	03:40	1.801	84%	12	150	1.305.110	7.834	1.555.939
	Min	01:15	1.119	71%	8	134	809.887	5.938	960.184
	Mittelwert	02:14	1.873	81%	13	148	1.278.117	8.547	1.588.282
	Max	03:45	4.249	86%	28	157	2.328.726	15.666	3.039.379

Tabelle 15: Verbindungen Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD).

Der zweite spanische Hub ist der Flughafen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD). Er steht im gleichen Verhältnis wie LHR zu LGW, als Primärhub zum katalanischen Flughafen *Barcelona-El Prat* (BCN). MAD besitzt mit zwölf Flugverbindungen ebenso viele wie der deutsche Flughafen Frankfurt am Main (FRA). Er bedient jedoch einen Spoke weniger als FRA. Die restlichen neun Routen stellen die Anbindung an das grundlegende Hub-Netz sicher.

Da die meisten der kritischen Pfade der Hubs von und nach Madrid verlaufen, stellt er einen gewissen Sonderfall dar. Ein einziger kritischer Weg ist schwierig auszumachen, da eine Vielzahl von Strecken hohe Flugzeiten aufweisen. Auch verkompliziert die Zeitverschiebung auf zwei Spoke-Routen dessen zeitliche Koordinierung innerhalb der fünf Zeitintervalle deutlich. Diese Umstände lassen die Vermutung nahe liegen, dass Anschlussflüge nicht immer sofort erreicht werden können. Daraus resultiert, dass Reisende gegebenenfalls längere Transitzeiten in Kauf nehmen müssen. Wenn sie zu bestimmten Zeiten ihre Reise beginnen, kann es dazu kommen, dass sie in Madrid erst einen Anschlussflug im nächsten Zeitintervall nutzen können.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
MUC	AMS	01:30	1665	81%	14	119	814026	5938	1001640
AMS	MUC	01:20	1700	84%	14	121	809887	5946	960184
MUC	BCN	02:05	1087	83%	7	155	769209	5072	923968
BCN	MUC	02:00	1073	84%	7	153	775410	5067	925992
MUC	CDG	01:30	1501	73%	13	115	860180	7958	1178338
CDG	MUC	01:25	1418	69%	13	109	860548	7962	1249195
MUC	DUS	01:10	3099	73%	24	129	1566506	12841	2150564
DUS	MUC	01:10	3099	73%	24	129	1565997	12832	2147969
MUC	FCO	01:30	998	78%	8	125	710085	5527	914537
FCO	MUC	01:30	1030	77%	8	129	711495	5522	928045
MUC	FRA	00:55	1924	70%	15	128	1129139	9723	1615518
FRA	MUC	01:00	1968	70%	15	131	1128915	9736	1614425
MUC	HAM	01:15	2682	80%	19	141	1805211	13101	2264070
HAM	MUC	01:15	2682	80%	19	141	1805194	13087	2262986
MUC	LHR	01:00	1705	74%	15	114	1209972	10204	1627032
LHR	MUC	02:45	1579	70%	15	105	1215548	10202	1730972
MUC	MAD	02:30	1159	84%	8	145	809887	5946	960184
MAD	MUC	02:30	1119	81%	8	140	814026	5938	1001640
MUC	TXL	01:05	3497	75%	26	135	1939820	15212	2582104
TXL	MUC	01:05	3543	75%	26	136	1939165	15162	2585706
	Min	00:55	998	69%	15	105	710085	5067	914537
	Mittelwert	01:31	1926	77%	15	130	1162011	9149	1531253
	Max	02:45	3543	84%	26	155	1939820	15212	2585706

Tabelle 16: Verbindungen München (MUC)

Der zweite deutsche Hub ist der Flughafen *München* (MUC). Er besitzt zehn Verbindungen, wovon drei zu seinen Spokes verlaufen. Dabei belegt eine dieser Spoke-Strecken, die Verbindung *München* (MUC) – *Berlin*

Tegel (TXL), den elften Rang der passagierreichsten Strecken Europas mit nur knapp unter zwei Millionen Reisenden im Jahr 2016. Mit den restlichen sieben Verbindungen ist der Münchner Flughafen in das grundlegende Hub-Netz eingebunden. Darunter befindet sich auch sein kritischer Weg, die Verbindung zum vorherig beschriebenen Flughafen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD). Die Reisezeit für den Hin- und Rückflug beträgt jeweils 2h 30min.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
ORY	BCN	01:35	1603	82%	10	160	1005468	6437	1224433
BCN	ORY	01:50	1641	84%	10	164	1017410	6466	1215583
ORY	MAD	02:00	1723	82%	11	157	1197061	8181	1458860
MAD	ORY	02:00	1723	82%	11	157	1203937	8186	1473697
ORY	NCE	01:15	2970	80%	20	149	2124786	14523	2639826
NCE	ORY	01:25	2906	80%	20	145	2124792	14530	2640439
ORY	TLS	01:15	3938	73%	30	131	2358356	17377	3216100
TLS	ORY	01:20	3980	73%	30	133	2358917	17378	3216650
	Min	01:15	1603	73%	10	131	1005468	6437	1215583
	Mittelwert	01:35	2561	80%	18	149	1673841	11635	2135699
	Max	02:00	3980	84%	30	164	2358917	17378	3216650

Tabelle 17: Verbindungen Paris-Orly (ORY)

Der kleinere der beiden französischen Hauptstadtflughäfen ist *Paris-Orly* (ORY). Im Vergleich zu *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) ist er als Sekundärhub anzusehen. Er ist deswegen nur mit Routen über einer Millionen Passagieren pro Jahr in das grundlegende Hub-Netz eingegliedert. Diese Verbindungen unterhält er zu den spanischen Flughäfen *Barcelona-El Prat* (BCN) und *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD), wobei letztere auch gleich seinen kritischen Weg beschreibt.

Hauptsächlich dient er der Vernetzung der beiden südfranzösischen Flughäfen *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE) mit der Hauptstadt Paris. Beide Strecken besitzen ein Passagiervolumen von über zwei Millionen Passagieren pro Jahr. Die Verbindung TLS – ORY befindet sich auf Rang drei und NCE – ORY auf Platz acht im europäischen Ranking.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
SAW	ADA	01:25	1.899	85%	12	158	1.476.564	9.876	1.738.448
ADA	SAW	01:30	1.888	85%	12	157	1.477.966	9.886	1.739.961
SAW	ADB	01:05	3.924	84%	26	151	2.536.023	17.336	3.034.898
ADB	SAW	01:00	3.904	84%	26	150	2.538.274	17.348	3.037.423
SAW	AYT	01:05	2.795	81%	19	147	2.179.549	15.212	2.687.874
AYT	SAW	01:05	2.785	81%	19	147	2.179.297	15.216	2.688.735
SAW	ESB	01:00	3.743	74%	28	134	2.204.993	18.302	2.963.884
ESB	SAW	01:00	4.010	74%	30	134	2.206.296	18.314	2.966.498
	Min	01:00	1.888	74%	12	134	1.476.564	9.876	1.738.448
	Mittelwert	01:08	3.119	81%	22	147	2.099.870	15.186	2.607.215

	Max	01:30	4.010	85%	30	158	2.538.274	18.314	3.037.423
ADB	ESB	01:10	2.226	84%	14	159	1.420.723	9.041	1.687.198
ESB	ADB	01:15	2.226	84%	14	159	1.420.320	9.040	1.687.086

Tabelle 18: Verbindungen Istanbul Sabiha Gökçen (SAW)
inkl. Izmir-Adnan Menderes (ADB) – Ankara-Esenboğa (ESB)

Istanbul besitzt neben dem Flughafen *Istanbul-Atatürk* (IST) noch einen kleineren Flughafen, *Sabiha Gökçen* (SAW). Er befindet sich im östlichen Teil der Stadt und ist, wie z.B. *Paris-Orly* (ORY), als Sekundärhub anzusehen. Der SAW Hub dient in diesem Flugnetz lediglich zur Verbindung der Spokes mit der Wirtschaftsmetropole Istanbul. Dennoch werden die Verbindungen mit seinen Spokes zeitlich so aufeinander abgestimmt, dass er auch als Drehkreuz zwischen ihnen fungieren kann. Da er keinerlei Fluganbindung in das grundlegende Hub-Netz besitzt, muss auch keine Rücksicht auf eventuelle Anschlussflüge nach Westeuropa genommen werden. Folglich können die Umsteigezeiten so eingetaktet werden, dass sie nur von kurzer Dauer sind. Zudem können die Ankunftszeiten zu den vom Flughafen *Istanbul-Atatürk* (IST) variieren, sodass zu verschiedenen Zeiten die Metropole Istanbul von den Spokes aus angeflogen werden kann.

Die vorherige Tabelle beinhaltet darüber hinaus die Point-To-Point Verbindung zwischen *Izmir-Adnan Menderes* (ADB) – *Ankara-Esenboğa* (ESB). Diese Route wurde in das Flugnetz aufgenommen, da sie mit knapp anderthalb Millionen Passagieren pro Jahr ebenfalls zu den passagierreichsten Strecken Europas zählt.

Start	Ziel	Flugzeit	PAX/Tag berechnet	Sitzaus- lastung	Flüge am Stichtag	Ø PAX pro Flug	PAX 2016	Flüge 2016	verfügb. Sitze
TXL	CGN	01:05	1.699	72%	15	113	1.270.452	10.793	1.771.045
CGN	TXL	01:10	1.699	72%	15	113	1.271.176	10.814	1.777.736
TXL	DUS	01:10	1.990	68%	18	111	1.147.139	9.925	1.677.620
DUS	TXL	01:05	2.019	69%	18	112	1.146.858	9.926	1.665.717
TXL	FRA	01:10	3.412	76%	23	148	1.935.727	14.155	2.543.007
FRA	TXL	01:10	3.388	76%	23	147	1.935.465	14.163	2.540.839
TXL	MUC	01:05	3.543	75%	26	136	1.939.165	15.162	2.585.706
MUC	TXL	01:05	3.497	75%	26	135	1.939.820	15.212	2.582.104
TXL	ZRH	01:20	1.103	80%	9	123	1.007.243	7.587	1.256.814
ZRH	TXL	01:20	1.134	82%	9	126	1.005.932	7.580	1.229.073
	Min	01:05	1.103	68%	9	111	1.005.932	7.580	1.229.073
	Mittelwert	01:10	2.348	75%	18	126	1.459.898	11.532	1.962.966
	Max	01:20	3.543	82%	26	148	1.939.820	15.212	2.585.706

Tabelle 19: Verbindungen Berlin Tegel (TXL)

Der letzte Flughafen ist *Berlin Tegel* (TXL). Er lässt sich innerhalb des Streckennetzes als Spoke einordnen. Doch auf Grund seiner Verbindungen zu anderen Spokes kann er auch als Sekundär- oder Tertiärhub fungieren. Er ist hauptsächlich in das grundlegende Hub-Netz über die Flughäfen *München* (MUC) und *Frankfurt am Main* (FRA) eingebunden. Diese Routen sind die passagierreichsten Strecken innerhalb Deutschlands und belegen im Europäischen Vergleich die Ränge elf und zwölf.

3.2 Optimierte Flugpläne

In diesem Kapitel werden die Informationen, die im vorherigen Abschnitt gesammelt und analysiert wurden, zusammengeführt. Ziel ist es, die Flüge so einzutakten, dass innerhalb aller fünf Zeitintervalle eine Ankunft an dem Hub und seinen jeweiligen Destinationen erfolgt. Zudem sollen sämtliche Flüge so aufeinander abgestimmt werden, dass im besten Fall alle Anschlussflüge erreicht werden können. Somit wird der Gesichtspunkt der Qualität der Vernetzung von Flughäfen innerhalb des Hub- und Spokes-Systems berücksichtigt. Diese Qualität kann auch als Verbindungsgüte oder Konnektivität bezeichnet werden.⁸⁴ Aus diesem Grund muss bei der zeitlichen Taktung der Verbindungen darauf geachtet werden, dass die *minimum connect time* (MCT) nicht unter- und die *maximum available connect time* (MACT) nicht überschritten wird.

Wie bereits erläutert, gliedert sich die zeitliche Optimierung der Flugverbindungen in drei verschiedene Fälle auf (langfristige, mittelfristige und kurzfristige Sicht). Der erste Fall bildet die Basis für die zwei sich anschließenden, da hier die entscheidende zeitliche Koordinierung erfolgt. Wie bereits erwähnt, wird in diesem ersten Schritt keine Rücksicht auf Flugzeuggrößen und die Infrastruktur der Flughäfen genommen. Diese Restriktionen werden im zweiten und dritten Schritt sukzessive hinzugefügt. Ziel der Einarbeitung dieser Nebenbedingungen ist es, dass sich letztendlich ein zeitlich so aufeinander abgestimmtes Flugverbindungsnetz ergibt, welches sich mit nur geringfügigen Anpassungen an die Flugzeuge und Flughäfen in die derzeitigen Gegebenheiten eingliedern lässt.

Die nachfolgenden Verbindungen werden je nach Hub dargestellt. Als erster wird der Flughafen *Frankfurt am Main* (FRA) dargestellt. Der Grund dafür ist, dass FRA eine gewisse Schlüsselrolle einnimmt. Er unterhält als einziger Hub die Verbindung zum Flughafen *Istanbul-Atatürk* (IST). Des Weiteren besitzt er, wie bereits erwähnt, neben dem spanischen Flughafen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD), mit zwölf Destinationen, die meisten Verbindungen innerhalb des Flugnetzes. Zudem orientieren sich fast alle anderen Verbindungen der restlichen Hubs an der zeitlichen Taktung der Frankfurter Routen. Als zweiter Flughafen folgt aus selbigen Gründen MAD. *Amsterdam Schiphol* (AMS) wird zuletzt kurz dargestellt, da er lediglich Verbindungen zu anderen Hubs unterhält und somit seine Routen schon in deren Abschnitten erläutert wurden.

Grundlegend wird zu Beginn ein Gesamtüberblick des jeweiligen Hubs mit seinen zugehörigen Strecken und deren zeitlichen Taktung gegeben. Dabei untergliedert sich die Tabelle in drei Teile. Der erste Teil beschreibt die Routen, die zum entsprechenden Hub führen. Somit wird gewährleistet, dass auf einen Blick erkennbar ist, dass bis auf wenige Ausnahmen sämtliche Verbindungen gleichzeitig am Hub ankommen. Der zweite Tabellenteil zeigt die vom Hub abgehenden Strecken. Tabellenabschnitt 1 und 2 beinhalten dabei die lokalen Startzeiten vom Abflughafen und die lokalen Ankunftszeiten am Zielflughafen. Etwaige Zeitverschiebungen sind somit in den Zeitangaben inbegriffen. Die angegebenen Start- und Ankunftszeiten sind dabei lediglich als gewisse zeitliche Richtwerte anzusehen und nicht als absolute Zeiten. Den Grund dafür bilden mehrere Faktoren. Zum einen sind die Flugzeiten nicht immer identisch. Das bedeutet, dass infolge von Wind und anderen wettertechnischen Einflüssen die Ankunftszeiten bestimmte Differenzen

⁸⁴ Vgl. Mandel/Schnell/Huster/Klar (2015), S. 62 f.

aufweisen können. Zum anderen ist es nicht möglich, dass wie im Fall von kleineren Flughäfen mehrere Flugzeuge zur exakt selben Zeit landen oder starten können. Angesichts dieser Tatsache bilden die angegebenen Zeiten Richtwerte, die nicht überschritten werden dürfen. Die MCT würde dadurch gegebenenfalls überschritten und Anschlussflüge nicht mehr erreicht werden können. Im schlimmsten Fall führt dies zu zeitlichen Verschiebungen innerhalb des gesamten Flugnetzes.

Im Grundprinzip decken zwei identische Flugzeuge die entsprechende Verbindung ab. Maschine 1 wird in den Tabellenteilen hellgrau dargestellt und Maschine 2 ist mit keiner Farbe unterlegt. Lediglich bei der Verbindung FRA – IST trifft diese farbliche Visualisierung nicht vollumfänglich zu, da jeweils eine Zeitzone nicht bedient wird. Diese Verbindung wird im Abschnitt Istanbul-Atatürk (IST) beschrieben.

Im dritten Tabellenteil werden entsprechend der benötigten Sitzplatzanzahl die einzusetzenden Flugzeugtypen angegeben. Diese Angabe ist, wie bereits erwähnt, lediglich als Möglichkeit anzusehen, dass ein entsprechender Flugzeugtyp existiert, der diese Anzahl an Passagieren befördern kann. Welcher Maschinentyp letztendlich eingesetzt wird, hängt zudem auch von der entsprechenden Bestuhlung ab und kann je nach Nachfrage an First und Business Class Sitzen anders gewählt werden. Weiterhin wird im dritten Tabellenteil die Auslastung der beiden Maschinen angegeben. Sie trifft jedoch nur zu, wenn das Flugzeug rein ausschließlich auf dieser Verbindung eingesetzt werden würde.

Abschließend werden die einzelnen Routen detailliert dargestellt und erklärt, warum die zeitliche Abstimmung so erfolgte. Die nähere Erklärung der Darstellung der detaillierten Flugverbindungen erfolgt beispielhaft anhand der Flüge zwischen Flughäfen *Frankfurt am Main* (FRA) und *Amsterdam Schiphol* (AMS), welche später weiter unten genau erläutert wird.

Maschine 1												
Z1	Z1	MCT	Warte	Z2	Z2	MCT	Warte	Z3	Z3			
AMS	>	FRA	FRA	FRA	>	AMS	AMS	AMS	>	FRA		
08:50	01:05	09:55	00:45	00:15	10:55	01:05	12:00	00:40	01:35	14:15	01:05	15:20
			MCT	Warte	Z3	Z4	MCT	Warte	Z4	Z5		
			FRA	FRA	FRA	>	AMS	AMS	AMS	>	FRA	
			00:45	01:30	17:35	01:05	18:40	00:40	01:35	20:55	01:05	22:00
Maschine 2												
Z1	Z1	MCT	Warte	Z2	Z2	MCT	Warte	Z3	Z3			
FRA	>	AMS	AMS	AMS	>	FRA	FRA	FRA	>	AMS		
08:55	01:05	10:00	00:40	00:15	10:55	01:05	12:00	00:45	01:30	14:15	01:05	15:20
			MCT	Warte	Z3	Z4	MCT	Warte	Z4	Z5		
			AMS	AMS	AMS	>	FRA	FRA	FRA	>	AMS	
			00:40	01:35	17:35	01:05	18:40	00:45	01:30	20:55	01:05	22:00

Abbildung 12: Beispielverbindung FRA – AMS

Im Beispiel der Flugverbindung zwischen den Flughäfen *Frankfurt am Main* (FRA) und *Amsterdam Schiphol* (AMS) wird die Verbindung nur von zwei Flugzeugen, Maschine 1 und 2, durchgeführt. Der Zeilenumbruch bei den Maschinen hat dabei keine explizite Bedeutung. Er dient ausschließlich der Formatierung und der besseren Lesbarkeit. Die eingerahmten Daten stellen jeweils einen Flug dar. Zwischen diesen Flügen muss

die *minimum connect time* (MCT) des entsprechenden Flughafens eingehalten werden. Die zusätzliche „Wartezeit“ dient zum einen dazu, die Flüge mit kürzeren Flugzeiten auf jene abstimmen zu können, die eine längere Flugdauer aufweisen. Zum anderen ermöglicht sie es Flüge so starten zu lassen, dass sie in den entsprechenden Zeitzonen am Zielflughafen ankommen. Die Zeitintervalle werden im Zuge dessen durch die Bezeichnung Z1 bis Z5 symbolisiert. Diese stellen sicher, dass der Überblick über die Zeitintervalleinteilung gegeben ist. Eine größere Bedeutung fällt dabei der Ankunftszeitzone des Zielflughafens zu. Sie gewährleistet, dass in sämtlichen Zeitintervallen auch Flüge ankommen. Die Flugrichtungsangabe erfolgt mittels des Vergleichszeichens (>) zwischen den Flughafenkürzeln in der IATA Code-Schreibweise. Dabei steht unter dem ersten Flughafenkürzel die Startzeit, unter dem Vergleichszeichen die Flugdauer und unter dem zweiten Flughafenkürzel die entscheidende Ankunftszeit. Die Ankunft in AMS in Zeitzone 1 um 10:00 Uhr ist in diesem Fall so korrekt, dass lediglich eine Fünf-Minuten-Taktung der Übersicht wegen erfolgt.

Es sei angemerkt, dass, sobald in den folgenden Abschnitten Flugzeugtypen vorgeschlagen werden, nur die entsprechenden Flugzeuggrößen gemeint sind. Der Grund ist, dass die derzeit vorhandenen Flugzeuge zum Teil konstruktiv für die Kurz- und Mittelstreckenbelastungen nicht ausgelegt sind und entsprechend neu konstruierte Typen geschaffen werden müssen.

3.3 Frankfurt am Main (FRA)

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	FRA	08:50	09:55	10:55	12:00	14:15	15:20	17:35	18:40	20:55	22:00
BCN	FRA	07:05	09:15	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
CDG	FRA	08:10	09:55	10:15	12:00	13:35	15:20	16:55	18:40	20:15	22:00
FCO	FRA	08:00	09:30	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00
HAM	FRA	07:30	08:40	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
IST	FRA	07:30	08:40	10:50	12:00	00:00	00:00	17:30	18:40	20:50	22:00
LHR	FRA	07:15	09:55	09:20	12:00	12:40	15:20	16:00	18:40	19:40	22:20
MAD	FRA	06:10	08:40	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
MUC	FRA	09:00	09:55	11:05	12:00	14:25	15:20	17:45	18:40	21:05	22:00
TXL	FRA	07:30	08:40	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
VIE	FRA	07:15	08:40	10:35	12:00	13:55	15:20	17:15	18:40	20:35	22:00
ZRH	FRA	07:30	08:40	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00

MCT FRA = 45 min

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
FRA	AMS	08:55	10:00	10:55	12:00	14:15	15:20	17:35	18:40	20:55	22:00
FRA	BCN	07:05	09:05	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
FRA	CDG	07:55	09:05	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
FRA	FCO	08:00	09:45	10:15	12:00	13:35	15:20	16:55	18:40	20:15	22:00
FRA	HAM	08:55	10:00	10:40	11:45	12:55	14:00	16:55	18:00	20:55	22:00
FRA	IST	05:00	10:00	00:00	00:00	10:40	15:40	13:25	18:25	19:25	00:25

FRA	LHR	07:45	08:20	11:05	11:40	14:25	15:00	18:05	18:40	21:25	22:00
FRA	MAD	06:10	08:45	09:25	12:00	12:45	15:20	16:05	18:40	19:25	22:00
FRA	MUC	09:00	10:00	11:00	12:00	14:20	15:20	17:40	18:40	21:00	22:00
FRA	TXL	08:50	10:00	10:40	11:50	12:50	14:00	16:50	18:00	20:50	22:00
FRA	VIE	08:40	10:00	10:40	12:00	12:45	14:05	16:40	18:00	20:40	22:00
FRA	ZRH	09:00	09:50	10:40	11:30	13:10	14:00	17:10	18:00	21:10	22:00

Destination	min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
AMS	252	05:25	05:25	A380	A350-800
BCN	241	10:20	10:30	A380	A330-800 neo
CDG	285	07:35	07:00	A380	A350-800
FCO	181	08:00	08:15	A380	A320 neo
HAM	497	05:40	05:35	A380	Boeing 747-8
IST	227	12:20	12:20	747-400D	Boeing 787-8
LHR	424	08:10	08:05	A380	A350-1000
MAD	333	12:40	12:45	A380	A350-1000
MUC	394	04:45	04:50	A380	A350-1000
TXL	682	05:50	05:50	A380	A380
VIE	375	06:55	06:50	A380	A350-1000
ZRH	233	05:10	04:50	A380	A321 neo

Tabelle 20: zeitliche Einteilung Hub Frankfurt am Main (FRA)

Die obige Tabelle zeigt sämtliche Verbindungen des Hubs *Frankfurt am Main* (FRA). Wie bereits oben beschrieben, bildet die Verbindung von und nach *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) den kritischen Pfad des Frankfurter Flughafens. An ihr werden sämtliche anderen Verbindungen ausgerichtet – überwiegend jene, die keine eigene direkte Verbindung zu MAD besitzen. Dies sind die Spokes *Hamburg* (HAM), *Berlin Tegel* (TXL), *Wien-Schwechat* (VIE) und *Zürich* (ZRH), aber auch die Strecke zum Hub *Istanbul-Atatürk* (IST).

Nach der zeitlichen Abstimmung der Route FRA – MAD ergab sich folgendes Zeitmuster. Für die Zeitintervalle 2, 3, 4 und 5 stellten sich die Zeiten 12:00 Uhr, 15:20 Uhr, 18:40 Uhr und 22:00 Uhr als allgemein günstig heraus. Die Ankunft in der Morgenzeitzone ermittelte sich meist unter Berücksichtigung der MCT und der Flugzeit durch Rückwärtssubtraktion des Mittagszeitintervalls (Ankunft 12:00 Uhr). Im Falle der Verbindung FRA – MAD erfolgt die Ankunft in FRA in der Morgenzeitzone um 08:40 Uhr. Der Abflug nach MAD kann somit um 09:25 Uhr erfolgen, womit die Ankunft in MAD um 12:00 Uhr gewährleistet werden kann. Dies hat zur Folge, dass die oben genannten Spokes HAM, TXL, VIE, ZRH und der Hub IST ihre Ankunft zu eben diesen Zeitpunkten haben müssen, da Reisende sonst den Anschlussflug nach MAD nicht mehr rechtzeitig erreichen würden. Diese erarbeiteten Ankunftszeiten verlängern zwar die Wartezeit bis zum Beginn der Rückflüge für Verbindungen und die MCT, anders ist jedoch eine gute Qualität der Verbindung nicht zu realisieren.

Die herausgearbeitete Ankunftszeit in der Nachtzeitzone gewährleistet weiterhin, dass die eingesetzten Maschinen noch über die Nachtstunden hinaus auf Mittel- und Langstreckenflügen eingesetzt werden können. Der Grund liegt darin, dass sich die Flugbetriebszeit des Frankfurter Flughafens, wie bereits oben

angegeben (Flughäfen – MCT, Betriebszeiten, Bahnensystem), bis 23:00 Uhr erstreckt und die MCT nur 45 min beträgt. Diese Flugzeuge können bei entsprechender Destinationsentfernung auch wieder in der Nacht- oder Morgenzeitzone den Flughafen erreichen und demnach wieder in die zeitliche Abfolge des Flugnetzes eingegliedert werden.

Die Nutzung der Maschinen in der Nachtzeit würde die im dritten Tabellenteil aufgezeigten Auslastungen der Flugzeuge deutlich erhöhen. Gerade die Maschinen, welche die Verbindungen zu Flughäfen unterhalten und eine kleine Entfernung zum Frankfurter Flughafen aufweisen, besitzen nur eine geringe Gesamtflugzeit und hohe Standzeiten. Erfolgt kein Routenwechsel, würde beispielsweise die Maschine 1 auf der Route FRA – MUC nur eine Gesamtflugzeit von 04:45 h aufweisen. Würden die nach der Sitzplatzauslastung ausgewählten Flugzeuge so eingesetzt, wäre lediglich ein Routenwechsel der Flugzeuge zwischen den Strecken FRA – LHR und FRA – MUC möglich.

3.3.1 Frankfurt - Amsterdam

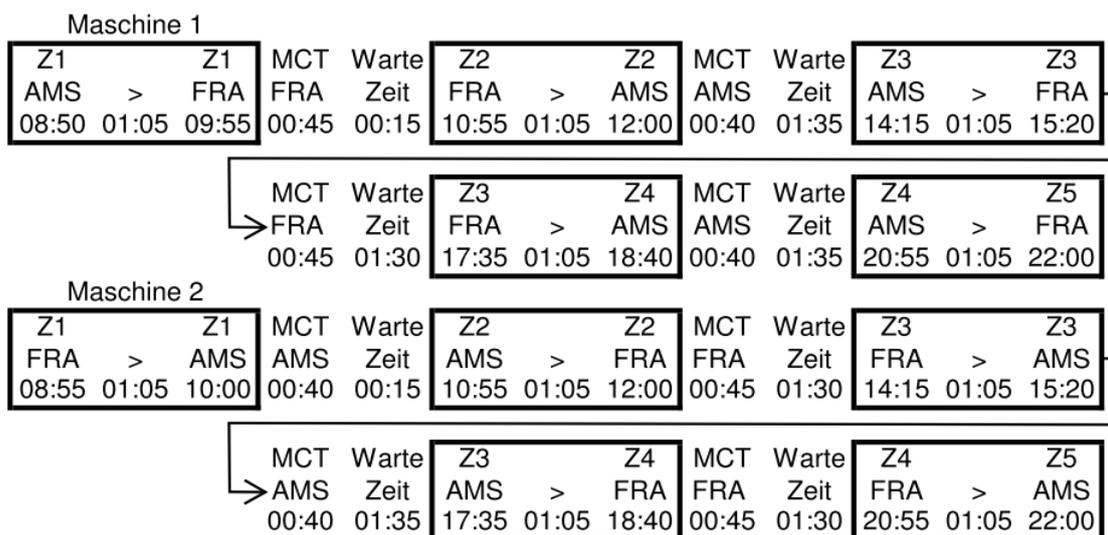


Abbildung 13: Verbindung FRA – AMS

Die Abbildung 13 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Frankfurt am Main* (FRA) und *Amsterdam Schiphol* (AMS). Sie kann durch zwei Flugzeuge, Maschine 1 und 2, umgesetzt werden.

Bis auf LGW existieren von AMS aus keine Strecken, die nicht durch Verbindungen von FRA abgedeckt werden. Dementsprechend können die vorher erläuterten Ankunftszeiten um 10:00 Uhr, 12:00 Uhr, 15:20 Uhr, 18:40 Uhr und 22:00 Uhr eingetaktet werden. Anders ist dies beim umgekehrten Fall, AMS nach FRA. FRA besitzt insgesamt fünf Verbindungen die nicht von AMS aus innerhalb dieses Flugnetzes erreichbar sind. Wie eingangs erwähnt, sind dies die Routen zu den Spokes *Hamburg* (HAM), *Berlin Tegel* (TXL), *Wien-Schwechat* (VIE) und *Zürich* (ZRH) und die Verbindung zum türkischen Hub *Istanbul-Atatürk* (IST). Aus diesem Grund muss Maschine 1 von AMS 08:50 Uhr starten, um 09:55 Uhr in FRA anzukommen. Den Hintergrund für diese Ankunftszeit bildet Gewährleistung der Erreichbarkeit innerhalb der MCT des Anschlussfluges nach VIE und IST, welche um 10:40 Uhr starten. Die anderen Ankunftszeiten sind wieder identisch mit

einer typischen Verteilung von 257 Sitzen, anbieten.⁸⁷ Mit einer maximalen Anzahl von 406 Sitzplätzen bietet er zudem einen hinreichenden Puffer, falls die Passagierzahlen auf dieser Route steigen.

3.3.3 Frankfurt – Paris-Charles-de-Gaulle

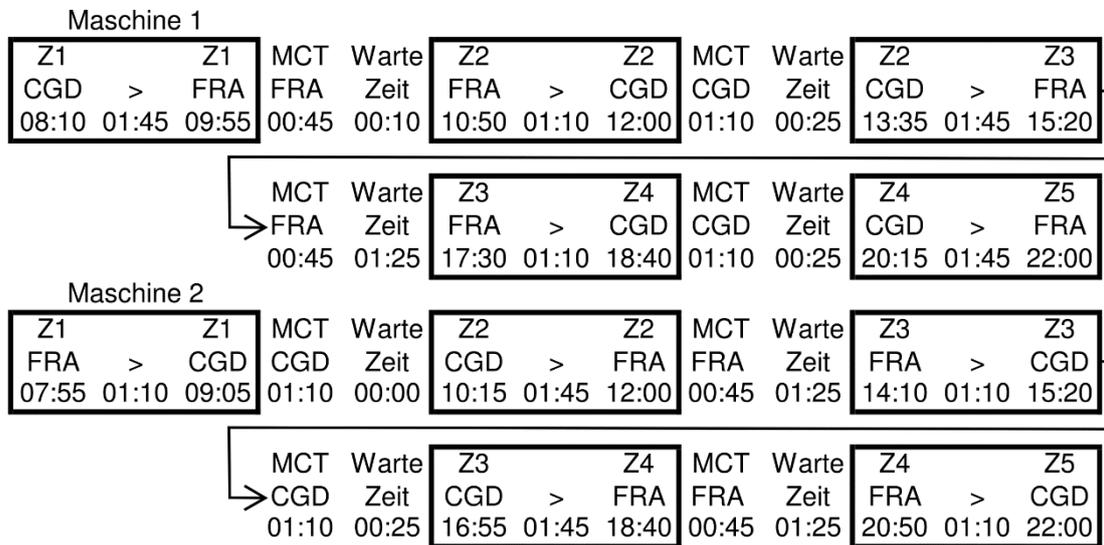


Abbildung 15: Verbindung FRA – CDG

Die Abbildung 15 weist die zeitliche Koordination der Verbindungen zwischen den Flughäfen *Frankfurt am Main* (FRA) und *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) aus. Auch sie deckt mit dem Einsatz von nur zwei Flugzeugen sämtliche Zeitintervalle ab.

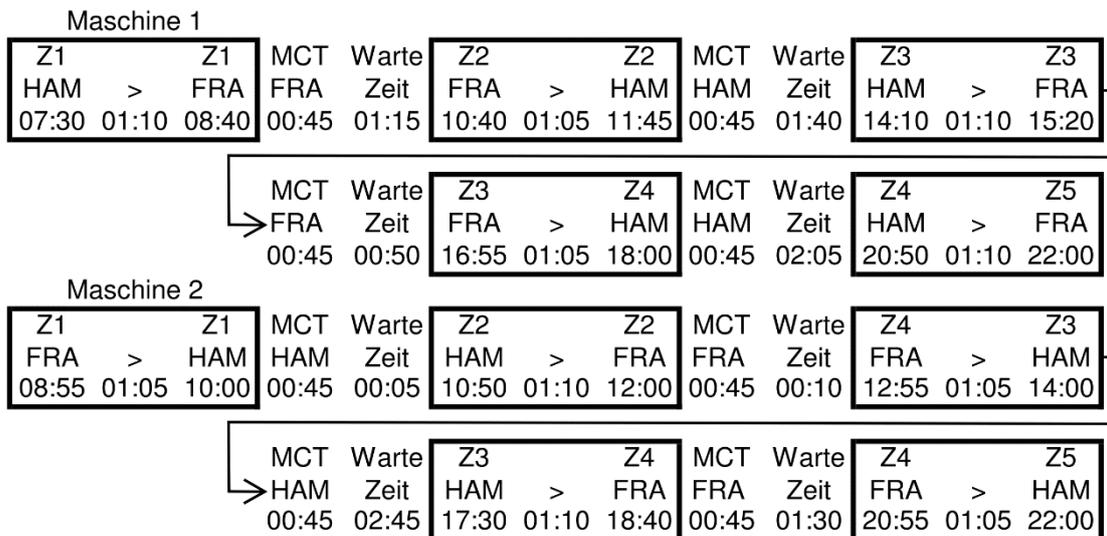
CDG besitzt zwei Spokes, *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE). Diese beiden sind ebenfalls nicht innerhalb des Flugnetzes von FRA aus erreichbar. Allerdings muss auch hier bei den Ankunftszeiten der Flugrichtung FRA – CDG keine besondere Rücksicht genommen werden. Die Spokes von CDG kommen ebenfalls zu den herausgearbeiteten Zeiten in CDG an und können innerhalb kürzester Zeit angefliegen werden. Die genaue zeitliche Taktung der Anschlüsse NCE und TLS wird unten (*Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG)) näher erläutert. Lediglich der Turnus selbst muss im Verlauf der erarbeiteten Ankunftszeiten eingetaktet werden. In der Gegenrichtung (CDG – FRA) muss bei der Erreichung des ersten Zeitintervalls darauf geachtet werden, dass die Anschlussflüge nach IST und VIE innerhalb der MCT von FRA realisierbar sind. Aus diesem Grund muss die Maschine 1 um 08:10 Uhr in CDG starten, damit sie rechtzeitig um 09:55 Uhr in FRA ankommt. Die restlichen Zeitzonen werden, wie bereits erwähnt, zu den speziellen Zeiten angefliegen, sodass sämtliche Anschlussflüge erreicht werden können.

Ausgehend von 1.380 zu befördernden Passagieren müssen die beiden Maschinen mindestens 285 Reisende aufnehmen können. Hierfür bietet sich ebenfalls, wie bei der Verbindung FRA – MAD, der Einsatz eines Airbus A350-800 an.⁸⁸

⁸⁷ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2

⁸⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.3.5 Frankfurt – Hamburg



Die Abbildung 17 weist die zeitliche Taktung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Frankfurt am Main* (FRA) und seinem ersten Spoke *Hamburg* (HAM) aus. Bei dieser Verbindung können ebenfalls mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge alle Zeitintervalle abgedeckt werden.

Der Hamburger Spoke ist neben der Verbindung mit dem Frankfurter Hub noch über den Münchner Hub in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann über beide Flughäfen so angefliegen werden. Bei der zeitlichen Taktung weist lediglich die Flugroute von FRA nach HAM eine Besonderheit auf, als das die Ankunftszeiten von den standardisierten Zeiten abweichen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass von Hamburg aus keine Anschlussflüge erreicht werden müssen und somit die Wartezeit in Frankfurt deutlich verkürzt werden kann. Bei der Wartezeit muss allerdings darauf geachtet werden, dass die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall erfolgen.

Bei der Flugrichtung von HAM nach FRA weist nur der erste Flug eine Besonderheit auf. Die Maschine 1 muss um 07:30 Uhr in HAM starten, um 08:40 Uhr in FRA zu landen. Den Hintergrund für diese frühe Ankunft bildet die Erreichbarkeit der Anschlussflüge in FRA. Würde dieser Flug später in FRA ankommen, wäre ein Weiterflug nach MAD innerhalb der MCT nicht mehr gewährleistet.

Für die jeweils 497 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich der Einsatz einer Boeing 747-8. Sie besitzt in der Zwei-Klasseneinteilung eine Kapazität von 524 Sitzplätzen und kann in der Ein-Klassen-Version maximal 581 Passagiere aufnehmen.⁹⁰

⁹⁰ Vgl. Kable (2018).

3.3.6 Frankfurt – Istanbul-Atatürk

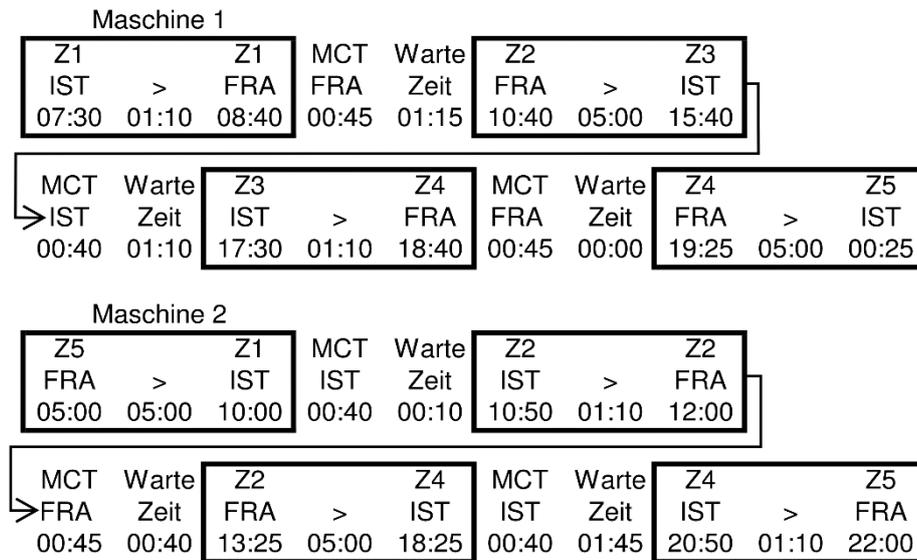


Abbildung 18: Verbindung FRA – IST

Die Abbildung 18 gibt die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Frankfurt am Main* (FRA) und dem größten türkischen Flughafen *Istanbul-Atatürk* (IST) wieder. Zudem ist die Verbindung FRA – IST innerhalb des Flugnetzes die einzige zwischen den türkischen Flughäfen und den restlichen in Europa.

Wie bereits oben kurz angesprochen, beträgt der Gesamtturnus, inklusive der MCTs der beiden Flughäfen, unter der Berücksichtigung der Zeitverschiebung, 8h 10min. Er überschreitet dementsprechend die Dauer zweier Zeitintervalle. Aus diesem Grund und in Verbindung mit den Nachtflugrestriktionen des Frankfurter Flughafens ist es nicht möglich, Ankünfte so zu einzutakten, dass sie innerhalb jedes Zeitintervalls stattfinden. Angesichts der geringen Passagierzahlen im Jahr 2016 (knapp unter 800.000) und am Stichtag (906) ist es jedoch nicht weiter problematisch, wenn ein Zeitintervall nicht angefliegen wird. Somit sind Ankünfte innerhalb von nur vier von fünf Zeitzonen als ausreichend anzusehen.

In der Flugrichtung IST – FRA erfolgt die erste Landung 08:40 Uhr. Damit können sämtliche Anschlussflüge, unter Einhaltung der MCT, in FRA erreicht werden. Die Ankunft an den in FRA angeschlossenen Flughäfen erfolgt dementsprechend noch vor 12:00 Uhr. Die weiteren Ankunftszeitpunkte in FRA sind um 12:00 Uhr, 18:40 Uhr und 22:00 Uhr, also exakt zu den Zeiten, zu denen sämtliche Flüge in FRA ankommen. Lediglich innerhalb des Nachmittagszeitintervalls 15:20 Uhr erfolgt keine Landung in FRA, weshalb die restlichen Ziele von FRA nicht um 18:40 Uhr erreicht werden können. Das Nachmittagszeitintervall in FRA wird nicht bedient, da zuvor keine Maschine das Mittagszeitintervall in IST angefliegen hat.

In der Gegenrichtung, IST nach FRA, ist die erste Ankunft um 10:00 Uhr möglich. Der Grund dafür liegt in den Nachtflugrestriktionen und der Zeitverschiebung. Denn in FRA beginnt der Flugbetrieb um 05:00 Uhr und die Flugdauer verlängert sich indirekt um 2 Stunden durch den Zeitunterschied. Die weiteren Ankünfte sind 15:40 Uhr, 18:25 Uhr und erst wieder 00:25 Uhr in der Nacht. Die Ankunft während des Mittagsinter-

valls um 12:00 Uhr ist aus bereits genannten Gründen nicht möglich. Zu all diesen Zeitpunkten finden Anschlussflüge zu den restlichen türkischen Spokes statt. Im umgekehrten Fall sind ebenfalls sämtliche Flüge von den Spokes nach IST so eingetaktet, dass der Anschlussflug nach FRA gewährleistet werden kann. Diese Spokes sind die Flughäfen *Adana (ADA)*, *Izmir-Adnan Menderes (ADB)*, *Antalya (AYT)* und *Ankara-Esenboğa (ESB)*. Deren zeitliche Abstimmung mit IST erfolgt jedoch erst im Abschnitt Istanbul-Atatürk (IST).

Für die Taktung der jeweils vier Flüge in beide Richtungen wird ein Flugzeugtyp benötigt, der 227 Passagiere aufnehmen kann. Hierfür könnte ebenfalls ein Airbus A321 neo infrage kommen.⁹¹ Aufgrund der relativ langen Flugdauer von 3 Stunden sowie 03:10 h ohne Zeitverschiebung empfiehlt es sich einen Flugzeugtyp zu wählen, welcher in der typischen und nicht in der maximalen Klasseneinteilung diese Anzahl an Passagieren bewältigen kann. Dies wäre zum einen der Airbus A330-800 neo mit 257 Sitzplätzen oder die Boeing 787-8 Dreamliner mit 242 Sitzen.^{92 93}

Würden alle fünf Zeitintervalle angefliegen werden, müsste die Nachflugrestriktion des Frankfurter Flughafens umgangen werden, indem der erste Flug in Richtung IST schon eher beginnt. Dann könnte der FRA – IST Turnus so eingetaktet werden, dass zu sämtlichen Zeitzonen Ankünfte stattfinden. Der Flug IST – FRA müsste ebenfalls vorverlegt werden. Dies stellt kein Problem dar, da für IST kein Nachtflugverbot existiert. Die zweite Variante besteht darin, eine dritte Maschine einzusetzen. Diese würde die Zeitintervalle bedienen, die von den ursprünglichen zwei Maschinen nicht abgedeckt werden. Da jedoch am Stichtag nur insgesamt sechs Flüge in jeweils beide Richtungen stattfanden, würde das oberste Ziel der Flugbewegungsreduktion nur in geringem Maße erfüllt werden. Aus diesen Gründen und in Verbindung mit der geringen Passagierzahl wird von der Erreichung des jeweils einen Zeitintervalls abgesehen.

3.3.7 Frankfurt – London Heathrow

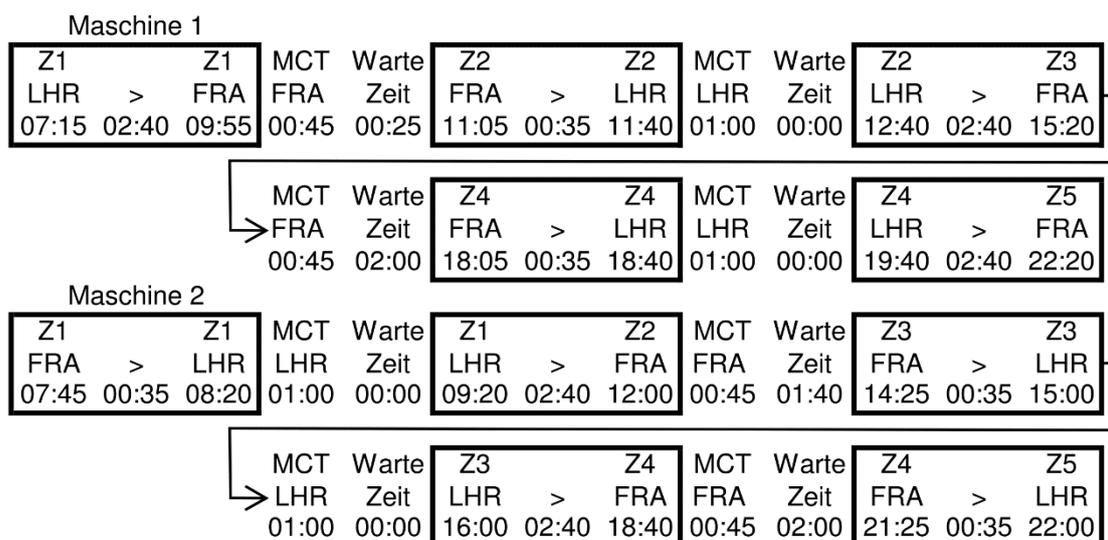


Abbildung 19: Verbindung FRA – LHR

⁹¹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

⁹² Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

⁹³ Vgl. Boeing (2018a).

Die Abbildung 19 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Frankfurt am Main* (FRA) und *London Heathrow* (LHR). Sie kann ebenfalls durch zwei Flugzeuge, die Maschinen 1 und 2, umgesetzt werden.

Von LHR aus existieren zwei Spokes innerhalb des Flugnetzes, die nicht von FRA aus direkt angefliegen werden. Dies sind die Flughäfen *Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI). Deren Taktung ist, wie bei allen anderen Spokes auch, der Ankunftszeit der anderen Flugverbindungen nachgelagert. Die genaue Koordinierung erfolgt im Abschnitt London Heathrow (LHR). Somit muss lediglich der Zyklus FRA – LHR selbst so eingetaktet werden, dass der Rückflug rechtzeitig wieder am Abflughafen ankommt. Bei der Abstimmung muss ebenfalls auf die Berücksichtigung der Zeitverschiebung geachtet werden. In der Flugrichtung FRA – LHR beträgt die Flugdauer 01:35 h abzüglich 1 Stunden Zeitdifferenz. In der Gegenrichtung, LHR – FRA, muss diese eine Stunde wieder hinzuaddiert werden. Die Zeitverschiebung ist auch die Ursache für die unterschiedlich langen Wartezeiten von Null bis zu zwei Stunden und die abweichenden Ankunftszeiten im Vergleich zu den restlichen Hubs. Einzige Ausnahme bei der Berücksichtigung des Gesamtturnus bildet das erste Zeitintervall bei der Ankunft in FRA. Denn das Erreichen der Flüge nach IST und VIE sind auch hier die Gründe, warum der Flug aus LHR schon um 09:55 Uhr eintreffen muss.

Für die zu befördernden 424 Passagiere pro Strecke bietet sich der Einsatz von Maschinen des Typs Airbus A350-1000 an, welche auch nach MAD, MUC und VIE genutzt werden.⁹⁴

3.3.8 Frankfurt – Adolfo Suárez Madrid-Barajas

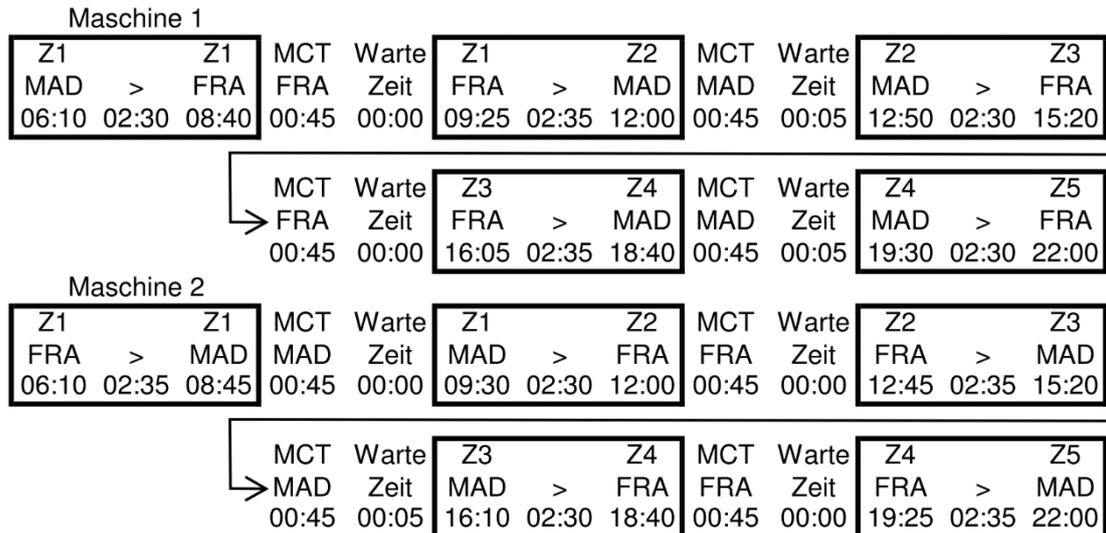


Abbildung 20: Verbindung FRA – MAD

Die Abbildung 20 stellt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Frankfurt am Main* (FRA) und *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) dar. Sie ist der kritische Pfad des Frankfurter Hubs und kann ebenso mittels zweier Flugzeuge realisiert werden.

⁹⁴ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

Von MAD aus existieren insgesamt drei Spokes innerhalb des Flugnetzes ohne direkte Verbindung zu FRA. Dies sind die Flughäfen *Las Palmas de Gran Canaria* (LPA), *Tenerife Norte* (TFN) und *Palma de Mallorca* (PMI). Deren zeitliche Koordinierung mit MAD erfolgt im Abschnitt Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD). Sie spielen für die Einplanung der Verbindung FRA – MAD jedoch eine eher untergeordnete Rolle. Hauptsächlich muss auf die Flugdauer und die MCT der beiden Hubs Rücksicht genommen werden. Deswegen müssen beide Flüge, obgleich in welche Richtung, schon relativ zeitig starten, damit sie rechtzeitig wieder am jeweiligen Abflughafen eintreffen können. Aus dieser Flugverbindung haben sich auch die entsprechenden Ankunftszeitpunkte innerhalb der jeweiligen Intervalle ergeben. Die Wartezeit von 5 Minuten in MAD resultiert allein aus der Differenz der beiden Flugzeiten. In Richtung FRA – MAD sind es 02:25 h und in der Gegenrichtung MAD – FRA sind es mit 02:30 h eben diese 5 Minuten weniger.

Angesichts der Gesamtzahl von 1.666 Passagieren am Stichtag ergibt sich, dass die beiden Maschinen mindestens 333 Reisende aufnehmen müssen. Wie bei den Verbindungen nach LHR, MUC und VIE, bietet sich der Airbus A350-1000 dafür an.⁹⁵

3.3.9 Frankfurt – München

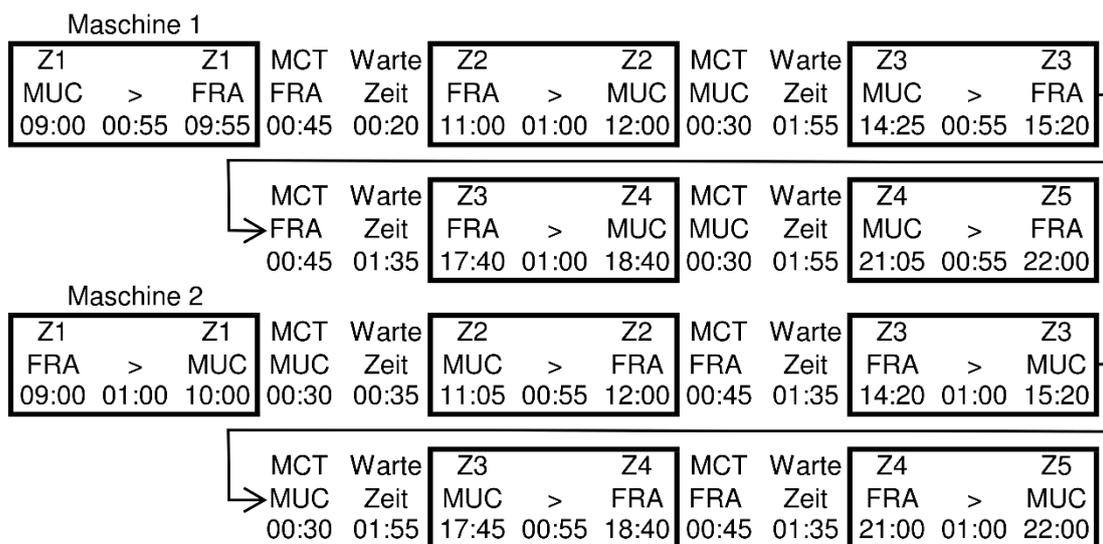


Abbildung 21: Verbindung FRA – MUC

Die Abbildung 21 zeigt die zeitliche Taktung der Verbindung zwischen den zwei deutschen Hubs *Frankfurt am Main* (FRA) und *München* (MUC). Sie kann ebenfalls mittels zweier identischer Maschinen aufrechterhalten werden.

Bei der zeitlichen Abstimmung ist lediglich beim ersten Flug von MUC nach FRA eine gewisse Rücksicht zu nehmen. Die Maschine 1 muss 09:00 Uhr in MUC starten, um 09:55 Uhr in FRA anzukommen. Den Hintergrund für diese Ankunftszeit bildet die Erreichbarkeit bestimmter Anschlussflüge in FRA. Würde dieser Flug später in FRA ankommen, wäre nicht mehr gewährleistet, dass der Weiterflug nach IST und VIE innerhalb der MCT erreicht werden kann. In der Gegenrichtung, FRA – MUC, muss dahingehend keine besondere

⁹⁵ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

Rücksicht genommen werden, da sämtliche Verbindungen von MUC aus auch von FRA aus erreichbar sind. Lediglich die Flugroute von MUC nach Düsseldorf (DUS) ist nicht Bestandteil der Destinationen von FRA. Doch durch die im Kapitel 3.2 bereits erwähnte intermodale Anbindung ist dieser Anbindung über MUC keine Beachtung zu schenken.

Zwischen den beiden Hubs verkehrten zum Stichtag 1.968 Passagiere in eine Richtung. Mit der Abdeckung der Verbindung durch jeweils fünf Flüge werden zwei Flugzeuge benötigt, die insgesamt 394 Passagiere fassen können. Es empfiehlt sich auch in diesem Fall, den Airbus A350-1000 einzusetzen, da dieser maximal 440 Reisende aufnehmen kann. Aufgrund des Routenwechsels mit den Strecken LHR, MAD und VIE sowie der damit beeinflussbaren Auslastung der jeweiligen Maschinen bietet sich dieser Flugzeugtyp auch an.⁹⁶

3.3.10 Frankfurt – Berlin Tegel

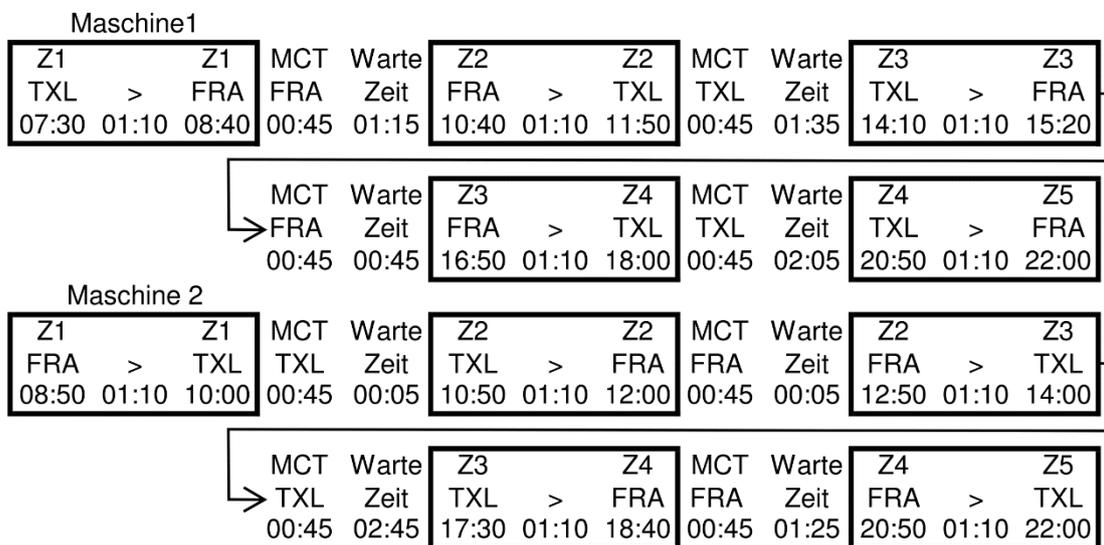


Abbildung 22: Verbindung FRA – TXL

Die Abbildung 22 weist die zeitliche Taktung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Frankfurt am Main* (FRA) und seinem zweiten Spoke *Berlin Tegel* (TXL) aus. Bei dieser Verbindung können ebenfalls mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge alle Zeitintervalle abgedeckt werden.

Wie auch der Hamburger Spoke ist der Berliner neben der Verbindung mit dem Frankfurter Hub noch über den Münchner Hub in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann dementsprechend über beide Hubs erreicht werden. Bei der zeitlichen Koordinierung treten, wie auch bei der Hamburger Verbindung, Abweichungen von standardisierten Ankunftszeiten auf. Dies kann ebenfalls darauf zurückgeführt werden, dass von TXL aus keine Verbindungen existieren, die nicht von FRA direkt oder intermodal erreicht werden können. Dementsprechend kann die Wartezeit in Frankfurt deutlich verkürzt werden. Bei der Wartezeit muss ebenfalls nur darauf geachtet werden, dass die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall erfolgen.

⁹⁶ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

Bei der zeitlichen Abstimmung der Flugrichtung TXL – FRA muss lediglich bei dem ersten Flug Rücksicht auf das Erreichen der Anschlussflüge genommen werden. Die Maschine 1 muss 07:30 Uhr in TXL starten, damit sie um 08:40 Uhr in FRA landet. Auch hier bildet die Erreichbarkeit der Anschlussflüge die Ursache für diese frühe Ankunft in FRA, insbesondere des 09:25 Uhr Fluges nach MAD.

Nur der Airbus A380 besitzt die Möglichkeit, 682 Passagiere zu befördern, da er der einzige Flugzeugtyp ist, welcher über ein derartiges Sitzplatzangebot verfügt.⁹⁷

3.3.11 Frankfurt – Wien

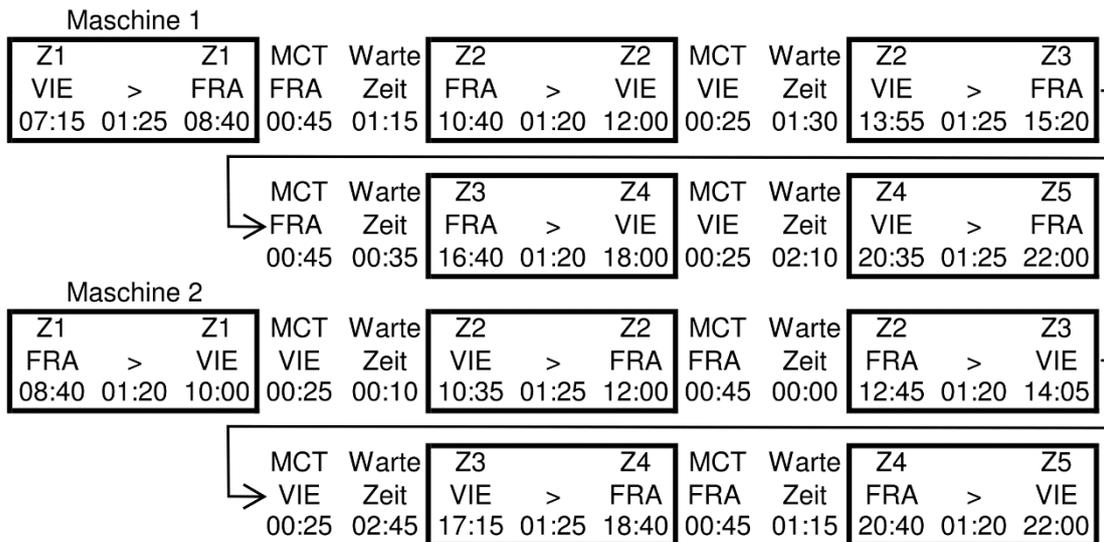


Abbildung 23: Verbindung FRA – VIE

Die Abbildung 23 gibt die zeitliche Koordination der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Frankfurt am Main* (FRA) und seinem dritten Spoke *Wien-Schwechat* (VIE) wieder. Sie kann ebenfalls durch den Einsatz von nur zwei Flugzeugen umgesetzt werden.

Anders als der Berliner und der Hamburger Spoke ist Wien einzig und allein über den Frankfurter Flughafen in das erstellte Flugnetz eingebunden und somit nur über diesen Hub erreichbar. Die Verbindung nach VIE bildet zudem die Ursache dafür, dass sämtliche Flüge spätestens 09:55 Uhr in FRA ankommen müssen. Bei einer fünfminütigen Verspätung würde der Flug nach VIE 10:40 Uhr nicht mehr sichergestellt werden können.

Auch bei dieser Spoke-Verbindung weichen die Ankunftszeiten in VIE von den Standardankunftszeiten, zugunsten einer kürzeren Wartezeit in FRA, ab. Bei der Gegenrichtung, VIE – FRA, existiert nur bei der Taktung des ersten Fluges eine Auffälligkeit. Die erste Maschine muss, genauso wie die Maschine 1 bei den anderen Spokes, 07:15 Uhr in VIE starten, um 08:40 Uhr in FRA rechtzeitig landen zu können. Den Grund dafür bildet abermals die Erreichbarkeit der Verbindung FRA – MAD um 09:25 Uhr. Bei einer späteren Ankunft in FRA wäre auch in diesem Fall der Weiterflug nach MAD innerhalb der MCT nicht mehr gewährleistet.

⁹⁷ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

Für die jeweils 375 Reisenden empfiehlt sich der Einsatz des Airbus A350-1000. Dadurch sind Routenwechsel der Maschinen nach LHR, MAD und MUC möglich.⁹⁸

3.3.12 Frankfurt – Zürich

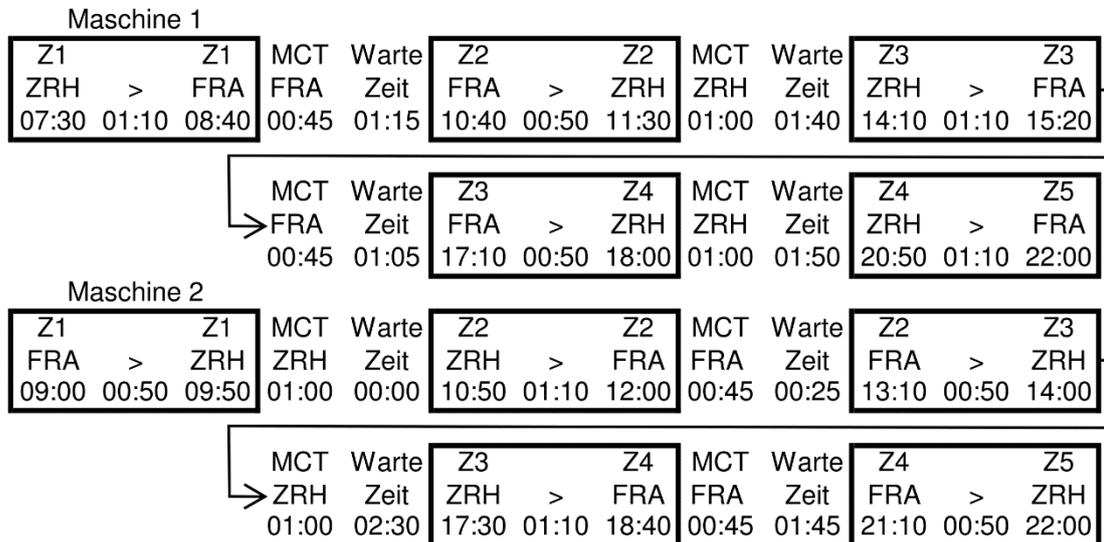


Abbildung 24: Verbindung FRA – ZRH

Die Abbildung 24 weist die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Frankfurt am Main* (FRA) und seinem vierten Spoke *Zürich* (ZRH) aus. Bei dieser Verbindung können ebenfalls mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge alle Zeitintervalle abgedeckt werden.

Abgesehen von der Verbindung mit dem Frankfurter Hub ist der Züricher Flughafen noch über den Hub London Heathrow (LHR) in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann dementsprechend über beide Flughäfen angefliegen werden. Aufgrund der Passagierzahlen von über einer Million im Jahr 2016 besitzt er zudem eine Point-to-Point Verbindung mit dem Flughafen Berlin Tegel (TXL). Diese beiden Routen werden im weiteren Verlauf noch detaillierter erläutert werden. Wie auch die anderen Spokes, muss bei der zeitlichen Taktung des ersten Fluges von ZRH nach FRA darauf geachtet werden, dass die Maschine 1 07:30 Uhr in ZRH startet, damit sie um 08:40 Uhr in FRA landet. Diese frühe Ankunftszeit wird ebenfalls durch das Erreichen der Anschlussflüge begründet.

In der Gegenrichtung (FRA – ZRH) muss keine besondere Rücksicht genommen werden, da die Flugdauer im Vergleich zu anderen Verbindungen als kurz angesehen werden kann. Die Ankunftszeiten in ZRH weichen ebenfalls von den standardisierten Zeiten ab. Dies basiert auf den fehlenden Anschlüssen in ZRH und zugunsten einer Wartezeitverkürzung in FRA.

Für die Beförderung von 233 Passagieren bietet sich der Einsatz einer Boeing 787-8 oder eines Airbus A321 neo an.^{99 100}

⁹⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

⁹⁹ Boeing (2018).

¹⁰⁰ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.4 Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD)

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	MAD	06:10	08:45	09:25	12:00	12:45	15:20	16:05	18:40	19:25	22:00
BCN	MAD	08:45	10:00	10:45	12:00	14:05	15:20	17:25	18:40	20:45	22:00
CDG	MAD	07:10	09:15	09:55	12:00	13:15	15:20	16:35	18:40	19:55	22:00
FCO	MAD	06:15	08:50	09:25	12:00	12:45	15:20	16:05	18:40	19:25	22:00
FRA	MAD	06:10	08:45	09:25	12:00	12:45	15:20	16:05	18:40	19:25	22:00
LGW	MAD	05:25	08:45	08:40	12:00	13:00	16:20	15:20	18:40	19:40	23:00
LHR	MAD	06:05	09:25	08:40	12:00	13:00	16:20	15:20	18:40	19:40	23:00
LPA	MAD	05:00	08:45	08:15	12:00	13:00	16:45	15:35	19:20	20:20	00:05
MUC	MAD	06:15	08:45	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
ORY	MAD	07:15	09:15	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
PMI	MAD	07:25	08:45	10:40	12:00	14:00	15:20	17:20	18:40	20:40	22:00
TFN	MAD	07:00	10:40	08:20	12:00	14:15	17:55	15:35	19:15	21:30	01:10

MCT MAD = 45 min

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
MAD	AMS	06:15	08:45	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
MAD	BCN	08:10	09:25	10:45	12:00	14:05	15:20	17:25	18:40	20:45	22:00
MAD	CDG	06:45	08:45	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
MAD	FCO	06:15	08:40	09:35	12:00	12:55	15:20	16:15	18:40	19:35	22:00
MAD	FRA	06:10	08:40	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
MAD	LGW	06:20	07:40	10:40	12:00	13:00	14:20	17:20	18:40	20:40	22:00
MAD	LHR	06:25	07:40	10:45	12:00	13:05	14:20	17:25	18:40	20:45	22:00
MAD	LPA	05:25	07:15	10:10	12:00	12:45	14:35	17:30	19:20	20:10	22:00
MAD	MUC	06:30	09:00	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
MAD	ORY	07:25	09:25	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
MAD	PMI	08:20	09:40	10:10	11:30	12:45	14:05	17:30	18:50	20:40	22:00
MAD	TFN	05:30	07:20	11:25	13:15	12:45	14:35	18:40	20:30	20:10	22:00

Destination	min. Sitzplatz- anzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
AMS	281	12:45	12:40	A380	A350-900
BCN	850	06:15	06:15	A380	A380
CDG	327	10:15	10:10	A380	A350-900
FCO	311	12:35	12:25	A380	A350-900
FRA	333	12:40	12:45	A380	A350-1000
LGW	282	11:40	11:40	A380	A350-900
LHR	371	11:30	11:25	A380	A350-1000
LPA	414	13:55	14:00	747-400D	Boeing 747-8

MUC	232	12:30	12:30	A380	Boeing 787-8
ORY	345	10:00	10:00	A380	A350-1000
PMI	506	06:40	06:40	A380	Boeing 747-8
TFN	360	13:40	13:50	747-400D	A350-1000

Tabelle 21: zeitliche Einteilung Hub Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD)

Die obige Tabelle zeigt sämtliche Verbindungen des Hubs *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD). Wie bereits im Kapitel 3.2 erläutert, ist es schwierig, einen konkreten kritischen Pfad zu identifizieren, da eine Vielzahl der zwölf Verbindungen jeweils eine hohe Flugzeit aufweisen. Die Zeitverschiebung auf zwei Spoke-Routen verkompliziert deutlich die zeitliche Koordinierung innerhalb der fünf Zeitintervalle. Aufgrund dieser Umstände kann nicht immer gewährleistet werden, dass sämtliche Anschlussflüge sofort erreicht werden können. Daraus resultiert, dass Reisende auf bestimmten Routen über den Madrider Flughafen längere Transitzeiten in Kauf nehmen müssen, zum Beispiel wenn sie zu bestimmten Zeiten ihre Reise beginnen. Es kann dann dazu kommen, dass die Fluggäste in Madrid erst einem späteren Anschlussflug nutzen können. Diese geringere Verbindungsgüte für bestimmte Routen muss in Kauf genommen werden, wenn das oberste Ziel (Reduzierung von Flugbewegungen) genüge getan werden soll. Andernfalls müssten weitere Maschinen eingesetzt werden, die zusätzliche Flugbewegungen nach sich ziehen und die Auslastung der bereits verwendeten Flugzeuge reduzieren. Dies ist insbesondere im Fall bei der Verbindung zum Flughafen *Tenerife Norte* (TFN), welche später detailliert erläutert wird.

Tenerife Norte (TFN) bildet zudem mit den Flughäfen *Las Palmas de Gran Canaria* (LPA) und *Palma de Mallorca* (PMI) die Spokes von MAD. Dabei sind TFN und LPA ausschließlich über MAD innerhalb des erstellten Flugnetzes zu erreichen. PMI kann über den kleineren spanischen Hub *Barcelona-El Prat* (BCN) angefliegen werden.

Das Nichtvorhandensein von Nachtflugrestriktionen ermöglicht dem Flughafen Madrid einen 24 Stunden Flugbetrieb.¹⁰¹ Das kommt der weiteren Auslastung der eingesetzten Maschinen außerhalb der Abflugs- und Ankunftszeiten zugute. Sie können demnach auf Mittel- und Langstreckenflügen eingesetzt werden, auch wenn sie weit nach 22:00 Uhr MAD erreichen. Zudem beträgt die *minimum connecting time* (MCT), wie in FRA, nur 45 Minuten.¹⁰² Diese gute Umsteigezeit ermöglicht kurze Turnaroundzeiten einzuplanen und somit die meisten der Flüge zu den erarbeiteten Ankunftszeiten vor 10:00 Uhr, 12:00 Uhr, 15:20 Uhr, 18:40 Uhr und 22:00 Uhr einzutakten. Abweichungen von diesen Zeiten sind allerdings, wie bereits erwähnt, auf Strecken mit einer Zeitverschiebung möglich. Dies sind die Verbindungen zu den Flughäfen auf den kanarischen Inseln (TFN und LPA) sowie zu den Hubs in Großbritannien (LHR und LGW).

¹⁰¹ Vgl. Aeropuerto Madrid-Barajas (2017).

¹⁰² Vgl. IBERIA LAE S.A. (2017).

3.4.1 Madrid – Amsterdam

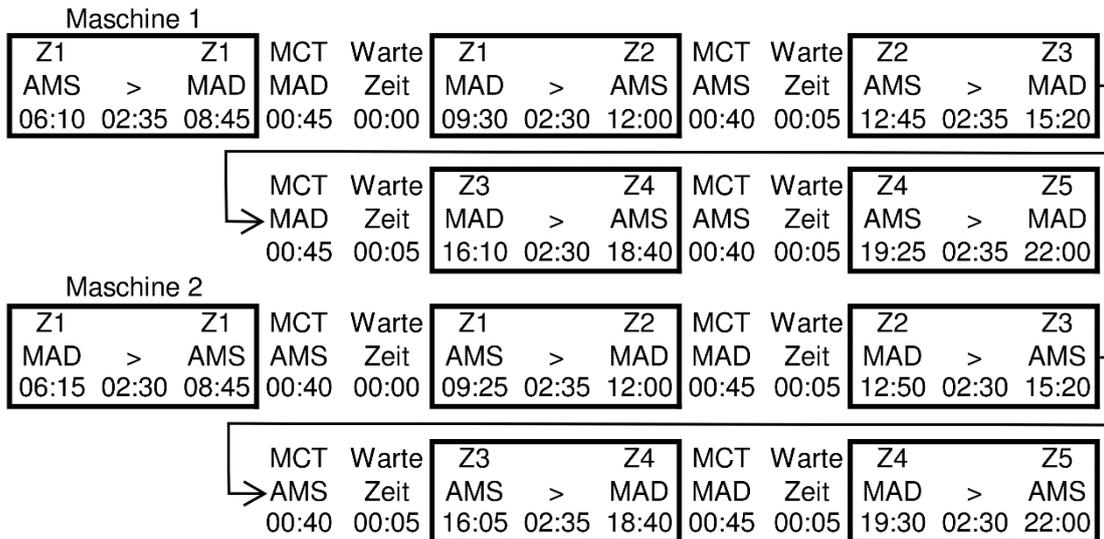


Abbildung 25: Verbindung MAD – AMS

Die Abbildung 25 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Hubs *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) und *Amsterdam Schiphol* (AMS). Sie kann durch zwei Flugzeuge (Maschine 1 und 2) umgesetzt werden.

Von AMS existieren keine Verbindungen, die nicht von MAD aus erreicht werden können, da AMS keine eigenen Spokes besitzt. Aus diesem Grund muss in der Richtung MAD – AMS keine Rücksicht auf das Erreichen von Anschlussflügen genommen werden. Anders ist dies beim umgekehrten Fall, AMS nach MAD, da MAD insgesamt drei Verbindungen besitzt, die nicht von AMS innerhalb des erstellten Flugnetzes direkt angeflogen werden. Für AMS stellt die Verbindung zu MAD zudem den kritischen Pfad dar. Begründet wird dies mit den langen Flugzeiten. In der Richtung AMS – MAD sind es 02:35 h und in der Gegenrichtung (MAD – AMS) sind es lediglich fünf Minuten weniger. Aus diesem Grund muss Maschine 1 von AMS 06:10 Uhr starten, damit sie innerhalb des Mittagszeitintervalls um 12:00 Uhr pünktlich auch wieder in AMS ankommen kann. Bei der Richtung MAD – AMS kann Maschine 2 fünf Minuten später, 06:15 Uhr, starten, um innerhalb des Mittagszeitintervalls (12:00 Uhr) in MAD anzukommen. Die restlichen Ankunftszeiten beider Flughäfen sind identisch mit denen, die in der Verbindung FRA – MAD erarbeitet wurden. Es sind die Zeiten 15:20 Uhr, 18:40 Uhr und 22:00 Uhr. Für die zu befördernden 281 Passagiere pro Flug bietet sich der Einsatz eines Airbus 350-900 an, welcher auch von MAD aus nach CDG, FCO und LGW genutzt wird.¹⁰³

¹⁰³ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.4.2 Madrid – Barcelona

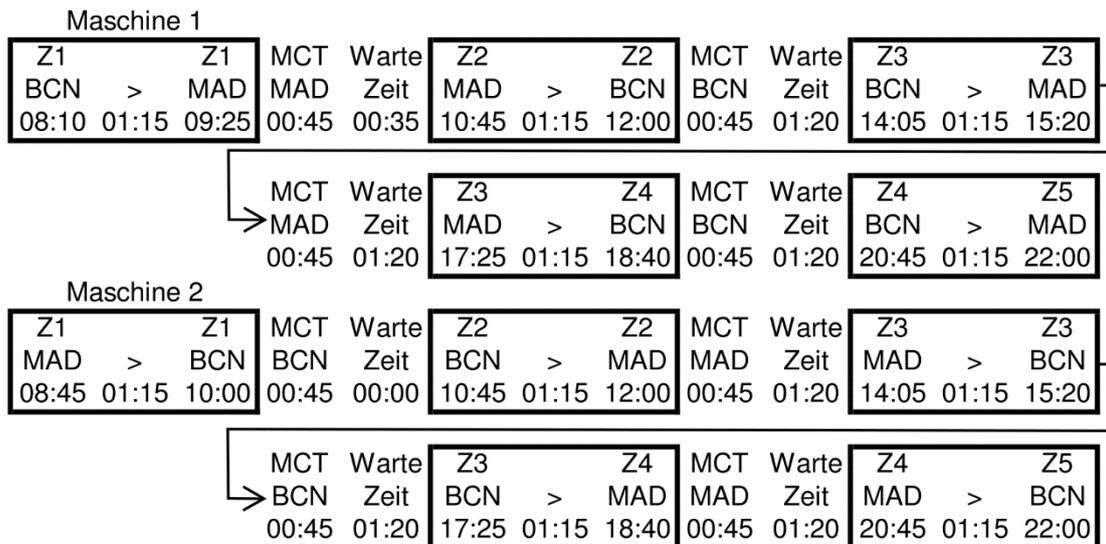


Abbildung 26: Verbindung MAD – BCN

Die Abbildung 26 zeigt die zeitliche Taktung der Verbindung zwischen den beiden spanischen Hubs *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) und *Barcelona-El Prat* (BCN). Sie kann ebenfalls mittels des Einsatzes von nur zwei Flugzeugen umgesetzt werden.

BCN besitzt innerhalb des Flugnetzes eine Verbindung, die nicht von MAD aus direkt angefliegen wird. Diese Verbindung ist die Route nach *Ibiza* (IBZ). Aufgrund der kurzen Flugdauer zwischen BCN und IBZ sowie MAD und BCN muss bei der Richtung MAD nach BCN keine besondere Rücksicht auf das Erreichen der Anschlussflüge nach IBZ in BCN genommen werden. In der Gegenrichtung (BCN – MAD) hingegen muss auf diese Flüge geachtet werden, da die Anschlussflüge zu den Spokes erreichbar sind. Speziell im ersten Zeitintervall muss der Flug so erfolgen, dass die Verbindung nach LPA noch sichergestellt wird. Deswegen muss die Maschine 2 von BCN schon um 08:45 Uhr starten, um rechtzeitig 09:25 Uhr anzukommen. Unter Einhaltung der MCT von 45 Minuten in MAD kann der Weiterflug nach LPA somit gewährleistet werden. Das Erreichen weiterer Spoke-Verbindungen von MAD ist durch diese Ankunftszeit ebenfalls abgedeckt.

Aufgrund der hohen Passagierzahlen im Jahr 2016 von knapp über 2,3 Millionen und der am Stichtag ermittelten 4249 Fluggäste, wird ein Maschinentyp benötigt, welcher für alle fünf Flüge am Tag rund 850 Reisende befördern kann. In diesem Fall kommt lediglich der Einsatz eines Airbus A380 infrage. Er kann in der maximalen Sitzanordnung 853 Passagiere transportieren.¹⁰⁴ Da dies einer Auslastung pro Flug von über 99% entspricht, sollte über den Einsatz eines weiteren Flugzeugs für die Zukunft nachgedacht werden.

¹⁰⁴ Vgl. Aeropuerto Madrid-Barajas (2017).

3.4.4 Madrid – Rom-Fiumicino

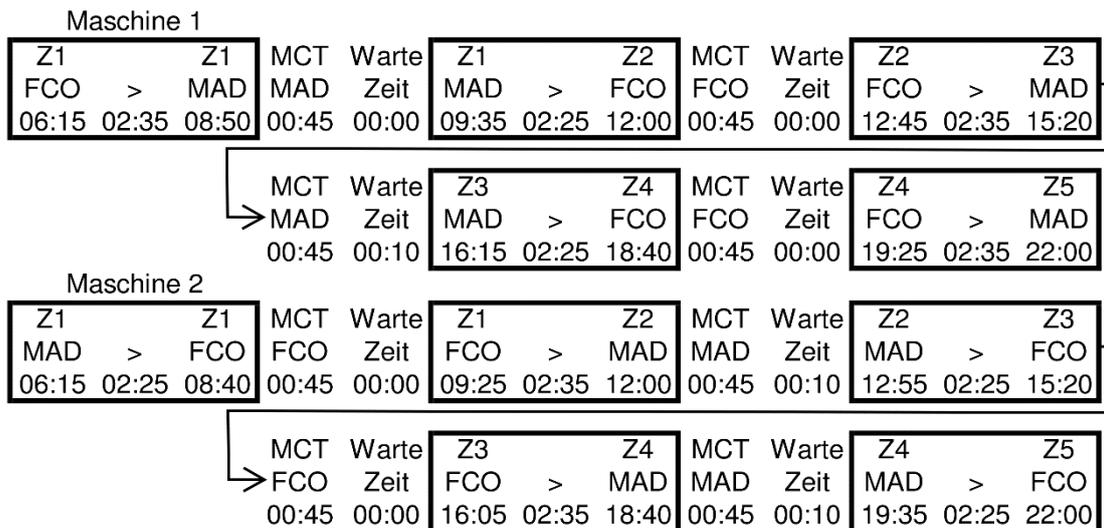


Abbildung 28: Verbindung MAD – FCO

Die Abbildung 28 gibt die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen den Flughäfen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) und *Rom-Fiumicino* (FCO) an. Auch hier können durch den Einsatz zweier Maschinen alle Zeitintervalle abgedeckt werden.

Im Gegensatz zu CDG besitzt FCO drei Spokes. Dies sind die Flughäfen *Catania-Fontanarossa* (CTA), *Mailand-Linate* (LIN) und *Palermo-Punta Raisi* (PMO). Diese drei Spokes werden ebenfalls nicht innerhalb des Flugnetzes von MAD aus angeflogen. Diese Tatsache erfordert jedoch für die allgemeine zeitliche Abstimmung zwischen MAD und FCO keine besondere Berücksichtigung. Die Spokes von FCO können zeitlich so abgestimmt werden, dass sie zu den herausgearbeiteten Zeiten in FCO ankommen und somit sämtliche Anschlussflüge in FCO gewährleistet sind. Die exakte zeitliche Koordinierung der Anschlüsse CTA, LIN und PMO werden unten (Rom-Fiumicino (FCO)) näher betrachtet. Damit jedoch der Turnus zwischen MAD und FCO innerhalb der bestimmten Zeiten eingehalten werden kann, müssen beide Maschinen um 06:15 Uhr starten, um später wieder 12:00 Uhr am Ausgangsflughafen landen zu können. Damit besitzen beide Hubs die Möglichkeit (MAD wie FCO), dass die Anschlussflüge zu den entsprechenden Spokes erreicht werden. Die restlichen Zyklen erfolgen nach dem erarbeiteten Zeitmuster.

Für die 311 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich, wie bei den vorherigen Routen, der Einsatz eines Airbus A350-900.¹⁰⁶

Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.4.6 Madrid – London Heathrow

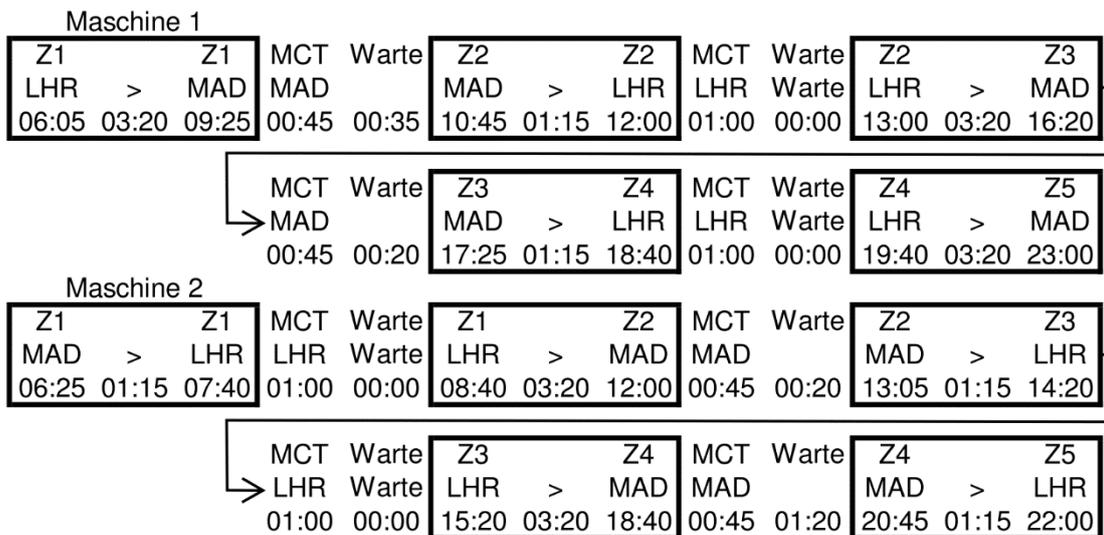


Abbildung 30: Verbindung MAD – LHR

Die Abbildung 30 zeigt die zeitliche Taktung der Flugverbindung zwischen den Hubs *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) und *London Heathrow* (LHR), welche ebenfalls durch den Einsatz zweier Flugzeuge die Ankünfte in allen Zeitintervallen abdeckt.

Der britische Hub LHR stellt dabei, wie LGW, die Verbindung zu den Spokes *Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI) sicher. Fluggäste, die von Madrid aus ihre Reise beginnen und DUB oder EDI als Zieldestination haben, könnten dementsprechend zwischen den Routen MAD – LGW – DUB/EDI oder MAD – LHR – DUB/EDI wählen.

Die Gesamtreisezeit und die damit einhergehenden Ankunftszeiten in DUB und EDI unterscheiden sich jedoch nur geringfügig. Diese Thematik wird jedoch in den Kapiteln zu den Hubs LGW und LHR nochmals detaillierter erläutert.

Die erarbeiteten standardisierten Ankunftszeiten weichen ebenfalls im Nachmittagsintervall aufgrund der Zeitverschiebung ab. Es konnte aber sichergestellt werden, dass sämtliche Anschlussflüge in BCN, wie auch in LHR, innerhalb der jeweiligen MCT erreichbar sind. Maschine 1 muss lediglich um 06:05 Uhr in LHR starten, damit sie 09:25 Uhr in MAD ankommt. Somit kann der Weiterflug nach LPA um 10:10 Uhr gewährleistet werden. Maschine 2 von MAD nach LHR hingegen muss spätestens 7:40 Uhr ankommen, damit sie um 08:40 Uhr starten kann, um dann 12:00 Uhr wieder in MAD zu landen. In diesem Fall ist also der Gesamtturnus der ausschlaggebende Faktor für den Abflug von MAD aus.

Zur Beförderung der 371 Fluggäste empfiehlt sich der Einsatz eines Airbus A350-1000.¹⁰⁸

¹⁰⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.4.7 Madrid – Las Palmas de Gran Canaria

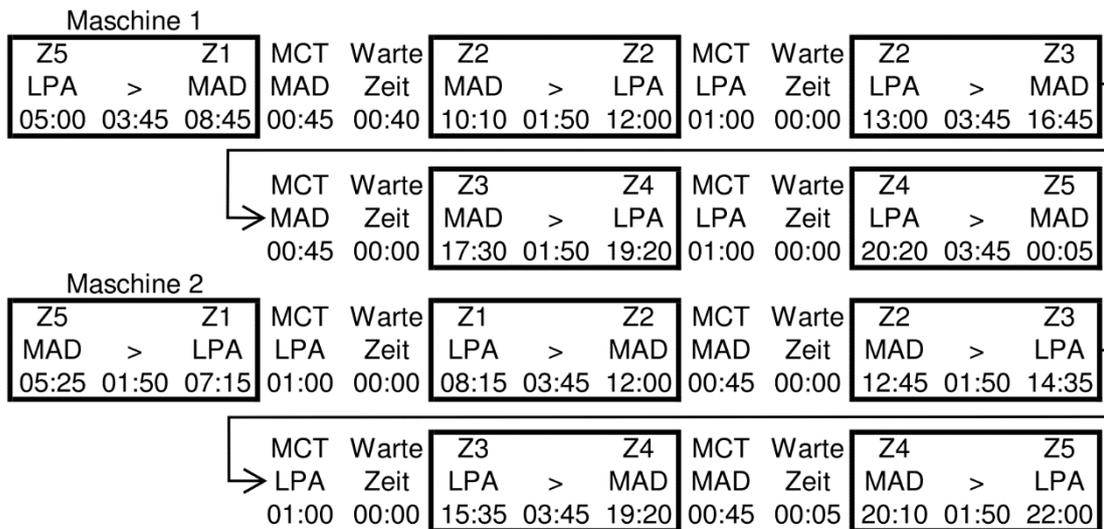


Abbildung 31: Verbindung MAD – LPA

Die Abbildung 31 zeigt die Verbindung zwischen dem Hub *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) dessen zweiten Spoke *Las Palmas de Gran Canaria* (LPA). In diesem Fall kann deren Vernetzung mittels zweier Flugzeuge aufrechterhalten werden.

Infolge der einstündigen Zeitverschiebung und in Verbindung mit den langen Flugzeiten von 02:45 h (LPA – MAD) und 02:50 h (MAD – LPA) weichen auch in diesem Punkt die Ankunftszeiten von den standardisierten Zeiten ab. Aufgrund dieses Umstandes kann nur innerhalb der ersten beiden Zeitintervalle morgens und mittags gewährleistet werden, dass sämtliche Anschlussflüge in MAD ohne lange Aufenthalte erreichbar sind. Die erste Ankunftszeit in MAD ist demnach 08:45 Uhr, die zweite um 12:00 Uhr. In den restlichen Zeitintervallen müssen Reisende von LPA aus gegebenenfalls längere Wartezeiten in Kauf nehmen, wenn ihr Weiterflug beispielsweise erst in einem nachfolgendem Zeitintervall angetreten werden kann. Für Reisende, die LPA als Zieldestination ausgewählt haben und somit MAD zum Transit nutzen, fällt lediglich beim Umstieg innerhalb des dritten Zeitintervalls eine vergleichsweise längere Wartezeit an. Eine Vielzahl von Flügen nach MAD wurde nachmittags so eingetaktet, dass sie 15:20 Uhr in MAD ankommen. Der Weiterflug nach LPA verzögert sich jedoch infolge der Gesamtturnusdauer und unter den bereits genannten Umständen. Somit kann die Maschine 1 erst um 17:30 Uhr nach LPA abheben. Entsprechend der jeweils 414 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich die Nutzung einer Boeing 747-8, da sie diese Anzahl bewältigen kann und sie gemäß Boeing die behördliche Genehmigung für LPA besitzt.^{109 110}

¹⁰⁹ Vgl. Kable (2018).

¹¹⁰ Vgl. Boeing (2018b).

3.4.8 Madrid – München

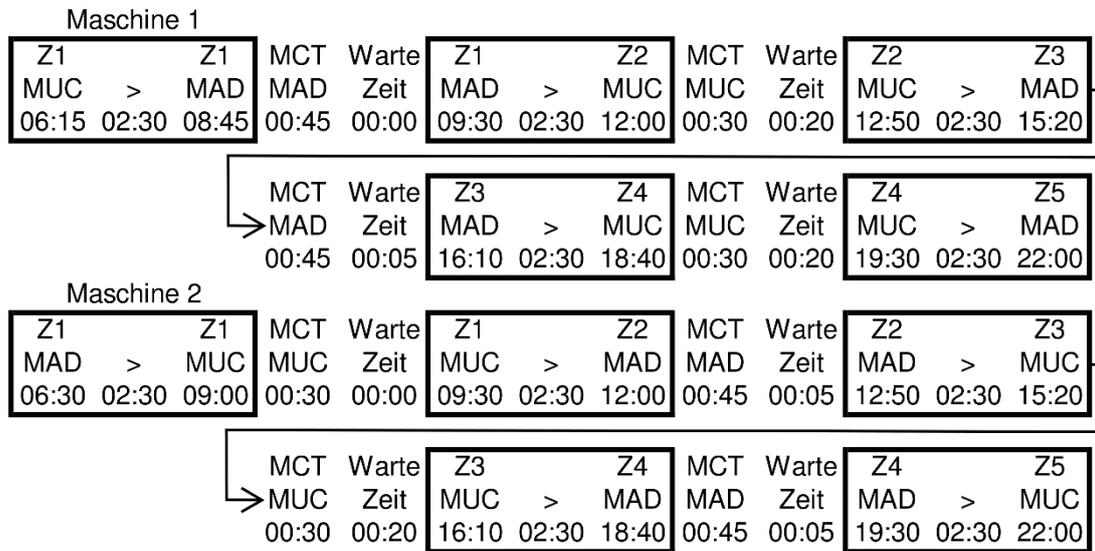


Abbildung 32: Verbindung MAD – MUC

In der Abbildung 32 wird die Verbindung zwischen dem spanischen Hub *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) und dem zweiten deutschen Hub *München* (MUC) dargestellt. Sie kann auch mittels des Einsatzes zweier Maschinen alle Zeitintervalle bedienen.

Im Vergleich zu FRA werden innerhalb des Flugnetzes von MUC aus weniger Destination angeflogen. Es entfallen die Verbindungen zu den Flughäfen IST, VIE und ZRH. Dafür besteht jedoch eine Flugverbindung zu Düsseldorf (DUS). Die anderen Spokes, HAM und TXL, sind identisch zum FRA. Bei der zeitlichen Koordination der Flüge von MAD aus, muss jedoch keine Rücksicht auf das Erreichen der Spokes genommen werden. Der Grund dafür ist, dass aus Sichtweise von MUC die Strecke nach MAD den kritischen Pfad darstellt. Somit wurden die Münchner Spokes eben auf diese Route abgestimmt. Trotz des Umstandes, dass MAD für MUC der kritische Weg ist, müssen Wartezeiten ab dem zweiten Zeitintervall eingefügt werden. Dies liegt in der vergleichsweise herausragend kurzen MCT von MUC mit gerade einmal 30 Minuten. Somit kann geregelt werden, dass die standardisierten Ankunftszeiten innerhalb des Gesamtturnus von MAD – MUC eingehalten werden. Am Stichtag mussten auf der Route MAD – MUC 1.119 und in der Gegenrichtung 1.159 Passagiere befördert werden. Für diese verhältnismäßig geringfügige Anzahl wird somit ein Flugzeugtyp benötigt, der mindestens 232 Reisende fassen kann. Aufgrund der Flugdauer von jeweils 02:30 h empfiehlt sich die Boeing-787-8, welche in der Zwei-Klasseneinteilung Platz für 240 Passagiere bietet.¹¹¹

¹¹¹ Vgl. Boeing (2018a).

3.4.10 Madrid – Palma de Mallorca

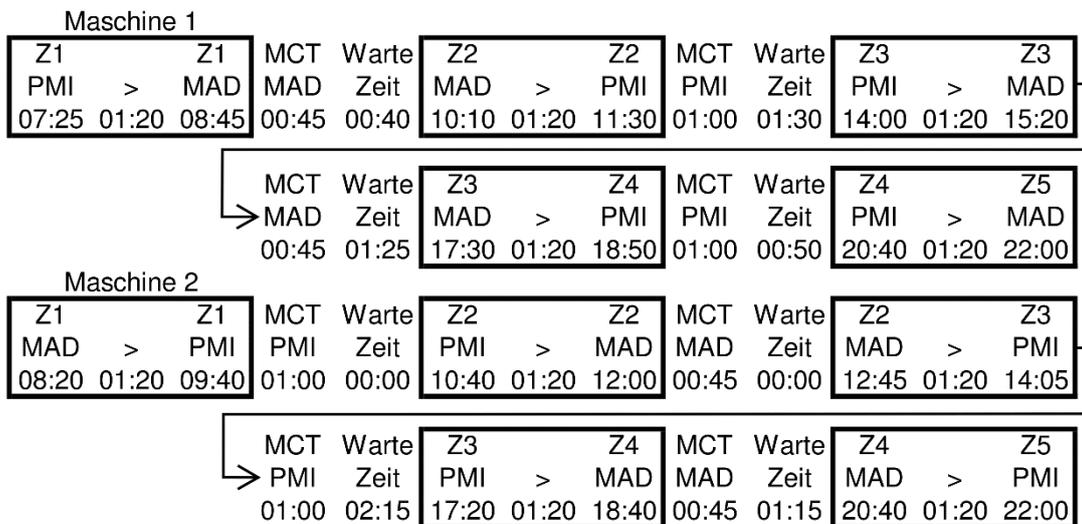


Abbildung 34: Verbindung MAD – PMI

Die zweite Spoke-Verbindung nach *Palma de Mallorca* (PMI) von *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) und dessen zeitliche Abstimmung wird durch die Abbildung 34 dargestellt. Diese kann auch mittels des Einsatzes von nur zwei Flugzeugen sämtliche Zeitintervalle abdecken.

Bei der Verbindung nach PMI kommt es nicht zu Zeitverschiebungen, wie bei den anderen beiden Spoke-Routen von MAD. Dieser Umstand in Verbindung mit einer kurzen Flugzeit von jeweils 01:20 h ermöglicht es, den Flughafen von PMI problemlos an den Hub in MAD anzubinden. Die erarbeiteten Ankunftszeiten in PMI weichen jedoch zugunsten einer guten Verbindungsgüte von den standardisierten Zeiten ab. Die Ankunftszeit im Mittagszeitintervall ist 11:30 Uhr anstelle von 12:00 Uhr und im dritten Intervall um 14:05 Uhr anstatt 15:20 Uhr. Die Ankunft im Abendzeitintervall ist 18:50 Uhr. Sie resultiert aus einer späteren Abflugzeit, da auf dem Flug von LPA gewartet werden muss, da dieser 16:45 Uhr in MAD ankommt. Aufgrund der MCT von 45 Minuten in MAD kann der Flug nach PMI somit erst um 17:30 Uhr starten

In der Gegenrichtung (PMI – MAD) muss nur darauf geachtet werden, die standardisierten Ankunftszeiten einzuhalten, um alle Anschlussflüge zu erreichen.

Bei der Spoke-Verbindung nach PMI empfiehlt sich für die Beförderung der 506 Passagiere pro Strecke der Einsatz einer Boeing 747-8, da mit ihr je nach Sitzanordnung zwischen 524 und 581 Passagiere fliegen können.¹¹³

¹¹³ Vgl. Kable (2018).

3.4.11 Madrid – Tenerife Norte

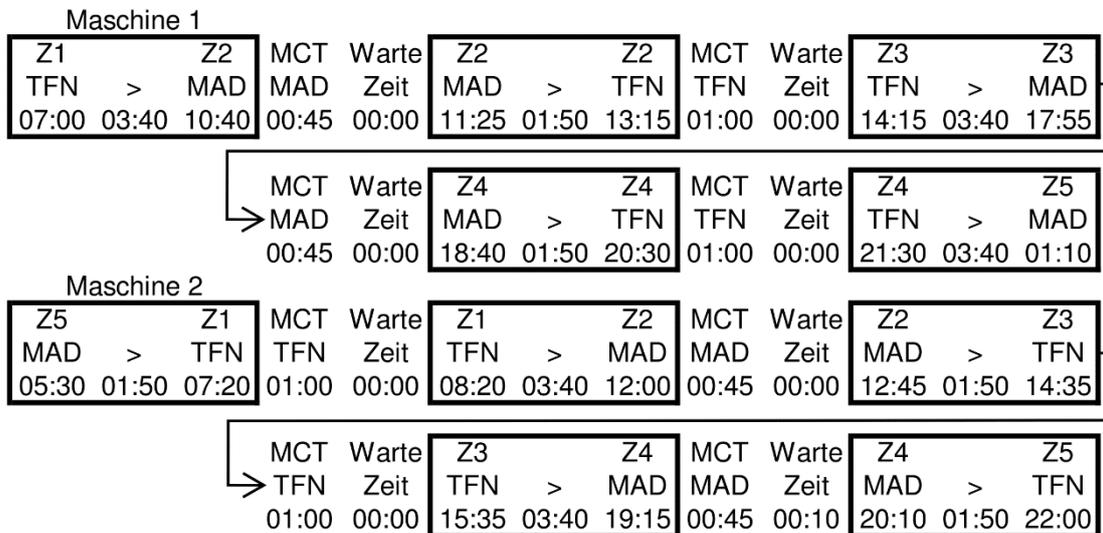


Abbildung 35: Verbindung MAD – TFN

Die Abbildung 35 weist die zeitliche Koordination zwischen *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) und *Tenerife Norte* (TFN) aus. Diese Verbindung stellt insofern eine Besonderheit dar, dass die erste Ankunftszeit in MAD der Maschine 1 nicht innerhalb des morgendlichen Zeitintervalls stattfinden kann. Der Grund dafür ist, dass die ermittelten Flugbetriebszeiten von TFN dies nicht ermöglichen. Sie beginnen erst um 07:00 Uhr. In Verbindung mit einer Zeitverschiebung von einer Stunde und einer Flugzeit von 02:40 h von TFN nach MAD, ergibt sich die früheste Landung in MAD um 10:40 Uhr. Sie überschreitet das erste Zeitintervall dementsprechend um 40 Minuten. Folglich müssen Reisende aus TFN kommend längere Wartezeiten in MAD auf sich nehmen, da sie warten müssen, bis die 12:00 Uhr Flüge in MAD wieder eintreffen und abheben. Aus diesem Grund können sie auch erst den zweiten Flug der Maschine 2 von TFN nach MAD nutzen und somit erhebliche Wartezeiten umgehen. Der erste Flug der Maschine 1 von TFN nach MAD ist somit nur für Reisende interessant, welche MAD als Enddestination anstreben. Für Passagiere, die nicht von MAD aus starten und TFN als Ziel besitzen, ist es weniger zeitintensiv, wenn sie um 12:00 Uhr erst in MAD ankommen und somit den 12:45 Uhr-Flug der Maschine 2 nach TFN nutzen. Wie eine zeitliche Abstimmung unter anderen Flugbetriebszeiten von TFN aussehen kann, wird unten gesondert betrachtet.

Für diese Verbindung wird ein Flugzeugtyp benötigt, welcher 360 Passagiere fassen kann. Auch hier empfiehlt sich der Einsatz eines Airbus A350-1000.¹¹⁴

¹¹⁴ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5 Barcelona El Prat (BCN)

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	BCN	06:35	08:45	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
CGD	BCN	07:40	09:20	10:20	12:00	13:40	15:20	17:00	18:40	20:20	22:00
FCO	BCN	07:45	09:30	10:15	12:00	13:35	15:20	16:55	18:40	20:15	22:00
FRA	BCN	07:05	09:05	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
IBZ	BCN	07:50	08:45	11:05	12:00	14:25	15:20	17:45	18:40	21:05	22:00
LGW	BCN	07:00	10:00	09:00	12:00	13:00	16:00	15:40	18:40	19:40	22:40
LHR	BCN	06:55	10:00	08:55	12:00	13:00	16:05	15:35	18:40	19:40	22:45
MAD	BCN	08:10	09:25	10:45	12:00	14:05	15:20	17:25	18:40	20:45	22:00
MUC	BCN	07:10	09:15	09:55	12:00	13:15	15:20	16:35	18:40	19:55	22:00
ORY	BCN	07:50	09:25	10:25	12:00	13:45	15:20	17:05	18:40	20:25	22:00
PMI	BCN	07:55	08:45	11:10	12:00	14:30	15:20	17:50	18:40	21:10	22:00

BCN MCT = 45 min

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
BCN	AMS	06:40	09:10	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
BCN	CDG	07:15	09:10	10:05	12:00	13:25	15:20	16:45	18:40	20:05	22:00
BCN	FCO	07:45	09:30	10:15	12:00	13:35	15:20	16:55	18:40	20:15	22:00
BCN	FRA	07:05	09:15	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
BCN	IBZ	09:05	10:00	10:45	11:40	13:05	14:00	17:05	18:00	21:05	22:00
BCN	LGW	06:50	08:00	10:50	12:00	13:30	14:40	17:30	18:40	20:50	22:00
BCN	LHR	06:40	07:55	10:45	12:00	13:20	14:35	17:25	18:40	20:45	22:00
BCN	MAD	08:45	10:00	10:45	12:00	14:05	15:20	17:25	18:40	20:45	22:00
BCN	MUC	07:25	09:25	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
BCN	ORY	08:00	09:50	10:10	12:00	13:30	15:20	16:50	18:40	20:10	22:00
BCN	PMI	09:15	10:00	10:45	11:30	13:15	14:00	17:15	18:00	21:15	22:00

Destination	min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
AMS	413	11:30	11:50	A380	A350-1000
CGD	360	08:50	09:05	A380	A350-1000
FCO	314	08:45	08:45	A380	A350-900
FRA	241	10:20	10:30	A380	A330-800 neo
IBZ	223	04:35	04:35	747-400D	A321 neo
LGW	378	10:20	10:30	A380	A350-1000
LHR	168	10:45	10:55	A380	A320 neo
MAD	850	06:15	06:15	A380	A380
MUC	217	10:10	10:15	A380	A321 neo
ORY	328	08:25	08:40	A380	A350-900
PMI	558	04:00	03:55	A380	A380

Tabelle 22: zeitliche Einteilung Hub Barcelona-El Prat (BCN)

Die Tabelle 22 weist sämtliche Routen von und zum Hub *Barcelona-El Prat* (BCN) aus. Die Verbindung zum niederländischen Hub *Amsterdam Schiphol* (AMS) stellt dabei mit den Flugzeiten 02:10 h (AMS nach BCN) und 02:30 h (BCN nach AMS) den kritischen Pfad für BCN dar. Ähnlich lange Flugzeiten weisen die Routen zu den deutschen Hubs FRA und MUC sowie zu den britischen Hubs LGW und LHR aus. In Bezug auf die Verbindungen nach LGW und LHR kam die Besonderheit der Zeitverschiebung erschwerend hinzu. Diese Verschiebung ist der Grund für die geringfügige Abweichung der Ankunftszeiten innerhalb des Nachmittagszeitintervalls von den standardisierten Ankunftszeitpunkten. Zudem differieren die Ankünfte bei den Spokes von diesen Zeiten zugunsten einer besseren Verbindungsqualität. Die Spokes von BCN sind die Flughäfen *Ibiza* (IBZ) und *Palma de Mallorca* (PMI). Kann PMI innerhalb des erstellten Flugnetzes noch von MAD aus angefliegen werden, so besteht lediglich die Möglichkeit via BCN nach IBZ zu gelangen. Im Vergleich zu der Mehrzahl der anderen Verbindungen von BCN sind die Spokes innerhalb kürzester Flugzeiten zu erreichen. Dieser Umstand ermöglichte es, dass die Anschlussflüge zu diesen gut getaktet werden konnten.

BCN besitzt wie FRA keinen 24 Stunden Flugbetrieb. Die Flugzeiten von 04:00 bis 01:30 Uhr ermöglichen jedoch eine gute weitere Auslastung der eingesetzten Maschinen außerhalb der Abflugs- und Ankunftszeiten auf Mittel- und Langstreckenflügen. Selbst bei verspäteten Ankünften nach 22:00 Uhr können Abflüge ohne zeitliche Probleme stattfinden. Zudem ermöglicht der frühe Flugbetriebsbeginn eine reibungslose Wiedereingliederung in die Routen des Flugnetzes. Begünstigt wird dies ebenfalls durch eine gute minimum connecting time von 45 Minuten. Diese gute Umsteigezeit gestattet kurze Turnaroundzeiten. Sie hat zur Folge, dass die meisten der Flüge zu den erarbeiteten Ankunftszeiten vor 10:00 Uhr, 12:00 Uhr, 15:20 Uhr, 18:40 Uhr und 22:00 Uhr eingetaktet werden konnten. Die Ausnahmen davon stellen insbesondere die Verbindungen nach *London Heathrow* (LHR) und *London Gatwick* (LGW) dar, welche auf Grund der Zeitverschiebung in Kombination mit einer langen Flugdauer nicht anders koordiniert werden können. Die Ankunftszeiten der Spoke-Verbindungen weichen ebenfalls ab, da von IBZ und PMI aus keine weiteren Anschlussflüge erreicht werden müssen. Dementsprechend kann die Wartezeit in BCN deutlich minimiert werden, was dazu führt, dass die Qualität der Verbindungsgüte sich verbessert. Bei der zeitlichen Koordination muss darauf Rücksicht genommen werden, dass die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall erfolgen.

Nachfolgend werden die einzelnen Strecken von und nach BCN und deren zeitliche Abstimmung detailliert dargestellt und beschrieben. Die Verbindungen BCN – FRA und BCN – MAD werden allerdings nicht abgebildet, da sie bereits oben (Frankfurt – Barcelona) und (Madrid – Barcelona) erläutert wurden.

3.5.1 Barcelona – Amsterdam

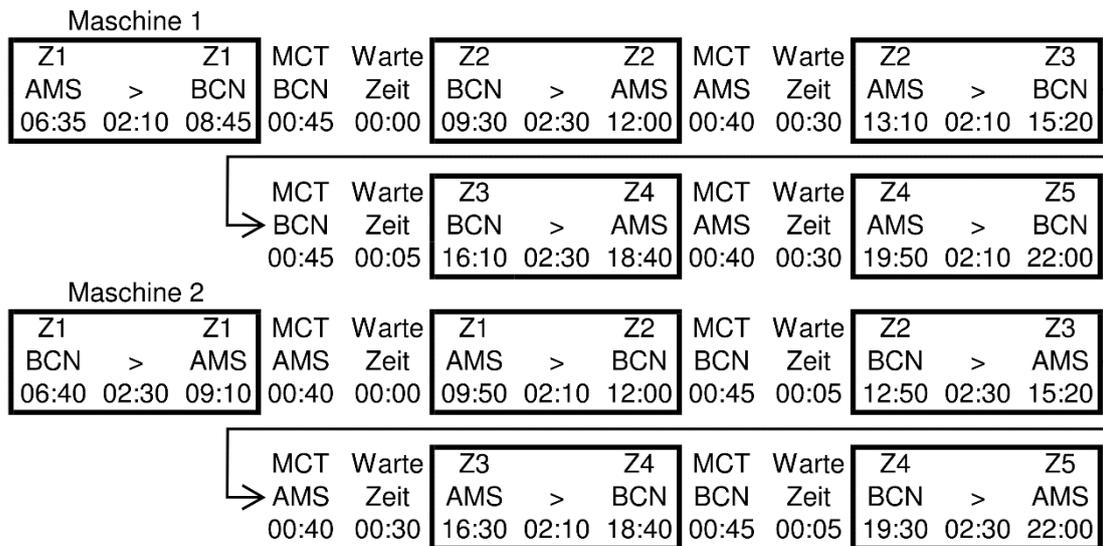


Abbildung 36: Verbindung BCN – AMS

Die Abbildung 36 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Barcelona-El Prat* (BCN) und *Amsterdam Schiphol* (AMS). Umgesetzt wird diese durch zwei Flugzeuge (Maschine 1 und 2).

Wie bereits genannt, stellt diese Verbindung für BCN den kritischen Pfad dar. Das bedeutet, dass gerade im Hinblick auf die Spokes von BCN darauf geachtet werden muss, dass deren Flüge spätestens zu diesen Zeitpunkten in BCN landen. Die Wartezeit in BCN beträgt nur fünf Minuten über die MCT hinaus. Sie stellen für die Spokes die maximale Pufferzeit dar. Folglich dürfen die Flüge von den Spokes mit lediglich fünf Minuten Verspätung in BCN eintreffen. Damit kann sichergestellt werden, dass die Anschlussflüge nach AMS auch erreicht werden. Die Ausnahme bildet dabei einzig das erste Zeitintervall. Hier wurde der Zeitpunkt der Landung in BCN so geplant, dass keine Wartezeiten auftreten und nur die minimum connecting time als Turnaroundzeit eingehalten werden muss. Sämtliche Flüge, die keine unmittelbare Verbindung zu AMS unterhalten, müssen somit um 08:45 Uhr spätestens in BCN eintreffen. In der Gegenrichtung (BCN nach AMS) müssen keine eventuellen Anschlussflüge berücksichtigt werden, da AMS keine direkten Verbindungen nach BCN besitzt. Dadurch muss lediglich darauf geachtet werden, dass die Ankünfte zu den standardisierten Zeiten stattfinden.

Um die ermittelten 413 Passagiere pro Flug befördern zu können, empfiehlt sich der Einsatz eines Airbus A350-1000.¹¹⁵

¹¹⁵ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5.2 Barcelona – Paris-Charles-de-Gaulle

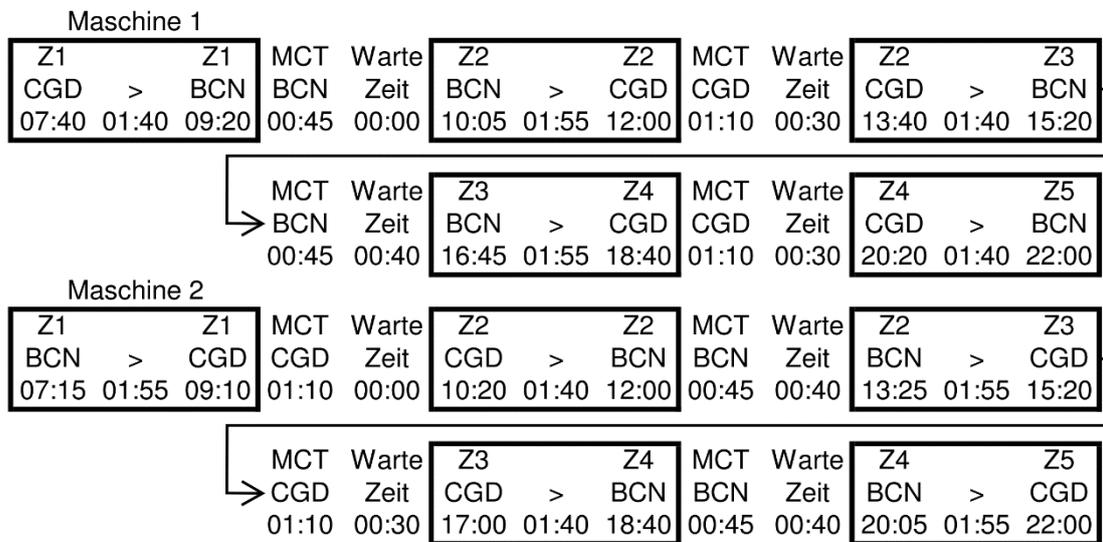


Abbildung 37: Verbindung BCN – CDG

In der Abbildung 37 wird die zeitliche Koordination der Verbindung zwischen den Flughäfen *Barcelona-El Prat* (BCN) und *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) ausgewiesen. Ebenso können bei dieser Route alle Zeitintervalle durch zwei Maschinen abgedeckt werden.

CDG besitzt wie BCN zwei Spokes (*Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE)). Diese beiden sind nicht innerhalb des Flugnetzes von BCN aus direkt erreichbar. Die Spokes von CDG und BCN sind an den standardisierten Ankunftszeiten ausgerichtet, sodass bei der zeitlichen Abstimmung der Verbindung BCN – CDG keine Rücksicht auf diese Routen genommen werden muss. Eine detaillierte Beschreibung der Spoke-Verbindungen von CDG erfolgt im Abschnitt *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG). In der Gegenrichtung CDG – BCN muss auch keine Rücksicht auf das Erreichen der Spoke-Flüge genommen werden, da diese genauso an die Ankünfte der anderen Routen ausgerichtet sind. Somit muss alleinig der Gesamtturnus selbst so abgestimmt werden, dass die jeweiligen Flüge zu den entsprechenden standardisierten Ankunftszeiten an den Hubs rechtzeitig ankommen.

Für diese Verbindung wurden am Stichtag 1.800 Reisende ermittelt. Somit ergibt sich eine Anzahl von 360 Passagieren pro Flug. Dafür bietet sich der Airbus A350-1000 an. Dieser Maschinentyp kann mit maximal 440 Sitzplätzen die entsprechende Anzahl an Reisenden transportieren.¹¹⁶ Mittels Routenwechsel kann dieser Flugzeugtyp die Verbindung BCN nach AMS entlasten.

¹¹⁶ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5.3 Barcelona – Rom-Fiumicino

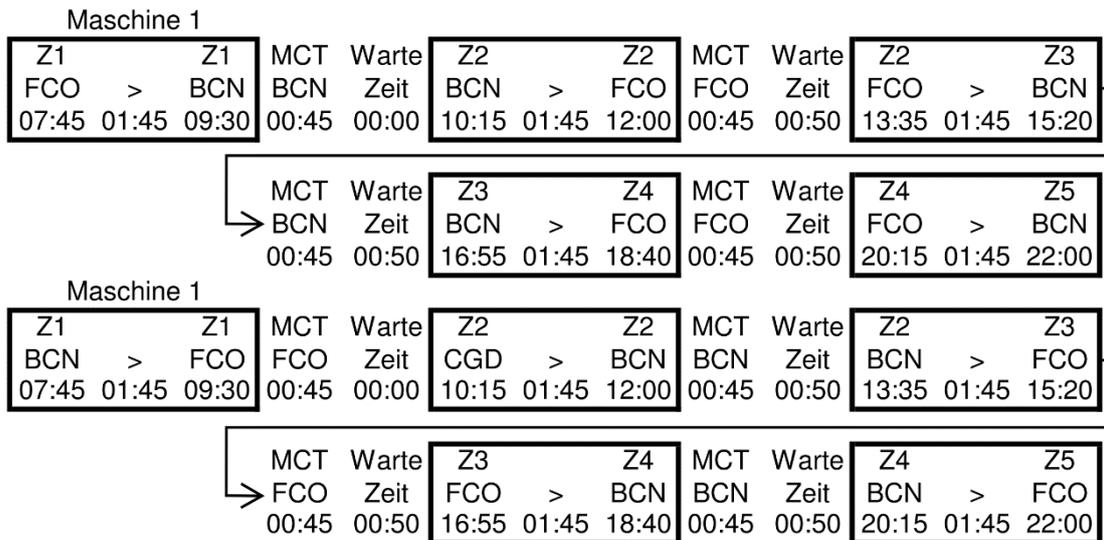


Abbildung 38: Verbindung BCN – FCO

Die Abbildung 38 gibt die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen den Flughäfen *Barcelona-El Prat* (BCN) und *Rom-Fiumicino* (FCO) an. Auch in diesem Fall können mittels des Einsatzes zweier Maschinen sämtliche Zeitintervalle abgedeckt werden.

Im Gegensatz zu BCN und CDG besitzt FCO drei Spokes. Dies sind die Flughäfen *Catania-Fontanarossa* (CTA), *Mailand-Linate* (LIN) und *Palermo-Punta Raisi* (PMO). Die drei Spokes werden nicht innerhalb des Flugnetzes von BCN aus angeflogen. Dieser Umstand ist jedoch für die allgemeine Verbindung zwischen BCN und FCO nicht von besonderer Bedeutung. Die Anbindungen der Spokes von FCO wurden zeitlich so abgestimmt, dass sie zu den herausgearbeiteten Standardzeiten in FCO ankommen. Eine nähere Betrachtung der exakten zeitlichen Koordinierung der Anschlüsse CTA, LIN und PMO erfolgen im Abschnitt Rom-Fiumicino (FCO). Damit jedoch der Turnus zwischen BCN und FCO innerhalb der bestimmten Zeiten eingehalten werden kann, müssen beide Maschinen jeweils 07:45 Uhr starten, um später wieder 12:00 Uhr am Ausgangsflughafen landen zu können. Folglich können auf beiden Hubs (BCN und FCO) sämtliche Anschlussflüge zu den Spokes erreicht werden. Die restlichen Zyklen erfolgen nach dem Muster der erarbeiteten Standardzeiten.

Die Gesamtzahl der zu befördernden Passagiere betrug am Stichtag 1.570 Reisende. Daraus ergibt sich, dass die beiden Maschinen jeweils 314 Reisende befördern müssen. In diesem Fall würde sich der Einsatz des Airbus A350-900 anbieten, da dieser in der typischen Sitzanordnung für bis zu 325 Passagiere ausgelegt ist.¹¹⁷

¹¹⁷ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5.4 Barcelona – Ibiza

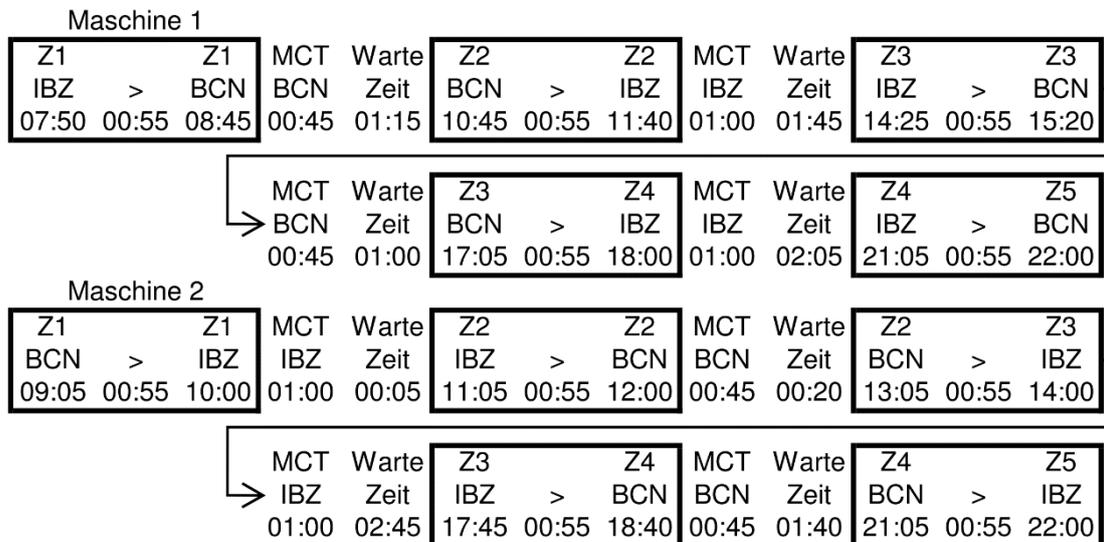


Abbildung 39: Verbindung BCN – IBZ

Die Abbildung 39 weist die zeitliche Taktung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Barcelona-El Prat* (BCN) und seinem ersten Spoke *Ibiza* (IBZ) aus. Mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge kann die Ankunft in allen Zeitintervallen sichergestellt werden.

Der Flughafen IBZ ist nicht, wie der später beschriebene Spoke *Palma de Mallorca* (PMI), noch via MAD innerhalb des erstellten Flugnetzes zu erreichen. Diese Verbindung wird lediglich über den Hub BCN aufrechterhalten. Bei der zeitlichen Taktung weist die Flugroute von BCN nach IBZ insofern eine Besonderheit auf, als dass die Ankunftszeiten von den standardisierten Zeiten abweichen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass von IBZ aus keine Anschlussflüge erreicht werden müssen und somit die Wartezeit in BCN deutlich verkürzt werden kann. Bei dieser Zeit muss lediglich darauf Rücksicht genommen werden, dass die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall erfolgen.

Bei der Flugrichtung von IBZ nach BCN weist nur der erste Flug eine Besonderheit auf. Die Maschine 1 muss 07:50 Uhr in IBZ starten, sodass sie 08:45 Uhr in BCN landen kann. Den Hintergrund für diese frühe Ankunft ist die Erreichbarkeit der Anschlussflüge in BCN. Würde dieser Flug später in BCN ankommen, könnte der Weiterflug nach AMS innerhalb der MCT nicht mehr gewährleistet werden.

Für die jeweils 223 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich der Einsatz eines Airbus A321 neo.¹¹⁸ Mittels Routenwechsel können somit auch jene Maschinen entlastet werden, die nach MUC fliegen, da diese eine geringere Wartezeiten in BCN haben.

¹¹⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5.5 Barcelona – London Gatwick

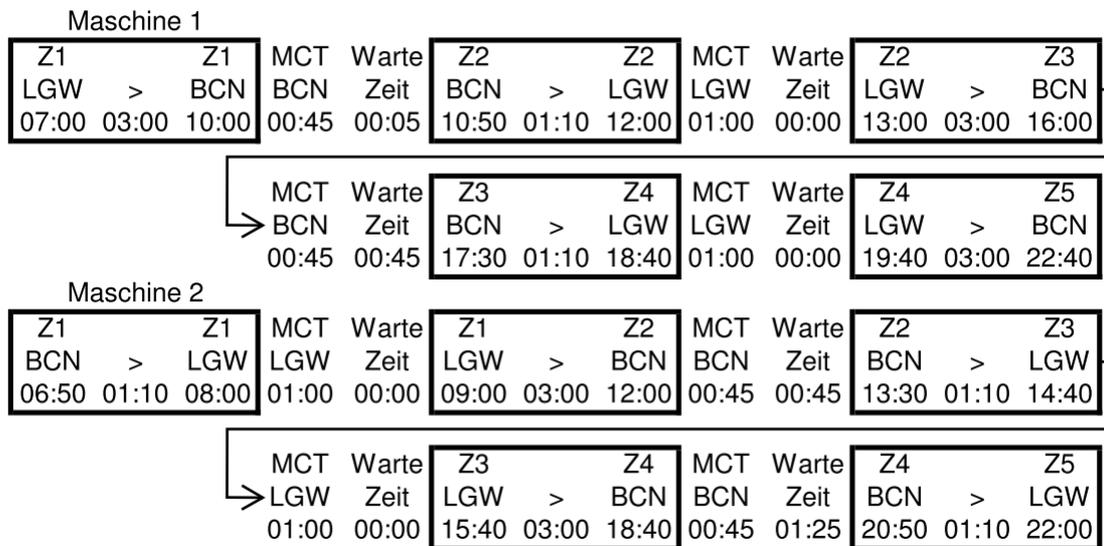


Abbildung 40: Verbindung BCN – LGW

Die Abbildung 40 zeigt die zeitliche Koordination der Verbindung zwischen den Hubs *Barcelona-El Prat* (BCN) und *London Gatwick* (LGW). Sie kann ebenfalls durch lediglich zwei Flugzeuge (die Maschinen 1 und 2) umgesetzt werden.

LGW unterhält wie der direkt nachfolgend beschriebene Hub *London Heathrow* (LHR), die Spoke-Verbindungen zu den Flughäfen *Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI). Auf deren zeitliche Abstimmung muss bei der Verbindung BCN – LGW keine spezielle Rücksicht genommen werden, da die Spoke-Routen an den Hub-Routen von LGW ausgerichtet wurden.

Maschine 1 kann von LGW erst 07:00 Uhr starten, damit die Reisenden 10:00 Uhr in BCN ankommen. Unter Einhaltung der 45 Minuten MCT von BCN können sie somit sämtliche Anschlussflüge zu den Spokes erreichen. Die Maschine 1 könnte zwar später in BCN ankommen, da LGW nicht zu allen im Flugnetz eingebundenen Hubs Verbindungen unterhält. Somit wird deren Anschlussmöglichkeit sichergestellt. Die Ankunftszeiten im dritten Zeitintervall weichen von den standardisierten Zeiten ab. Dieser Umstand ist auf die Zeitverschiebung und der damit verbundenen unterschiedlichen Flugdauer zurückzuführen. Die Verbindung zu den jeweiligen Spokes von BCN wie auch von LGW können trotz dieses Umstandes immer noch sichergestellt werden.

Für die zu befördernden 378 Passagiere pro Route empfiehlt sich, wie auf den Routen BCN – AMS und BCN – CDG, der Einsatz eines Airbus A350-1000.¹¹⁹

¹¹⁹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5.6 Barcelona – London Heathrow

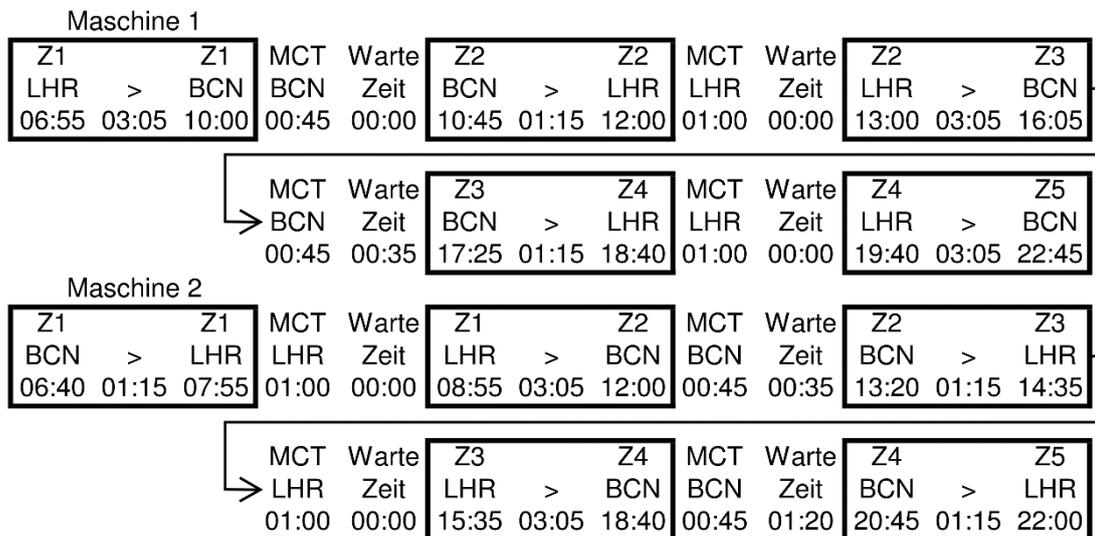


Abbildung 41: Verbindung BCN – LHR

Die Abbildung 41 zeigt die zeitliche Taktung der Flugverbindung zwischen den Hubs *Barcelona-El Prat* (BCN) und *London Heathrow* (LHR). Sie gewährleistet durch den Einsatz von zwei Flugzeugen, dass die Ankünfte in allen Zeitintervallen stattfinden.

Der britische Hub LHR stellt dabei ebenfalls wie der Flughafen LGW die Verbindung zu den Spokes *Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI) sicher. Fluggäste, die von BCN aus ihre Reise beginnen und DUB oder EDI als Zieldestination haben, können dementsprechend zwischen den Routen BCN – LGW – DUB/EDI oder BCN – LHR – DUB/EDI wählen. Die Gesamtreisezeit und die damit einhergehenden Ankunftszeiten in DUB und EDI unterscheiden sich jedoch nur geringfügig. Diese Thematik wird jedoch in den Kapiteln zu den Hubs LGW und LHR nochmals detaillierter erklärt. Die erarbeiteten standardisierten Ankunftszeiten weichen, wie im Fall BCN – LGW, aufgrund der Zeitverschiebung ab. Es wurde sichergestellt, dass sämtliche Anschlussflüge in BCN, wie auch in LHR, innerhalb der jeweiligen MCT erreichbar sind. Bei Maschine 1 ist es ausreichend, wenn das Flugzeug 06:55 Uhr in LHR startet. Sie erreicht BCN demnach um 10:00 Uhr. Der Anschlussflug nach PMI und IBZ um 10:45 Uhr kann demgemäß gewährleistet werden. Maschine 2 von BCN nach LHR hingegen muss um 7:55 Uhr ankommen, damit sie spätestens um 08:55 Uhr wieder in Richtung BCN starten kann. Sie trifft somit dort um 12:00 Uhr ein.

Zur Beförderung der 168 Fluggäste empfiehlt sich der Einsatz eines Airbus A320 neo.¹²⁰

¹²⁰ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5.7 Barcelona – München

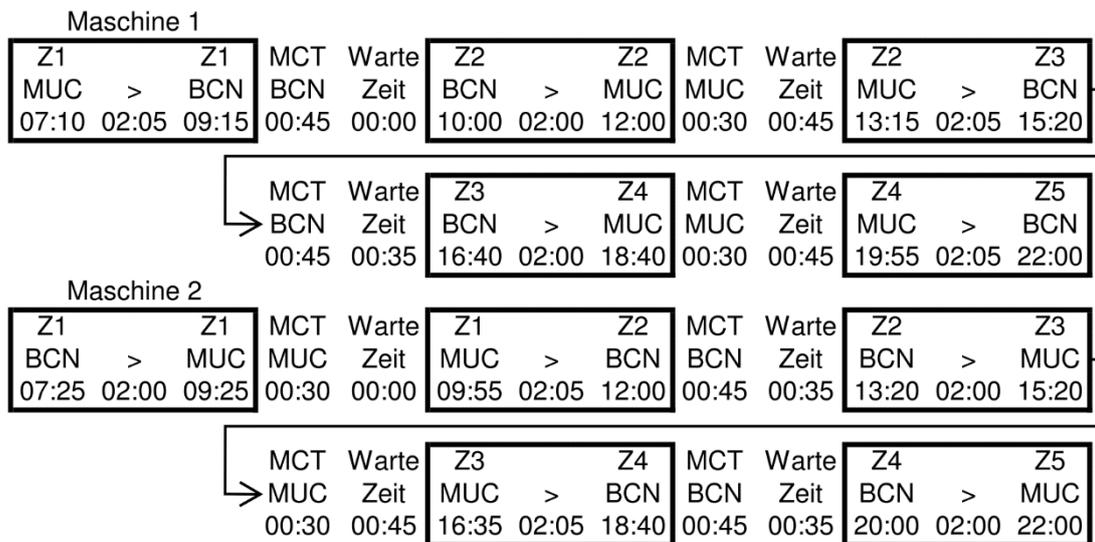


Abbildung 42: Verbindung BCN – MUC

Die Abbildung 42 zeigt die zeitliche Taktung der Verbindung zwischen den zwei spanischen Hub *Barcelona-El Prat* (BCN) und dem zweiten deutschen Hub *München* (MUC). Sie kann ebenfalls mittels zweier identischer Maschinen aufrechterhalten werden.

Bei der zeitlichen Abstimmung ist lediglich bei den ersten Flügen insofern eine gewisse Rücksicht zu nehmen, als dass der Rückflug wieder rechtzeitig innerhalb des zweiten Zeitintervalls um 12:00 Uhr ankommen muss. Das bedeutet, dass der Gesamtturnus jener Verbindung ausschlaggebend für die Abstimmung der Starts und Landungen ist. Die Maschine 1 muss demzufolge um 07:25 Uhr in BCN starten, damit sie um 09:25 Uhr in MUC landen kann. Unter Einhaltung der dreißigminütigen MCT von MUC kann das Flugzeug um 09:55 Uhr wieder starten. Demzufolge ist sie nach 02:05 h, folglich um 12:00 Uhr, in BCN. In der Gegenrichtung, MUC nach BCN, muss die zweite Maschine 15 Minuten eher (07:10 Uhr) starten. Dies ist damit begründet, dass BCN eine MCT von 45 Minuten besitzt und MUC nur 30 Minuten. Nach der Landung um 09:15 Uhr und der Einhaltung der MCT von BCN, kann sie um 10:00 Uhr wieder starten und somit pünktlich um 12:00 Uhr in MUC sein. Bei den restlichen Ankünften kommen neben der MCT jeweils noch 35 Minuten Wartezeit in BCN und 45 Minuten in MUC hinzu.

Zur Abdeckung der Verbindung werden zwei Maschinen benötigt, die insgesamt 217 Passagiere fassen müssen. Auch hier empfiehlt es sich den Airbus A321 neo einzusetzen.¹²¹ Somit sind Routenwechsel mit den Maschinen nach IBZ möglich.

¹²¹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5.8 Barcelona – Paris-Orly

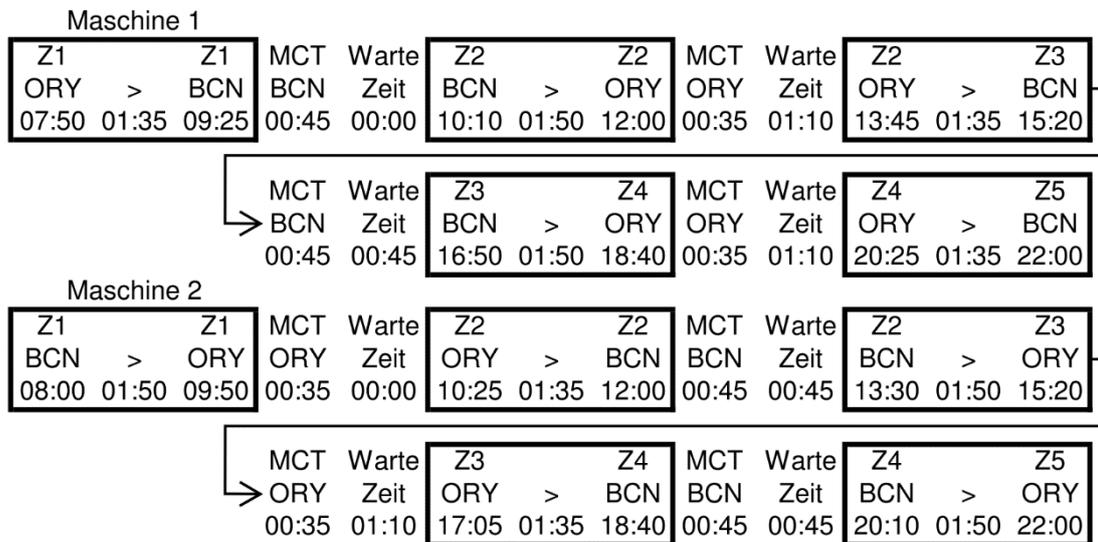


Abbildung 43: Verbindung BCN – ORY

Die Abbildung 43 weist die zeitliche Koordination der Verbindungen zwischen dem Hub *Barcelona-El Prat* (BCN) und dem französischen Sekundärhub *Paris-Orly* (ORY) aus. Durch den Einsatz zweier Flugzeuge kann diese Route bewältigt werden.

Wie schon CDG besitzt ORY die zwei Spokes, *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE). In der Flugrichtung BCN – ORY muss bei den Ankunftszeiten keine Rücksicht genommen werden, da auch die Verbindungen zu den Spokes von ORY ebenfalls zu den herausgearbeiteten Zeiten in ORY ankommen und innerhalb kürzester Zeit wieder starten. Die genaue zeitliche Abstimmung der Route zwischen ORY und NCE sowie ORY und TLS wird im Kapitel Paris-Orly (ORY) noch genauer dargestellt und erläutert. Lediglich der Turnus selbst muss im Verlauf der erarbeiteten Ankunftszeiten aufeinander abgestimmt werden. Demnach muss Maschine 1 um 07:50 Uhr in ORY starten um 09:25 Uhr in BCN zu landen. Nach Einhaltung der 45 minütigen MCT kann das Flugzeug um 10:00 Uhr wieder starten, sodass sie um 12:00 Uhr wieder in ORY ist. Maschine 2 braucht aufgrund einer kürzeren MCT von ORY erst um 08:00 Uhr in BCN zu starten, damit sie um 12:00 Uhr dort wieder landen kann.

Aufgrund der über 1.600 ermittelten Passagiere am Stichtag, müssen die beiden Maschinen bei fünf Flügen pro Tag mindestens 328 Reisende aufnehmen können. Hierfür bietet sich, wie bei der Verbindung BCN – FCO, der Einsatz eines Airbus A350-900 an.¹²² Somit sind Entlastungen mittels Routenwechsel auf diesen beiden Verbindungen möglich.

¹²² Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.5.9 Barcelona – Palma de Mallorca

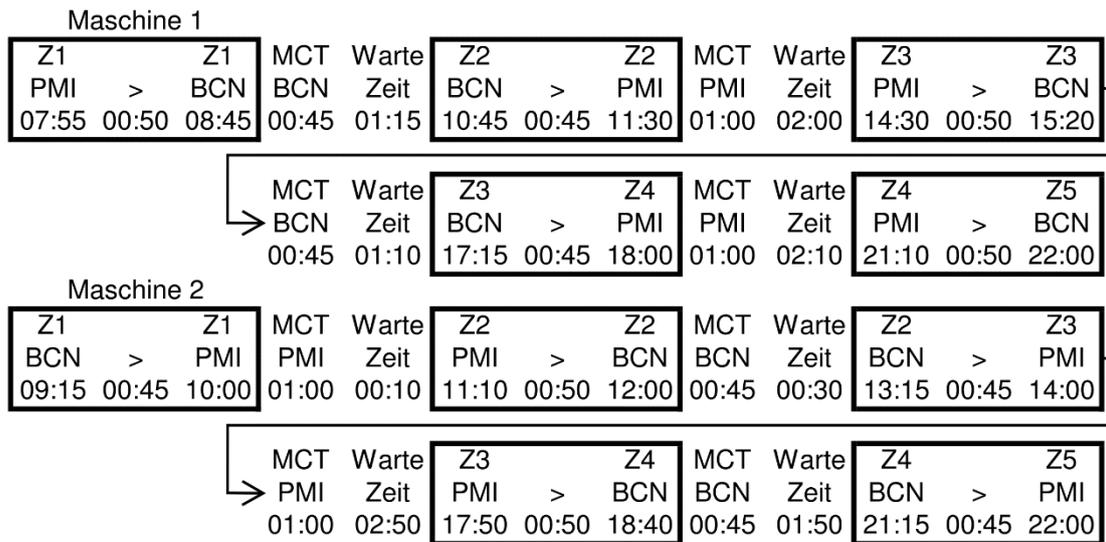


Abbildung 44: Verbindung BCN – PMI

Die zweite Spoke-Verbindung nach *Palma de Mallorca* (PMI) von *Barcelona-El Prat* (BCN) und dessen zeitliche Abstimmung werden in der Abbildung 44 dargestellt. Diese kann mittels des Einsatzes von nur zwei Flugzeugen alle Zeitintervalle abdecken.

Der Flughafen PMI ist auch via MAD innerhalb des erstellten Flugnetzes zu erreichen. Reisende haben somit die Wahl zwischen den beiden spanischen Hubs MAD und BCN nach PMI zu gelangen.

Bei der zeitlichen Koordinierung weist nur die Flugroute BCN nach PMI eine Besonderheit auf. Die Ankunftszeiten weichen von den standardisierten Zeiten ab. Dies beruht darauf, dass von PMI aus keine weiteren Anschlussflüge erreicht werden müssen. Dementsprechend kann die Wartezeit in BCN deutlich minimiert werden. Es muss lediglich darauf Rücksicht genommen werden, dass die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall erfolgen.

Bei der Flugrichtung von IBZ nach BCN muss die Maschine 1 07:55 Uhr in PMI starten, sodass sie um 08:45 Uhr in BCN landet. Den Grund für diese frühe Ankunft bildet die Erreichbarkeit der Anschlussflüge in BCN. Würde dieser Flug später in BCN ankommen, könnte der Weiterflug nach AMS nicht mehr innerhalb der MCT gewährleistet werden.

Für die jeweils 558 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich der Einsatz eines Airbus A380.¹²³ Mithilfe des Flugzeuges kann ein Routenwechsel mit MAD stattfinden.

¹²³ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.6 München (MUC)

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	MUC	08:40	10:00	10:40	12:00	14:00	15:20	17:20	18:40	20:40	22:00
BCN	MUC	07:25	09:25	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
CDG	MUC	08:35	10:00	10:35	12:00	13:55	15:20	17:15	18:40	20:35	22:00
DUS	MUC	07:50	09:00	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
FCO	MUC	08:30	10:00	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00
FRA	MUC	09:00	10:00	11:00	12:00	14:20	15:20	17:40	18:40	21:00	22:00
HAM	MUC	07:45	09:00	10:45	12:00	14:05	15:20	17:25	18:40	20:45	22:00
LHR	MUC	07:15	10:00	09:15	12:00	12:35	15:20	15:55	18:40	19:40	22:25
MAD	MUC	06:30	09:00	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
TXL	MUC	07:55	09:00	10:55	12:00	14:15	15:20	17:35	18:40	20:55	22:00

MCT MUC = 30 min

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
MUC	AMS	08:30	10:00	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00
MUC	BCN	07:10	09:15	09:55	12:00	13:15	15:20	16:35	18:40	19:55	22:00
MUC	CDG	07:50	09:20	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00
MUC	DUS	08:50	10:00	10:30	11:40	12:50	14:00	16:50	18:00	20:50	22:00
MUC	FCO	08:15	09:45	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00
MUC	FRA	09:00	09:55	11:05	12:00	14:25	15:20	17:45	18:40	21:05	22:00
MUC	HAM	08:45	10:00	10:30	11:45	12:45	14:00	16:45	18:00	20:45	22:00
MUC	LHR	07:15	08:15	10:35	11:35	13:55	14:55	17:40	18:40	21:00	22:00
MUC	MAD	06:15	08:45	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
MUC	TXL	08:55	10:00	10:30	11:35	12:55	14:00	16:55	18:00	20:55	22:00

Destination	min. Sitzplatz- anzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
AMS	340	07:00	07:10	A380	A350-1000
BCN	217	10:10	10:15	A380	A321 neo
CDG	300	07:15	07:20	A380	A350-900
DUS	620	05:50	05:50	A380	A380
FCO	206	07:30	07:30	A380	A321 neo
FRA	394	04:45	04:50	A380	A350-1000
HAM	536	06:15	06:15	A380	A380
LHR	341	09:15	09:30	A380	A350-1000
MAD	232	12:30	12:30	A380	Boeing 787-8
TXL	709	05:25	05:25	A380	A380

Tabelle 23: zeitliche Einteilung Hub München (MUC)

Die obige Tabelle weist sämtliche Verbindungen des Hubs München (MUC) aus. Mit Flugzeiten von jeweils 02:30 h stellt die Verbindung zum spanischen Hub *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) den kritischen Pfad des Münchner Flughafens. An ihr werden sämtliche anderen Verbindungen ausgerichtet. Hauptsächlich diejenigen, die keine eigene direkte Route zu MAD besitzen. Dies sind die Spokes des Münchner Flughafens *Düsseldorf* (DUS), *Hamburg* (HAM) und *Berlin Tegel* (TXL). Das wird folglich an den Ankunftszeiten der Spokes in MUC ersichtlich. Anders als im Fall von MAD und BCN erfolgen die Landungen von sämtlichen anderen Flughäfen ausnahmslos zu den erarbeiteten Standardzeiten in MUC. Trotz Zeitverschiebung bei einigen Verbindungen kann dies auf die zentrale Lage innerhalb Europas und die dadurch kurzen Flugzeiten zurückgeführt werden.

Allerdings weichen die Ankunftszeiten in den Spokes ab. Dies beruht darauf, dass von DUS, HAM und TXL keine weiteren Anschlussflüge erreicht werden müssen. Dementsprechend ist eine Minimierung der Wartezeit in MUC möglich. Folglich ist zu konstatieren, dass eine Verbesserung der Verbindungsgüte in Bezug zur zeitlichen Qualität eingetreten ist. Bei der Taktung der Zeiten muss sichergestellt werden, dass die Ankünfte in der jeweiligen Destination im anschließenden Zeitintervall erfolgen.

Von sämtlichen Hubs besitzt MUC mit 30 Minuten die geringste MCT.¹²⁴ In Verbindung mit der guten Lage innerhalb Europas ermöglicht diese kurze MCT es selbst auf dem kritischen Pfad (Verbindung mit MAD) Pufferzeiten einzuarbeiten. MUC besitzt zwar ein Nachtflugverbot, jedoch gewährt die reguläre Flugbetriebszeit von 05:00 Uhr bis 00:00 Uhr eine gute weitere Auslastung der eingesetzten Maschinen außerhalb der Abflugs- und Ankunftszeiten auf Mittel- und Langstreckenflügen.¹²⁵ Wenn Maschinen nach 22:00 Uhr ankommen, können diese selbst bei Verspätungen noch von MUC abfliegen. Zudem ermöglicht der frühe Flugbetriebsbeginn, wie in BCN, eine einfache Wiedereingliederung in die Routen des Flugnetzes. Diese Nutzung der Maschinen über die Nachtzeit hinweg auf Mittel- und Langstrecken würde die im dritten Tabellenteil aufgezeigten Auslastungen der Flugzeuge deutlich erhöhen. Gerade die Flugzeuge, welche die Verbindungen zu Flughäfen unterhalten, die nur eine kleine Entfernung zum Frankfurter Flughafen aufweisen, besitzen nur eine geringe Gesamtflugzeit und hohe Standzeiten. Erfolgt kein Routenwechsel würde beispielsweise auf der Route MUC – FRA die Maschine 1 nur eine Gesamtflugzeit von 04:45 h aufweisen und Maschine 2 nur 04:50 h. Wenn die ausgewählten Flugzeuge ausschließlich nach der Sitzplatzauslastung ausgewählt werden würden, wäre lediglich ein Routenwechsel der Flugzeuge zwischen den Strecken FRA – LHR und FRA – MUC möglich. Bezüglich der Auslastung der eingesetzten Maschinen erfolgt im späteren Verlauf eine Stellungnahme. Zunächst werden die einzelnen Verbindungen näher betrachtet.

¹²⁴ Vgl. Flughafen München GmbH (2017b).

¹²⁵ Vgl. Flughafen München GmbH (2017c).

3.6.1 München – Amsterdam

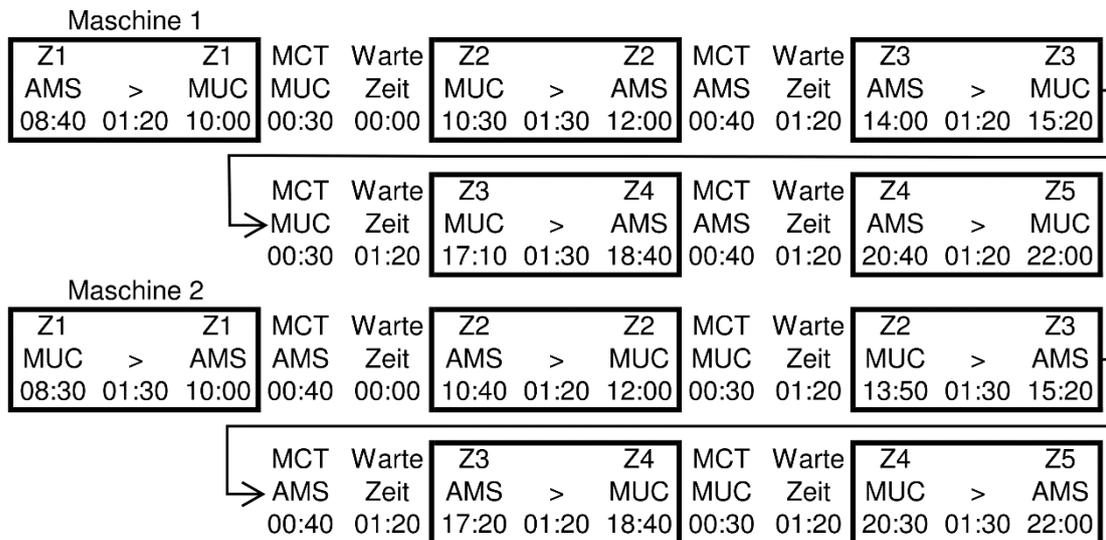


Abbildung 45: Verbindung MUC – AMS

Die Abbildung 45 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *München* (MUC) und *Amsterdam Schiphol* (AMS). Sie kann durch lediglich zwei Flugzeuge, Maschine 1 und 2, umgesetzt werden.

Bis auf LGW existieren von AMS aus keine Verbindungen, die nicht durch direkte Verbindungen von MUC abgedeckt werden. Da LHR von MUC angefliegen wird und LHR innerhalb des erstellten Flugnetzes die weiteren Anschlussmöglichkeiten nach DUB und EDI sicherstellt, kann die Verbindung nach LGW eingespart werden. Demnach können die erarbeiteten standardisierten Ankunftszeiten in AMS um 10:00 Uhr, 12:00 Uhr, 15:20 Uhr, 18:40 Uhr und 22:00 Uhr eingetaktet werden. In der Gegenrichtung (AMS nach MUC) existieren insgesamt drei Verbindungen, die nicht von AMS aus innerhalb des Flugnetzes erreichbar sind. Wie eingangs erwähnt, sind dies die Routen zu den Spokes *Düsseldorf* (DUS), *Hamburg* (HAM) und *Berlin Tegel* (TXL). Die Kombination aus einer kurzen Flugzeit und der geringen MCT von MUC gestattet es, dass auch die Maschine 1 von AMS aus erst um 10:00 Uhr in MUC ankommen muss. Diese spätmöglichste Ankunftszeit in MUC gewährleistet, dass sämtliche Spoke-Flüge erreicht werden. Zudem stellt sie sicher, dass Maschine 1 auch rechtzeitig innerhalb des Mittagszeitintervalls in AMS wieder landen kann.

Die beiden Flugzeuge müssen mindestens 340 Passagiere aufnehmen. Hierfür bietet sich der Einsatz eines Airbus A350-1000 an.¹²⁶ Durch dessen Nutzung besteht die Möglichkeit eines Routenwechsels mit den Strecken nach FRA und LHR.

¹²⁶ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.6.2 München – Paris-Charles-de-Gaulle

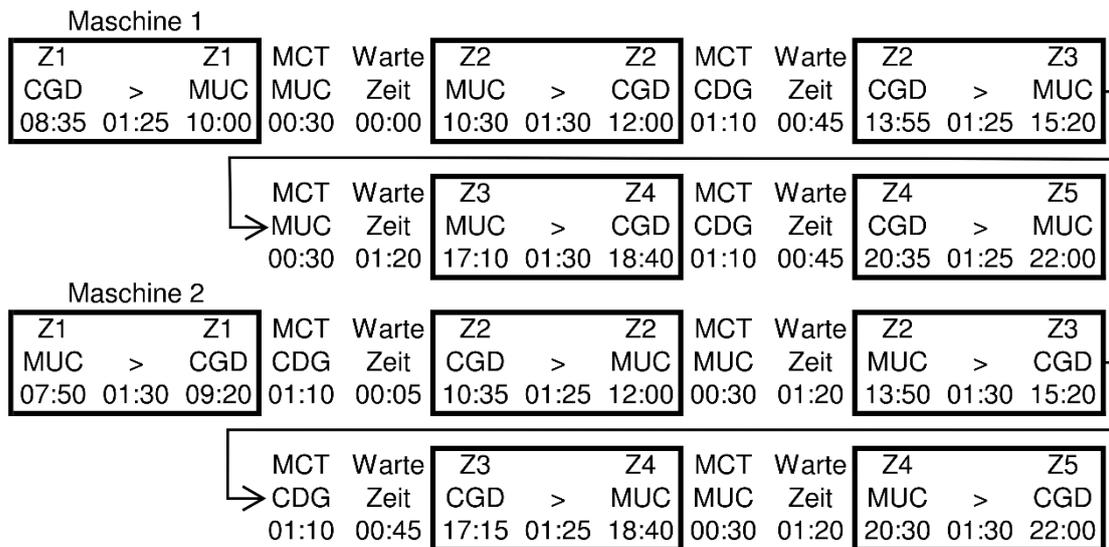


Abbildung 46: Verbindung MUC – CDG

Die Abbildung 46 weist die zeitliche Koordination der Verbindungen zwischen den Hubs *München* (MUC) und *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) aus. Sie deckt ebenfalls durch den Einsatz von nur zwei Flugzeugen sämtliche Zeitintervalle ab.

CDG besitzt die beiden Spokes *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE). Diese beiden sind nicht innerhalb des Flugnetzes von MUC aus erreichbar. Bei den Ankunftszeiten der Flugrichtung MUC – CDG muss lediglich innerhalb des ersten Zeitintervalls Rücksicht darauf genommen werden, dass die Spokes von CDG erreicht werden können. Dazu muss Maschine 2 von MUC nach CDG bereits um 09:20 Uhr in CDG ankommen. Nach der Einhaltung der MCT von 01:10 h von CDG können die Spoke-Flüge um 10:30 Uhr genutzt werden. Die restlichen Zeitintervalle werden entsprechend den herausgearbeiteten Zeiten in CDG angefliegen. Sie gewährleisten damit, dass die Spokes ebenfalls unter Einhaltung der MCT zugänglich sind. Die genaue zeitliche Taktung der Anschlüsse NCE und TLS wird unten näher erläutert.

In der Gegenrichtung CDG – MUC muss bei der Erreichung sämtlicher Zeitintervalle keine besondere Rücksicht genommen werden, da die Taktung der Spokes von MUC ebenfalls zu den standardisierten Ankunftszeiten erfolgt.

Damit die durchschnittlich 300 Reisenden befördert werden können, bietet sich der Einsatz eines Airbus A350-900 an.¹²⁷ Durch dessen Nutzung können von CDG aus Routenwechsel auf den Verbindungen LHR und MAD stattfinden.

¹²⁷ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.6.3 München – Düsseldorf

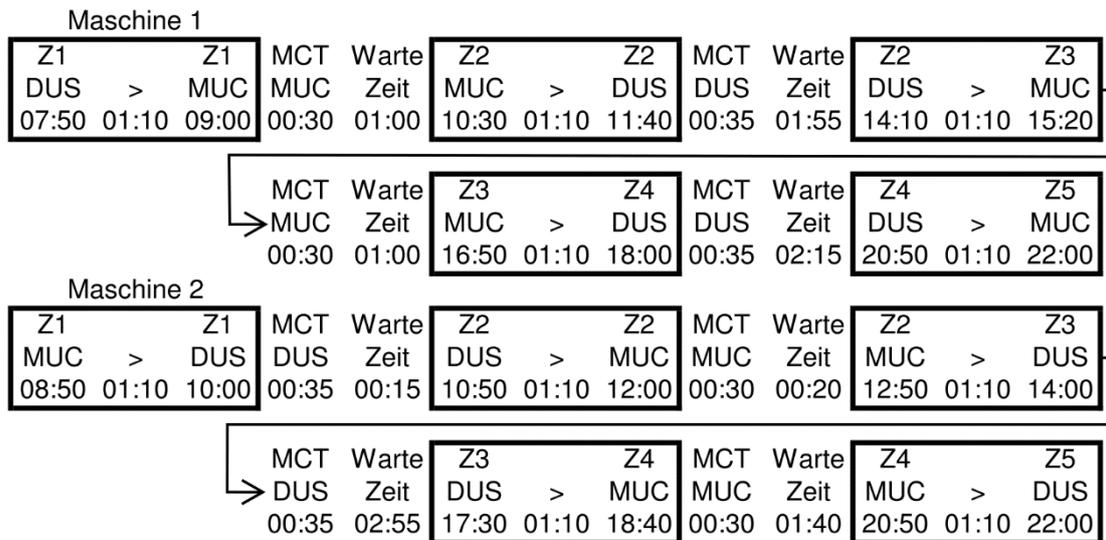


Abbildung 47: Verbindung MUC – DUS

Die Abbildung 47 weist die zeitliche Taktung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *München* (MUC) und seinem ersten Spoke *Düsseldorf* (DUS) aus. Bei diesen Routen können ebenfalls mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge alle Zeitintervalle abgedeckt werden. Der Düsseldorfer Spoke ist neben der intermodalen Anbindung über den Frankfurter Hub ausschließlich über den Münchner Hub in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann somit nur über ihn angefliegen werden.

Bei der Flugrichtung DUS nach MUC konnten bis auf das erste Zeitintervall die erstellten standardisierten Ankunftszeiten eingetaktet werden. Die erste Landung in MUC muss aufgrund der Erreichbarkeit des Anschlussfluges nach MAD um 09:00 Uhr erfolgen. Mittels Einhaltung der dreißigminütigen MCT von MUC besteht die Möglichkeit, dass der Start um 09:30 Uhr nach MAD realisierbar ist. In der Gegenrichtung weichen die Ankunftszeiten von den Standardzeiten ab. Dadurch erfolgt die Reduzierung der Wartezeit in MUC auf ein Minimum. Berücksichtigung muss die Landung der Flüge im nachfolgenden Zeitintervall finden. Der zweite Flug von MUC nach DUS kann erst nach Ankunft aller anderen Flüge erfolgen. Die letzte Ankunft innerhalb des ersten Zeitintervalls erfolgt um 10:00 Uhr. Aus diesem Grund kann die Maschine 1 erst um 10:30 Uhr Richtung DUS starten.

Für die Beförderung der 620 Passagiere pro Strecke kommt nur der Einsatz des Airbus A380 infrage. Dieser wird ebenfalls auf den anderen Münchner Spoke Routen (HAM und TXL) eingesetzt.¹²⁸

¹²⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.6.4 München – Rom-Fiumicino

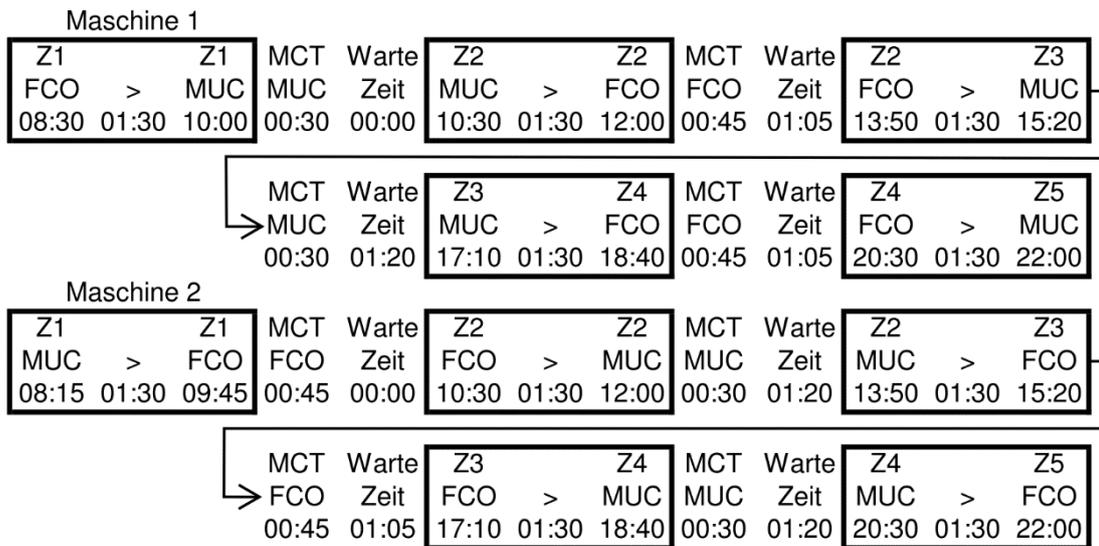


Abbildung 48: Verbindung MUC – FCO

Die Abbildung 48 gibt die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen den Flughäfen *München* (MUC) und *Rom-Fiumicino* (FCO) wieder. Auch in diesem Fall können mittels des Einsatzes zweier Maschinen sämtliche Zeitintervalle abgedeckt werden.

FCO besitzt wie MUC drei Spokes, *Catania-Fontanarossa* (CTA), *Mailand-Linate* (LIN) und *Palermo-Punta Raisi* (PMO). Auch diese drei Flughäfen werden nicht innerhalb des Flugnetzes von MUC aus angeflogen.

Sämtliche Flüge wurden so eingetaktet, dass sie zu den standardisierten Ankunftszeiten landen. Unter der Einhaltung der dreißigminütigen MCT von MUC und der fünfundvierzigminütigen MCT von FCO wurde sichergestellt, dass die jeweiligen Spokes des anderen Hubs erreicht werden können. In beiden Richtungen beträgt die Flugzeit lediglich 01:30 h. Dadurch ergeben sich Wartezeiten von 01:20 h in MUC und 01:05 h in FCO. Die Ausnahme stellt die erste Zeitzone dar. In diesem Fall wurden die Startzeiten so gewählt, dass unter Beachtung der jeweiligen MCT keine Wartezeit anfällt. Dadurch können die eingesetzten Maschinen ihre Auslastung in der Nachtzeit auf längeren Strecken erhöhen. Unter Einhaltung der entsprechenden MCT müssen sie in FCO erst um 08:30 Uhr und in MUC 08:15 Uhr die Verbindung MUC – FCO bedienen.

Damit die 206 Passagiere befördert werden können, würde sich der Einsatz eines Airbus A321 neo, mit einem maximalen Sitzplatzangebot von 240 Sitzen, anbieten.¹²⁹ Dessen Nutzung könnte wiederum die Maschinen auf der Route MUC – BCN und auf dem kritischen Pfad FCO – LHR entlasten.

¹²⁹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.6.5 München – Hamburg

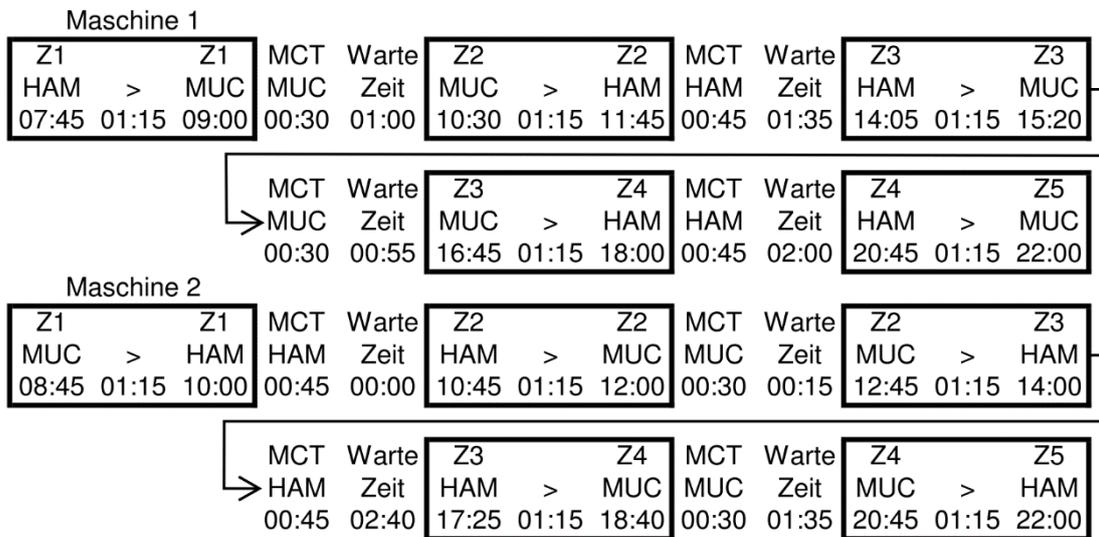


Abbildung 49: Verbindung MUC – HAM

Die zeitliche Koordinierung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *München* (MUC) und *Hamburg* (HAM) wird in der Abbildung 49 dargestellt. Diese Verbindung kann auch mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge alle Zeitintervalle abgedeckt werden.

Der Hamburger Spoke ist neben der Anbindung über den Münchener Hub noch über den Frankfurter Hub in das erstellte Flugnetz eingebunden. Reisende von und nach Hamburg können dementsprechend zwischen den beiden Optionen ihre Route wählen.

Von HAM nach MUC konnten, bis auf das erste Zeitintervall, die erstellten standardisierten Ankunftszeiten eingehalten werden. Die Ausnahme stellt die erste Ankunft in MUC, welche bereits um 09:00 Uhr erfolgen muss, dar. Der Grund dafür ist die Erreichbarkeit des Anschlussfluges nach MAD. Nach Berücksichtigung der dreißigminütigen MCT von MUC kann damit gewährleistet werden, dass der Start um 09:30 Uhr nach MAD erreicht wird. Wie bei DUS weichen die Ankunftszeiten in der Gegenrichtung von den Standardzeiten ab, da somit die Wartezeit in MUC auf ein Minimum reduziert werden kann. Rücksicht muss jedoch darauf genommen werden, dass die Landung der Flüge im darauffolgenden Zeitintervall stattfindet. Aufgrund dessen, dass die Ankunft einiger Hub-Verbindungen um 10:00 Uhr in MUC erfolgt, kann der zweite Flug von MUC aus erst um 10:30 Uhr in Richtung HAM starten.

Für die Beförderung der 536 Passagiere pro Strecke empfiehlt sich der Einsatz des Airbus A380, welcher somit auch auf den anderen Spoke Routen des Münchener Hubs, Düsseldorf und Berlin-Tegel eingesetzt werden kann.¹³⁰

¹³⁰ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.6.6 München – London Heathrow

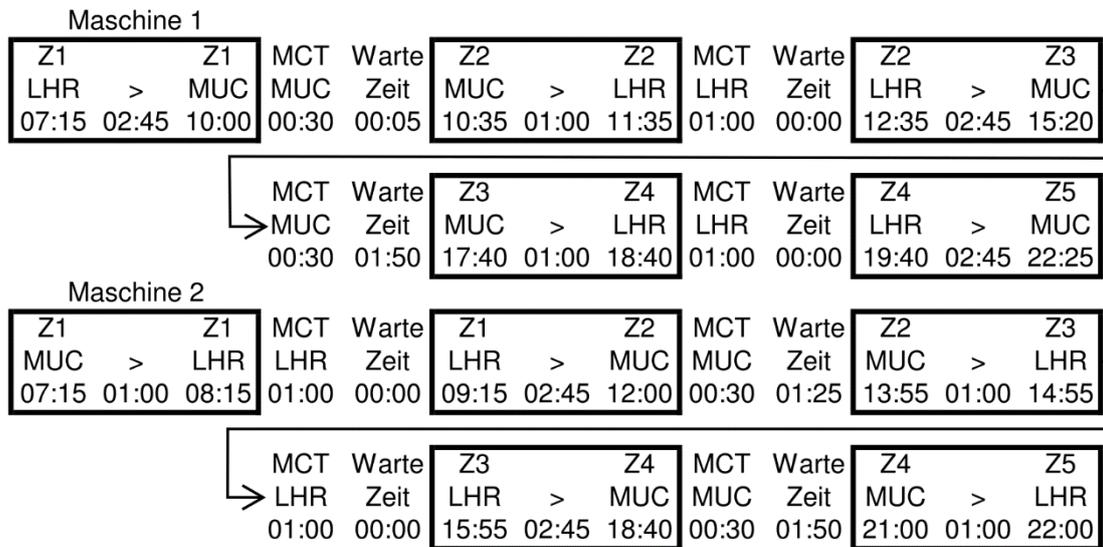


Abbildung 50: Verbindung MUC – LHR

Die Abbildung 50 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *München* (MUC) und *London Heathrow* (LHR). Sie kann ebenfalls durch zwei Flugzeuge (die Maschinen 1 und 2) umgesetzt werden.

Von LHR aus existieren zwei Spokes innerhalb des Flugnetzes, die nicht von MUC aus direkt angefliegen werden. Dies sind die Flughäfen *Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI). Deren Taktung ist, wie bei allen anderen Spokes, der Ankunftszeit der anderen Flugverbindungen nachgelagert. Dementsprechend stellt die Abweichung der Ankünfte in LHR für die Verbindung von MUC aus kein Problem dar. Es muss lediglich der Zyklus selbst so eingetaktet werden, sodass der Rückflug rechtzeitig wieder in MUC ankommt. Deswegen ist es notwendig, dass die Maschine 1 um 11:35 Uhr und die Maschine 2 um 14:55 Uhr in LHR ankommen, um somit zur Standardankunftszeit wieder in MUC zu sein. Bei der Abstimmung muss zudem die Zeitverschiebung berücksichtigt werden. Von MUC nach LHR beträgt die Flugdauer 2 Stunden abzüglich 1 Stunde Zeitdifferenz. In der Gegenrichtung (LHR nach MUC) muss diese eine Stunde wieder aufsummiert werden, sodass sich eine Flugzeit von 02:45 h ergibt. Die Zeitverschiebung ist zudem die Ursache für die unterschiedlich langen Wartezeiten von Null bis hin zu zwei Stunden.

Für die zu befördernden 341 Passagiere pro Strecke bietet sich die Nutzung eines Airbus A350-1000 an.¹³¹ Dieser Maschinentyp kann ebenfalls auf den Münchner Routen nach FRA und AMS sowie auf den Londoner Routen nach FRA und MAD eingesetzt werden. Die Routenwechsel garantieren folglich eine gute Steuerung der Auslastung dieses Typs.

¹³¹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.7 Rom-Fiumicino (FCO)

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	FCO	06:40	08:50	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
BCN	FCO	07:45	09:30	10:15	12:00	13:35	15:20	16:55	18:40	20:15	22:00
CGD	FCO	07:05	09:05	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
CTA	FCO	07:20	08:40	10:40	12:00	14:00	15:20	17:20	18:40	20:40	22:00
FRA	FCO	08:00	09:45	10:15	12:00	13:35	15:20	16:55	18:40	20:15	22:00
LHR	FCO	06:00	09:30	08:30	12:00	13:05	16:35	15:35	19:05	20:10	23:40
LIN	FCO	07:30	08:40	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
MAD	FCO	06:15	08:40	09:35	12:00	12:55	15:20	16:15	18:40	19:35	22:00
MUC	FCO	08:15	09:45	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00
PMO	FCO	07:30	08:40	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00

MCT FCO = 45 min

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
FCO	AMS	06:45	09:10	09:35	12:00	12:55	15:20	16:15	18:40	19:35	22:00
FCO	BCN	07:45	09:30	10:15	12:00	13:35	15:20	16:55	18:40	20:15	22:00
FCO	CDG	06:40	08:50	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
FCO	CTA	08:25	09:40	10:30	11:45	12:45	14:00	17:20	18:35	20:45	22:00
FCO	FRA	08:00	09:30	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00
FCO	LHR	05:40	07:30	10:15	12:05	12:45	14:35	17:20	19:10	20:10	22:00
FCO	LIN	08:40	09:50	10:30	11:40	12:50	14:00	17:20	18:30	20:50	22:00
FCO	MAD	06:15	08:50	09:25	12:00	12:45	15:20	16:05	18:40	19:25	22:00
FCO	MUC	08:30	10:00	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00
FCO	PMO	08:45	09:50	10:30	11:35	12:55	14:00	17:20	18:25	20:55	22:00

Destination	min. Sitzplatz- anzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
AMS	323	11:20	11:35	A380	A350-900
BCN	314	08:45	08:45	A380	A350-900
CGD	256	10:20	10:30	A380	A350-800
CTA	581	06:30	06:25	747-400D	747-400D
FRA	181	08:00	08:15	A380	A320 neo
LHR	224	13:10	13:30	A380	A321 neo
LIN	488	05:50	05:50	747-400D	747-400D
MAD	311	12:35	12:25	A380	A350-900
MUC	206	07:30	07:30	A380	A321 neo
PMO	398	05:40	05:35	747-400D	A350-1000

Tabelle 24: zeitliche Einteilung Hub Rom-Fiumicino (FCO)

Die obige Tabelle gibt den Gesamtüberblick der Verbindungen des Hubs *Rom-Fiumicino* (FCO) wieder. Wie bereits oben beschrieben, stellt die Verbindung von und nach *London Heathrow* (LHR) den kritischen Pfad von FCO dar. Ein Gesamtturnus unter Einhaltung der *minimum connecting time* (MCT) der beiden Flughäfen und unter Berücksichtigung der Zeitverschiebung dauert insgesamt 07:05 h. Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, weichen die Zeiten der Verbindung FCO – LHR in einzelnen Zeitintervallen von den standardisierten Zeiten aus den genannten Gründen ab. Bei sämtlichen Verbindungen, die keine eigene direkte Verbindung zu LHR besitzen, muss somit gewährleistet werden, dass die Anschlussflüge von und nach LHR zu erreichen sind. Dies gilt insbesondere für die Spokes von FCO, *Catania-Fontanarossa* (CTA), *Mailand-Linate* (LIN) und *Palermo-Punta Raisi* (PMO). Diese Abweichung wird innerhalb des Nachmittagszeitintervalls deutlich erkennbar. Alle Spoke-Flüge kommen zur standardisierten Zeit 15:20 Uhr in FCO an. Der früheste Abflug in die Gegenrichtung wäre nach Aufsummierung der fünfundvierzigminütigen MCT von FCO demzufolge 16:05 Uhr. Da jedoch LHR erst 16:35 Uhr in FCO ankommen kann, können die Spoke-Flüge erst 17:20 Uhr starten. Dies bedeutet auch für sämtliche anderen Verbindungen, welche standardisiert 15:20 Uhr in FCO eintreffen, eine insgesamt zweistündige Wartezeit bis zum Abflug zu den Spokes.

In den anderen Zeitintervallen weichen die Ankunftszeiten in den jeweiligen Spokes ebenfalls im Vergleich zu den standardisierten Zeiten ab. Dies basiert darauf, dass von CTA, LIN und PMO keine weiteren Anschlussflüge erreicht werden müssen. Dies wirkt sich positiv auf die Minimierung der Wartezeit in FCO aus. Folglich kann die Verbindungsgüte hinsichtlich der zeitlichen Qualität verbessert werden. Bei der zeitlichen Koordinierung müssen die Ankünfte im jeweiligen Spoke sich im anschließenden Zeitintervall befinden.

Ähnlich wie BCN besitzt FCO eine Flugbetriebszeit beginnend von 04:00 Uhr bis 00:30 Uhr. Die standardisierte Ankunftszeit in der Nachtzeitzone um 22:00 Uhr gewährleistet somit, dass die eingesetzten Maschinen noch über die Nachtstunden hinaus auf Mittel- und Langstreckenflügen eingesetzt werden können. Selbst bei der Abweichung der Ankunft der Maschine 1 in FCO aus LHR um 23:40 Uhr ist ein Weiterflug um 00:25 Uhr durch die Flugbetriebszeit von FCO möglich. Das bedeutet, dass auch diese Maschine ihre Auslastung dadurch erhöhen kann. Diese Details werden in der nachfolgenden Beschreibung der einzelnen Verbindungen von FCO ausführlicher erläutert.

Da die zeitliche Koordinierung der Verbindungen von FCO nach BCN, FRA, MAD und MUC bereits in den vorherigen Kapiteln erklärt wurden, wird auf eine erneute Betrachtung in den Unterkapiteln verzichtet.

3.7.1 Rom-Fiumicino – Amsterdam

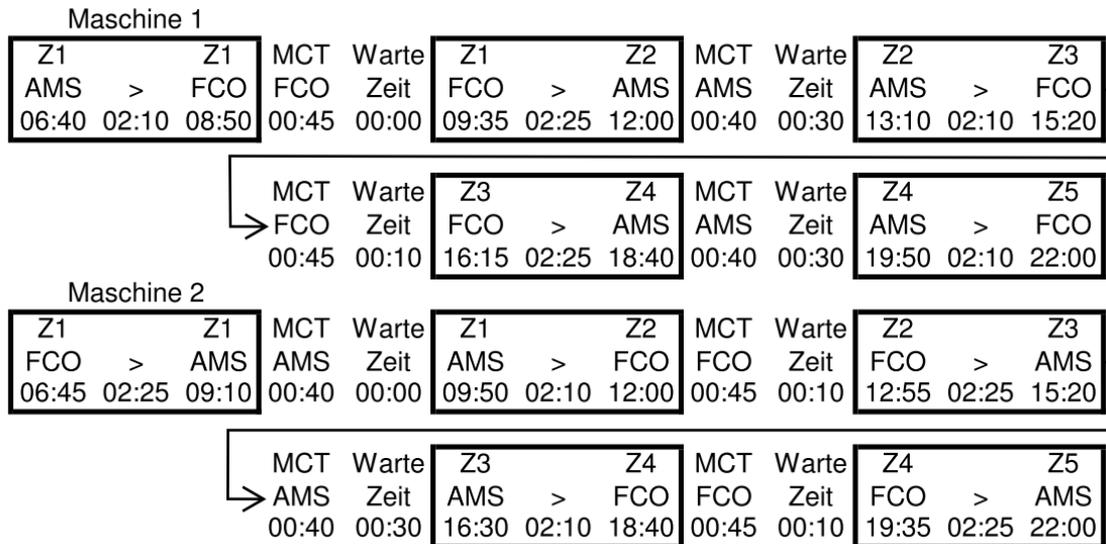


Abbildung 52: Verbindung FCO – AMS

Die Abbildung 52 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Rom-Fiumicino* (FCO) und *Amsterdam Schiphol* (AMS). Sie kann durch den Einsatz von zwei Flugzeugen (Maschine 1 und 2) umgesetzt werden.

Die Flugzeiten von 02:10 h (AMS nach FCO) und 02:25 h (FCO nach AMS) zählen mit zu den längsten von FCO. Dies wird auch anhand der kurzen Wartezeiten in FCO ersichtlich. Das bedeutet, dass etwaige Verzögerungen nur bedingt ausgeglichen werden können.

Von AMS aus existiert nur die Verbindung nach LGW, die nicht direkt von FCO aus angefliegen wird. Sämtliche andere Destinationen von AMS sind auch von FCO aus erreichbar. Umgekehrt existieren drei Verbindungen von FCO aus, die nicht von AMS direkt angesteuert werden. Dies sind die eingangs erwähnten Spokes von FCO, CTA, LIN und PMO. Mittels der zeitlichen Koordinierung der Ankünfte nach den erarbeiteten Standardzeiten, lassen sich sämtliche Anschlussflüge in FCO -wie auch in AMS- erreichen. Bei der Taktung der Ankunft innerhalb des ersten Zeitintervalls muss der Gesamtturnus beachtet werden. Die Maschinen müssen demnach 06:40 Uhr in AMS und 06:45 Uhr in FCO starten, damit sie rechtzeitig innerhalb des Mittagszeitintervalls um 12:00 Uhr wieder am Ausgangsflughafen sind.

Als Flugzeugtyp bietet sich der Einsatz eines Airbus A350-900 an, da er die 323 Passagiere befördern kann.¹³³ Diese Maschine wird zudem auf den Routen nach BCN und MAD eingesetzt, wodurch demzufolge deren Auslastung beeinflusst werden kann.

¹³³ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.7.2 Rom-Fiumicino – Paris-Charles-de-Gaulle

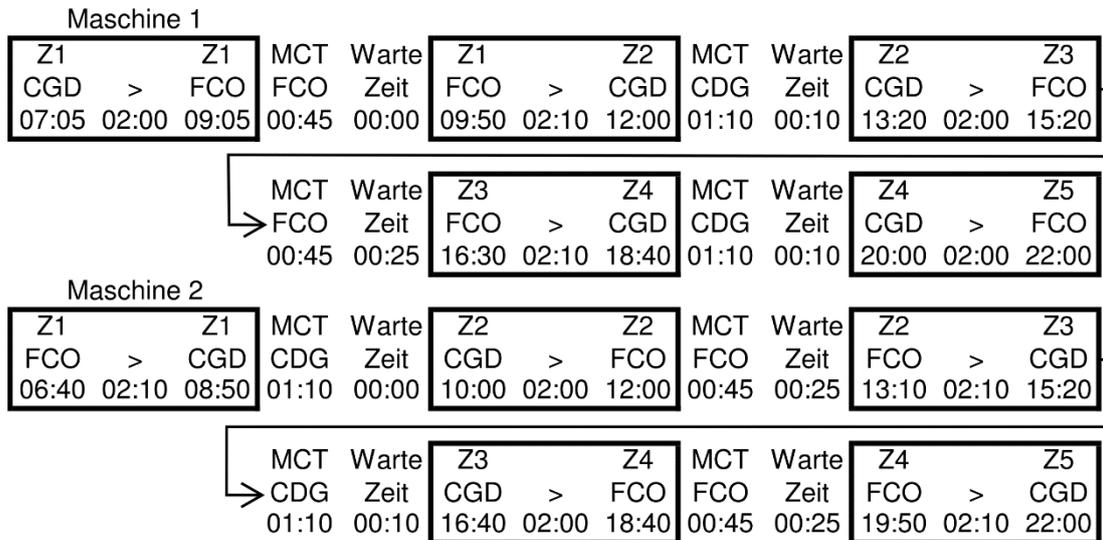


Abbildung 53: Verbindung FCO – CDG

Die Abbildung 53 weist die zeitliche Koordination der Verbindungen zwischen den Flughäfen *Rom-Fiumicino* (FCO) und *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) aus. Sie deckt ebenfalls durch den Einsatz von nur zwei Flugzeugen sämtliche Zeitintervalle ab.

CDG besitzt die beiden Spokes *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE). Diese können nicht innerhalb des Flugnetzes von FCO aus direkt angefliegen werden. Allerdings muss bei den Ankunftszeiten in CDG keine besondere Rücksicht genommen werden, da die Spokes von CDG ebenfalls zu den herausgearbeiteten Zeiten in CDG ankommen und innerhalb kürzester Zeit angefliegen werden. Dies gilt auch für die Flüge aus CDG kommend, welche FCO als Hub für die Verbindung zu dessen Spokes nutzen und umgekehrt. Die lange MCT von CDG (01:10 h) lässt dabei nur einen geringen Spielraum bei Verspätungen zu. Sie ist der Grund, weshalb die Maschine 2 in Flugrichtung FCO nach CDG bereits um 06:40 Uhr starten muss. Die Schwestermaschine kann somit 25 Minuten später von CDG nach FCO abfliegen. Durch diese Abflugzeiten kann gewährleistet werden, dass die Maschinen auch rechtzeitig um 12:00 Uhr wieder am Ausgangsflughafen eintreffen. Die restlichen Zeitzonen werden, wie bereits erwähnt, zu den speziellen Zeiten angefliegen, sodass sämtliche Anschlussflüge erreicht werden können.

Für die Beförderung von jeweils mindestens 256 Passagieren bietet sich die Nutzung des Airbus A350-800 an.¹³⁴ Die Auslastung dieses Maschinentyps kann durch Routenwechsel auf den Strecken CDG – FRA und CDG – TLS beeinflusst werden.

¹³⁴ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.7.3 Rom-Fiumicino – Catania

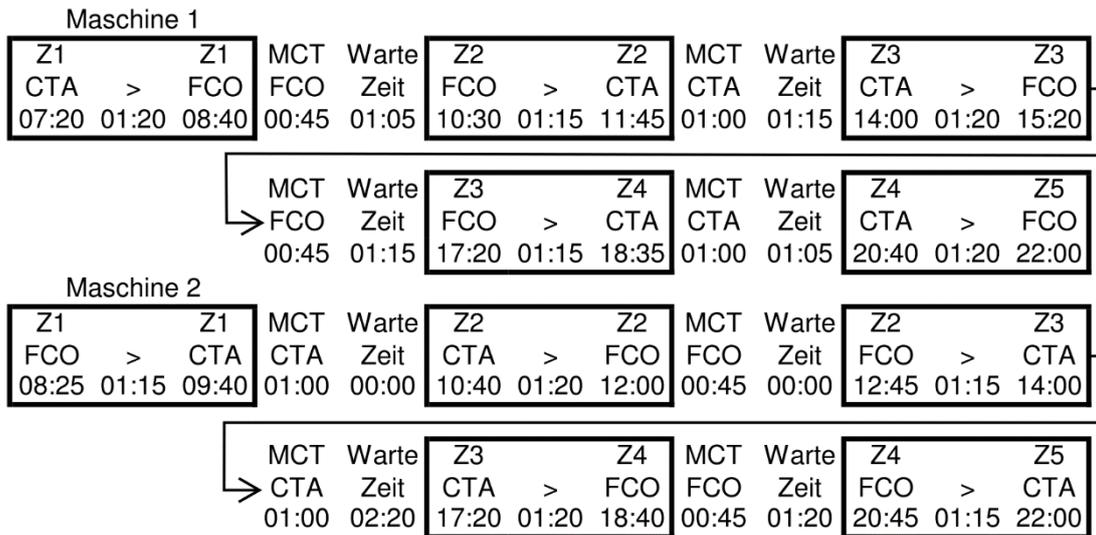


Abbildung 54: Verbindung FCO – CTA

Die Abbildung 54 weist die zeitliche Taktung der Verbindungen zwischen dem Hub *Rom-Fiumicino* (FCO) und seinem ersten Spoke *Catania* (CTA) aus. Sie kann ebenfalls durch den Einsatz von zwei identischen Flugzeugen umgesetzt werden.

Der sizilianische Spoke CTA ist nur über den Hub FCO in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann dementsprechend ausschließlich über diesen angefliegen werden. Bei der zeitlichen Koordinierung der Flugroute von FCO nach CTA weichen die Ankunftszeiten von den standardisierten Zeiten ab. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass von CTA aus keine Anschlussflüge erreicht werden müssen. Somit kann die Wartezeit in FCO deutlich verkürzt werden. Bei der Festlegung der entsprechenden Wartezeiten für den Weiterflug nach CTA muss allerdings darauf geachtet werden, dass alle Hub-Verbindungen in FCO eingetroffen sind. Dies ist der Fall von LHR, welcher erst 16:35 Uhr in FCO eintrifft und der Weiterflug nach CTA somit erst um 17:20 Uhr stattfinden kann. Zudem muss sichergestellt werden, dass sich die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall befinden. Bei der entgegengesetzten Flugrichtung (CTA nach FCO) muss die Maschine 1 um 07:20 Uhr in CTA starten, damit sie um 08:40 Uhr in FCO eintrifft. Den Hintergrund für diese frühe Ankunft bildet die Erreichbarkeit der Anschlussflüge in FCO. Würde dieser Flug später in FCO ankommen, wäre nicht mehr gewährleistet, dass der Weiterflug nach MAD um 09:25 Uhr erreicht wird.

Für die 481 zu befördern Passagiere empfiehlt sich die Boeing 747-400D, da nur sie über ein ausreichendes Sitzplatzangebot verfügt und dabei in CTA die Runway nutzen kann¹³⁵

¹³⁵ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

3.7.5 Rom-Fiumicino – Mailand-Linate

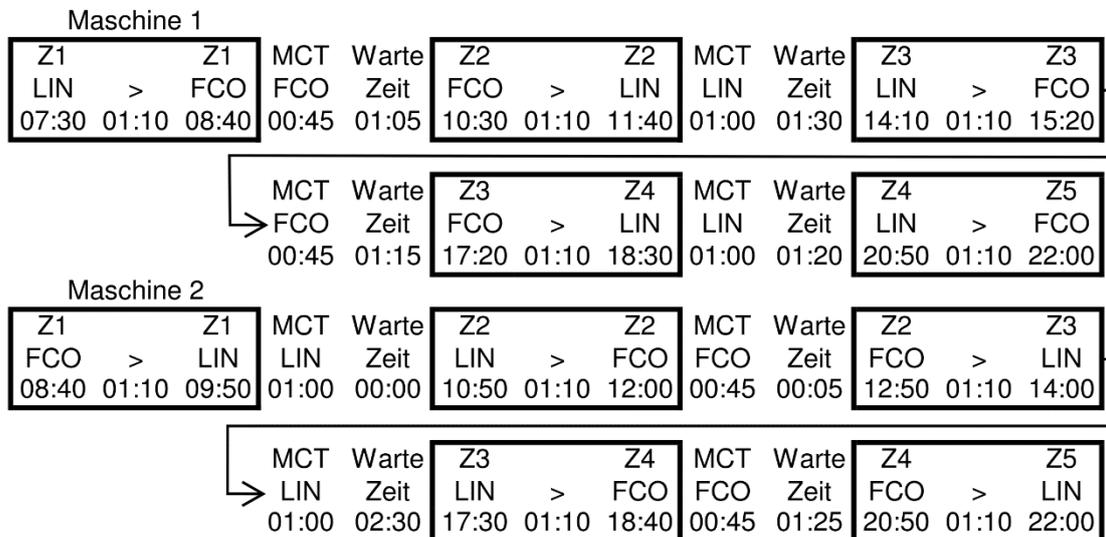


Abbildung 56: Verbindung FCO – LIN

Die Abbildung 56 weist die zeitliche Taktung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Rom-Fiumicino* (FCO) und seinem zweiten Spoke *Mailand-Linate* (LIN) aus. Bei dieser Verbindung können ebenfalls mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge alle Zeitintervalle abgedeckt werden.

Der Spoke LIN ist nur über den Hub FCO in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann somit auch nur über diesen erreicht werden. Bei der Flugroute von FCO nach LIN weichen die Ankunftszeiten ebenfalls von den standardisierten Zeiten ab. Dieser Umstand kann darauf zurückgeführt werden, dass von LIN aus keine Anschlussflüge erreicht werden müssen. Dadurch lässt sich die Wartezeit in FCO verkürzen. Bei der Taktung der entsprechenden Wartezeiten für den Weiterflug nach LIN muss jedoch beachtet werden, dass alle Hub-Verbindungen in FCO eingetroffen sind, insbesondere ist das der Fall von LHR. Dessen Maschine trifft erst 16:35 Uhr in FCO ein. Somit kann der Weiterflug nach CTA erst um 17:20 Uhr stattfinden. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass sich die Ankünfte im nachfolgenden Zeitintervall befinden. Bei der Gegenrichtung (CTA nach FCO) muss die Maschine 1 um 07:30 Uhr in LIN starten, damit sie um 08:40 Uhr in FCO eintrifft. Das ist insofern notwendig, damit die Anschlussflüge in FCO erreicht werden können. Würde dieser Flug später in FCO ankommen, könnte nicht mehr gewährleistet werden, dass der Anschlussflug nach MAD innerhalb der MCT von FCO um 09:25 Uhr erreicht wird.

Für die 488 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich die Boeing 747-400D, da nur sie über ein derartiges Sitzplatzangebot verfügt und dabei in LIN die Runway nutzen kann.¹³⁷

¹³⁷ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

3.7.6 Rom-Fiumicino – Palermo-Punta Raisi

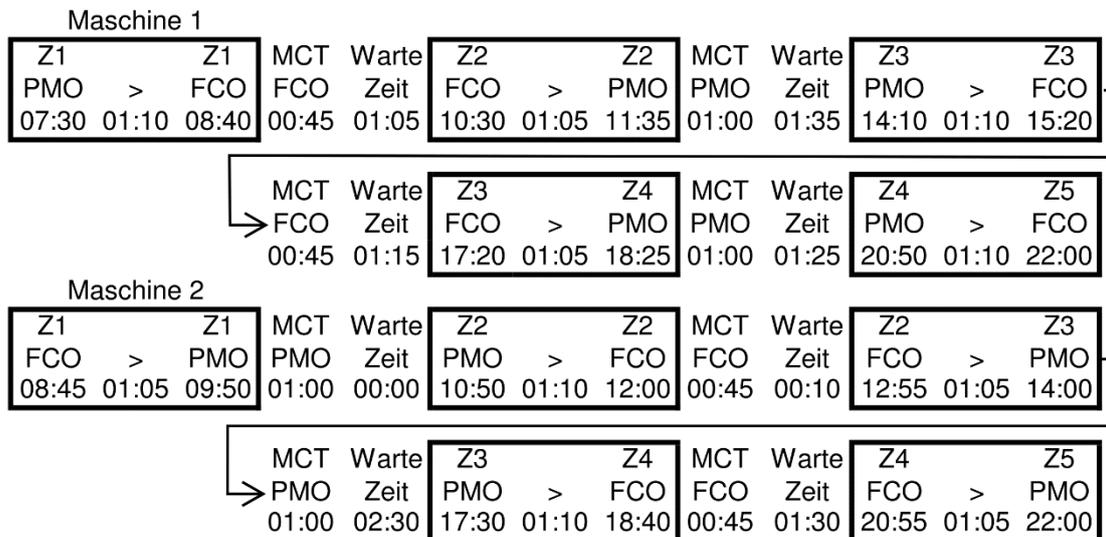


Abbildung 57: Verbindung FCO – PMO

Die Abbildung 57 gibt die zeitliche Koordinierung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Rom-Fiumicino* (FCO) und seinem dritten Spoke *Palermo-Punta Raisi* (PMO) wieder. Sie kann ebenfalls durch den Einsatz von nur zwei Flugzeugen umgesetzt werden.

Der dritte Spoke PMO ist ebenso nur über FCO innerhalb des erstellten Flugnetzes erreichbar. Bei der Flugroute von FCO nach PMO kommt es ebenfalls zu Abweichungen bei den Ankunftszeiten im Vergleich zu den standardisierten Zeiten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass von PMO aus keine weiteren Anschlussflüge erreicht werden müssen. Folglich lässt sich die Wartezeit in FCO verkürzen und die Qualität der Verbindungsgüte verbessern. Bei der Abstimmung der Wartezeiten für den Weiterflug nach PMO muss weiterhin darauf geachtet werden, dass alle Hub-Verbindungen in FCO bereits gelandet sind, insbesondere der Flug aus LHR, welcher erst um 16:35 Uhr in FCO eintrifft. Somit kann der Weiterflug nach PMO erst um 17:20 Uhr stattfinden. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass sich die Ankünfte erst im nächsten Zeitintervall stattfinden. Die erste Maschine aus PMO muss 07:30 Uhr starten, damit sie um 08:40 Uhr in FCO eintrifft. Dadurch können alle Anschlussflüge in FCO erreicht werden. Bei einer späteren Ankunft in FCO könnte das nicht mehr gewährleistet werden. Der Weiterflug nach MAD, innerhalb der MCT von FCO, um 09:25 Uhr würde nicht realisierbar sein.

Für den Transport der jeweils 398 Passagiere empfiehlt sich der Einsatz eines Airbus A350-1000 mit einem maximalen Sitzplatzangebot von 440 Plätzen.¹³⁸

¹³⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.8 London Heathrow (LHR)

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	LHR	08:35	08:50	11:45	12:00	15:05	15:20	18:25	18:40	21:45	22:00
BCN	LHR	06:40	07:55	10:45	12:00	13:20	14:35	17:25	18:40	20:45	22:00
CDG	LHR	08:30	08:45	11:45	12:00	15:05	15:20	18:25	18:40	21:45	22:00
DUB	LHR	06:15	07:30	10:20	11:35	13:05	14:20	17:25	18:40	20:45	22:00
EDI	LHR	06:10	07:30	10:15	11:35	13:00	14:20	17:20	18:40	20:40	22:00
FCO	LHR	05:40	07:30	10:15	12:05	12:45	14:35	17:20	19:10	20:10	22:00
FRA	LHR	07:45	08:20	11:05	11:40	14:25	15:00	18:05	18:40	21:25	22:00
MAD	LHR	06:25	07:40	10:45	12:00	12:50	14:05	17:25	18:40	20:45	22:00
MUC	LHR	07:15	08:15	10:35	11:35	13:55	14:55	17:40	18:40	21:00	22:00
ZRH	LHR	07:20	08:15	10:40	11:35	14:00	14:55	17:45	18:40	21:05	22:00

MCT LHR = 1 h

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
LHR	AMS	07:50	10:00	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
LHR	BCN	06:55	10:00	08:55	12:00	13:00	16:05	15:35	18:40	19:40	22:45
LHR	CDG	07:05	09:20	09:45	12:00	13:05	15:20	16:25	18:40	19:45	22:00
LHR	DUB	08:05	09:20	09:50	11:05	13:05	14:20	16:45	18:00	20:45	22:00
LHR	EDI	07:55	09:15	09:50	11:10	13:05	14:25	16:40	18:00	20:40	22:00
LHR	FCO	06:00	09:30	08:30	12:00	13:05	16:35	15:35	19:05	20:10	23:40
LHR	FRA	07:15	09:55	09:20	12:00	12:40	15:20	16:00	18:40	19:40	22:20
LHR	MAD	06:05	09:25	08:40	12:00	13:00	16:20	15:20	18:40	19:40	23:00
LHR	MUC	07:15	10:00	09:15	12:00	12:35	15:20	15:55	18:40	19:40	22:25
LHR	ZRH	06:55	09:40	09:15	12:00	12:35	15:20	15:55	18:40	19:40	22:25

Destination	min. Sitzplatz- anzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
AMS	479	06:00	06:05	A380	Boeing 747-8
BCN	168	10:45	10:55	A380	A320 neo
CDG	323	06:15	06:15	A380	A350-900
DUB	511	06:15	06:15	747-400D	747-400D
EDI	365	06:40	06:40	747-400D	A350-1000
FCO	224	13:10	13:30	A380	A321 neo
FRA	424	08:10	08:05	A380	A350-1000
MAD	371	11:30	11:25	A380	A350-1000
MUC	341	09:15	09:30	A380	A350-1000
ZRH	316	09:15	09:05	A380	A350-900

Tabelle 25: zeitliche Einteilung Hub London Heathrow (LHR)

In der tabellarischen Übersicht werden alle Verbindungen des Hubs *London Heathrow* (LHR) dargestellt. Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, stellt die Verbindung von und nach *Rom-Fiumicino* (FCO) den kritischen Pfad des Londoner Primärhubs dar. An ihr werden die Verbindungen ausgerichtet, die keine eigene direkte Route zu FCO besitzen. Dies sind die Spokes *Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI). Zudem kann der Schweizer Flughafen *Zürich* (ZRH) über LHR angefliegen werden. Dies ist innerhalb des Flugnetzes nur über FRA und einer Point-to-Point Verbindung mit TXL möglich. Anschlüsse von und zu anderen Destinationen müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Aus der obigen Tabelle wird ersichtlich, dass die zeitliche Koordinierung der Ankünfte in einer Vielzahl von Fällen von den standardisierten Zeiten abweicht. Dieser Umstand ist auf die teilweise längere Flugdauer von und nach LHR zurückzuführen, welche aus der geografischen Lage heraus resultiert. Des Weiteren hat eine einstündige Zeitverschiebung eine Auswirkung auf die Ankunftszeiten in LHR, aber auch bei seinen Destinationen, welche von dieser betroffen sind. Die jeweilige Ankunft wird in den lokalen Zeiten angegeben, da dies sonst zu einer Verwerfung der Zeitintervalle geführt hätte. Die entsprechende Zeitdifferenz wurde also bereits eingerechnet.

Bei der zeitlichen Abstimmung müssen außerdem die Bestimmungen zu den Nachtflugrestriktionen beachtet werden. In LHR sind keine Starts vor 06:00 Uhr gestattet.¹³⁹ Landungen sind jedoch ab 04:30 Uhr erlaubt. Die Flugbetriebszeit endet zwischen 23:00 und 23:30 Uhr. Diese Nachtflugbestimmungen hängen vom eingesetzten Flugzeugtyp und dessen Geräuschemission ab, sowie von der jährlichen Anzahl der Flüge innerhalb der Tagesrandzeiten. In Verbindung mit der einstündigen MCT von LHR gewährleisten die herausgearbeiteten Ankunftszeiten in LHR innerhalb der Nachtzeitzone, dass die eingesetzten Maschinen noch über die Nachtstunden hinaus auf Mittel- und Langstreckenflügen eingesetzt werden können.¹⁴⁰ Die Wiedereingliederung, abhängig vom Abflug zur jeweiligen Destination des Flugnetzes, wird durch den frühen Beginn der Flugbetriebszeiten ermöglicht. Dadurch können die Auslastungen der auf dem Flugstreckennetz eingesetzten Maschinen über dieses hinaus erhöht werden. Im Speziellen sind das jene Maschinen, die Verbindungen zu Flughäfen unterhalten, welche nur eine geringe Entfernung zu LHR aufweisen. Zudem lässt der vermehrte Einsatz des gleichen Maschinentyps auf den Strecken von und nach LHR eine Beeinflussung der Auslastung der Flugzeuge zu.

Welcher Flugzeugtyp auf welchen Routen eingesetzt wird, ist dem dritten Teil der vorherigen Tabelle zu entnehmen. Deren genaue aufeinander abgestimmte zeitliche Koordinierung wird in den nachfolgenden Unterkapiteln detaillierter beschrieben. Jedoch werden die zeitlichen Taktungen der Strecken zwischen LHR und BCN, FCO, FRA sowie MAD nicht noch einmal dargestellt, da diese bereits in den vorherigen Unterkapiteln der jeweiligen Hubs erfolgte.

¹³⁹ Vgl. London Heathrow Airports Limited (2018), S. 5f.

¹⁴⁰ Vgl. British Airways Plc. (2018).

3.8.1 London Heathrow – Amsterdam

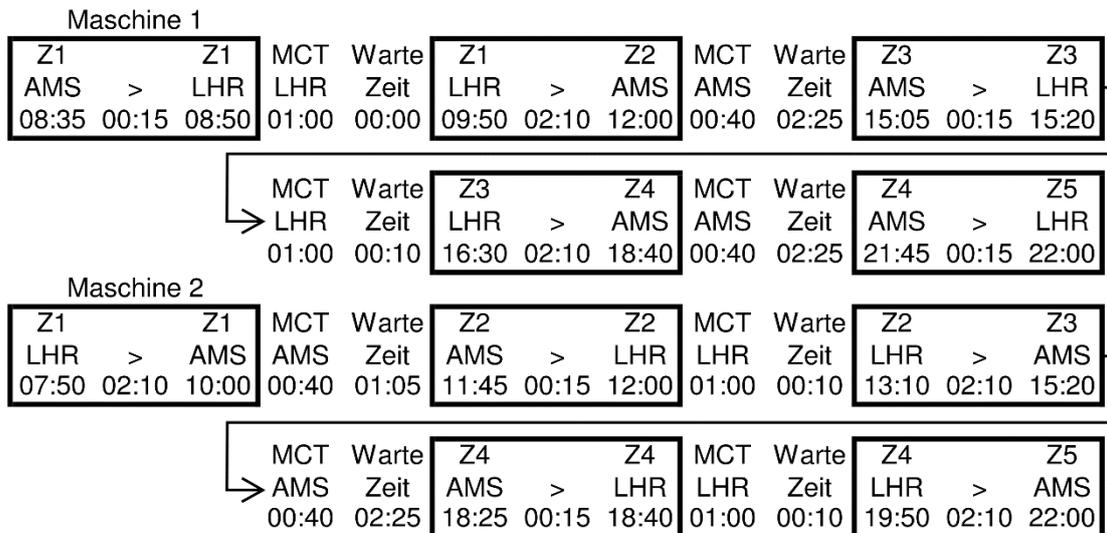


Abbildung 58: Verbindung LHR – AMS

Die Abbildung 58 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *London Heathrow* (LHR) und *Amsterdam Schiphol* (AMS), welche durch zwei Flugzeuge (Maschine 1 und 2) umgesetzt werden kann.

Wie eingangs bereits erläutert, beinhaltet die angegebene Flugdauer die Zeitdifferenz von einer Stunde. Die reale Flugzeit von LHR nach AMS beträgt dementsprechend nur 01:10 h und in der Gegenrichtung 01:15 h. Die Zeitverschiebung ist auch ausschlaggebend für die deutlich längere Wartezeit der Maschinen in AMS. Sie beträgt dort 02:25 h, wohingegen sie in LHR nur 10 Minuten beträgt.

Von AMS aus existieren innerhalb des erstellten Flugstreckennetzes keine Strecken, die nicht auch von LHR aus angeflogen werden können. Die Verbindung zwischen LHR und AMS konnte neben CDG als einzige vollständig zu den standardisierten Ankunftszeiten um 12:00 Uhr, 15:20 Uhr, 18:40 Uhr und 22:00 Uhr in beide Richtungen eingetaktet werden. Dadurch kann zudem sichergestellt werden, dass innerhalb der einstündigen MCT von LHR aus dessen Spokes, *Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI), zeitnah erreichbar sind.

Für die jeweils 497 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich der Einsatz einer Boeing 747-8. Dieses Flugzeug hat in der Zwei-Klasseneinteilung eine Kapazität von 524 Sitzplätzen und kann in der Ein-Klassen-Version maximal 581 Passagiere aufnehmen.¹⁴¹

¹⁴¹ Vgl. Kable (2018).

3.8.2 London Heathrow – Paris-Charles-de-Gaulle

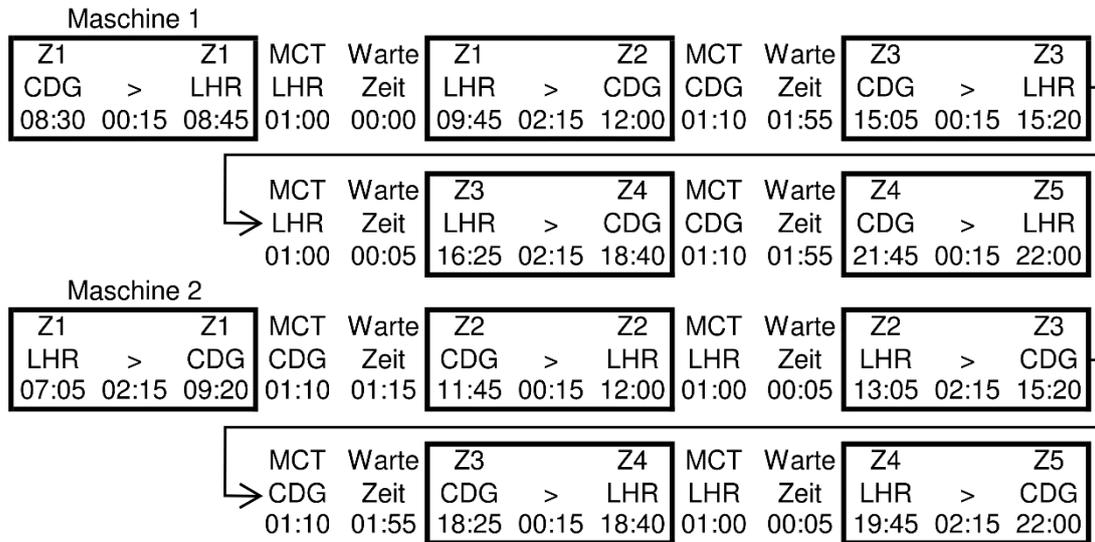


Abbildung 59: Verbindung LHR – CDG

Die weist die zeitliche Koordination der Verbindungen zwischen den Flughäfen *London Heathrow* (LHR) und *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) aus. Auch sie deckt ebenfalls durch den Einsatz von nur zwei Flugzeugen sämtliche Zeitintervalle ab.

Im Oberkapitel wurde bereits erklärt, dass die angegebene Flugdauer die Zeitverschiebung von einer Stunde beinhaltet. Die reale Flugzeit von LHR nach CDG beträgt, wie auch in der Gegenrichtung, nur 01:15 h. Die Zeitdifferenz ist auch maßgeblich für die längere Wartezeit der Flugzeuge in CDG verantwortlich. Sie beträgt dort 01:55 h, wohingegen sie in LHR nur 5 Minuten beträgt.

Wie LHR besitzt CDG zwei Spokes, *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE). Sie können ebenfalls nicht innerhalb des Flugnetzes von LHR aus angeflogen werden. Jedoch muss bei den Ankunftszeiten keine besondere Rücksicht genommen werden, da die Spokes von CDG zu den herausgearbeiteten Zeiten in CDG ankommen und somit innerhalb kürzester Zeit angeflogen werden können. Dies trifft zudem auf die Gegenrichtung, CDG nach LHR, zu. Da die Ankünfte zu den standardisierten Zeiten erfolgen, können die Spokes von LHR, *Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI), unter Beachtung der einstündigen MCT, zeitnah erreicht werden.

Als Flugzeugtyp bietet sich der Einsatz eines Airbus A320 neo an. Er ist für die Beförderung der 168 Passagiere ausreichend.¹⁴² Würde jedoch der Airbus A321 neo genutzt werden, so wäre ein Routenwechsel der Maschinen mit der Verbindung FCO – LHR möglich. Folglich würde der kritische Pfad von LHR und FCO entlastet werden.

¹⁴² Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.8.3 London Heathrow – Dublin

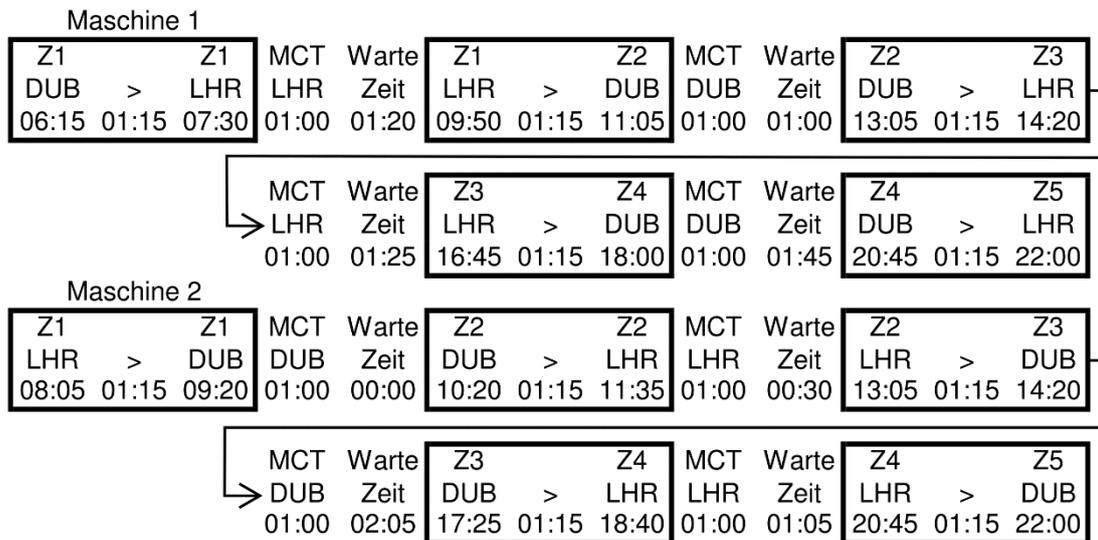


Abbildung 60: Verbindung LHR – DUB

Die Abbildung 60 weist die zeitliche Taktung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *London Heathrow* (LHR) und seinem ersten Spoke *Dublin* (DUB) aus. Sie kann zudem durch zwei Maschinen alle Zeitintervalle abdecken.

Der Dubliner Spoke ist neben der Verbindung über den Hub LHR noch über den Sekundärhub LGW in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann über beide Flughäfen erreicht werden.

Bei der zeitlichen Taktung fällt bei der Flugroute von LHR nach DUB eine Besonderheit auf. Die Ankunftszeiten weichen von den standardisierten Zeiten ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass von DUB aus keine Anschlussflüge erreicht werden müssen und somit die Wartezeit in LHR verkürzt werden kann. Bei der Wartezeit muss nur darauf geachtet werden, dass die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall erfolgen.

In der Gegenrichtung (DUB nach LHR) weichen ebenfalls die Ankünfte von den standardisierten Zeiten ab. Für die zweite Zeitzone ist die Verbindung LHR – MUC sowie ZRH ausschlaggebend. Für Nachmittagszeitzone sind es die Flüge zwischen LHR – MAD. Den Grund für die Ankunft im ersten Zeitintervall stellt die Verbindung LHR – FCO, welche der kritische Pfad von LHR ist. Würden die Maschinen aus Dublin später ankommen, könnten sie die Anschlüsse nicht mehr rechtzeitig erreichen.

Für die jeweils 511 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich der Einsatz von Boeings 747-400D.¹⁴³ Sie ist dafür das hinreichend große Flugzeug, welches zudem auf der Runway von DUB starten und landen kann. Routenwechsel sind von DUB aus nach LGW möglich.

¹⁴³ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

3.8.4 London Heathrow – Edinburgh

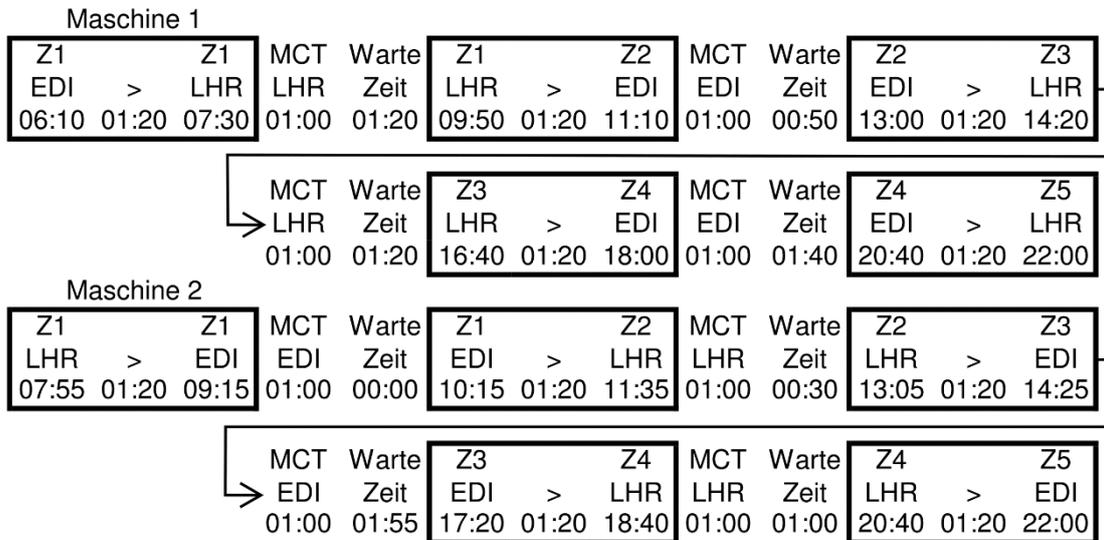


Abbildung 61: Verbindung LHR – EDI

Die Abbildung 61 gibt die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *London Heathrow* (LHR) und seinem zweiten Spoke *Edinburgh* (EDI) wieder. Sie kann ebenfalls durch nur zwei Flugzeuge (die Maschinen 1 und 2) umgesetzt werden.

Der Spoke EDI ist neben der Route über LHR noch über den LGW in das erstellte Flugnetz eingegliedert und kann über beide Flughäfen angefliegen werden.

Auch bei der Koordinierung der Flüge zwischen LHR und EDI weichen die Ankunftszeiten von den standardisierten Zeiten ab, da von EDI aus keine Anschlussflüge erreicht werden müssen. Dadurch kann die Wartezeit in LHR merklich verkürzt werden. Beachtet werden muss jedoch, dass sich die Ankünfte im nachfolgenden Zeitintervall befinden.

Abweichungen von den standardisierten Ankunftszeiten treten aber auch in der Gegenrichtung (EDI nach LHR) auf. Wie schon bei DUB befinden sich diese Abweichungen in den Zeitintervallen zwei und drei. Für die zweite Zeitzone ist die Verbindung LHR – MUC sowie ZRH verantwortlich. Für die dritte ist es LHR – MAD. Den Grund für die Ankunft im ersten Zeitintervall bildet die Verbindung LHR – FCO, der kritische Pfad von LHR. Würden die Maschinen aus Edinburgh später ankommen, könnte nicht gewährleistet werden, dass sie die Anschlüsse nicht mehr rechtzeitig erreichen.

Pro Strecke müssen 365 Passagiere befördert werden. Dafür bietet sich die Nutzung eines Airbus A350-1000 an.¹⁴⁴ Dieser Maschinentyp wird ebenfalls auf den Routen nach FRA, MAD und MUC eingesetzt. Dadurch lässt sich die Auslastung dieses Maschinentyps durch Routenwechsel beeinflussen.

¹⁴⁴ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.8.5 London Heathrow – Zürich

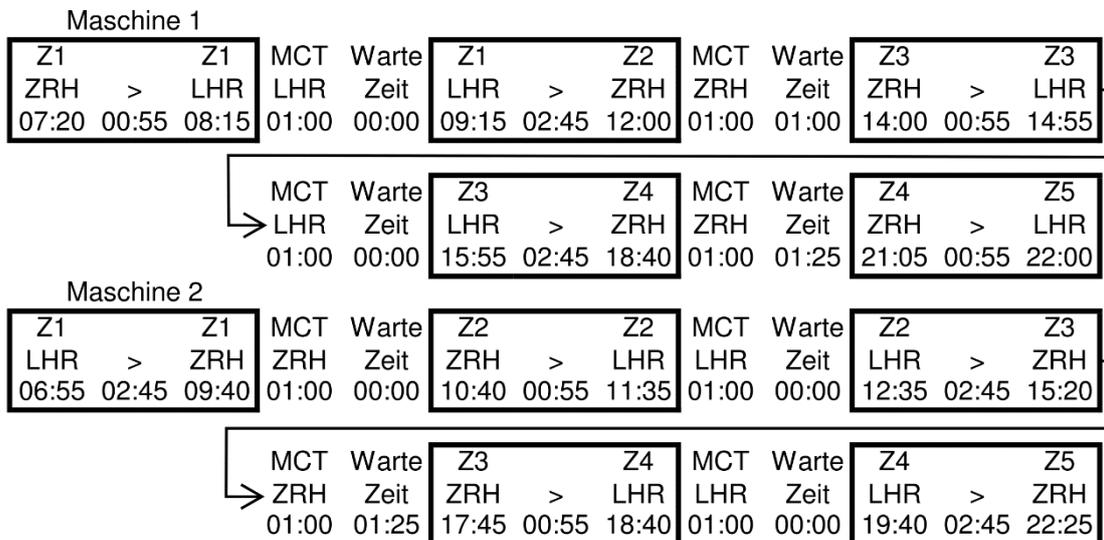


Abbildung 62: Verbindung LHR – ZRH

Die Abbildung 62 weist die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *London Heathrow* (LHR) und *Zürich* (ZRH) aus. Bei dieser Verbindung können auch durch den Einsatz von identischen Flugzeugen alle Zeitintervalle abgedeckt werden.

Abgesehen von der Verbindung mit dem Londoner Hub (LHR) ist der Züricher Flughafen noch über den Frankfurter Hub (FRA) in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann dementsprechend über beide Flughäfen angefliegen werden. Aufgrund der Passagierzahlen von über einer Million im Jahr 2016 besitzt er zudem eine Point-to-Point Verbindung mit dem Flughafen Berlin Tegel (TXL).

Auch bei der Verbindung LHR – ZRH kommt es bei der zeitlichen Taktung zu Abweichungen in den Ankunftszeiten zu den standardisierten Zeiten. Diese ist auf die Dauer des Gesamtturnus zurückzuführen, welcher aus der Entfernung der beiden Flughäfen resultiert. Mit Ausnahme der Verbindungen mit den Spokes (DUB und EDI) kann dadurch nicht in jedem Fall sichergestellt werden, dass alle Anschlussflüge in LHR erreicht werden. Das ist jedoch nicht problematisch, da ZRH innerhalb des Flugnetzes eher FRA als Spoke zugeordnet werden kann. Über FRA erlangt ZRH die Möglichkeit, die anderen Destinationen rechtzeitig zu erreichen und selbst angefliegen zu werden.

Um die jeweils 316 Passagiere zu befördern, bietet sich der Einsatz von Maschinen des Typs Airbus A350-900 an.¹⁴⁵ Dieser wird von LHR aus noch auf der Strecke nach CDG eingesetzt. Mittels von Routenwechseln kann dadurch die Auslastung der Maschinen auf diesen beiden Strecken beeinflusst werden.

¹⁴⁵ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.9 London Gatwick (LGW)

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	LGW	08:30	08:40	11:50	12:00	14:10	14:20	18:30	18:40	21:50	22:00
BCN	LGW	06:50	08:00	10:50	12:00	13:30	14:40	17:30	18:40	20:50	22:00
DUB	LGW	06:15	07:40	10:35	12:00	12:55	14:20	17:15	18:40	20:35	22:00
EDI	LGW	06:15	07:40	10:35	12:00	12:55	14:20	17:15	18:40	20:35	22:00
MAD	LGW	06:20	07:40	10:40	12:00	13:00	14:20	17:20	18:40	20:40	22:00

MCT LGW = 1 h

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
LGW	AMS	06:50	09:10	09:40	12:00	13:00	15:20	16:20	18:40	19:40	22:00
LGW	BCN	07:00	10:00	09:00	12:00	13:00	16:00	15:40	18:40	19:40	22:40
LGW	DUB	08:00	09:20	09:40	11:00	13:00	14:20	16:40	18:00	20:40	22:00
LGW	EDI	07:55	09:20	09:40	11:05	13:00	14:25	16:35	18:00	20:35	22:00
LGW	MAD	05:25	08:45	08:40	12:00	13:00	16:20	15:20	18:40	19:40	23:00

Destination	min. Sitzplatz- anzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
AMS	275	06:20	06:10	A380	A350-800
BCN	378	10:20	10:30	A380	A350-1000
DUB	460	06:55	06:50	747-400D	747-400D
EDI	214	07:05	07:05	747-400D	A321 neo
MAD	282	11:40	11:40	A380	A350-900

Tabelle 26: zeitliche Einteilung Hub London Gatwick (LGW)

Sämtliche Verbindungen des Sekundärhubs *London Gatwick* (LGW) werden in der obigen Tabelle dargestellt. Seinen kritischen Pfad bildet die Verbindung mit dem spanischen Hub *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD). Die Spokes von LGW sind die selbigen wie von LHR (*Dublin* (DUB) und *Edinburgh* (EDI)). Ihre Anschlüsse müssen an der Verbindung zu MAD ausgerichtet werden, da sie keine eigenen direkten Routen nach MAD besitzen. Die Ankünfte in LGW weisen nur im dritten Zeitintervall eine Abweichung zu den standardisierten Zeiten auf. Aufgrund der einstündigen Zeitverschiebung erfolgt diese bereits um 14:20 Uhr anstatt um 15:20 Uhr.

Aus dem dritten Tabellenabschnitt ist neben der Flugzeugauslastung zu entnehmen, welcher Flugzeugtyp sich auf welchen Strecken empfiehlt einzusetzen. Wie diese Maschinen genau zeitlich aufeinander abgestimmt sind, wird in den nachfolgenden Unterkapiteln im Detail beschrieben. Die zeitlichen Taktungen der Verbindungen LGW – BCN und LGW – MAD finden an dieser Stelle keine erneute Beachtung, da deren Erläuterung bereits in den vorherigen Unterkapiteln der jeweiligen Hubs erfolgte.

3.9.1 London Gatwick – Amsterdam

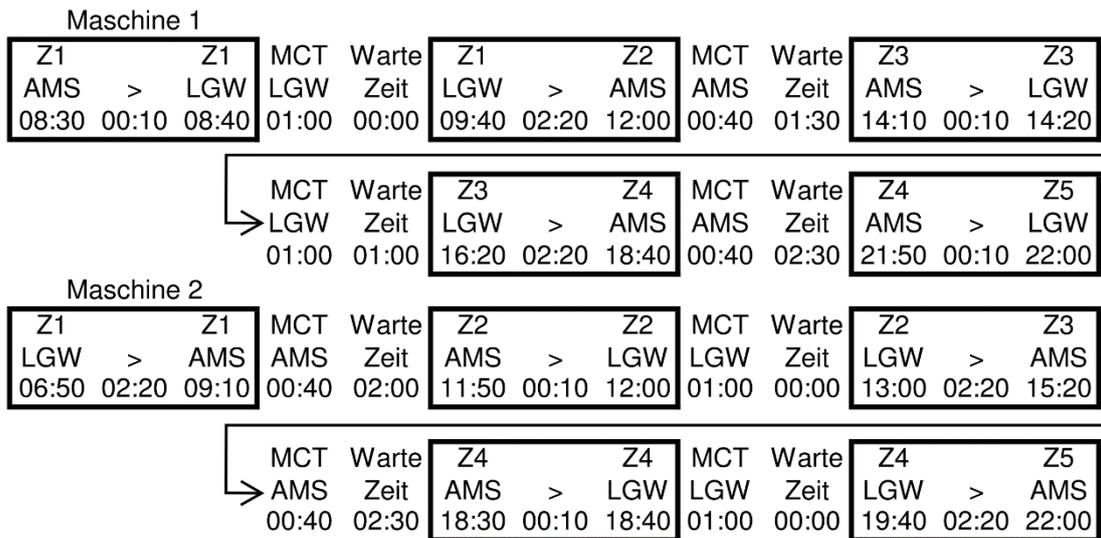


Abbildung 63: Verbindung LGW – AMS

In der Abbildung 63 wird die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *London Gatwick* (LGW) und *Amsterdam Schiphol* (AMS) dargestellt, welche durch den Einsatz von nur zwei Flugzeugen (Maschine 1 und 2) umgesetzt werden kann.

Die angegebene Flugdauer beinhaltet die Zeitdifferenz von einer Stunde. Die reale Flugzeit von LGW nach AMS beträgt dementsprechend 01:20 h und in die Gegenrichtung 01:10 h. Die Zeitverschiebung hat einen maßgeblichen Einfluss auf die deutlich längeren Wartezeiten der Maschinen in AMS. Sie beträgt dort zwischen 01:30 h und 02:30 h, wohingegen sie in LGW maximal 1 Stunde dauert.

In AMS erfolgen die Ankünfte nach dem Muster der standardisierten Ankunftszeiten. Somit kann sichergestellt werden, dass Destinationen, die von LGW aus nicht direkt angefliegen werden, ebenfalls über AMS erreicht werden können. Aus diesem Grund muss die Maschine 1 in LGW bereits 06:50 Uhr starten, um in AMS 09:10 Uhr anzukommen. Unter der Einhaltung der vierzigminütigen MCT von MCT kann dadurch das Erreichen des Anschlussfluges nach FCO sichergestellt werden.

In der Gegenrichtung wurden die Ankunftszeiten so eingetaktet, dass die Wartezeit für den Weiterflug zu den Spokes von LGW so gering wie möglich gehalten wird und dass der Rückflug pünktlich zu den Standardzeiten in AMS ankommt.

Für die jeweils 275 zu befördernden Passagiere empfiehlt es sich einen Airbus A350-800 einzusetzen.¹⁴⁶ Routenwechsel von LGW aus sind nicht möglich, da dieser Maschinentyp nicht nochmals anderswo eingesetzt wird. Er wird jedoch von AMS aus nach FRA genutzt.

¹⁴⁶ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.9.2 London Gatwick – Dublin

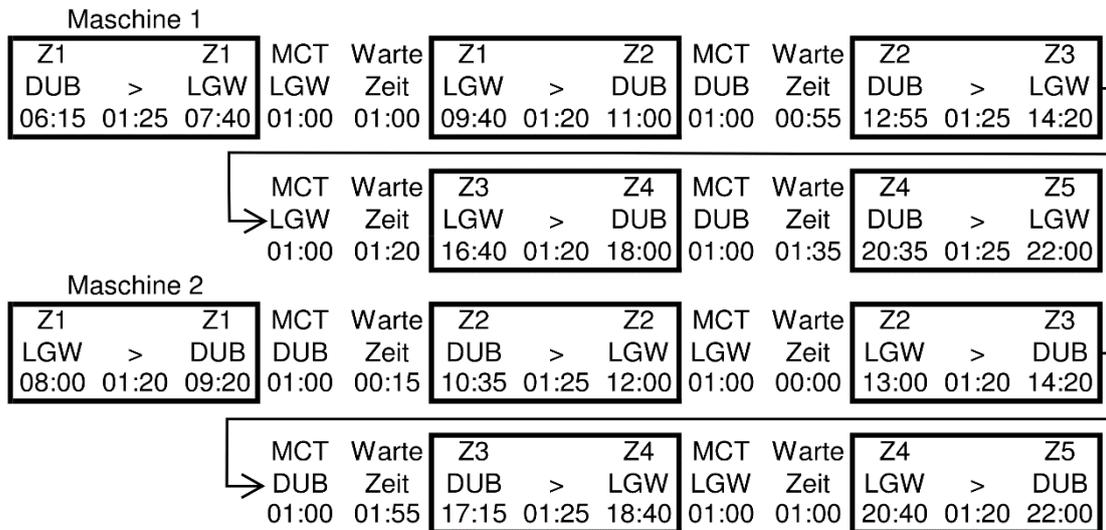


Abbildung 64: Verbindung LGW – DUB

Die Abbildung 64 zeigt die zeitliche Taktung der zwei Maschinen zwischen dem Flughafen *London Gatwick* (LGW) und seinem ersten Spoke *Dublin* (DUB).

Der Dubliner Spoke ist neben der Verbindung über den Sekundärhub LGW noch über den Primärhub LHR in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann dementsprechend über beide Flughäfen angeflogen werden.

Bei der zeitlichen Abstimmung der Flugroute von LGW nach DUB weichen die Ankunftszeiten von den standardisierten Zeiten ebenfalls ab. Der Grund dafür ist, dass von DUB aus keine Anschlussflüge erreicht werden müssen und somit die Wartezeit in LGW sichtlich verkürzt werden kann. Bei der Wartezeit muss nur darauf geachtet werden, dass die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall erfolgen und sämtliche Flüge in LGW eine Stunde (MCT von LGW) zuvor gelandet sind.

Wie eingangs erwähnt kommt es bei den Ankünften in LGW innerhalb des dritten Zeitintervalls zu Abweichungen von den standardisierten Ankunftszeiten. Dies ist auf die Zeitdifferenz bei den anderen Hub – Hub Verbindungen zurückzuführen. Für die frühe Ankunft der Maschine 1 um 07:40 Uhr in LGW ist das Erreichen des Anschlussflugs nach MAD ausschlaggebend.

Für die jeweils 460 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich der Einsatz von Boeings 747-400.¹⁴⁷ Sie ist hierfür ein ausreichend großes Flugzeug, welches auf der Runway von DUB operieren kann. Von DUB aus wird dieser Flugzeugtyp noch nach LHR eingesetzt.

¹⁴⁷ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

3.9.3 London Gatwick – Edinburgh

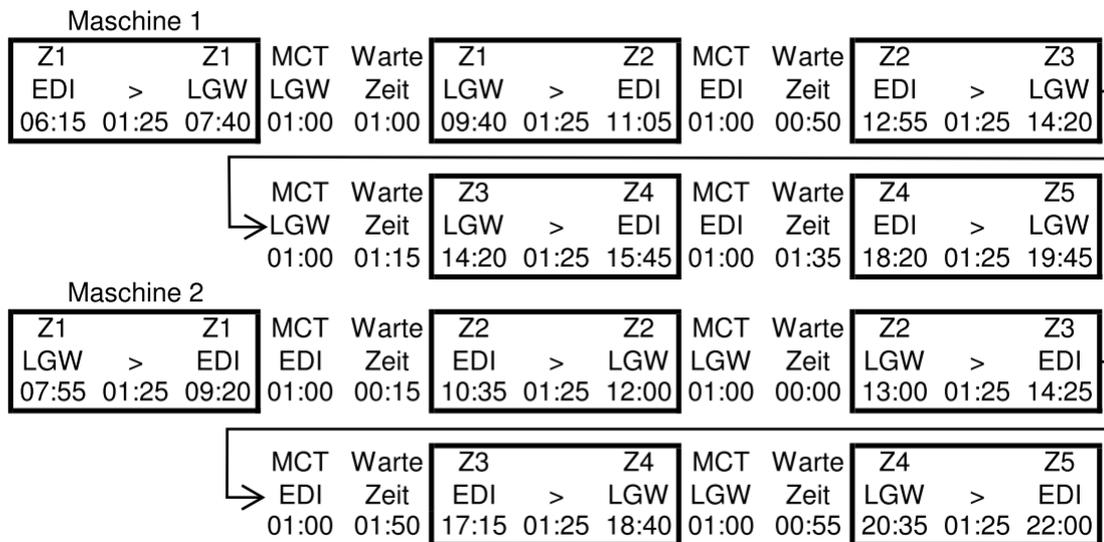


Abbildung 65: Verbindung LGW – EDI

Die Abbildung 65 gibt die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *London Gatwick* (LGW) und seinem zweiten Spoke *Edinburgh* (EDI) wieder. Sie kann ebenfalls durch nur zwei Flugzeuge (Maschinen 1 und 2) umgesetzt werden.

Der Spoke EDI ist neben der Route über LGW noch über LHR in das erstellte Flugnetz eingegliedert und kann dementsprechend über beide Flughäfen angefliegen werden.

Bei der Flugroute von LGW nach EDI treten ebenfalls bei der zeitlichen Abstimmung Abweichungen hinsichtlich der Ankunftszeiten zu den standardisierten Zeiten. Der Hintergrund für diese Unterschiede ist, dass von EDI aus keine Anschlussflüge erreicht werden müssen. Demnach kann die Wartezeit in LGW verkürzt werden. Bei der Abstimmung der Wartezeit muss lediglich berücksichtigt werden, dass die Ankünfte im anschließenden Zeitintervall erfolgen und sämtliche Flüge in LGW eine Stunde (MCT von LGW) zuvor gelandet sind.

Bei den Ankünften in LGW innerhalb des dritten Zeitintervalls kommt es ebenfalls zu Abweichungen von den standardisierten Zeiten. Dies ist auf die Zeitdifferenz bei den anderen Hub – Hub Verbindungen zurückzuführen. Für die frühe Ankunft der Maschine 1 um 07:40 Uhr in LGW ist das Erreichen des Anschlussflugs nach MAD verantwortlich.

Pro Strecke müssen 214 Passagiere befördert werden. Demnach ist der Einsatz eines Airbus A321 neo ausreichend.¹⁴⁸ Dieser Maschinentyp wird auf keinen anderen Routen von LGW eingesetzt. Folglich kann die Auslastung dieser Maschinen nur über die Nachtzeitzone hinweg beeinflusst werden, wenn sichergestellt wird, dass diese Maschinen rechtzeitig wieder in LGW und EDI für diese Routen zur Verfügung stehen.

¹⁴⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.10 Paris-Charles-de-Gaulle (CDG)

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	CDG	08:05	09:20	10:45	12:00	14:05	15:20	17:25	18:40	20:45	22:00
BCN	CDG	07:15	09:10	10:05	12:00	13:25	15:20	16:45	18:40	20:20	22:00
FCO	CDG	06:40	08:50	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
FRA	CDG	07:55	09:05	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
LHR	CDG	07:05	09:20	09:45	12:00	13:05	15:20	16:25	18:40	19:45	22:00
MAD	CDG	06:45	08:45	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
MUC	CDG	07:50	09:15	09:55	12:00	13:15	15:20	16:35	18:40	19:55	22:00
NCE	CDG	07:10	08:45	10:25	12:00	13:45	15:20	17:05	18:40	20:25	22:00
TLS	CDG	07:15	08:45	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00

MCT CDG = 1 h 10 min

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
CDG	AMS	08:50	10:00	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
CGD	BCN	07:40	09:20	10:20	12:00	13:40	15:20	17:00	18:40	20:05	22:00
CGD	FCO	07:05	09:05	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
CDG	FRA	08:10	09:55	10:15	12:00	13:35	15:20	16:55	18:40	20:15	22:00
CDG	LHR	08:30	08:45	11:45	12:00	15:05	15:20	18:25	18:40	21:45	22:00
CDG	MAD	07:10	09:15	09:55	12:00	13:15	15:20	16:35	18:40	19:55	22:00
CDG	MUC	08:35	10:00	10:35	12:00	13:55	15:20	17:15	18:40	20:35	22:00
CGD	NCE	07:55	09:25	10:30	12:00	13:10	14:40	16:30	18:00	20:30	22:00
CDG	TLS	08:10	09:30	10:30	11:50	13:10	14:30	16:40	18:00	20:40	22:00

Destination	min. Sitzplatz- anzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
AMS	378	06:05	06:00	A380	A350-1000
BCN	360	08:50	09:05	A380	A350-1000
FCO	256	10:20	10:30	A380	A350-800
FRA	285	07:35	07:00	A380	A350-800
LHR	323	06:15	06:15	A380	A350-900
MAD	327	07:45	07:40	A380	A350-900
MUC	300	10:15	10:10	A380	A350-900
NCE	231	07:15	07:20	A380	A321 neo
TLS	269	07:10	07:00	A380	A350-800

Tabelle 27: zeitliche Einteilung Hub Paris-Charles-de-Gaulle (CDG)

In der tabellarischen Übersicht werden alle Verbindungen des Hubs *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) dargestellt. Den kritischen Pfad des Pariser Primärhubs stellt die Verbindung von und nach *Rom-Fiumicino* (FCO) dar. Die Flugdauer von FCO nach CDG beläuft sich auf 02:10 h und in der Gegenrichtung auf 2 Stunden. Mit

Flugzeiten von 02:05 h sowie 2 Stunden bietet die Verbindung CDG – MAD ebenfalls wenig Raum für verspätete Ankünfte. An diesen Flugverbindungen müssen jene ausgerichtet werden, die keine eigene direkte Verbindung zu diesen Destinationen besitzen. Im Fall von CDG sind es die Spokes *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE). Die Abflüge und Ankünfte der Spokes müssen an den Anschlüssen von anderen Destinationen ausgerichtet werden. Aus dem oberen Tabellenteil wird ersichtlich, dass die zeitliche Koordinierung der Ankünfte in den Spokes im zweiten und dritten Zeitintervall von den standardisierten Zeiten abweichen. Dieser Umstand basiert darauf, dass die Wartezeit in CDG so gering wie möglich gehalten werden sollte. Bei der Koordinierung der Flüge zu den Spokes muss darauf geachtet werden, dass sämtliche anderen Verbindungen bereits in CDG gelandet sind. Die Flüge können unter Einhaltung der MCT von CDG erst abfliegen. Die MCT von CDG ist innerhalb des erstellten Flugnetzes die längste von allen Flughäfen. Sie beträgt 01:10 h.¹⁴⁹ Diese MCT gilt zudem nur, wenn der Umstieg innerhalb des gleichen Terminals stattfindet. Dafür muss jedoch das Ticket für den Anschlussflug bereits vorhanden und das Gepäck dementsprechend bis zum Zielflughafen durchgebucht sein.

Aus den Ankünften und Abflügen von CDG wurde ersichtlich, dass diese zu jeder Tages- und Nachtzeit stattfinden. Das bedeutet, dass der Pariser Hub einen 24-Stunden-Flugbetrieb aufrechterhält. Dadurch lässt sich die Auslastung der innerhalb des Flugnetzes eingesetzten Maschinen erhöhen. Sie können in der Nachtzeit Ziele zu Mittel- und Langstreckendestinationen anfliegen und vor Beginn der Abflüge zu den Netzzielen wieder in CDG rechtzeitig eintreffen. Die Wiedereingliederung dieser Flüge wird durch das Nichtvorhandensein von Nachtflugrestriktionen begünstigt. Zudem ist sie gut koordinierbar, da die Abflüge von CDG zu seinen Destinationen des Flugnetzes nicht vor 07:00 Uhr erfolgen. Die Ankunft in CDG von sämtlichen Flughäfen um 22:00 Uhr ermöglicht auch eine gute weitere Nutzung der Maschinen innerhalb des Nachtintervalls.

Mit Ausnahme der Spokes konnten allgemein sämtliche Zeiten so eingetaktet werden, dass sie den erstellten standardisierten Ankunftszeiten entsprechen. Dies trifft für CDG wie für dessen Destinationen zu und gestattet demzufolge das Erreichen von deren Destinationen.

Welcher Flugzeugtyp auf welchen Routen genau eingesetzt wird, kann aus dem dritten Teil der obigen Tabelle entnommen werden. Deren exakte Abstimmung aufeinander wird in den sich anschließenden Unterkapiteln umfänglicher dargestellt. Jedoch werden die zeitlichen Koordinierungen der Routen zwischen CDG und BCN, FCO, FRA, MAD und LHR nicht wiederholt dargestellt, da deren Betrachtung bereits in den vorherigen Unterkapiteln des jeweiligen Hubs erfolgte.

¹⁴⁹ Vgl. Bruno, C. (2018).

3.10.1 Paris-Charles-de-Gaulle – Amsterdam

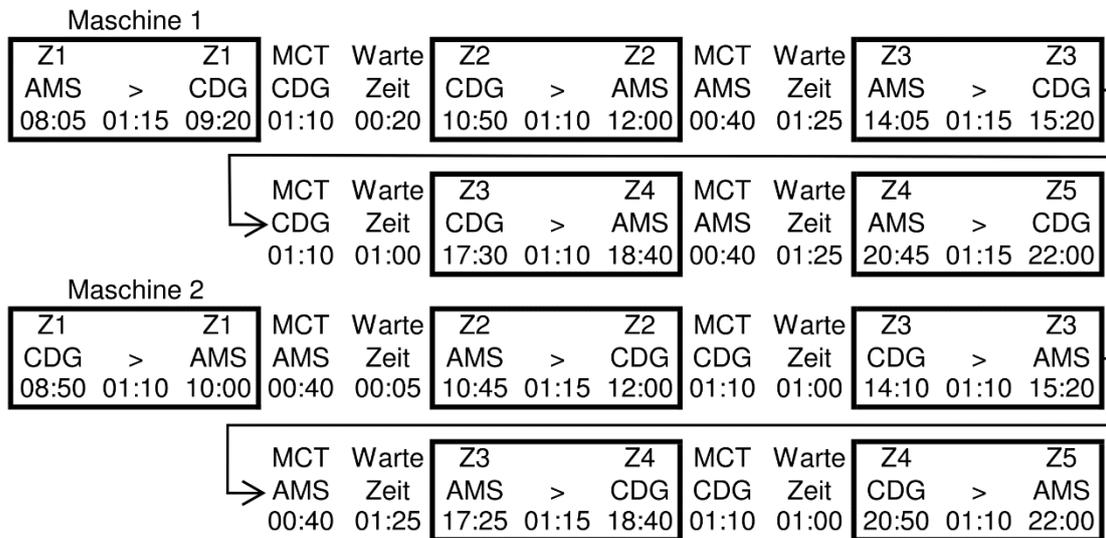


Abbildung 66: Verbindung CDG – AMS

In der Abbildung 66 wird die zeitliche Koordinierung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Paris-Charles-de-Gaulle* (CDG) und *Amsterdam Schiphol* (AMS) dargestellt. Diese kann durch zwei Flugzeuge umgesetzt werden.

Da AMS keine eigenen Spokes besitzt, existieren keine Verbindungen, die von CDG aus nicht erreicht werden können. Auf Basis dieses Umstandes muss in der Richtung CDG nach AMS keine Rücksicht auf das Erreichen von Anschlussflügen genommen werden. In der Gegenflugrichtung AMS nach CDG ist dem nicht so. CDG besitzt insgesamt zwei Verbindungen die nicht von AMS innerhalb des erstellten Flugnetzes direkt angefliegen werden können. Dies sind die Spokes von CDG, *Toulouse-Blagnac* (TLS) und *Nice Côte d'Azur* (NCE). Das rechtzeitige Ankommen von deren Anschlussflügen stellt den Hintergrund für die zeitige Ankunft um 09:20 Uhr in CDG dar. Würde die Maschine 1 später in CDG landen, könnten unter Einhaltung der MCT von CDG die Weiterflüge um 10:30 Uhr nicht mehr zugänglich sein. Die Spoke-Flüge könnten später von CDG starten, jedoch wäre die Wartezeit in CDG plus MCT für die anderen Verbindungen länger. Dadurch könnte CDG für Transitreisende unattraktiver werden.

Für die jeweils 378 zu befördernden Passagiere pro Flug bietet sich der Einsatz eines Airbus 350-1000 an. In der typischen Sitzverteilung bietet er für 366 Personen Platz, in der maximalen Sitzanordnung für 440. Dieser Maschinentyp könnte ebenfalls für die jeweils 360 Passagiere auf der Route CDG – BCN eingesetzt werden. Dadurch könnte die Auslastung dieser entsprechenden Maschinen beeinflusst werden.

3.11 Paris Orly (ORY)

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
BCN	ORY	08:00	09:50	10:10	12:00	13:30	15:20	16:50	18:40	20:10	22:00
MAD	ORY	07:25	09:25	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
NCE	ORY	08:00	09:25	10:35	12:00	13:55	15:20	17:15	18:40	20:35	22:00
TLS	ORY	08:05	09:25	10:40	12:00	14:00	15:20	17:20	18:40	20:40	22:00

MCT ORY = 35 min

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
ORY	BCN	07:50	09:25	10:25	12:00	13:45	15:20	17:05	18:40	20:25	22:00
ORY	MAD	07:15	09:15	10:00	12:00	13:20	15:20	16:40	18:40	20:00	22:00
ORY	NCE	08:20	09:35	10:25	11:40	12:45	14:00	16:45	18:00	20:45	22:00
ORY	TLS	08:25	09:40	10:25	11:40	12:45	14:00	16:45	18:00	20:45	22:00

Destination	min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
BCN	328	08:25	08:40	A380	A350-900
MAD	345	10:00	10:00	A380	A350-1000
NCE	594	06:45	06:35	A380	A380
TLS	796	06:30	06:25	A380	A380

Tabelle 28: zeitliche Einteilung Hub Paris Orly (ORY)

Sämtliche Verbindungen des Sekundärhubs *Paris Orly* (ORY) werden in der obigen Tabelle dargestellt. Seinen kritischen Pfad stellt die Verbindung mit dem spanischen Hub *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) dar. Die Spokes von ORY sind die selbigen wie von CDG (*Nice Côte d'Azur* (NCE) und *Toulouse-Blagnac* (TLS)). Ihre Anschlüsse müssen hauptsächlich an der Route zwischen ORY und MAD ausgerichtet werden. Dieser Umstand begründet sich darin, dass sie keine eigenen direkten Verbindungen nach MAD besitzen. Die Ankünfte in ORY erfolgen dabei zu den standardisierten Zeiten. Anders ist dies der Fall bei den Spokes. Bei deren Koordinierung der Flüge muss darauf geachtet werden, dass alle anderen Verbindungen bereits in ORY eingetroffen sind. Erst dann können alle Weiterflüge unter Einhaltung der MCT von ORY starten.

Aus dem dritten Tabellenabschnitt ist zu entnehmen, welcher Flugzeugtyp sich auf welcher Strecke einzusetzen empfiehlt und wie groß die Flugzeugauslastung ist. Wie diese Maschinen genau zeitlich aufeinander angepasst sind, wird in den anschließenden Unterkapiteln genauer dargestellt. Auf eine erneute Erläuterung der zeitlichen Abstimmungen von den Verbindungen ORY – BCN und ORY – MAD wird verzichtet. Ihre Betrachtung erfolgte bereits in den vorherigen Unterkapiteln des jeweiligen Hubs.

3.11.1 Paris Orly – Nice Côte d’Azur

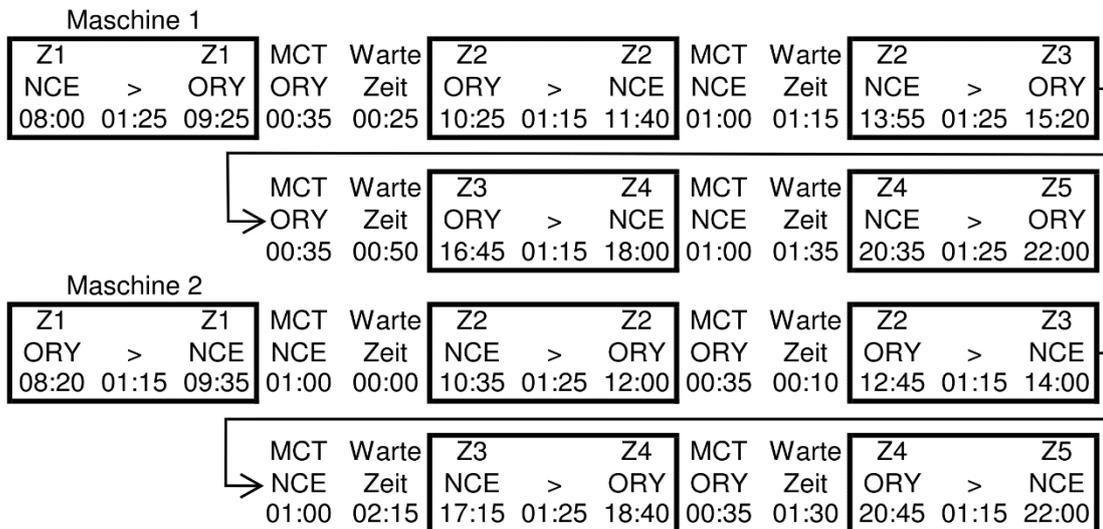


Abbildung 69: Verbindung ORY – NCE

Die Abbildung 69 stellt die zeitliche Abstimmung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Paris Orly* (ORY) und seinem ersten Spoke *Nice Côte d’Azur* (NCE) dar. Sie kann mittels des Einsatzes von nur zwei Flugzeugen sämtliche Zeitintervalle abdecken.

Der Spoke NCE ist neben der Verbindung über den ORY noch über den Primärhub CDG in das erstellte Flugnetz eingebunden. Es besteht dementsprechend die Möglichkeit, für die Reisenden zwischen diesen beiden Flughäfen zu wählen.

Bei der Flugroute von CDG nach NCE weichen die Ankunftszeiten von den standardisierten Zeiten ebenfalls ab. Das ist darauf zurückzuführen, dass NCE keine eigenen Destinationen besitzt und somit keine Anschlussflüge erreicht werden müssen. Folglich lässt sich die Wartezeit in ORY verkürzen. Bei der Taktung der Wartezeit muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Ankünfte sich im anschließenden Zeitintervall befinden. Ehe die Maschinen nach NCE abfliegen können, muss weiterhin sichergestellt werden, dass die Route aus BCN und MAD im Minimum für die Zeitdauer der MCT sich bereits in ORY befinden. In der Gegenrichtung (NCE nach ORY) müssen die standardisierten Ankunftszeiten eingehalten werden. Dies ermöglicht die rechtzeitige Erreichung der Anschlussflüge. Aus diesem Grund muss Maschine 1 um 09:25 Uhr in ORY landen, da sonst die Verbindung nach MAD für Transitreisende nicht realisierbar wäre.

Pro Strecke müssen 594 Passagiere befördert werden. Dafür bietet sich der Einsatz eines Airbus A380 an.¹⁵² Dieser Maschinentyp wird ebenfalls auf der Route ORY – TLS eingesetzt.

¹⁵² Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.11.2 Paris Orly – Toulouse-Blagnac

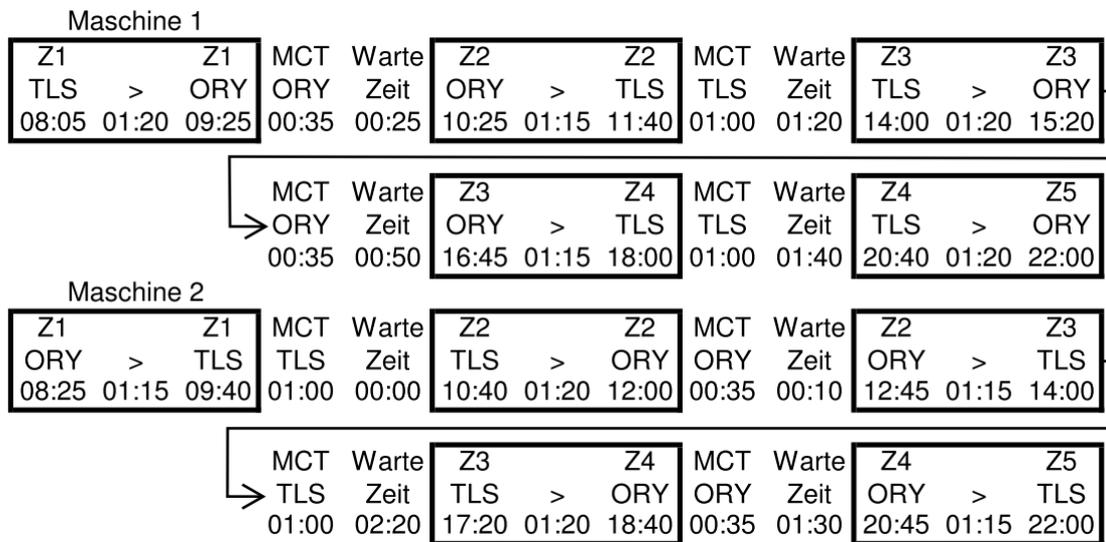


Abbildung 70: Verbindung ORY – TLS

Die Abbildung 70 veranschaulicht die zeitliche Koordination der Verbindungen zwischen dem Hub *Paris Orly* (ORY) und seinem zweiten Spoke *Toulouse-Blagnac* (TLS). Sie kann ebenfalls durch den Einsatz von zwei Flugzeugen sämtliche Zeitintervalle abdecken.

Der Spoke TLS ist neben der Route über ORY noch über den Primärhub CDG in das erstellte Flugnetz eingegliedert. Er kann demnach über beide Hubs angefliegen werden.

Die Ankünfte in TLS unterscheiden sich ebenfalls von den standardisierten Zeiten, da in TLS keine Anschlussflüge erreicht werden müssen. Diese Abweichungen begünstigen eine verkürzte Wartezeit in ORY. Bei deren Koordinierung muss in Betracht gezogen werden, dass sich die Ankünfte in TLS innerhalb des sich anknüpfenden Zeitintervalls befinden. Ebenso muss beachtet werden, dass die Flugzeuge aus BCN und MAD bereits gelandet sind. Bevor die Maschinen nach TLS starten können, muss nur noch die MCT von ORY eingehalten werden.

Bei der Richtung NCE nach ORY müssen die Ankünfte zu den standardisierten Zeiten erfolgen. Dadurch können die Anschlussflüge nach BCN und MAD rechtzeitig erreicht werden. Aus diesem Grund muss auch die Maschine 1 im ersten Zeitintervall bereits um 09:25 Uhr in ORY eintreffen. Der Anschlussflug nach MAD würde sonst nicht erreicht werden.

Bei der Verbindung ORY – TLS empfiehlt sich der Einsatz von Maschinen des Typs Airbus A380, da mit diesen 796 Passagiere befördert werden können.¹⁵³ Routenwechsel sind dadurch mit der Verbindung ORY – NCE möglich.

¹⁵³ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.12 Berlin Tegel (TXL)

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
CGN	TXL	08:45	09:55	10:50	12:00	12:50	14:00	16:50	18:00	20:50	22:00
DUS	TXL	08:50	09:55	10:55	12:00	12:55	14:00	16:55	18:00	20:55	22:00
FRA	TXL	08:50	10:00	10:40	11:50	12:50	14:00	16:50	18:00	20:50	22:00
MUC	TXL	08:55	10:00	10:30	11:35	12:55	14:00	16:55	18:00	20:55	22:00
ZRH	TXL	08:35	09:55	10:40	12:00	13:00	14:20	16:40	18:00	20:40	22:00

MCT TXL = 45 min

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
TXL	CGN	08:55	10:00	10:55	12:00	12:55	14:00	16:55	18:00	20:55	22:00
TXL	DUS	08:50	10:00	10:50	12:00	12:50	14:00	16:50	18:00	20:50	22:00
TXL	FRA	07:30	08:40	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
TXL	MUC	07:55	09:00	10:55	12:00	14:15	15:20	17:35	18:40	20:55	22:00
TXL	ZRH	08:20	09:40	10:40	12:00	12:45	14:05	16:40	18:00	20:40	22:00

Destination	min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
CGN	340	05:35	05:40	A380	A350-1000
DUS	404	05:40	05:35	A380	A350-1000
FRA	682	05:40	05:35	A380	A380
MUC	709	05:25	05:25	A380	A380
ZRH	227	06:40	06:40	A380	A321 neo

Tabelle 29: zeitliche Einteilung Hub Berlin-Tegel (TXL)

Die Tabelle 29 zeigt die zeitliche Koordinierung des Flughafens *Berlin Tegel* (TXL). Innerhalb des Streckennetzes lässt er sich zwar eher als Spoke einordnen, doch auf Grund seiner Verbindungen zu anderen Spokes kann er auch als Tertiärhub angesehen werden. Er ist vorwiegend über die Flughäfen *München* (MUC) und *Frankfurt am Main* (FRA) an das grundlegende Hub-Netz angeschlossen. Doch auch die Route über *Zürich* (ZRH) nach *London Heathrow* (LHR) ist eine mögliche Option, um Anschluss an das restliche Netz zu erlangen. Die weiteren Destinationen von TXL aus sind die Flughäfen *Köln/Bonn* (CGN) und *Düsseldorf* (DUS). Obwohl einige dieser Ziele Flug- oder gute intermodale Verbindungen zu FRA und MUC unterhalten, müssen sie an deren Anschlusszeiten ausgerichtet werden.

Wie die Maschinen genau zeitlich aufeinander abgestimmt sind, wird in den nachfolgenden Unterkapiteln im Detail beschrieben. Jedoch werden die zeitlichen Taktungen der Verbindungen FRA – TXL und MUC – TXL nicht nochmals erläutert, da deren Betrachtung bereits in den vorherigen Unterkapiteln des jeweiligen Hubs erfolgte.

3.12.1 Berlin Tegel – Köln/Bonn

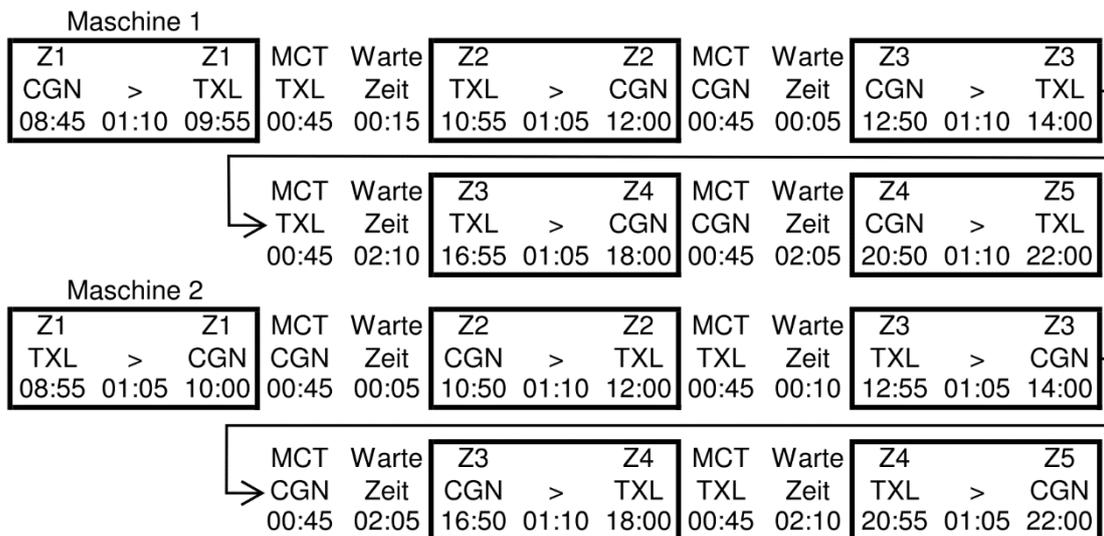


Abbildung 71: Verbindung TXL – CGN

Die Abbildung 71 stellt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Berlin Tegel* (TXL) und *Köln/Bonn* (CGN) dar. Sämtliche Zeitintervalle können mittels des Einsatzes von nur zwei Maschinen bedient werden.

Die Verbindung TXL – CGN wurde aufgrund des hohen Passagieraufkommens im Jahr 2016 in das Flugnetz aufgenommen und als Point-to-Point Verbindung gewertet. Innerhalb des Flugnetzes kann CGN über den Flughafen TXL direkt angefliegen werden. Wie bereits oben erläutert, ist CGN an den Frankfurter Flughafen (FRA) über eine gute intermodale Anbindung angeschlossen und ist somit indirekt über diesen erreichbar.

In CGN erfolgen die Ankünfte nach dem Muster der Ankunftszeiten, wie bei anderen Spokes, um 10:00 Uhr, 12:00 Uhr und in den restlichen Zeitintervallen zu deren Beginn. Dieses Muster wird in TXL ebenfalls genutzt. Einzig und allein die Maschine 1 muss innerhalb des ersten Zeitintervalls, spätestens um 09:55 Uhr, eintreffen. Den Grund für diese Zeit stellt der zweite Flug von TXL nach ZRH dar. Dieser erfolgt um 10:40 Uhr, damit er um 12:00 Uhr in ZRH eintrifft. TXL besitzt eine MCT von 45 Minuten.¹⁵⁴ Somit muss die erste Maschine aus CGN um diese Zeit ankommen, wenn der Anschluss nach ZRH erreichbar werden soll.

Für die jeweils 340 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich der Einsatz eines Airbus A350-1000.¹⁵⁵ Dieser Maschinentyp kommt ebenso auf der Strecke nach DUS zum Einsatz. Aufgrund der geringen Flugzeit zu beiden Destinationen kann die Anpassung der Auslastung der Maschinen als problematisch angesehen werden.

¹⁵⁴ Vgl. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (2018).

¹⁵⁵ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.12.2 Berlin Tegel – Düsseldorf

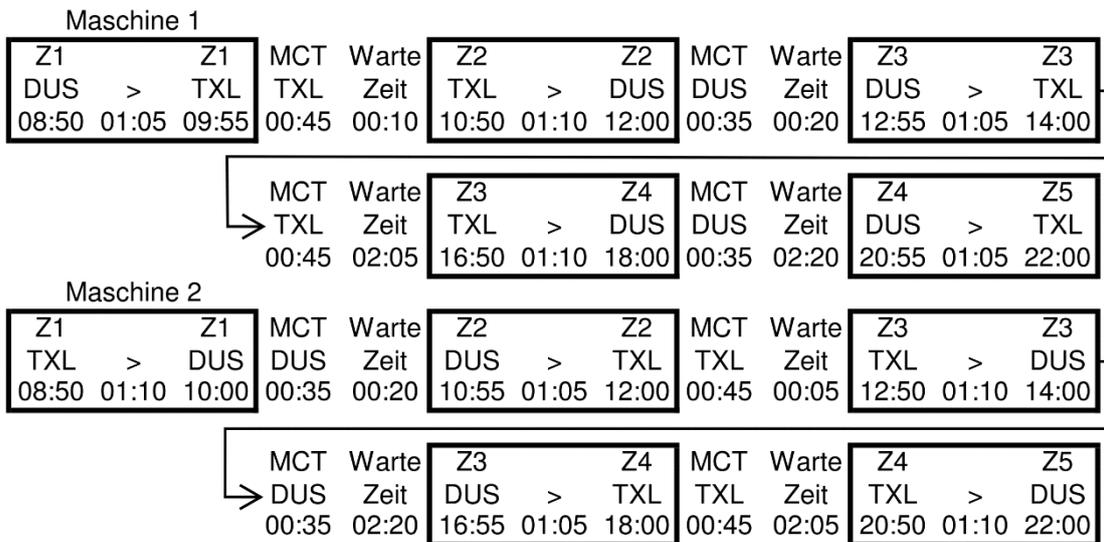


Abbildung 72: Verbindung TXL – DUS

Die zeitliche Koordinierung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Berlin Tegel* (TXL) und *Düsseldorf* (CGN) wird in der obigen Abbildung dargestellt. Sie kann durch den Einsatz von lediglich zwei Maschinen sämtliche Zeitintervalle abdecken.

Die Verbindung TXL – DUS wurde ebenfalls wegen des hohen Passagieraufkommens im Jahr 2016 in das Flugnetz eingebunden und kann als Point-to-Point Verbindung angesehen werden. Hauptsächlich ist DUS über den Flughafen MUC in das Flugnetz eingegliedert. Zudem ist der Flughafen DUS, wie CGN, an den Frankfurter Flughafen (FRA) über eine gute intermodale Anbindung angebunden und indirekt über diesen erreichbar.

In DUS wurden die Ankünfte ebenfalls nach dem Muster der Spoke-Ankunftszeiten eingetaktet. Wie bei CGN erfolgen sie um 10:00 Uhr, 12:00 Uhr und in den restlichen Zeitintervallen zu deren Anfangszeit. Aber auch in der Gegenrichtung DUS – TXL kommt dieses Schema zum Tragen. Nur die erste Maschine muss spätestens um 09:55 Uhr eintreffen. Unter Einhaltung der fünfundvierzigminütigen MCT von TXL würde sonst der Anschlussflug nach ZRH nicht erreichbar sein. Dieser startet um 10:40 Uhr in TXL, sodass er um 12:00 Uhr in ZRH landen kann.

Damit die jeweils 404 Passagiere befördern werden können, empfiehlt es sich, Maschinen des Typs Airbus A350-1000 einzusetzen.¹⁵⁶ Dieser Maschinentyp wird ebenfalls auf der Verbindung TXL – CGN genutzt. Jedoch ist aufgrund der geringen Flugzeit zu beiden Destinationen die Anpassung der Auslastung der Maschinen als schwierig zu erachten. Lediglich über die Nachtzeit kann sie erhöht werden.

¹⁵⁶ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.12.3 Berlin Tegel – Zürich

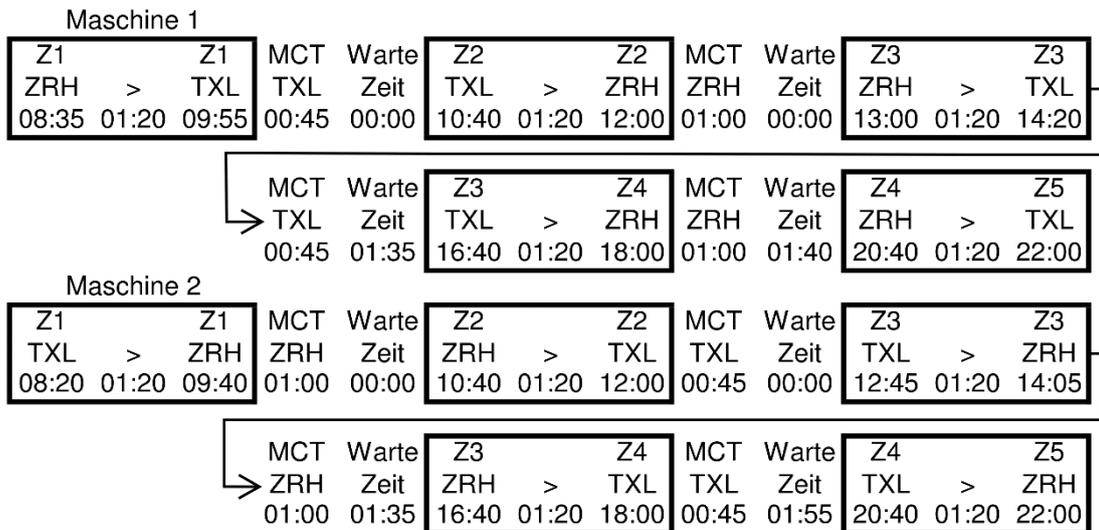


Abbildung 73: Verbindung TXL – ZRH

In der Abbildung 73 wird die zeitliche Taktung der Verbindungen zwischen dem Flughafen *Berlin Tegel* (TXL) und *Zürich* (ZRH) dargestellt. Bei dieser Verbindung können ebenfalls mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge sämtliche Zeitintervalle abgedeckt werden.

Der Züricher Flughafen ist hauptsächlich über die Hubs FRA und LHR in das erstellte Flugnetz eingebunden und kann dementsprechend über beide Flughäfen angefliegen werden. Die zeitliche Koordinierung dieser beiden Routen wurde bereits in den entsprechenden Unterkapiteln detaillierter erläutert.

Bei der zeitlichen Abstimmung muss innerhalb der ersten zwei Zeitintervalle die Dauer des Gesamtturnus beachtet werden. Maschine 1 muss um 09:55 Uhr in TXL eintreffen, damit sie rechtzeitig um 12:00 Uhr wieder in ZRH landet. Diese Ankunftszeit bildet auch die Basis für die Ankunftszeiten aus CGN und DUS in TXL.

Ansonsten konnte das abweichende Zeitmuster für die Ankünfte von Spokes in beiden Flugrichtungen eingehalten werden. Dieses ermöglicht das Erreichen von sämtlichen Anschlussmöglichkeiten in TXL, wie auch in ZRH.

Um die jeweils 227 Passagiere zu befördern, bietet sich die Nutzung von Maschinen des Typs Airbus A321 neo an.^{157 158} Dieser Maschinentyp wird zudem auf der Verbindung zwischen FRA und ZRH eingesetzt. Doch aufgrund der geringen Flugzeit zwischen ZRH – FRA und TXL, lässt sich die Auslastung der Maschinen nur schwierig gestalten. Sie kann lediglich in der Nachtzeit erhöht werden.

¹⁵⁷ Boeing (2018).

¹⁵⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.13 Istanbul-Atatürk (IST)

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
ADA	IST	05:15	06:50	08:35	10:10	14:05	15:40	16:50	18:25	20:25	22:00
ADB	IST	05:50	06:50	09:10	10:10	14:40	15:40	17:25	18:25	21:00	22:00
AYT	IST	05:40	06:50	09:00	10:10	14:30	15:40	17:15	18:25	20:50	22:00
ESB	IST	05:40	06:50	09:00	10:10	14:30	15:40	17:15	18:25	20:50	22:00
FRA	IST	05:00	10:00	00:00	00:00	10:40	15:40	13:25	18:25	19:25	00:25

MCT IST = 40 min

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
IST	ADA	06:05	07:35	10:40	12:10	12:40	14:10	16:55	18:25	20:30	22:00
IST	ADB	07:10	08:10	10:40	11:40	13:10	14:10	17:25	18:25	21:00	22:00
IST	AYT	06:50	08:00	10:40	11:50	13:00	14:10	17:15	18:25	20:50	22:00
IST	ESB	06:55	08:00	10:40	11:45	13:05	14:10	17:20	18:25	20:55	22:00
IST	FRA	07:30	08:40	10:50	12:00	00:00	00:00	17:30	18:40	20:50	22:00

Destination	min. Sitzplatz- anzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
ADA	442	07:45	07:40	747-400D	A340-600
ADB	1092	05:00	05:00	747-400D	nicht existent
AYT	567	05:50	05:50	747-400D	A380
ESB	714	05:40	05:35	747-400D	A380
FRA	227	12:20	12:20	A380	Boeing 787-8

Tabelle 30: zeitliche Einteilung Hub Istanbul-Atatürk (IST)

Die Tabelle 30 gibt die zeitliche Abstimmung sämtlicher Verbindungen des Hubs *Istanbul-Atatürk* (IST) wieder. Er ist hauptsächlich über den Flughafen *Frankfurt am Main* (FRA) an das grundlegende Flugnetz angeschlossen. Zugleich ist dieser Flughafen als kritischer Pfad anzusehen. Aufgrund dieses Umstandes müssen alle vier Spoke-Routen an dieser Verbindung ausgerichtet werden. Deshalb erlangen sie den Zugang zu den restlichen Flughäfen innerhalb des Flugnetzes. Die Spokes von IST sind die Flughäfen *Adana* (ADA), *Izmir-Adnan Menderes* (ADB), *Antalya* (AYT) und *Ankara-Esenboğa* (ESB).

Während des Winterflugplans kommt es zu einer zweistündigen Zeitverschiebung zwischen IST und FRA. Infolgedessen überschreitet der Gesamtturnus die Zeit zweier Intervalle. Dadurch entstehen die abweichenden Ankunftszeiten in IST. Die Ausrichtung der Spokes an der Verbindung IST – FRA hat jedoch zur Folge, dass auch die Standardankunftszeiten der Spokes in IST bis auf das dritte Zeitintervall nicht mehr Anwendung finden. Die Ankünfte in den Spokes weichen aufgrund dessen deutlich von den standardisierten Zeiten ab.

3.13.1 Istanbul-Atatürk – Adana

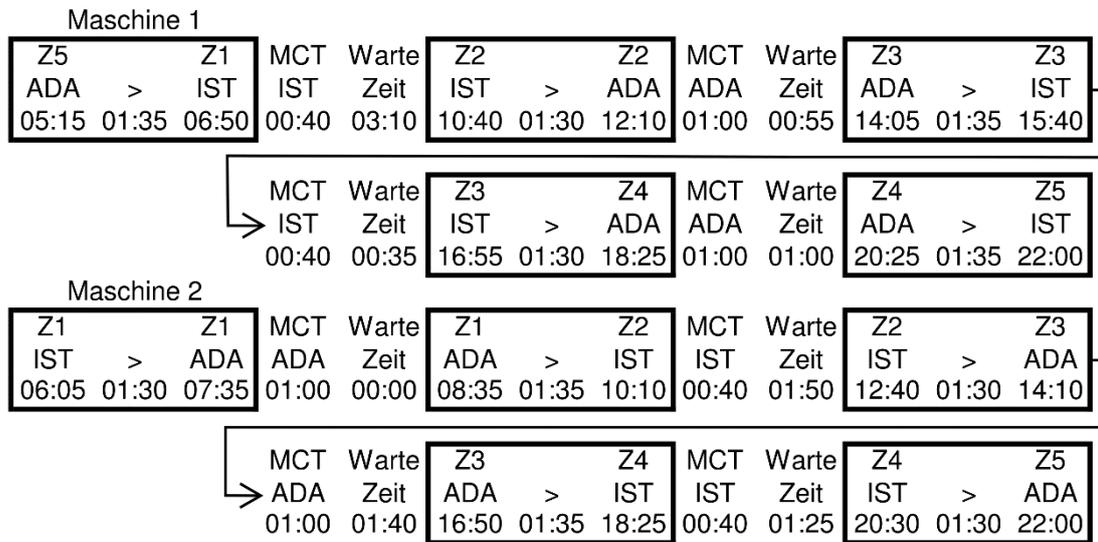


Abbildung 74: Verbindung IST – ADA

In der Abbildung 74 wird die zeitliche Abstimmung der zwei Maschinen zwischen den Flughäfen *Istanbul-Atatürk* (IST) und *Adana* (ADA) dargestellt.

Maschine 1 muss in IST bereits um 06:50 Uhr eintreffen. Unter Einhaltung der ermittelten vierzigminütigen MCT von diesem Flughafen kann das Erreichen des Anschlussflugs nach FRA um 07:30 Uhr sichergestellt werden. Somit können von FRA aus alle an ihn angeschlossenen Destinationen um 12:00 Uhr erreicht werden. Jedoch trifft die erste Maschine aus FRA erst um 10:00 Uhr in IST ein. Wenn der Anschluss nach ADA für Reisende aus FRA kommend ebenfalls bestehen soll, kann der Rückflug demnach erst um 10:40 Uhr erfolgen. Maschine 2 muss von IST nach ADA bereits um 06:05 Uhr abheben, damit sie rechtzeitig um 10:10 Uhr wieder in IST ist. Dadurch kann der Anschluss um 10:50 Uhr nach FRA gewährleistet werden. Somit können die Verbindungen in FRA innerhalb des Nachmittagszeitintervalls genutzt werden. Der nächste Flug aus FRA trifft erst um 15:40 Uhr in IST ein. Maschine 1 kann folglich erst nach 16:20 Uhr von IST nach ADA abfliegen. Eingetaktet wurde sie für 16:55 Uhr, da diese erst nach Beginn des Abendzeitintervalls in ADA ankommen darf. Demnach besteht eine gewisse Konsistenz mit den Ankünften der anderen Verbindungen. Dies ist ebenfalls der Grund, warum die Maschine 2 erst um 18:25 Uhr in IST ankommt.

Damit die jeweils 442 Passagiere befördert werden können, empfiehlt es sich, Maschinen des Typs Airbus A340-600 einzusetzen.¹⁵⁹

¹⁵⁹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.13.2 Istanbul-Atatürk – Izmir-Adnan Menderes

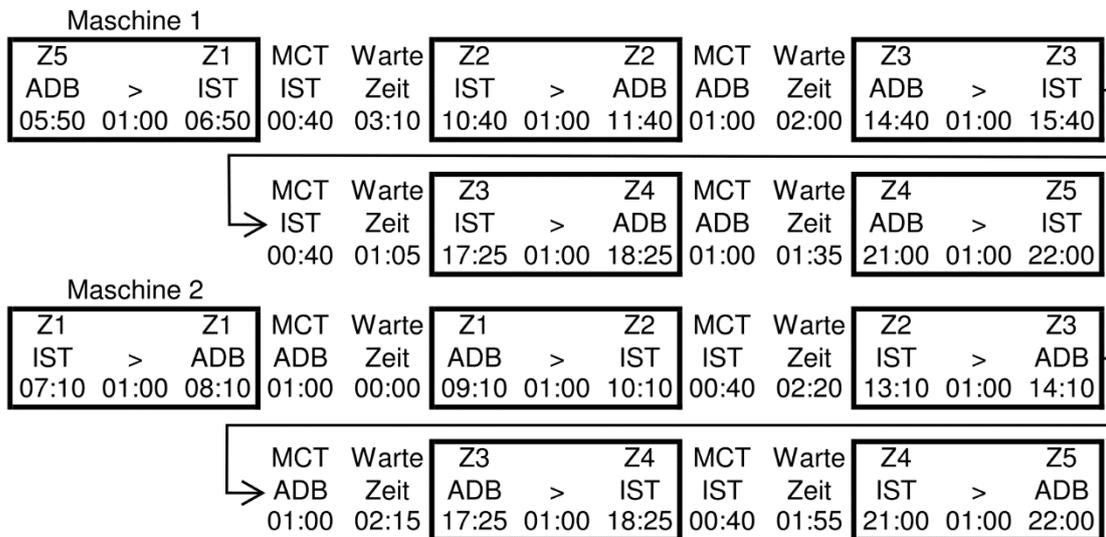


Abbildung 75: Verbindung IST – ADB

Die Abbildung 75 zeigt die zeitliche Taktung der zwei Maschinen zwischen den Flughäfen *Istanbul-Atatürk* (IST) und *Izmir-Adnan Menderes* (ADB).

Von ADB aus muss der erste Flug um 06:50 Uhr in IST landen. Unter Berücksichtigung der ermittelten vierzigminütigen MCT von IST kann deshalb der Anschlussflug nach FRA um 07:30 Uhr von IST aus erreicht werden. Aus diesem Grund können von FRA aus alle an ihn angebotenen Ziele innerhalb des Mittagszeitintervalls erreicht werden. Die erste Maschine aus FRA kommt erst um 10:00 Uhr in IST an. Wenn der Anschluss nach ADB für Reisende aus FRA kommend ebenso bestehen soll, kann der Rückflug der Maschine 1 nach ADB erst um 10:40 Uhr erfolgen. Für die Gewährleistung des Flugs um 10:50 Uhr nach FRA muss die Maschine 2 von IST nach ADB bereits um 07:10 Uhr abfliegen, um dann rechtzeitig um 10:10 Uhr wieder in IST einzutreffen. Durch diesen Mittagsflug von IST nach FRA besteht die Möglichkeit die Destinationen von FRA innerhalb des Nachmittagszeitintervalls anzufliegen. Da der dritte Flug von FRA aus erst um 15:40 Uhr in IST eintrifft, kann Maschine 1 folglich erst nach 16:20 Uhr von IST nach ADB abfliegen. Aus Konsistenzgründen wurde sie so eingetaktet, dass sie ebenfalls 18:25 Uhr in ADB ankommt. Dies ist ebenfalls der Grund warum, die Maschine 2, von ADB aus, um 18:25 Uhr in IST ankommt. Die späteste Ankunft für das Erreichen des Frankfurt-Fluges um 20:50 Uhr wäre 20:10 Uhr.

Die Verbindung zwischen IST und ADB zählt zu den passagierreichsten Strecken Europas. Für die Beförderung von 1092 Passagieren existiert derzeit kein Flugzeugtyp. Eine Möglichkeit diese Problematik zu lösen, wird später erklärt.

3.13.3 Istanbul-Atatürk – Antalya

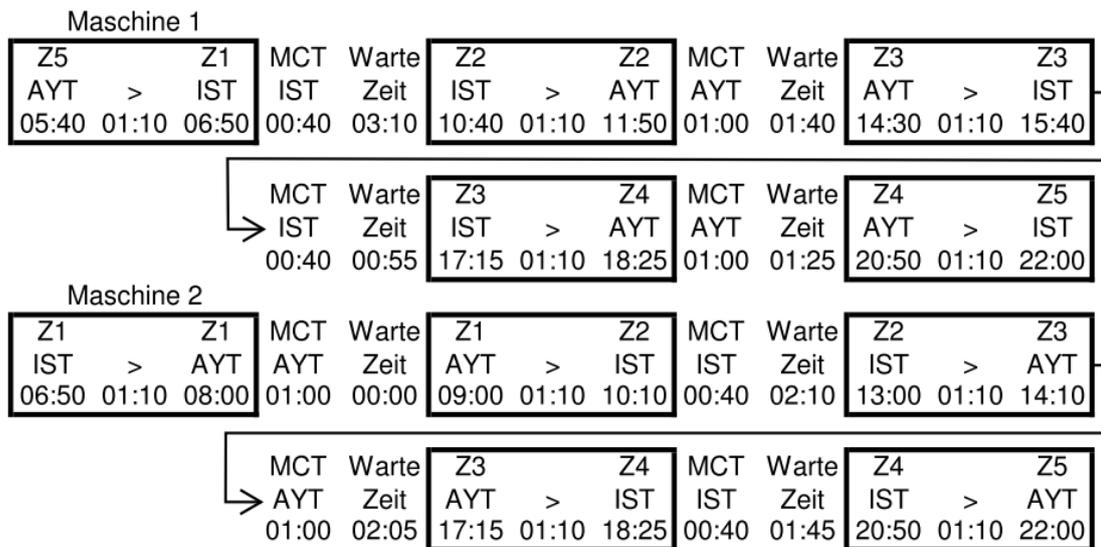


Abbildung 76: Verbindung IST – AYT

Die Abbildung 76 stellt die zeitliche Koordinierung der zwei Flugzeuge zwischen dem Hub *Istanbul-Atatürk* (IST) und seinem dritten Spoke *Antalya* (AYT) dar.

Von AYT aus muss der erste Flug um 06:50 Uhr in IST ankommen. Wird die ermittelte vierzigminütige MCT von IST eingehalten, so kann in IST der Weiterflug nach FRA um 07:30 Uhr rechtzeitig erreicht werden. Dies ermöglicht es, alle an FRA angeschlossenen Flughäfen innerhalb des Mittagszeitintervalls zu erreichen. Da für die Passagiere, die von FRA um 10:00 Uhr in IST ankommen, der Weiterflug nach AYT sichergestellt werden soll, kann die Maschine 1 erst nach 10:40 Uhr abfliegen.

Damit gewährleistet werden kann, dass die Maschine 2 rechtzeitig um 10:10 Uhr in IST landet, muss sie bereits um 06:50 Uhr starten. Dadurch ist es möglich, dass der Anschlussflug nach FRA um 10:50 Uhr genutzt werden kann. Folglich können die Passagiere in FRA wiederum ihren Zielflughafen innerhalb des Nachmittagszeitintervalls anfliegen. Die vierte Ankunft in AYT ist aus Gründen der Konsistenz ebenfalls um 18:25 Uhr. Sie beruht aber auch auf dem Umstand, dass sie für Reisende des dritten Fluges von FRA nach IST erreichbar sein muss. Ebenfalls aus Konsistenzgründen kommt Maschine 2 von AYT aus, um 18:25 Uhr in IST an. Für das Erreichen des Frankfurt-Fluges um 20:50 Uhr wäre die späteste Ankunft um 20:10 Uhr.

Für den Transport der jeweils 567 Passagiere empfiehlt sich Maschinen des Typs Airbus A380 einzusetzen, welche auch auf der Verbindung IST – ESB genutzt werden.¹⁶⁰

¹⁶⁰ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.13.4 Istanbul-Atatürk – Ankara-Esenboğa

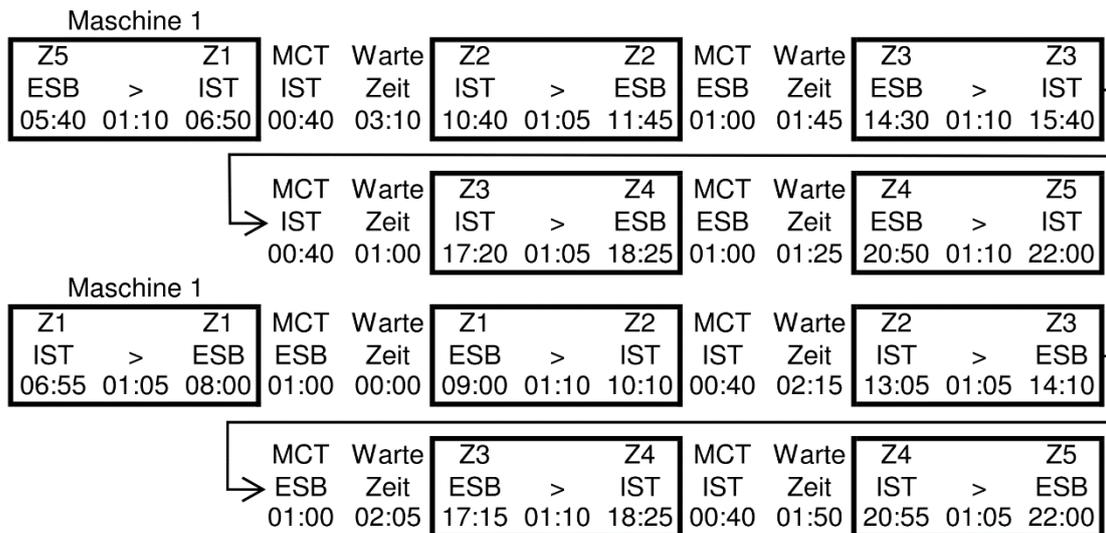


Abbildung 77: Verbindung IST – ESB

Die Abbildung 77 zeigt die zeitliche Abstimmung der zwei Flugzeuge zwischen *Istanbul-Atatürk* (IST) und seinem vierten Spoke *Ankara-Esenboğa* (ESB).

Wie schon bei den anderen Spokes muss der erste Flug von ESB aus um 06:50 Uhr in IST ankommen. Dadurch besteht die Möglichkeit, den Anschlussflug nach FRA um 07:30 Uhr zu nutzen, wenn die ermittelte vierzigminütige MCT von IST berücksichtigt wird. In der Konsequenz können sämtliche an FRA angebundene Flughäfen innerhalb des Mittagszeitintervalls wiederum angeflogen werden. Wenn der Flug von IST nach ESB für Reisende aus FRA ebenso realisierbar sein soll, darf der Rückflug der Maschine 1 nach ESB erst nach 10:40 Uhr stattfinden. Der Grund ist, dass die erste Maschine aus FRA erst um 10:00 Uhr in IST ankommt. Wenn das Erreichen des Flugs um 10:50 Uhr nach FRA gewährleistet werden soll, dann muss die Maschine 2 von IST nach ESB bereits um 06:50 Uhr starten. Sie trifft dann rechtzeitig um 10:10 Uhr wieder in IST ein. Die Reisenden haben demnach in FRA die Möglichkeit, ihre Destinationen innerhalb des Nachmittagszeitintervalls anzusteuern. Der dritte Flug von FRA landet in IST erst um 15:40 Uhr. Maschine 1 kann infolgedessen erst nach 16:20 Uhr von IST in Richtung ESB aufbrechen. Sie wurde jedoch aus Konsistenzgründen so eingetaktet, dass die Landung in ESB um 18:25 Uhr ist. Von ESB aus kommt auch aus diesem Grund Maschine 2 um 18:25 Uhr in IST an.

Für die Beförderung der jeweils 714 Passagiere, empfiehlt es sich den Airbus A380 zu nutzen.¹⁶¹ Dieser Maschinentyp wird auch zwischen IST – AYT eingesetzt.

¹⁶¹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.14 Istanbul Sabiha Gökçen (SAW)

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
ADA	SAW	08:30	10:00	11:00	12:30	15:10	16:40	18:10	19:40	21:30	23:00
ADB	SAW	09:00	10:00	11:30	12:30	15:40	16:40	18:40	19:40	22:00	23:00
AYT	SAW	08:55	10:00	11:25	12:30	15:35	16:40	18:35	19:40	21:55	23:00
ESB	SAW	09:00	10:00	11:30	12:30	15:40	16:40	18:40	19:40	22:00	23:00

MCT SAW = 45 min

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
SAW	ADA	08:35	10:00	10:45	12:10	14:15	15:40	18:25	19:50	20:35	22:00
SAW	ADB	08:55	10:00	10:45	11:50	14:15	15:20	18:25	19:30	20:55	22:00
SAW	AYT	08:55	10:00	10:45	11:50	14:15	15:20	18:25	19:30	20:55	22:00
SAW	ESB	09:00	10:00	10:45	11:45	14:15	15:15	18:25	19:25	21:00	22:00

Destination	min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
ADA	380	07:20	07:15	747-400D	A340-600
ADB	785	05:10	05:15	747-400D	A380
AYT	559	05:25	05:25	747-400D	747-400D
ESB	802	05:00	05:00	747-400D	A380

Tabelle 31: zeitliche Einteilung Hub Istanbul Sabiha Gökçen (SAW)

Die Tabelle 31 stellt die zeitliche Koordinierung sämtlicher Verbindungen des Hubs *Istanbul Sabiha Gökçen* (SAW) dar. Wie ORY oder LGW, so kann auch SAW eher als Sekundärhub angesehen werden. Er ist aus diesem Grund, anders als *Istanbul-Atatürk* (IST), nicht an das grundlegende Flugnetz angeschlossen. Zudem existierte 2016 keine Route mit Passagierzahlen über 1 Mio. Infolgedessen müssen seine vier Spoke-Routen an keiner Verbindung ausgerichtet werden und können entsprechend standardisierten Ankunftszeiten eingetaktet werden. Die Spokes von SAW sind die gleichen Flughäfen wie von IST (*Adana* (ADA), *Izmir-Adnan Menderes* (ADB), *Antalya* (AYT) und *Ankara-Esenboğa* (ESB)). Aufgrund der Diversität weichen die Ankunftszeiten im besten Fall von denen des Hubs *Istanbul-Atatürk* (IST) ab. Dies ist jedoch nicht zwingend notwendig, wenn dadurch die Transitzeit erheblich verlängert wird und die Verbindungsgüte sich verschlechtert.

Die exakte zeitliche Koordinierung der Maschinen erfolgt in den folgenden Unterkapiteln.

3.14.1 Istanbul Sabiha Gökçen – Adana

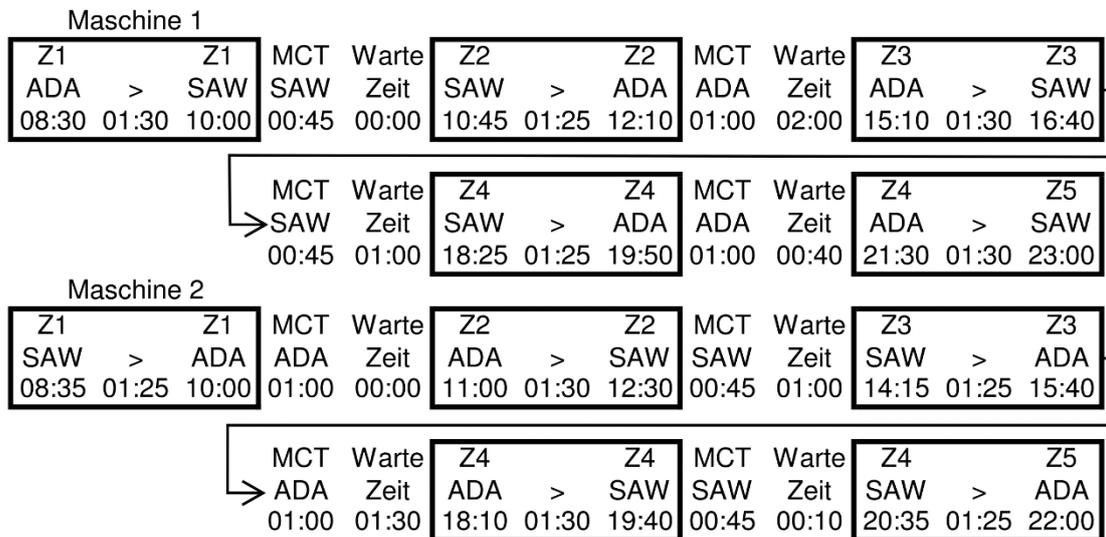


Abbildung 78: Verbindung SAW – ADA

In der Abbildung 78 wird die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Istanbul Sabiha Gökçen* (SAW) und *Adana* (ADA) dargestellt. Sie kann mittels des Einsatzes von lediglich zwei identischen Flugzeugen alle Zeitintervalle abdecken.

Die Flugzeit von ADA nach SAW ist die längste für den Sekundärhub SAW. Sie beträgt 01:30 h. In der Gegenrichtung SAW - ADA fällt sie 5 Minuten geringer aus. Anhand dieser Flugzeiten und in Verbindung mit dem Umstand, dass die Ankunftszeiten im Vergleich zu den Verbindungen mit IST abweichen sollen, entstand das in Abbildung 78 dargestellte Muster. Die Ankünfte in SAW erfolgen 10:00 Uhr, 12:30 Uhr, 16:40 Uhr, 19:40 Uhr und 23:00 Uhr. Ausgehend von diesen Zeiten erfolgen die Ankünfte in ADA nach einem ähnlichen Zeitmuster 10:00 Uhr, 12:10 Uhr, 15:40 Uhr, 19:50 Uhr und 22:00 Uhr. In SAW sollte aufgrund der besseren Verbindungsgüte eine möglichst geringe Wartezeit eingetaktet werden. In Kombination mit der ermittelten fünfundvierzigminütigen MCT von SAW beträgt die Gesamtumsteigezeit 45 Minuten bis maximal 01:45 h. Sie befindet sich somit im exzellenten bis guten Bereich. In ADA hingegen ist die gesamte Wartezeit erheblich länger. Dieser Umstand ist jedoch für Reisende nicht weiter problematisch, da in ADA keine Anschlussflüge innerhalb des Flugnetzes vorhanden sind. Einzig für die Auslastung der Maschinen kann er als nicht vorteilhaft angesehen werden.

Für die jeweils 380 zu befördernden Passagiere empfiehlt sich der Airbus A340-600.¹⁶² Jener Flugzeugtyp wird auch zwischen IST und ADA genutzt.

¹⁶² Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.14.2 Istanbul Sabiha Gökçen – Izmir-Adnan Menderes

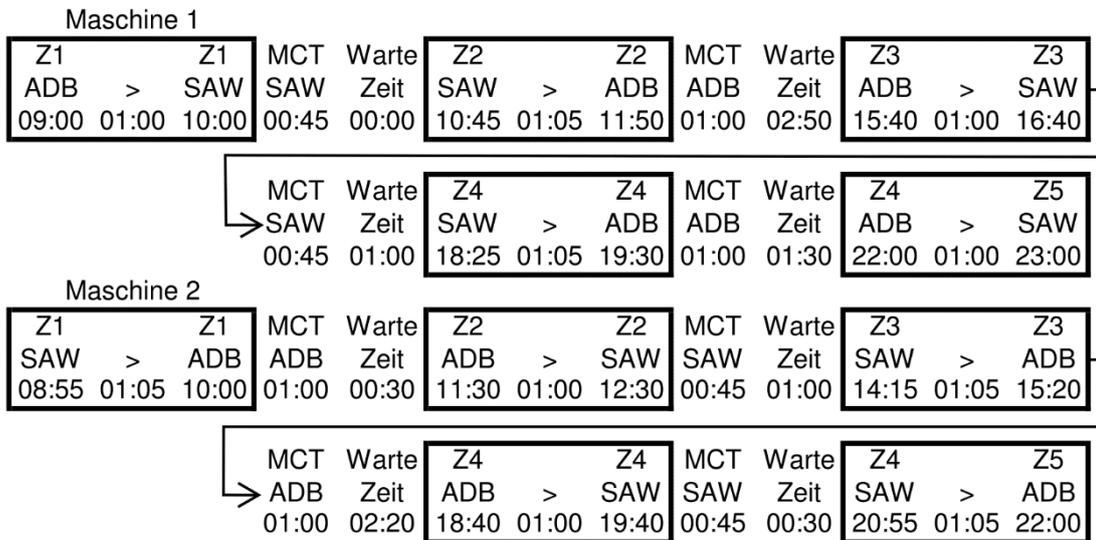


Abbildung 79: Verbindung SAW – ADB

In der Abbildung 79 wird die zeitliche Koordinierung der Verbindung zwischen den Flughäfen *Istanbul Sabiha Gökçen* (SAW) und *Izmir-Adnan Menderes* (ADB) wiedergegeben. Sie kann mittels des Einsatzes von lediglich zwei identischen Flugzeugen alle Zeitintervalle abdecken.

Die Flugdauer von ADB nach SAW ist 30 Minuten kürzer als die von ADA nach SAW. Sie beträgt exakt 1 Stunde. In der Gegenrichtung (SAW nach ADB) ist sie 5 Minuten länger. Das aus der Verbindung SAW – ADB erstellte Zeitmuster kann aufgrund der geringeren Flugzeiten ebenfalls eingehalten werden. Die Ankünfte in ADB weichen jedoch aus eben diesem Umstand unerheblich ab. Die Maschinen aus SAW treffen 10:00 Uhr, 11:50 Uhr, 15:20 Uhr, 19:30 Uhr und 22:00 Uhr in ADB ein.

Bei der Verbindung SAW – ADB sollte in SAW eine möglichst geringe Wartezeit eingetaktet werden. Dies führt zu einer besseren Verbindungsgüte. In diesem Flughafen beträgt die Gesamtumsteigezeit 45 Minuten bis maximal 01:45 h. Sie befindet sich somit ebenfalls im exzellenten bis guten Bereich. In ADB allerdings ist die Gesamtwartezeit deutlich länger. Diese Tatsache ist jedoch unproblematisch, da in ADB keine Anschlussflüge innerhalb des Flugnetzes vorhanden sind. Einzig für die Auslastung der Maschinen kann dieser Umstand als unvorteilhaft erachtet werden.

Für den Transport der jeweils 785 Passagiere empfiehlt es sich den Airbus A380 einzusetzen, welche auch auf der Verbindung SAW – ESB genutzt werden sollte.¹⁶³

¹⁶³ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.14.3 Istanbul Sabiha Gökçen – Antalya

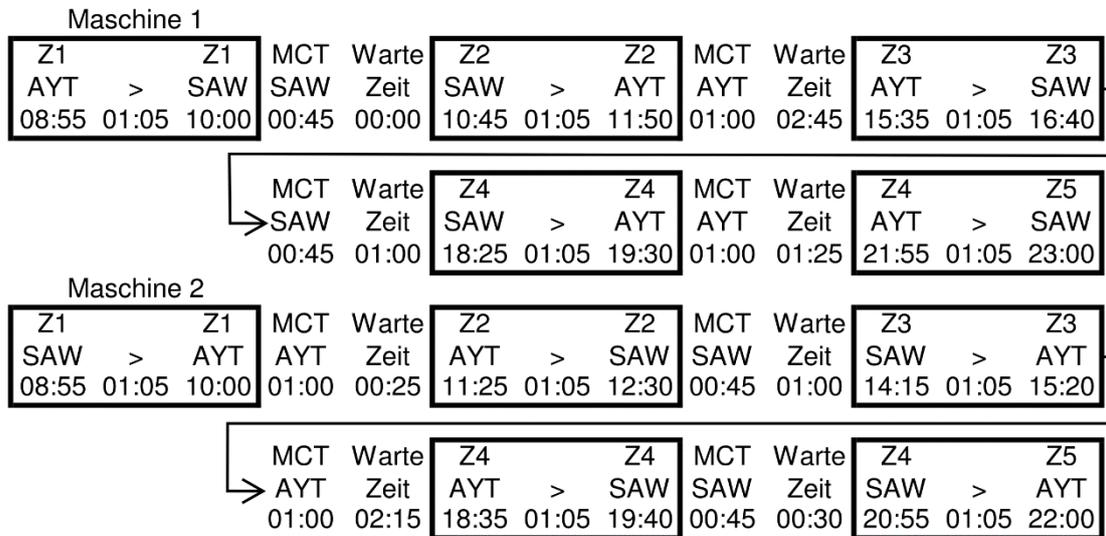


Abbildung 80: Verbindung SAW – AYT

Die Abbildung 80 stellt die zeitliche Taktung der Verbindung zwischen dem Hub *Istanbul Sabiha Gökçen* (SAW) und seinem dritten Spoke *Antalya* (AYT) dar. Bei dieser Verbindung können ebenfalls mittels des Einsatzes zweier identischer Flugzeuge alle Zeitintervalle abgedeckt werden.

Die Flugdauer beträgt in beide Richtungen jeweils 01:05 h. Demnach kann das aus der Verbindung SAW – ADA erstellte Zeitmuster genutzt werden. Aufgrund der kürzeren Flugzeit von SAW nach AYT weichen die Ankünfte jedoch geringfügig ab. Schon wie bei der vorher beschriebenen Route kommen die Flugzeuge aus SAW in AYT ebenfalls um 10:00 Uhr, 11:50 Uhr, 15:20 Uhr, 19:30 Uhr und 22:00 Uhr an.

In SAW sollte möglichst nur eine geringe Wartezeit auftreten, da dies zu einer besseren Verbindungsgüte führt. Folglich wird die Attraktivität des Hubs erhöht. Bei der Verbindung SAW – AYT erstreckt sich die Gesamtumsteigezeit von 45 Minuten bis maximal 01:45 h. Die minimal 45 Minuten entsprechen dabei der erarbeiteten MCT von SAW. Die Gesamtumsteigezeit befindet sich ebenfalls in einem exzellenten bis guten Bereich. In AYT hingegen ist die Gesamtumsteigezeit indes deutlich länger. Diese Tatsache ist jedoch unproblematisch, da in AYT keine Anschlussflüge innerhalb des Flugnetzes erreicht werden müssen. Jedoch kann dieser Umstand für die Auslastung der Maschinen als nachteilig angesehen werden.

Für den Transport der jeweils 559 Passagiere empfiehlt sich der Einsatz von Maschinen des Typs Boeing 747-400D.¹⁶⁴

¹⁶⁴ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

3.14.4 Istanbul Sabiha Gökçen – Ankara-Esenboğa

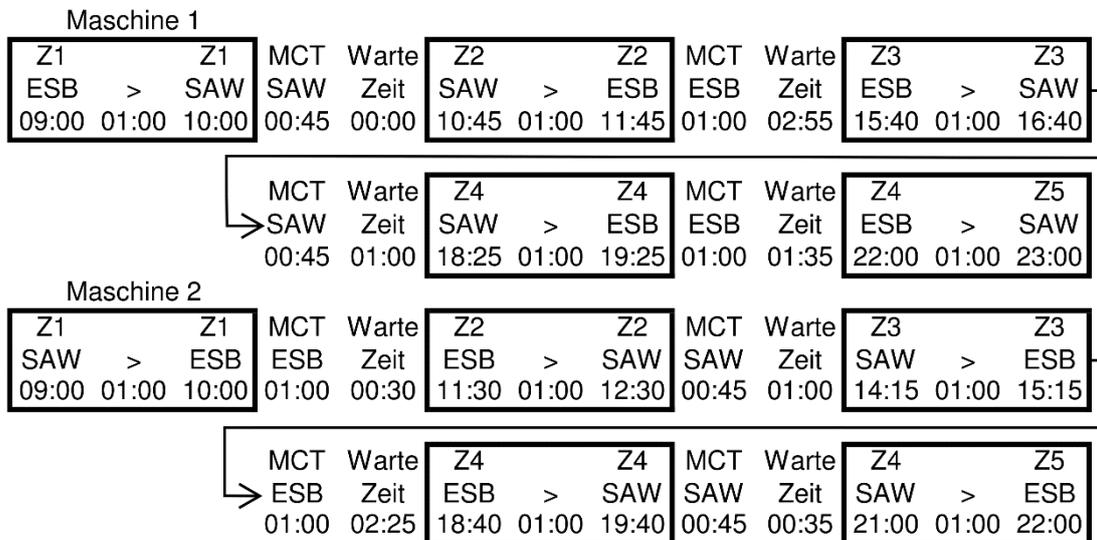


Abbildung 81: Verbindung SAW – ESB

Die Abbildung 81 zeigt die zeitliche Abstimmung der Verbindung zwischen dem Hub *Istanbul Sabiha Gökçen* (SAW) und seinem vierten Spoke *Ankara-Esenboğa* (ESB). Diese kann ebenfalls durch lediglich zwei Flugzeuge (Maschine 1 und 2) umgesetzt werden.

Die Verbindung SAW – ESB weist die geringste Flugdauer der vier Spokes auf. Sie beträgt in beide Richtungen jeweils nur 1 Stunde. Das aus der Verbindung SAW – ADA erstellte Zeitmuster findet dementsprechend ebenfalls Anwendung. Aufgrund der geringeren Flugdauer weichen die Ankünfte, bis auf das Nachtintervall, auch in diesem Fall unerheblich ab. Die Maschinen aus SAW landen in ESB um 10:00 Uhr, 11:45 Uhr, 15:15 Uhr, 19:25 Uhr und 22:00 Uhr.

Aufgrund einer besseren Verbindungsgüte, welche wiederum die Attraktivität des Hubs an sich steigert, sollte in SAW möglichst nur eine kurze Wartezeit eingetaktet werden. Die Gesamtumsteigezeit beträgt minimal 45 Minuten und maximal 01:45 h. Die Minimalzeit von 45 Minuten entspricht dabei der erarbeiteten MCT von SAW. Die Gesamtumsteigezeit befindet sich demnach wieder in einem exzellenten bis guten Bereich. Andererseits ist die Gesamtwartezeit ESB jedoch länger. Dieser Umstand stellt allerdings kein Problem dar, weil in ESB keine weiteren Flüge innerhalb des Flugnetzes erreicht werden müssen. Jedoch ist es für die Auslastung der Maschinen als nachteilig anzusehen.

Für den Transport der jeweils 802 Passagiere empfiehlt es sich, Maschinen des Typs Airbus A380 einzusetzen, welche ebenfalls auf der Verbindung SAW – ADB genutzt werden sollten.¹⁶⁵

¹⁶⁵ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.15 Izmir-Adnan Menderes (ADB) – Ankara-Esenboğa (ESB)

		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
ADB	ESB	07:00	08:10	11:25	12:35	15:50	17:00	20:15	21:25	00:40	01:50
ESB	ADB	04:45	06:00	09:10	10:25	13:35	14:50	18:00	19:15	22:25	23:40

min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung	max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
445	12:05	747-400D	747-400D

Tabelle 32: zeitliche Einteilung Point-to-Point ADB - ESB

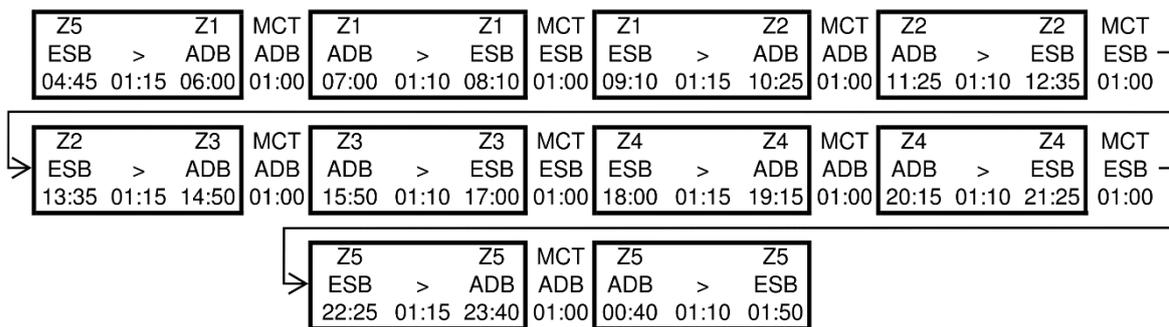


Abbildung 82: Verbindung ADB - ESB

In der obigen Tabelle und der Abbildung 82 wird die zeitliche Abstimmung der Point-to-Point Verbindung zwischen den Flughäfen *Izmir-Adnan Menderes (ADB)* und *Ankara-Esenboğa (ESB)* wiedergegeben. Mittels des Einsatzes von nur einer Maschine im Pendelflug können Landungen in sämtlichen Zeitintervallen erfolgen.

Die Maschine fliegt dabei lediglich zwischen den beiden Flughäfen stets hin und her, ohne dass Wartezeiten eingetaktet werden müssen. Die Aufenthaltsdauer am jeweiligen Flughafen, welche zu berücksichtigen ist, ist einzig die jeweilige MCT. Diese Art der Verbindung ist jedoch nur bei kurzen Flugzeiten zwischen den Destinationen möglich oder wenn die jeweilige MCT entsprechend gering ausfällt. Anderenfalls ist es möglich, dass der Gesamtturnus zu lang ausfällt und somit nicht in allen Zeitintervallen Ankünfte stattfinden. Ein weiteres Kriterium für den Pendelflug sind lange Flugbetriebszeiten der Flughäfen. Des Weiteren müssen keine Anschlussflüge erreicht werden. Diese Kriterien treffen alle bei der Verbindung zwischen ADB und ESB zu, sodass diese Verbindungsart möglich ist. Ein positiver Nebeneffekt ist die hohe Auslastung der eingesetzten Maschine bei relativ geringer Einzelflughöhe. Im Fall der Verbindung ADB – ESB mit 445 Passagieren pro Flug empfiehlt sich der Einsatz einer Boeing 747-400D, welche eine Auslastung von 12:05 h aufweist.¹⁶⁶

¹⁶⁶ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

3.16 Amsterdam Schiphol (AMS)

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
BCN	AMS	06:40	09:10	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
CDG	AMS	08:50	10:00	10:50	12:00	14:10	15:20	17:30	18:40	20:50	22:00
FCO	AMS	06:45	09:10	09:35	12:00	12:55	15:20	16:15	18:40	19:35	22:00
FRA	AMS	08:55	10:00	10:55	12:00	14:15	15:20	17:35	18:40	20:55	22:00
LGW	AMS	06:50	09:10	09:40	12:00	13:00	15:20	16:20	18:40	19:40	22:00
LHR	AMS	07:50	10:00	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
MAD	AMS	06:15	08:45	09:30	12:00	12:50	15:20	16:10	18:40	19:30	22:00
MUC	AMS	08:30	10:00	10:30	12:00	13:50	15:20	17:10	18:40	20:30	22:00

MCT AMS = 40 min

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
AMS	BCN	06:35	08:45	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
AMS	CDG	08:05	09:20	10:45	12:00	14:05	15:20	17:25	18:40	20:45	22:00
AMS	FCO	06:40	08:50	09:50	12:00	13:10	15:20	16:30	18:40	19:50	22:00
AMS	FRA	08:50	09:55	10:55	12:00	14:15	15:20	17:35	18:40	20:55	22:00
AMS	LGW	08:30	08:40	11:50	12:00	15:10	15:20	18:30	18:40	21:50	22:00
AMS	LHR	08:35	10:00	10:40	12:00	14:00	15:20	17:20	18:40	20:40	22:00
AMS	MAD	06:10	08:45	09:25	12:00	12:45	15:20	16:05	18:40	19:25	22:00
AMS	MUC	08:40	10:00	10:40	12:00	14:00	15:20	17:20	18:40	20:40	22:00

Destination	min. Sitzplatz- anzahl	Flugzeugauslastung		max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
		Maschine 1	Maschine 2		
BCN	413,2	11:30	11:50	A380	A350-1000
CDG	377,8	06:05	06:00	A380	A350-1000
FCO	322,8	11:20	11:35	A380	A350-900
FRA	252,0	05:25	05:25	A380	A350-800
LGW	275,0	06:20	06:10	A380	A350-800
LHR	478,6	06:00	06:05	A380	Boeing 747-8
MAD	281,4	12:45	12:40	A380	A350-900
MUC	340,0	07:00	07:10	A380	A350-1000

Tabelle 33: zeitliche Einteilung Hub Amsterdam Schiphol (AMS)

Die obige Tabelle zeigt sämtliche Verbindungen des Hubs *Amsterdam Schiphol* (AMS). Die Route von und nach *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) bildet dabei den kritischen Pfad des niederländischen Hubs. Da AMS keine eigenen Spokes besitzt, müssen auch keine Strecken an der Verbindung zum kritischen Pfad ausgerichtet werden.

Aufgrund des Umstandes der vergleichsweise geringen Flugzeiten zu seinen Destinationen in Verbindung mit einer vierzigminütigen MCT, lassen sich sämtliche Ankünfte zu den standardisierten Ankunftszeiten eintakten.¹⁶⁷

Da in den vorherigen Abschnitten bereits sämtliche Flugverbindungen von und nach AMS detailliert beschrieben wurden, wird auf eine erneute Erklärung verzichtet.

3.17 Restriktion Flugzeuggröße

Die in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführten Flugpläne wurden so erstellt, dass innerhalb jeder Zeitzone eine Ankunft am Zielflughafen stattfindet. Dazu wurden zwei identische Maschinen eingesetzt, die zwischen diesen Zielen hin- und zurückfliegen. Dabei wurde darauf geachtet, dass in sämtlichen Intervallen innerhalb der MACT Anschlussmöglichkeiten zu den Destinationen bestehen, die nicht direkt vom Ausgangsflughafen aus angefliegen werden. Bei der Auswahl der Flugzeuge wurde keine Rücksicht darauf genommen, ob der entsprechende Maschinentyp überhaupt existent ist.

Diese Restriktion wird nun in diesem Abschnitt eingeführt. Es zeigt sich, dass sie nur bei einer Flugverbindung zum Tragen kommt. Bei der Verbindung zwischen dem Hub *Istanbul-Atatürk* (IST) und seinem zweiten Spoke *Izmir-Adnan Menderes* (ADB) müssen pro Flug 1.092 Passagiere befördert werden. Dies ist mit den derzeit existierenden Flugzeugen unmöglich. Somit ergeben sich zwei Möglichkeiten.

- Variante eins besteht darin, dass die doppelte Anzahl an Flugzeugen eingesetzt werden muss. Somit kann die entsprechend zu befördernde Anzahl der Passagiere halbiert werden. Die Maschinen würden zu den gleichen Zeitpunkten starten und auch wieder landen. Somit wäre es gegeben, dass die Anschlussflüge erreichbar blieben. Dafür würden jedoch vier identische Flugzeuge benötigt werden.
- Variante zwei besteht darin nur ein weiteres Flugzeug einzusetzen, welches im Pendelflug zwischen den Zielen hin- und herfliegt, ohne lange Wartezeiten. Dieses Flugzeug muss lediglich die Anzahl an Passagieren aufnehmen können, die als Differenz zum Airbus A380 mit 853 Sitzplätzen auftritt.¹⁶⁸ Im Fall der Verbindung IST – ADB wären dies 239 Sitzplätze (1.092 – 853). Dafür kommt der Airbus A321 neo in Frage mit maximal 240 Sitzplätzen.¹⁶⁹ Die eingesetzten zwei Airbus A380 fliegen noch immer nach der gleichen zeitlichen Koordinierung, welche im Abschnitt Istanbul-Atatürk – Izmir-Adnan Menderes erläutert wurde.

Die genauen Voraussetzungen sowie die Vor- und Nachteile der Nutzung des Pendelflugs wurden bereits anhand der Point-to-Point Verbindung zwischen den Flughäfen *Izmir-Adnan Menderes* (ADB) und *Ankara-Esenboğa* (ESB) oben erläutert. Aus diesem Grund wird nachfolgend lediglich die zeitliche Taktung der dritten Maschinen zwischen Istanbul-Atatürk (IST) – Izmir-Adnan Menderes (ADB) abgebildet.

¹⁶⁷ Vgl. KLM Royal Dutch Airlines (2018).

¹⁶⁸ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

¹⁶⁹ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

Maschine 3		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
ADB	IST	07:40	08:40	11:20	12:20	16:00	17:00	20:10	21:10	04:00	05:00
IST	ADB	05:40	06:40	09:20	10:20	14:00	15:00	18:10	19:10	21:50	22:50

min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung	max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
239	10:00	747-400D	A321 neo

Tabelle 34: zeitliche Einteilung Pendelflug IST – ADB

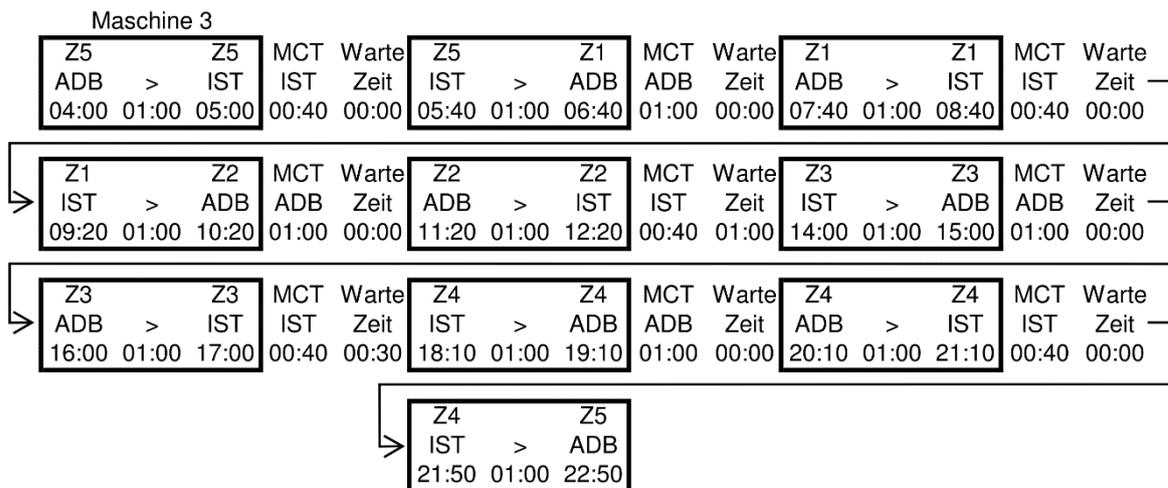


Abbildung 83: Verbindung IST – ADB Pendelflug

Die Tabelle 34 und die Abbildung 83 weisen die zeitliche Koordinierung des Pendelflugs zwischen den Flughäfen *Izmir-Adnan Menderes* (ADB) und *Ankara-Esenboğa* (ESB) aus. Mittels des Einsatzes einer zusätzlichen dritten Maschine im Pendelflug erfolgen ebenfalls Landungen in allen fünf Zeitintervallen.

Die Ankünfte der Maschine 3 auf dem jeweiligen Flughafen wurden dabei so eingetaktet, dass sie von denen der Maschinen 1 und 2 abweichen. Dadurch bietet sich den Reisenden ein vielfältigeres Angebot. Dabei ist es jedoch bei vereinzelt Aufenthalts notwendig, geringfügige Wartezeiten der Maschinen einzuführen.

Die Maschine 3 beginnt ihren Pendelflugturnus gemäß Abbildung 83 in ADB um 04:00 Uhr und beendet diesen ebenfalls in ADB um 22:50 Uhr. Dieser Turnus hätte genauso gut in IST beginnen und enden können. Es hätte zudem die Möglichkeit bestanden, den ersten Flug an das Ende zu setzen. Nach Einhaltung der ermittelten MCT von ADB wäre der letzte Flug somit um 23:50 Uhr in ADB gestartet und wäre um 00:50 Uhr in IST angekommen.

3.18 Restriktion Flughafen

Die zweite Restriktion bezieht sich darauf, dass die empfohlenen Flugzeuge auf den entsprechenden Flughäfen starten und landen können. Sie wird zusätzlich zur Flugzeuggröße eingeführt.

Wie bereits oben erläutert, ist nicht jede Landebahn für den Einsatz eines Airbus A380 geeignet. Jener Umstand wird in den dritten Tabellenteilen der jeweiligen Hub-Beschreibungen ersichtlich, wenn als größtmöglicher Flugzeug nur die Boeing 747-400D nutzbar ist und ein Airbus A380 eingesetzt wird. Wie schon im Fall der Restriktion der Flugzeuggröße muss demnach eine weitere Maschine im Pendelflug eingesetzt werden. Dieses Flugzeug befördert demnach die übrige Anzahl an Passagieren, welche nicht von der Boeing 747-400D aufgenommen werden können.

Dieser Umstand trifft nur bei den folgenden türkischen Verbindungen auf, *Istanbul-Atatürk (IST) – Izmir-Adnan Menderes (ADB)*, *Istanbul-Atatürk (IST) – Ankara-Esenboğa (ESB)*, *Istanbul Sabiha Gökçen (SAW) – Izmir-Adnan Menderes (ADB)* und *Istanbul Sabiha Gökçen (SAW) – Ankara-Esenboğa (ESB)*.

Auf der Verbindung zwischen *Istanbul-Atatürk (IST)* und *Antalya (AYT)* wurde oben zwar die Nutzung eines Airbus A380 empfohlen, doch wäre die Boeing 747-400D ebenfalls ausreichend für den Transport der 567 Passagiere. Aus diesem Grund ist es nicht notwendig, ein drittes Flugzeug im Pendelflug einzusetzen.

Zwischen IST und ADB kommt bereits als drittes Flugzeug ein Airbus A321 neo zum Einsatz, da die anderen beiden Maschinen des Typs Airbus A380 nicht alle Passagiere aufnehmen konnten. In diesem Fall werden anstelle der beiden Airbus A380, Maschinen des Typs Boeing 747-400D eingesetzt. Als drittes Flugzeug reicht der Airbus A321 neo nicht mehr aus, um die insgesamt 1092 Passagiere zu befördern. Es wird eine weitere Boeing 747-400D benötigt. Die ersten beiden Boeing 747-400D transportieren die maximale Anzahl von 624 Passagieren und die Dritte die verbleibenden 468 Fluggäste.¹⁷⁰ Da die dritte Maschine im Pendelflug die gleiche zeitliche Taktung besitzt, wie bereits im vorherigen Kapitel dargestellt, wird diese Verbindung nachfolgend nicht erneut erläutert.

3.18.1 Istanbul-Atatürk – Ankara-Esenboğa Maschine 3

Maschine 3		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
ESB	IST	07:55	09:05	11:50	13:00	16:00	17:10	20:10	21:20	04:00	05:10
IST	ESB	05:50	06:55	09:45	10:50	13:55	15:00	18:05	19:10	21:55	23:00

min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung	max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
90	11:15	747-400D	Boeing 737-700

Tabelle 35: zeitliche Einteilung Pendelflug IST – ESB

¹⁷⁰ Vgl. Boeing (2002), S. 34.

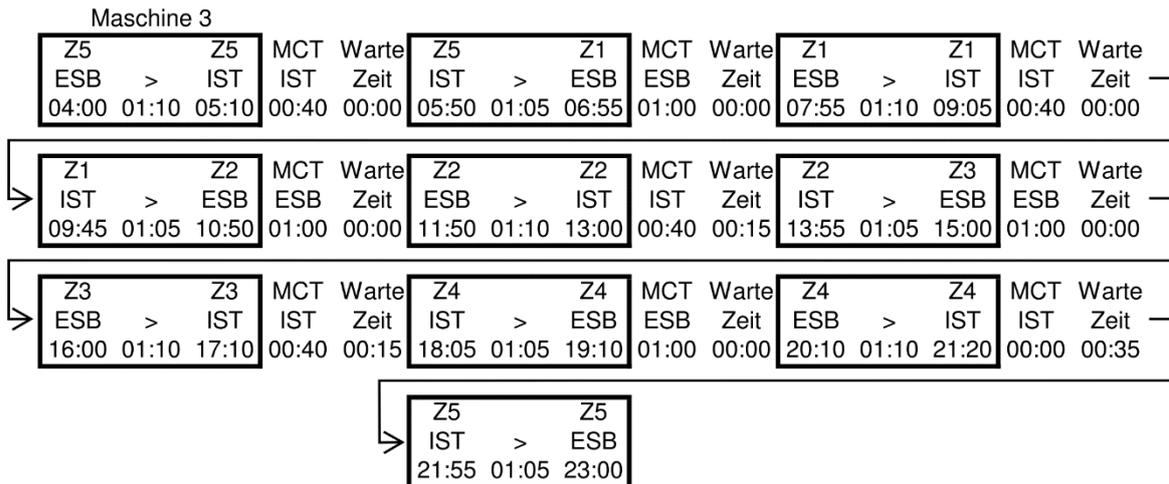


Abbildung 84: Verbindung IST – ESB Pendelflug

Die Tabelle 35 und die Abbildung 84 weisen die zeitliche Koordinierung des Pendelflugs zwischen dem Hub *Istanbul-Atatürk* (IST) und seinem vierten Spoke *Ankara-Esenboğa* (ESB) aus. Durch den zusätzlichen Einsatz einer dritten Maschine im Pendelflug finden die Ankünfte ebenfalls in allen fünf Zeitintervallen statt.

Aufgrund dessen, dass nur zwei Boeings des Typs 747-400D eingesetzt werden können, muss das dritte Flugzeug mindestens 90 (= 714 – 624) Passagiere aufnehmen. Dazu empfiehlt sich der Einsatz einer Boeing 737-700, welche in der Zweiklassen-Einteilung 126 und maximal 149 Passagiere fassen kann.¹⁷¹

Bei der zeitlichen Abstimmung des Pendelflugs gelten die gleichen Kriterien wie in Kapitel 3.13.4 erläutert. Das bedeutet, dass die Ankünfte der dritten Maschine zu denen der Maschinen 1 und 2 abweichen. Sie eröffnen somit den Reisenden ein vielfältigeres Angebot bei der Wahl der Abflugs- und Ankunftszeit. Im Falle der Verbindung IST – ESB ist es notwendig bei vereinzelt Aufenthalts geringfügige Wartezeiten der Maschinen einzufügen. Dadurch entstehen Abweichungen zu den anderen beiden Maschinen. Die Auslastung der dritten Maschine im Pendelflug beträgt 11:15 h.

3.18.2 Istanbul Sabiha Gökçen – Izmir-Adnan Menderes Maschine 3

Maschine 3		Zeitzone 1		Zeitzone 2		Zeitzone 3		Zeitzone 4		Zeitzone 5	
		morgens		mittags		nachmittags		abends		nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
ADB	SAW	08:20	09:20	12:10	13:10	16:00	17:00	19:50	20:50	04:30	05:30
SAW	ADB	06:15	07:20	10:05	11:10	13:55	15:00	17:45	18:50	21:50	22:55

min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung	max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
161	10:25	747-400D	A320 neo

Tabelle 36: zeitliche Einteilung Pendelflug SAW – ADB

¹⁷¹ Vgl. Boeing (2018c).

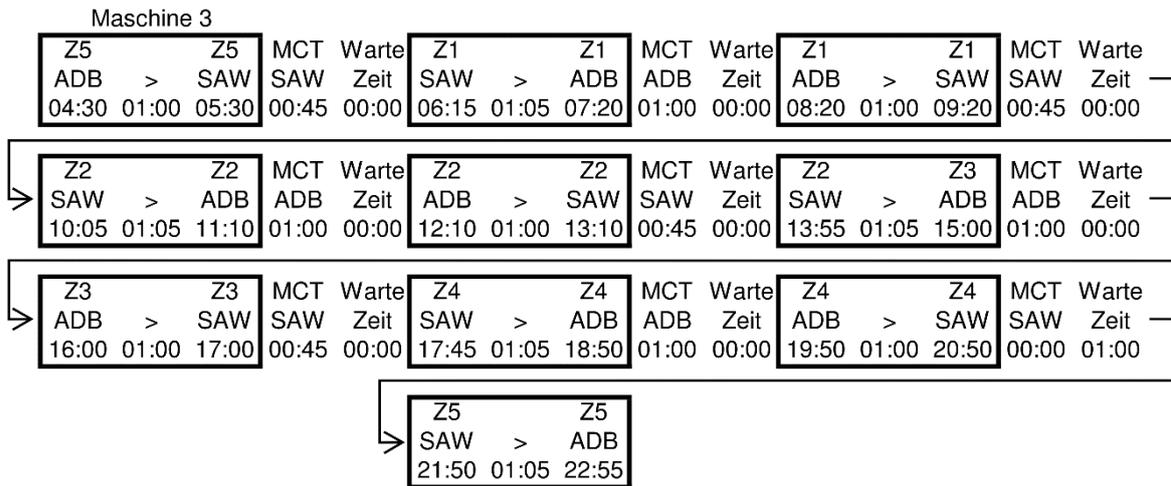


Abbildung 85: Verbindung SAW – ADB Pendelflug

In der Tabelle 36 und der zugehörigen Abbildung 85 wird die zeitliche Abstimmung des Pendelflugs zwischen den Flughäfen *Istanbul Sabiha Gökçen* (SAW) und *Izmir-Adnan Menderes* (ADB) ausgewiesen. Bei dem Einsatz der zusätzlichen dritten Maschine im Pendelflug finden die Ankünfte ebenfalls in allen fünf Zeitintervallen statt.

Die Notwendigkeit dieses zusätzlichen Flugzeugs wird damit begründet, dass als maximal größtes Flugzeug der Maschinentyp Boeing 747-400D eingesetzt werden kann. Insgesamt müssen pro Strecke 785 Passagiere transportiert werden. Die beiden ersten Boeing 747-400D nehmen die ersten 624 Passagiere auf.¹⁷² Für die restlichen 161 Reisenden empfiehlt sich die Verwendung eines Airbus A320 neo, welcher in der Zweiklassen-Einteilung 165 und maximal 189 Passagiere fasst.¹⁷³

Bei der Verbindung SAW - ADB gelten die gleichen Kriterien wie im Kapitel 3.14.1 genannt. Allerdings darf die früheste Ankunft in SAW, aufgrund der ermittelten Flugbetriebszeiten, erst um 05:30 Uhr erfolgen. Deshalb sind nicht immer Differenzen zu den Ankunftszeiten der Maschinen 1 und 2 möglich.

Die Auslastung der dritten Maschine im Pendelflug beträgt 10:25 h.

¹⁷² Vgl. Boeing (2018c).

¹⁷³ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.18.3 Istanbul Sabiha Gökçen – Ankara-Esenboğa Maschine 3

Maschine 3		Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
Start	Ziel	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
ESB	SAW	08:15	09:15	12:15	13:15	16:45	17:45	20:55	21:55	04:30	05:30
SAW	ESB	06:15	07:15	10:00	11:00	14:45	15:45	18:55	19:55	22:55	23:55

min. Sitzplatzanzahl	Flugzeugauslastung	max. Größe Flugzeug	eingesetztes Flugzeug
178	10:00	747-400D	A320 neo

Tabelle 37: zeitliche Einteilung Pendelflug SAW – ESB

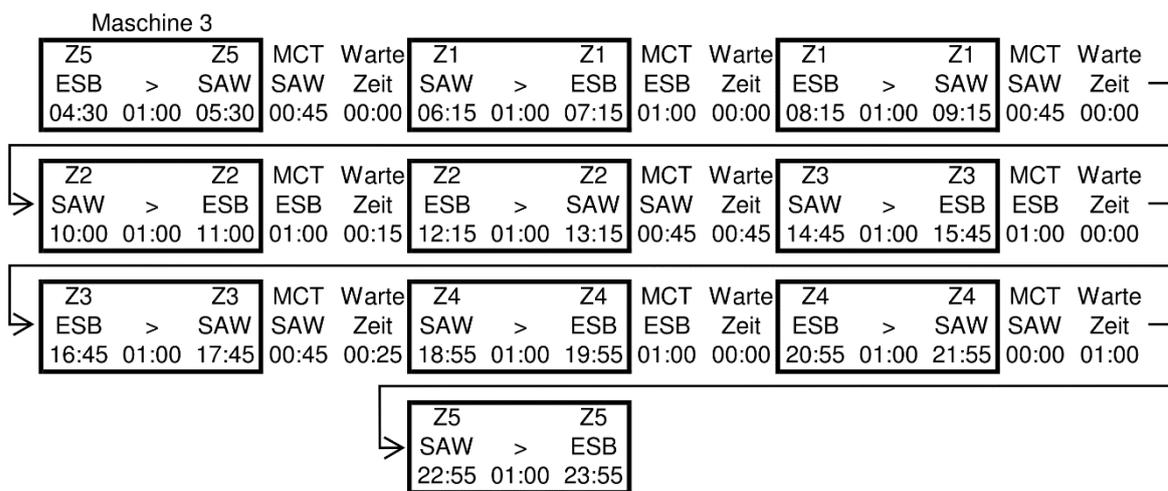


Abbildung 86: Verbindung SAW – ESB Pendelflug

In der Tabelle 37 und der damit verbundenen Abbildung 86 wird die zeitliche Taktung des Pendelflugs zwischen den Flughäfen *Istanbul Sabiha Gökçen* (SAW) – *Ankara-Esenboğa* (ESB) dargestellt. Die Ankünfte erfolgen ebenfalls in allen fünf Zeitintervallen durch den Einsatz einer zusätzlichen dritten Maschine im Pendelflug.

In diesem Fall liegt die Notwendigkeit des dritten Flugzeugs darin begründet, dass als maximal größtes Flugzeug der Maschinentyp Boeing 747-400D eingesetzt werden kann. Pro Strecke müssen 802 Passagiere befördert werden. Davon kann die Boeing 747-400D 624 Passagiere transportieren.¹⁷⁴ Es empfiehlt sich für die weiteren 178 Reisenden Maschinen des Typs Airbus A320 neo zu nutzen. Dieser Typ kann in der Zweiklassen-Einteilung 165 und maximal 189 Passagiere aufnehmen.¹⁷⁵

Aufgrund der ermittelten Flugbetriebszeiten von SAW kann die Ankunft innerhalb des Nachtintervalls erst um 05:30 Uhr erfolgen. Dadurch ist es nicht in jedem Zeitintervall möglich, dass große Abweichungen zu den Ankunftszeiten der Maschinen 1 und 2 entstehen.

Die Auslastung des Airbus A320 neo beträgt dabei im Pendelflug 10 Stunden.

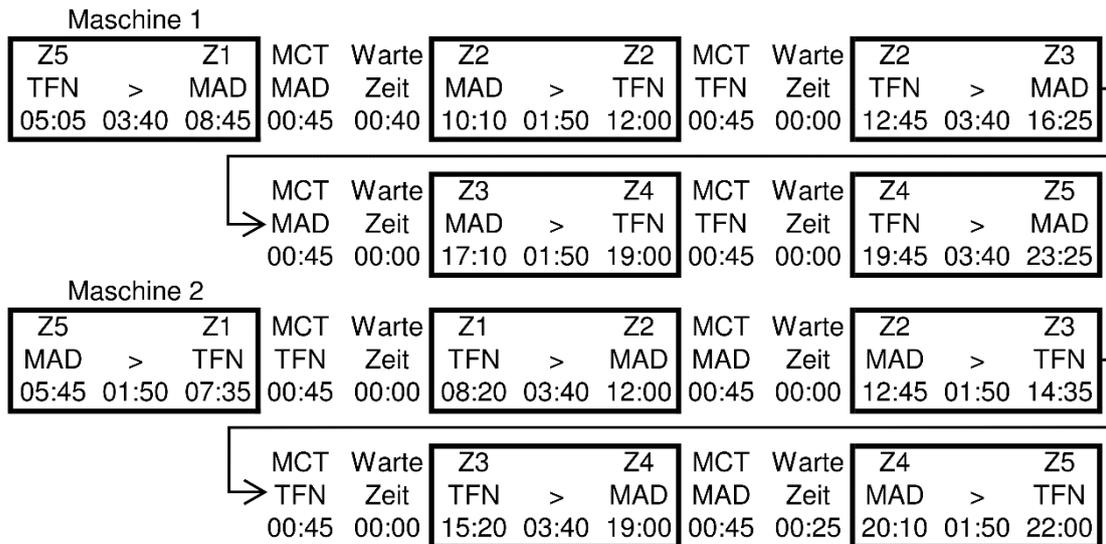
¹⁷⁴ Vgl. Boeing (2018c).

¹⁷⁵ Vgl. Airbus S.A.S. (2017), S. 2.

3.19 Madrid –Tenerife Norte Alternativ

Start	Ziel	Zeitzone 1 morgens		Zeitzone 2 mittags		Zeitzone 3 nachmittags		Zeitzone 4 abends		Zeitzone 5 nachts	
		Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft	Abflug	Ankunft
TFN	MAD	05:05	08:45	08:20	12:00	12:45	16:25	15:20	19:00	19:45	23:25
MAD	TFN	05:45	07:35	10:10	12:00	12:45	14:35	17:10	19:00	20:10	22:00

Tabelle 38: zeitliche Einteilung MAD – TFN Alternativ



Die obige Tabelle und die dazugehörige Abbildung weisen die alternative zeitliche Koordinierung zwischen dem Hub *Adolfo Suárez Madrid-Barajas* (MAD) und seinem dritten Spoke *Tenerife Norte* (TFN) aus. Diese Verbindung stellte unter den gegebenen Bedingungen eine Besonderheit dar. Die Ankunftszeiten in MAD wichen deutlich von den standardisierten Zeiten ab, mit Ausnahme des Mittagszeitintervalls. Dadurch konnten eine Vielzahl von Anschlussflügen in MAD nicht erreicht werden. Diese Alternative zeigt eine von verschiedenen Möglichkeiten auf, inwiefern die Verbindungsgüte in MAD für Reisende von und nach TFN verbessert werden könnten.

Veränderungen der Dauer der Flüge sind nicht realisierbar. Aus diesem Grund müsste eine Ausnahmeregelung für die Verbindung MAD – TFN hinsichtlich der Flugbetriebszeiten von TFN geschaffen werden. Der ermittelte Beginn des Flugbetriebs in TFN müsste von 07:00 Uhr auf 05:05 Uhr vorverlegt werden. Wenn diese Zeit als Abflugzeit in TFN nutzbar wäre, dann würde die Maschine 1 um 08:45 Uhr in MAD landen. Innerhalb des ersten Zeitintervalls könnten dann die Reisenden sämtliche Anschlussflüge erreichen. Würde die Startzeit in TFN erst um 05:45 Uhr beginnen und die Landung in MAD 09:25 Uhr erfolgen, dann könnten zwar 40 Minuten Wartezeit für den Rückflug von MAD nach TFN eingespart werden, jedoch könnten infolgedessen nur 5 von 11 Anschlussflügen erreicht werden. Der Rückflug der Maschine 1 nach TFN um 10:10 Uhr gewährleistet wiederum, dass Umsteigepassagiere von allen anderen Destinationen von MAD um 12:00 Uhr in TFN eintreffen können. In TFN müsste weiterhin die MCT von der angenommenen einen Stunde auf 45 Minuten reduziert werden. Dadurch ist es realisierbar, dass Maschine 1 um 16:25 Uhr in MAD

ankommt. Bei dieser Ankunftszeit können 5 von 11 Anschlussflügen in MAD erreicht werden, die wiederum im vierten Zeitintervall an der jeweiligen Destination ankommen. Zudem stellt der Rückflug der Maschine 1 nach TFN um 17:10 Uhr für 10 von 11 Verbindungen von MAD sicher, dass sie diesen Flug erreichen können und somit um 19:00 Uhr in TFN eintreffen.

Unter den neuen Gegebenheiten kann Maschine 2 im Vergleich 15 Minuten später in MAD abfliegen. Das ist insoweit als positiv anzusehen, wenn die entsprechende Maschine nach der Nutzung in der Nacht für Mittel- und Langstreckenflüge wieder eingegliedert wird. Bei der zeitlichen Abstimmung der Maschine 2 treten insofern kaum Verbesserungen der Ankunftszeiten auf, als dass sie nun im vierten Zeitintervall anstelle von 19:15 Uhr um 19:00 Uhr eintrifft. Dadurch bestehen weiterhin nur 7 von 11 Anschlussmöglichkeiten. Die anderen 4 Verbindungen (AMS, FCO, FRA und MUC) könnten ihre Startzeit um diese 15 Minuten nach hinten verlegen. Dadurch wären alle Anschlussflüge erreichbar. Einzig bei der Verbindung MAD nach FRA kann diese Verlegung der Abflugzeit als kritisch erachtet werden. Die Ankunft in FRA würde in Konsequenz der Verschiebung erst um 22:15 Uhr erfolgen. Unter Berücksichtigung der Nachtflugrestriktionen und der fünfundvierzigminütigen MCT von FRA wäre die Nutzung des entsprechenden Flugzeuges in der Nachtzeit nur knapp realisierbar, da der Flugbetrieb bis 23:00 Uhr gestattet ist. Bei allen anderen Verbindungen treten Nachtflugrestriktionen zu einem späteren Zeitpunkt in Kraft. Im Fall von AMS sind keine vorhanden.

Der Rückflug der Maschine 2 von MAD nach TFN innerhalb des vierten Zeitintervalls erreicht TFN um 22:00 Uhr. Es ist nicht möglich, diese Maschine in der Nachtzeit zu nutzen, denn dazu müsste der Beginn der Flugbetriebszeit von TFN um weitere 45 Minuten vorverlegt werden. Die Auslastung der Maschine 2 ist im Vergleich zu anderen Flugzeugen sehr hoch. Sie beträgt 13:50 h. Somit ist die Nutzung der Nachtzeit zur Steigerung der Flugzeugauslastung nicht zwingend notwendig und der Beginn der Flugbetriebszeit in TFN muss nicht weiter ausgedehnt werden.

4 Literaturverzeichnis

- Aeropuerto Madrid-Barajas (2017), Flights Status, verfügbar: <http://www.aeropuertomadrid-barajas.com/eng/madrid-airport-flight-departures.htm> (Zugriff am 19.10.2017 um 12:52Uhr).
- Airbus S.A.S. (2016), Airbus A380 aircraft characteristics, airport and maintenance planning, verfügbar: http://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A380-Dec-2016.pdf (Zugriff am 15.03.2018 um 11:24Uhr).
- Airbus S.A.S. (2017), Airbus Family Figures, verfügbar: <http://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/Airbus-Family-Figures-booklet.pdf> (Zugriff am 08.02.2018 um 12:56Uhr).
- Airbus S.A.S. (2018), A380 – Technology, verfügbar: <http://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a380-family/technology.html#management> (Zugriff am 14.03.2018 um 18:24Uhr).
- Air France-KLM (2017), Kabinenpläne, verfügbar: <https://www.airfrance.de/DE/de/local/process/cabinmap/searchCabinMapAction.do> (Zugriff am 08.10.2017 um 13:25Uhr).
- Bartels, T. (2016), Ranking der Flugrouten: Das sind die zehn wichtigsten Flugstrecken der Welt, verfügbar: https://www.stern.de/reise/fernenreisen/das-sind-die-wichtigsten-flugstrecken-weltweit-7249222.html#mg-1_1520247751346 (Zugriff am 05.03.2018 um 12:03Uhr).
- Bickenbach, F., Soltwedel, R., Wolf, H., 2007, Institutionelle Reformen für eine rationale Flughafeninfrastrukturpolitik, in: Zeitschrift für Wirtschaftspolitik, Jg. 56, S.108 -134
- Boeing (2002), 747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning, verfügbar: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/747_4.pdf (Zugriff am 08.01.2018 um 10:09Uhr).
- Boeing (2018a), Boeing: 787 Dreamliner, Technical Specs, verfügbar: <http://www.boeing.com/commercial/787> (Zugriff am 10.02.2018 um 16:46 Uhr).
- Boeing (2018b), External List of 747-8 Destination Airports with Regulatory Approval Status, verfügbar: <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/misc/Current-List-of-Approved-747-8-Airports.pdf> (Zugriff am 29.04.2018 um 11:48Uhr).
- Boeing (2018c), Boeing Next-Generation 737, verfügbar: <http://www.boeing.com/commercial/737ng/> (Zugriff am 10.02.2018 um 12:29Uhr).
- Bonsor, K. (2001), How Airlines Work, in: <http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/airline.htm> (Zugriff am 16.02.2018 um 16:06Uhr).
- Bootsma, P. D. (1997). Airline flight schedule development; analysis and design tools for European hinterland hubs. Utrecht, University of Twente.

- Braun, N. (2017), Antworten aus dem Cockpit, Warum ist ein Flug nach Amerika länger als der Rückflug?, verfügbar: <http://www.airliners.de/warum-flug-amerika-rueckflug-jetstream/33967> (Zugriff am 08.03.2018 um 14:09 Uhr).
- British Airways Plc. (2018), Anschlussflüge in London Heathrow, verfügbar: <https://www.britishairways.com/de-de/information/airport-information/flight-connections> (Zugriff am 22.02.2018 um 17:27Uhr).
- Bruno, C. (2018), Flight Connections Paris-Charles de Gaulle airport, verfügbar: <http://easycdg.com/passenger-information/connecting-flight-connections-paris-cdg-airport/transit-information/> (Zugriff am 10.10.2017 um 10:59Uhr).
- Bundesumweltministerium (2007), Klimaagenda 2020: Der Umbau der Industriegesellschaft, verfügbar: https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_klimaagenda.pdf (Zugriff 29.08.2018 um 13:27Uhr).
- Bundesverwaltungsgericht (2012). Az. 4 C 8/09, in: <http://lexetius.com/2012,3456> (Zugriff am 22.02.2018 um 17:07Uhr).
- Conrady, R./Fichert, F./Sterzenbach, R. (2013), Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 5. Auflage, München.
- Dahlenburg, D. (2014), Testrunde mit der A350: "Wirklich sehr, sehr leise", verfügbar: <http://www.aero.de/news-19786/Testrunde-mit-der-A350-Wirklich-sehr-sehr-leise.html> (Zugriff am 19.03.2018 um 14:07Uhr).
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi (2017), Havalimanları Çalışma Saatleri, verfügbar: http://www.dhmi.gov.tr/calismasaatleri.aspx#.Wq_B5cPwbIV (Zugriff am 29.11.2017 um 10:06Uhr).
- EasyJet (2016), 2016 full year results, verfügbar: http://corporate.easyjet.com/~/_media/Files/E/Easyjet/pdf/investors/results-centre/2016/2016-full-year-results.pdf (Zugriff am 08.10.2017 um 13:43Uhr).
- Eiselin, S. (2014), Das Ende des Japan-Jumbos, verfügbar: <https://www.aerotelegraph.com/ana-all-nippon-nimmt-letzte-inaldns-jumbos-aus-dem-verkehr> (Zugriff am 16.03.2018 um 13:24Uhr).
- Faulenbach da Costa, D., 2010, Nachtflugbedarf am Flughafen Berlin Brandenburg International, Themenpapier Nr. 61, Hrsg. von fdc-Airport Consulting, Offenbach
- Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (2018), Umsteigen – Was Sie beachten sollten, verfügbar: <https://www.berlin-airport.de/de/global/impressum/index.php> (Zugriff am 17.08.2018 um 13:21Uhr).
- Flughafen München GmbH (2017a), Statistischer Jahresbericht 2016, verfügbar: https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000001546959bb58c29610/Statistischer-Jahresbericht-2016.pdf (Zugriff am 24.02.2018 um 12:41Uhr).

- Flughafen München GmbH (2018), Flugplan Winter 2017/2018, Sommer 2018, verfügbar:
https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000002222864bb59634d84/flugplan.pdf (Zugriff am 24.02.2018 um 12:22Uhr).
- Flughafen München GmbH (2017b), Umsteigen in München: Schnell und unkompliziert, verfügbar:
<https://www.munich-airport.de/umsteigen-89552> (Zugriff am 10.10.2017 um 10:51Uhr).
- Flughafen München GmbH (2017c), Strenge Regeln für ungestörte Nachtruhe, verfügbar:
<https://www.munich-airport.de/nachtflug-88324> (Zugriff am 10.10.2017 um 11:02Uhr).
- Fraport (2017), Flugplan Passagier- und Frachtflüge, verfügbar: https://www.frankfurt-airport.com/content/dam/airport/Dokumente/Artikel_Beitrag/Fl%C3%BCge/Flugplan_2017-Winter.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Flugplan_2017-Winter.pdf (Zugriff am 19.10.2017 um 13:15Uhr).
- IBERIA LAE S.A. (2017), Wie viel Zeit benötigt man zum Umsteigen?, verfügbar:
<https://www.iberia.com/de/mit-iberia-reisen/flughafen-madrid/anschlusszeiten/> (Zugriff am 19.10.2017 um 13:02Uhr).
- International Civil Aviation Organization (o.J.), ICAO Noise Data Base, Boeing 747-400D, Boeing ID 12127, verfügbar: <http://noisedb.stac.aviation-civile.gouv.fr/pdf.php?id=9274> (Zugriff am 29.08.2018 um 15:43Uhr).
- International Civil Aviation Organization (2016), Annex 14, Vol. 1 Aerodrome Design and Operations, 7. Auflage, verfügbar: <http://www.ssd.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=3&dosyaID=920> (Zugriff am 14.03.2018 um 18:35Uhr).
- International Civil Aviation Organization (2017), ICAO Noise Data Base, Airbus A321, Version 272N, Airbus ID 22867, verfügbar: <http://noisedb.stac.aviation-civile.gouv.fr/pdf.php?id=4147> (Zugriff am 29.08.2018 um 15:45Uhr).
- International Air Transport Service (2010). Passenger Service Conference Resolution Manual, Part I & II, verfügbar: <ftp://ftp.tais.ru/pub/doc/DOC1.pdf> (Zugriff am 21.02.2018 um 14:07Uhr).
- International Air Transport Service. Airline and Airport Code Search, in: <http://www.iata.org/publications/Pages/code-search.aspx> (Zugriff am 21.02.2018 um 14:10 Uhr).
- Kable (2018), Boeing 747-8 Intercontinental Airliner, verfügbar: <https://www.aerospace-technology.com/projects/boeing-747-8/> (Zugriff am 06.02.2018 um 10:53Uhr).
- KLM Royal Dutch Airlines (2018), Umsteigen auf einen anderen Flug, verfügbar:
https://www.klm.com/travel/de_de/meta/imprint/index.htm (Zugriff am 02.02.2018 um 11:25Uhr).
- Kopp, M. (2016), Fuhlsbüttel macht sich fit für den Superjet A380, in:
<https://www.abendblatt.de/wirtschaft/article207724765/Fuhlsbuettel-macht-sich-fit-fuer-den-Superjet-A380.html> (Zugriff am 27.02.2018 um 13:35Uhr).

- Kurpjuweit, K. (2017), Lufthansa setzt Jumbo-Jet für Berlin-Flüge ein, verfügbar:
<https://www.tagesspiegel.de/berlin/flugstrecke-berlin-frankfurt-lufthansa-setzt-jumbo-jet-fuer-berlin-fluege-ein/20534810.html> (Zugriff am 27.08.2018 um 17:49Uhr).
- London Heathrow Airports Limited (2018), verfügbar: https://www.heathrow.com/file_source/HeathrowNoise/Static/Operations_Handbook_January_2018.pdf (Zugriff am 22.02.2018 um 17:22Uhr).
- Mandel, B./Schnell, O./Huster, S./Klar, R. (2015), Grundlagenermittlung für ein Luft-verkehrskonzept der Bundesregierung - Entwicklungsperspektive 2030, Karlsruhe.
- Narita International Airport Corporation (o.J.), Aircraft Profiles: 747, verfügbar: <http://www.narita-airport.or.jp/ais/e/model/747.html> (Zugriff am 12.02.2018 13:33Uhr).
- Niemeier, H.-M., (2013), Expanding Airport Capacity under Constraints in Large Urban Areas: The German Experience, in: OECD-ITF Discussion Paper Nr. 4.2013, OECD International Transport Forum. Paris
- Preuß, O. (2015), Der neue Leiseflieger im Liniendienst, verfügbar: <https://www.welt.de/regionales/hamburg/article147464156/Der-neue-Leiseflieger-im-Liniendienst.html> (Zugriff am 19.03.2018 um 14:04Uhr).
- Rodrigue, J. P. (2018): Airline Deregulation and Hub-and-Spoke Networks, in:
<https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/hubspokederegulation.html> (Zugriff am 16.02.2018 um 17:33Uhr).
- Schulze, T. (2018), Schutz gegen Fluglärm, Hamburg will von Easyjet 468.000 Euro wegen Verletzung des Nachtflugverbots, verfügbar: <https://www.stern.de/reise/deutschland/easyjet--hamburg-will-von-der-fluglinie-468-000-euro-wegen-verspaeteter-fluege-7885058.html> (Zugriff am 20.03.2018 um 13:15Uhr).
- Stopka, U. (2016), Zulassung für A380, verfügbar: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/187234/> (Zugriff am 05.12.2017 um 17:45Uhr).
- Statistisches Amt der Europäischen Union (2018), Übersicht, verfügbar:
<http://ec.europa.eu/eurostat/de/about/overview> (Zugriff am 02.03.2018 um 12:13Uhr).
- Statistisches Amt der Europäischen Union (2017), Datenbank, verfügbar:
<http://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database> (Zugriff am 02.09.2017 um 10:54Uhr).
- The Emirates Group (2018), Emirates-A380-Flugplan, Dubai– Nizza, verfügbar:
https://www.emirates.com/de/german/flying/our_fleet/emirates_a380/emirates_schedule/dubai-nice.aspx (Zugriff am 07.02.2018 um 09:18Uhr).
- Thießen, F./Jahn, M./Troll, S. (2005). Der Nutzen großer Flughäfen, Fachbeitrag im Rahmen des Erörterungstermins zum Flughafenausbau, Chemnitz.
- Umweltbundesamt (2017a), Fluglärmbericht 2017 des Umweltbundesamtes, verfügbar:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-07-17_texte_56-2017_fluglaermbericht_v2.pdf (Zugriff am 29.08.2018 um 12:34Uhr).

Umweltbundesamt (2017b), Fluglärmbericht, verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrs-laerm/fluglaerm#textpart-3> (Zugriff am 29.08.2018 um 12:40Uhr).

Wäschenbach, J. (2015), Millionen Menschen betroffen. Wie ein Vulkan Europas Luftverkehr lahmlegte, in: <https://www.n-tv.de/panorama/Wie-ein-Vulkan-Europas-Luftverkehr-lahmlegte-article14890046.html?service=print>. (Zugriff am 24.02.2018 um 11:24Uhr).

Werners, B. (2013), Grundlagen des Operations Research, 3. überarbeitete Auflage, Berlin.

World Aero Data (2018a), Cote d Azur LFMN, verfügbar: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=FR12671> (Zugriff am 22.03.2018 um 12:06Uhr).

Zimmermann, J./Stark, C./Rieck, J. (2006), Projektplanung: Modelle, Methoden, Management. Berlin Heidelberg.