



Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW)
Institute for Economic Policy Research

Fachbereich Netzwerkökonomie

Arbeitspapiere Güterverkehr und Logistik
Working Documents of Freight Transport and Logistics

N. 005

Johannes von Cossel

Analyse der zeitlichen Konnektivität von Luftfrachtgesellschaften

2011

Abstract

The air cargo sector has developed very rapidly during the last decades from a pure by-product to a self-contained business of airlines with annual growth rates by more than 5% between 1995 and 2007. The strong development changed the airport-airline relationship as cargo became a primary revenue source for both airport and airline. Airport operators invest in new distribution centres at airports that need to be refinanced through airport charges that long-term contracts between airports and airlines are favoured by the airport operators. Contrarily, airlines are especially at non-hub airports extremely flexible and change their schedules rapidly if necessary. Therefore, it is financially essential for airports to know about their status of the operating cargo airlines.

The present paper analyzes the importance of airports for cargo carriers from a network perspective and reverts to the main features of airline network analysis, namely the spatial concentration and the temporal concentration of airline services. The spatial dimension is evaluated by concentration and centrality measures whereas the temporal concentration is analyzed by enhancements of the NETSCAN (Veldhuis, 1997¹), the so called F-NETSCAN model which has originally been developed for passenger transport only.

First results show that structural differences exist in network design and in airport choice between different air cargo business models (e.g. combined carriers versus pure cargo operators). Combined carriers operate very centralized networks with high concentrations only at a small number of airports whereas pure freighter airlines show less tendencies of concentration and centrality at their major airports which is driven by the imbalances of demand around the world.

Keyword: airport-airline relationship, air cargo, freight transport, network analysis, spatial concentration, temporal concentration.

¹ Veldhuis, J. (1997): The competitive position of airline networks, *Journal of Air Transport Management*, Volume 3, Issue 4, p. 181 – 188.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit.....	1
1.2 Struktur und Aufbau der Arbeit.....	2
2. Einstieg in das Gebiet der Luftfracht	4
2.1 Definition und Eigenschaften der Luftfracht.....	4
2.2 Struktur und Organisation des Luftfrachtverkehrs.....	7
2.3 Die weltweit umsatzstärksten Luftfrachtlinien und ihre Flughäfen	9
2.4 Die Entwicklung des Luftfrachtgeschäftes	10
2.5 Hauptverkehrsströme des Luftfrachtverkehrs	11
3. Flugliniennetzwerke	14
3.1. Die historische Entwicklung von Flugliniennetzwerken	14
3.2. Definition des „Hub-and-Spoke Netzwerks“	15
3.3. Ansätze zur Klassifizierung von Flugliniennetzwerken.....	19
3.3.1 Der räumliche Ansatz	20
3.3.2 Der zeitliche Ansatz.....	21
3.3.3 Die Verkehrswellenstruktur (engl. Wave-System Structure).....	22
3.4. Definition von Flugliniennetzwerken	26
3.5 Eine Gesamtbetrachtung der beiden Aspekte - Was macht einen Hub zum Global Player?.....	27
4. Unterschiedliche theoretische Ansätze	29
4.1 Weighted Indirect Connection (WNX)	29
4.2 Das Netscan Modell.....	32
4.3 Der Vergleich WNX vs. CNU	35
4.4 Probleme der Anwendung der Modelle für den Frachtbereich – Vergleich mit dem Passagierverkehr	36
5. Erweiterung des Netscan Modells auf den Luftfrachtverkehr	40
5.1 Das Modell F-Netscan.....	40
5.1.1 Die Funktionsweise	42
5.1.2 Verwendete Daten	45
5.2 Die analysierten Flughäfen	50
6. Präsentation der Ergebnisse	52
6.1 Flughafen Frankfurt am Main	52
6.1.1 Ziele der Lufthansa Cargo von Frankfurt	52

6.1.2 Die Verkehrswellenstruktur	54
6.1.3 Anzahl der indirekten Verbindungen	56
6.2 Amsterdam Schiphol	56
6.2.1 Ziele der KLM von Amsterdam Schiphol	56
6.2.2 Die Verkehrswellenstruktur	58
6.2.3 Anzahl der indirekten Verbindungen	58
6.3 Paris Roissy Charles de Gaulle.....	59
6.3.1 Ziele der Air France Cargo von Paris Roissy Charles de Gaulle	59
6.3.2 Anzahl der indirekten Verbindungen	60
6.3.3 Anzahl der indirekten Verbindungen	61
6.4 London Heathrow.....	61
6.4.1 Ziele der British Airways von London Heathrow	62
6.4.2 Verkehrswellenstruktur	63
6.4.3 Anzahl der indirekten Verbindungen	63
6.5 Luxemburg Flughafen	64
6.5.1 Ziele der Cargolux von Luxemburg.....	64
6.5.2 Verkehrswellenstruktur.....	65
6.5.3 Anzahl der indirekten Verbindungen	66
6.6 Incheon international Airport, Seoul (Südkorea)	66
6.6.1 Ziele der Korean Air Cargo von Incheon-Seoul.....	66
6.6.2 Verkehrswellenstruktur.....	68
6.6.3 Anzahl der indirekten Verbindungen	68
7. Auswertung der Ergebnisse	69
7.1 Bewertung des Flugliniennetzwerkes nach Destinationen	69
7.2 Bewertung der Konnektivität	71
7.3 Kritische Betrachtung des F-Netscan Modells	78
7.3.1 Einfluss der Modifizierungen am F-Netscan Modell auf die Ergebnisse	78
7.3.2 Modifizierung der Verbindungszeiten.....	79
7.4 Verbesserungsmöglichkeiten der CNU für Fluglinie und Flughafen.....	82
7.5 Kritische Bewertung der Analyse und mögliche Alternativen	84
8. Fazit und Ausblick	86
Literaturverzeichnis.....	90
Anhang	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bedeutung der Luftfracht für die weltweiten Warenströme.	4
Abbildung 2: Luft-See-Split von US-Importen in die EU, 2005.	7
Abbildung 3: Hauptverkehrsströme der Luftfracht 2008-2013.....	11
Abbildung 4: Hub Modelle.....	16
Abbildung 5: Direkte- versus indirekte Verbindung.	21
Abbildung 6: Verkehrswellenstruktur der Lufthansa (Passage) am Flughafen München 1999.....	23
Abbildung 7: Theoretischer Aufbau einer Verkehrswelle.....	24
Abbildung 8: Funktionsweise des Netscan Modells.....	33
Abbildung 9: Werte des Faktors (3-0,075*NST).	34
Abbildung 10: Programmablauf des Modells.....	41
Abbildung 11: Direkte- versus indirekte Verbindung.....	43
Abbildung 12: Verteilung der Nachfrage bei der LHC über das Jahr verteilt (2008).	46
Abbildung 13: Verteilung der Nachfrage über die Woche bei LHC.	47
Abbildung 14: Destinationen der LHC Cargo Flüge.....	53
Abbildung 15: Destinationen der LH Passagierflüge mit Belly Fracht.....	53
Abbildung 16: Verkehrswellenstruktur der LHC (Fracht und Belly Passage) für FRA Mittwoch 16. Mai 2007.....	55
Abbildung 17: Destinationen der KLM Cargo Flüge.....	57
Abbildung 18: Destinationen der KLM Passagierflüge mit Belly Fracht.....	57
Abbildung 19: Verkehrswellenstruktur der KLM (Fracht und Belly Passage) für AMS Mittwoch 16. Mai 2007.....	58
Abbildung 20: Destinationen der AF Cargo Flüge.....	60
Abbildung 21: Destinationen der AF Passagierflüge mit Belly Fracht.....	60
Abbildung 22: Verkehrswellenstruktur der AF Cargo (Fracht und Belly Passage) für CDG Mittwoch 16. Mai 2007.....	61
Abbildung 23: Destinationen der BA Cargo Flüge.	62
Abbildung 24: Destination der BA Passagierflüge mit Belly Fracht.....	62
Abbildung 25: Verkehrswellenstruktur der BA Cargo (Fracht und Belly Passage) für LHR Mittwoch 16. Mai 2007.....	63
Abbildung 26: Destinationen der CV Cargo Flüge.....	65

Abbildung 27: Verkehrswellenstruktur der CV für LUX Mittwoch 16. Mai 2007.	66
Abbildung 28: Destinationen der KE Cargo Flüge.	67
Abbildung 29: Destinationen der KE Passagierflüge mit Belly Fracht.....	67
Abbildung 30: Verkehrswellenstruktur der KE für ICN Mittwoch 16. Mai 2007.....	68
Abbildung 31: Gegenüberstellung der CNUs für die analysierten Flughäfen.	73
Abbildung 32: CNU in Abhängigkeit von den ankommenden Flügen der analysierten Flughäfen.	75
Abbildung 33: Hub Konnektivität von den analysierten Flughäfen mit unterschiedlichen maximalen Verbindungszeiten.	80
Abbildung 34: Hub Konnektivität von den analysierten Flughäfen mit unterschiedlichen minimalen Verbindungszeiten.....	81
Abbildung 35: Verlauf der CNU Kurve für unterschiedliche Verbindungszeiten....	82
Abbildung 36: Screenshot des Java Programms. Verbindungen der CV über LUX..	92
Abbildung 37: Eigene Darstellung aus Basis von OAG Daten.	94
Abbildung 38: Verkehrswellenstruktur der Cargo Flüge von LHC, Mittwoch 16.5.07.....	95
Abbildung 39: Verkehrswellenstruktur der Cargo Flüge von LHC, Mittwoch 18.5.07.....	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der größten Frachtflughäfen.....	9
Tabelle 2: Vor- und Nachteile von Hubs.....	18
Tabelle 3: Unterschiede zwischen dem Luftfrachtverkehr und Passagierverkehr.	38
Tabelle 4: Verteilung der LHC Flüge von FRA auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.....	52
Tabelle 5: Verteilung der KLM Cargo Flüge von AMS auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.....	56
Tabelle 6: Verteilung der AF Cargo Flüge von CDG auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.	59
Tabelle 7: Verteilung der BA Cargo Flüge von LHR auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.....	62
Tabelle 8: Verteilung der CV Cargo Flüge von LUX auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.....	64
Tabelle 9: Verteilung der KE Cargo Flüge von ICN auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.....	67
Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse.	74

Abkürzungen

AF	Air France
AMS	Amsterdam Schiphol
BA	British Airways
CDG	Paris Charles de Gaulle
CNU	Connectivity Unit
CV	Cargolux
FRA	Frankfurt Main International
GCD	engl.: Great Circle Distance (deutsch: Orthodrome)
IATA	International Air Transport Association
ICN	Incheon International Airport
JIT	Just-in-time
KE	Korean Air
KLM	KLM Royal Dutch Airlines
LH	Lufthansa
LHC	Lufthansa Cargo
LHR	London Heathrow
LKW	Lastkraftwagen
LUX	Luxemburg Flughafen
OAG	Official Airline Guide
OAG	Official Airline Guide
ULD	Unit Load Device
WNX	Weighted indirect connection index

1. Einleitung

Weltweit entfallen 77 Prozent des Passagierolumens auf lediglich 32 Flughäfen.² Im Luftfrachtgeschäft ist der Sachverhalt ähnlich. Die Strategie eines Großteils der internationalen Fluggesellschaften ist die Bündelung von Flügen an großen internationalen Drehkreuzen (Hubs): Das Hub-and-Spoke System. Dadurch kann ein globales Flugliniennetzwerk aufgebaut, eine hohe Frequenz von Flügen zu einem Ziel erreicht und der Service Level der Fluggesellschaften auf einem hohen Niveau gehalten werden. Die Funktionsweise eines Hub Flughafens ist die Bündelung von Zubringerflügen, meist von kleineren Flughäfen. Für die ankommende Fracht besteht dann die Möglichkeit des Weitertransportes mit Verbindungsflügen. Die Folge ist, dass direkte Verbindungen zwischen Flughäfen eliminiert werden können, wenn die Auslastung auf den Flugrouten nicht ausreichend ist. Dadurch werden Kosten eingespart und die Fluggesellschaft kann eine höhere Anzahl an Destinationen über den Hub Flughafen bedienen. Den genannten Vorteilen stehen jedoch diverse Nachteile für den Kunden, insbesondere im Personenverkehr gegenüber, so z.B. die längere Reisezeit, weil ein Transit Zeit in Anspruch nimmt. Dabei besteht die Wahrscheinlichkeit, dass im Falle von Verspätungen die Reisezeit erheblich verlängert wird, weil der Transfer zu den Anschlussflügen zeitlich nicht mehr durchführbar ist. Speziell im Luftfrachtverkehr führt dies zu erheblichen Verzögerungen (siehe Kapitel 5). Daher erfordert die Nutzung eines Hub Flughafens einen sehr gut koordinierten Flugplan. Zudem muss ein Hub Flughafen kurze Transferzeiten anbieten können, um attraktiv für Fluggesellschaften zu sein.

1.1 Ziel der Arbeit

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der temporalen Analyse und Bewertung von Transferverbindungen an Hub Flughäfen im Luftfrachtgeschäft. Mit Hilfe einer zu diesem Zweck weiter entwickelten Form eines ursprünglich für den Passagierverkehr entworfenen Modells können verifizierbare Aussagen über die Abstimmung von Flügen an Flughäfen getroffen werden. Dabei werden die indirekten Flüge mit äquivalenten direkten Verbindungen anhand eines Qualitätsindex verglichen. Auf Basis dieser Resultate können dann - unter Berücksichtigung von Flugnetzwerk

² Vgl. Gordon, 2006, S. 7.

und Unternehmensstrategie - Aussagen über die Effizienz der Koordination von Flügen im Flugplan getroffen und Verbesserungsmöglichkeiten gefunden werden.

1.2 Struktur und Aufbau der Arbeit

Die Einleitung beinhaltet einen Überblick über das Thema, sowie eine Diskussion der Ziele und der Motivation.

Die folgenden Kapitel zwei, drei und vier repräsentieren den Literaturüberblick. Das zweite Kapitel ermöglicht einen kurzen Einstieg in das Luftfrachtgeschäft, wobei das operative Geschäft, die typischen Produkte der Luftfracht, sowie die Entwicklung des Luftfrachtmarktes beschrieben werden.

Das dritte Kapitel erläutert die Ansätze zur Definition von Flugliniennetzwerken. Dabei wird der Fokus auf das Hub-and-Spoke System gelegt, um eine Grundlage für die spätere Analyse zu schaffen.

Im vierten Kapitel werden zwei theoretische Ansätze zur Berechnung der Konnektivität miteinander verglichen und die Gründe für die Nutzung des Netscan Modells in dieser Arbeit erläutert. Außerdem wird auf die Unterschiede zwischen dem Passagierverkehr und dem Luftfrachtverkehr eingegangen.

Nachdem im vierten Kapitel die Unterschiede in der operativen Ausführung des Luftfrachtgeschäftes erläutert wurden, beschäftigt sich das fünfte Kapitel mit den Anpassungen am Netscan Modell. Dafür werden die Funktionsweise des neuen Modells F-Netscan und die verwendeten Daten erläutert. Die Verwendung der Daten wird begründet und - wenn erforderlich - auch mit Expertenaussagen untermauert.

Im sechsten Kapitel folgt die Präsentation der Ergebnisse. Die Resultate werden anschließend im siebten Kapitel interpretiert und bewertet. Der Bewertung folgen Verbesserungsvorschläge für die Fluglinien und Flughäfen zur Steigerung der Konnektivität, sowie eine kritische Betrachtung der Analyse und des Modells.

Die Arbeit endet mit einem Fazit und Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf auf diesem Gebiet.

2. Einstieg in das Gebiet der Luftfracht

Nur knapp 1% der weltweit transportierten Waren werden per Luftfracht versendet (siehe Abbildung 1). Dennoch entspricht dieser geringe prozentuale Anteil am Beförderungsvolumen rund 35% des Warenwertes der weltweit transportierten Fracht.

In diesem Kapitel sollen die Besonderheiten des Luftfrachtgeschäftes erläutert werden. Beginnend mit einer Definition und den Eigenschaften der Luftfracht, wird das operative Geschäft beschrieben und ein Überblick über die wichtigsten Flughäfen und Fluglinien gegeben. Abschließend werden das Marktpotential und die Hauptverkehrsströme der Luftfracht identifiziert.

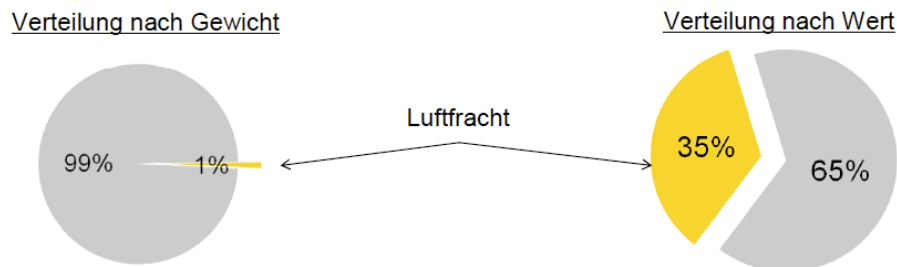


Abbildung 1: Bedeutung der Luftfracht für die weltweiten Warenströme.³

2.1 Definition und Eigenschaften der Luftfracht

Definition der Luftfracht nach Mensen, 2007:

„Im weitesten Sinne gehören zu Luftfracht (Ladegut für den Lufttransport) alle Güter, die im Fluglinienverkehr oder auf Charterflügen als Fracht, Expressgut oder Post transportiert werden.

Im engeren Sinne wird unter Luftfracht nur die Fracht verstanden, die nach den IATA-Beförderungsbestimmungen⁴ als Frachtgut deklariert und transportiert wird. Davon abzugrenzen ist die Luftpost, die nach den Bestimmungen und internationalen Postregulierungen abgewickelt wird.“

Ergänzend zu der vorangegangenen Definition muss deutlich gemacht werden, dass auch Transporte mit bodengebundenem Verkehr zur Luftfrachtbeförderung gehö-

³ Vgl. Spohr, 2008, S. 4.

⁴ International Air Transport Association (IATA), http://www.logisticsprovider.de/CMS/index.php?option=com_content&task=view&id=175&Itemid=220, 17.05.2010.

ren. Diese Transporte finden unter der Verantwortung der Fluglinie statt und ersetzen teilweise Flugrouten. So wird in Europa die Luftfracht vorwiegend mit dem Lastkraftwagen (Lkw), den sogenannten Road Feeder Services transportiert.⁵

Wird der Luftfrachtmarkt mit anderen Transportmärkten verglichen, so unterscheidet sich dieser grundlegend in seinen Eigenschaften. Hohe Transportkosten resultieren aus kurzen Beförderungszeiten über weite Distanzen bei vergleichsweise geringen Beförderungskapazitäten. Infolge dieser Eigenschaften werden primär wertvolle und/oder zeitkritische Güter als Luftfracht befördert.

Das Angebot an Luftverkehrsdienstleistungen ist auch geprägt von staatlichen Subventionen. Regierungen unterstützen eigene „Flagcarrier“, um repräsentative Zwecke zu verfolgen, obwohl diese zu Teilen keinen Ertrag erwirtschaften (Beispiel: Alitalia). Oft folgen daraus Insolvenzen und neue Unternehmensgründungen, weil die staatlichen Subventionen eingestellt werden. Dadurch wird eine große Fluktuation von Luftfrachtunternehmen auf dem Markt und einer Verzerrung des Wettbewerbs verursacht.⁶

Außerdem müssen sich Fluggesellschaften an viele internationale und nationale Luftverkehrsabkommen halten. Dazu gehören Überflugrechte der Länder, Lande- und Startrechte, sowie internationale Abkommen zwischen Staaten (siehe Kapitel 3.1). Dadurch ist die Optimierung des Flugnetzwerkes, insbesondere im Luftfrachtverkehr, nur begrenzt möglich (siehe Kapitel 4.3).

Trotz dieser Einschränkungen hat die Luftfracht einige entscheidende Vorteile für den Transport von Waren aufzuweisen:

- Kurze Transportzeiten und dadurch
 - Geringe Kapitalbindungskosten
 - Kurzfristige Beschaffung (Just-in-Time) möglich
- Große Pünktlichkeit von Frachtsendungen
- Geringe Transportrisiken garantieren relativ niedrige Versicherungsprämien

⁵ Vgl. Littek, 2006, S.10.

⁶ Vgl. Spohr, 2008, S. 16, 21, 22.

Diese Vorteile sind es, die zu größten Teilen die Art der per Luftfracht transportierten Ware bestimmen. Welche Produkte das genau sind, erläutert der folgende Abschnitt.

Produkte der Luftfracht

Durch die wachsende globale Arbeitsteilung ist die Luftfracht mittlerweile ein fester Bestandteil der Supply Chain von Unternehmen geworden. Vor allem Waren mit einer geringen Haltbarkeit, wie verderbliche Lebensmittel und Pflanzen, sowie Tiere, denen ein langer strapaziöser Transport per Schiff oder Lkw nicht zuzumuten ist, werden über den Luftweg transportiert.

Der schnelle und zuverlässige Transport ermöglicht die Just-in-Time Produktion innerhalb der Supply Chain von Unternehmen. Ein sehr gutes Beispiel ist die Automobilindustrie, wo durch die geringe Kapitalbindung und die daraus resultierenden niedrigen Lagerkosten effizienter produziert werden kann.

Eine weitere Gruppe der vorwiegend per Luftfracht transportierten Güter bilden Kapitalgüter, wie Schmuck, Geld und Hightech-Produkte. Sicherheit und Schnelligkeit sind in diesem Fall die Hauptgründe für den Transport in der Luft. Weiterhin werden Produkte mit einem kurzen Lebenszyklus per Luftfracht transportiert. Dazu gehören Textilien (Beispiel: Neue Kollektionen) und technische Produkte (z.B. Software), die aufgrund der technologischen Entwicklung und Änderungen der Nachfrage ständig angepasst werden und bei denen das frühzeitige Erscheinen auf dem Markt einen Wettbewerbsvorteil bieten kann.⁷ Hierzu sind in Abbildung 2 beispielhaft Waren der US Exporte in die EU aufgelistet, welche hauptsächlich über den Luftweg transportiert werden. Wie in Kapitel 2.1 bereits erwähnt, wird in dieser Abbildung wiederholt deutlich, dass der Warenwert ein entscheidender Faktor bei der Wahl des Transportmittel ist.

Die Beispiele zeigen, dass die Luftfracht durch ihre Schnelligkeit und Zuverlässigkeit für viele Branchen unumgänglich geworden ist und weiter an Bedeutung gewinnen wird.

⁷ Vgl. Vahrenkamp, 2007, S. 280.

Luft-See-Split von US-Importen in die EU, 2005
(Ausgewählte Waren)

Ware	Anteil Luftfracht (Tonnen)	Wert Luft (US\$/kg)	Wert See (US\$/kg)
Telekommunikations-Ausrüstung	68%	120	26
Medizin	49%	632	131
Elektronische Anlagen	73%	129	67
Druckwaren	22%	20	7
IT – Hardware	57%	210	23
Optische Geräte	93%	194	67
...			
GESAMT	1%	106	2

Abbildung 2: Luft-See-Split von US-Importen in die EU, 2005.⁸

2.2 Struktur und Organisation des Luftfrachtverkehrs

Grundsätzlich werden die Cargomärkte von zwei großen Anbietergruppen geprägt:

Die Fluggesellschaften im Verbund mit den Luftfrachtspeditionen auf der einen Seite und die integrierten Systemanbieter (Integratoren) auf der anderen Seite.

Das klassische Modell der Transportwirtschaft, bei dem Fluggesellschaften und Speditionen zusammenarbeiten, erklärt sich wie folgt: Möchte ein Auftraggeber (z.B. Privatperson, Unternehmen) Ware per Luftfracht verschicken, wendet er sich an eine Spedition, welche die Abwicklung und Organisation des Transports übernimmt. Die Spedition kann die ihr anvertrauten Waren selbst befördern oder beauftragt damit eine andere Firma, einen Frachtführer. Frachtführer können ein Lkw-Unternehmen, die Eisenbahn, eine Reederei oder eben auch eine Fluggesellschaft sein. Sehr häufig beauftragen Speditionen mehrere Frachtführer, schließlich muss die Ware nicht nur zum Flughafen kommen, sondern auch vom Zielflughafen zum Empfänger transportiert werden.

Dabei ist es für den Kunden sehr hilfreich, wenn das Luftfrachtgeschäft nach weltweit einheitlichen Regeln abläuft. Für die Schaffung und Überwachung dieser Regeln ist die IATA zuständig. Die IATA ist die Dachorganisation des gewerblichen Luftverkehrs. Ihr gehören die meisten Fluggesellschaften der Welt an.

⁸ Vgl. Spohr, 2008, S. 5.

Bei den Fluggesellschaften kann grob zwischen Anbietern unterschieden werden, die Luftfracht als eigenständiges Geschäft betreiben und dafür Frachtflugzeuge einsetzen und den so genannten „Belly-Carriern“, bei denen das Hauptgeschäft in der Passagierbeförderung liegt. Die Belly-Carrier betreiben das Frachtgeschäft nebenbei, weil ihre Kosten meist schon durch die Passagierbeförderung gedeckt werden und sie somit kostengünstig Frachtraum in den Passagierflugzeugen anbieten können. Allerdings gibt es für diesen Transport Beschränkungen. So darf z.B. Gefahrgut nicht in Passagierflugzeugen transportiert werden.⁹

Eine Besonderheit von Frachtfluggesellschaften sind so genannte „Road-Feeder“. Lkws, die unter Flugnummern fahren und Luftfracht von Flughafen zu Flughafen bringen. Dies geschieht innerhalb eines Landes, aber in Europa auch über die Landesgrenzen hinweg. Die Lufthansa Cargo transportierte allein pro Jahr 450.000 Tonnen (30% ihrer Gesamttonnage) Fracht auf der Straße und auf den Schienen. Road-Feeder garantieren eine hohe Pünktlichkeitsrate von 80% bezogen auf ein 15 Minuten Fenster. Dies bringt die nötige Zuverlässigkeit im Logistikgeschäft.¹⁰

In der Regel funktioniert der Frachtguttransport in Unit Load Devices (ULD). Diese speziell angefertigten Container (optimiert auf Gewicht und Größe) sind an die Flugzeugform angepasst und vereinfachen den Transport und verbessern die Nutzung der Raumkapazitäten im Flugzeug.

Im Gegensatz zu Speditionen liefern Integrierte Systemanbieter alle Logistikleistungen aus eigener Hand. Sie bringen die Ware vom Kunden zum Empfänger und decken somit die gesamte Transportkette unter einem Dach ab. Hier kommen unterschiedliche Verkehrsmittel (Lkw, Flugzeug) zum Einsatz, die der Integrator in eigener Regie nutzt. Beispiele für solche Unternehmen sind DHL, UPS, TNT oder Fedex. Integratoren befördern in der Regel Frachtgut, welches zunächst auf 31,5kg beschränkt ist. Der Versand von kleinem Frachtgut, also bis 31,5kg läuft hoch automatisiert ab. Dadurch werden Kosten gespart und größere Mengen befördert. Die hohe Nachfrage für den Transport von kleinem Frachtgut führt zu einer Dominanz der Integratoren auf dem Luftfrachtmarkt: Schätzungsweise 60% des gesamten Luftfrachtverkehrs wird über Integratoren abgewickelt.¹¹ Dabei führen Integ-

⁹ Vgl. Littek, 2006, S. 10.

¹⁰ Vgl. Littek, 2006, S. 48.

¹¹ Vgl. Spohr, 2008, S. 14.

ratoren heutzutage zunehmend große Frachttransporte durch, wodurch eine Konkurrenz zu den Frachtfluggesellschaften entstanden ist. Dennoch bleibt insbesondere der Transport von Spezialgut den Cargounternehmen vorbehalten.

2.3 Die weltweit umsatzstärksten Luftfrachtlinien und ihre Flughäfen

Die vorliegende Tabelle (Tabelle 1) zeigt die größten Frachtflughäfen der Welt, sortiert nach Größe des Gewichts der umgeschlagenen Ware pro Jahr. Das größte internationale Frachtdrehkreuz ist in Memphis, U.S.A. Dieser Flughafen verdankt seine Marktmacht dem Integrator FedEx, dessen Heimatbasis Memphis ist¹². Dennoch ist deutlich zu erkennen, dass auch die asiatischen Flughäfen enorme Frachtumsätze vorzuweisen haben. Mit Shanghai, Hongkong, Seoul, Tokyo und Singapur dominiert Asien die Top Ten. Die hohen Exportraten Asiens, sowie die stark wachsende Bevölkerung und der damit verbundene Bedarf an Rohstoffen und Konsumgütern sind Gründe für den hohen Frachtumschlag.¹³

Platz	Flughafen	Fracht in Mio Tonnen (2008)
1.	Memphis	3,7
2.	Hongkong	3,66
3.	Shanghai Pudong	2,6
4.	Seoul Incheon	2,42
5.	Anchorage	2,34
6.	Paris CDG	2,28
7.	Frankfurt	2,11
8.	Tokyo Narita	2,1
9.	Louisville	1,97
10.	Singapur	1,88

Tabelle 1: Auflistung der größten Frachtflughäfen.¹⁴

Europa wird durch Frankfurt und Paris in den Top Ten vertreten. Im Gegensatz zu Paris verdankt Frankfurt seine Marktmacht hauptsächlich der Lufthansa Cargo

¹² Vgl. TT News <http://www.ttnews.com/articles/basetemplate.aspx?storyid=23714>, 21.05.10.

¹³ Vgl. E-Magazine Credit Suisse

[http://emagazine.credit-](http://emagazine.credit-suisse.com/app/article/index.cfm?fuseaction=OpenArticle&aoid=275733&lang=DE)

[suisse.com/app/article/index.cfm?fuseaction=OpenArticle&aoid=275733&lang=DE](http://emagazine.credit-suisse.com/app/article/index.cfm?fuseaction=OpenArticle&aoid=275733&lang=DE), 17.05.2010.

¹⁴ Vgl. Webseite Frankfurter Flughafen

http://www.frankfurt-airport.de/cms/default/rubrik/24/24621.daten_fakten-338969.html, 07.0.10.

(LHC), die 75 Prozent der Gesamttonnage am Flughafen umschlägt.¹⁵ Während der Pariser Flughafen Charles de Gaulle im Luftfrachtgeschäft von der französischen Post, FedEx und Air France Cargo dominiert wird.

Damit ein Flughafen für einen Integrator oder eine Cargo Fluglinie attraktiv ist, muss er einige wichtige Charaktermerkmale haben. Dabei ist die Nachtflugerlaubnis ein ausschlaggebender Faktor, weil der Transport von Gütern und die Abfertigung der Flugzeuge häufig in der Nacht stattfinden. Das hat den Vorteil, dass die Produkte am späten Nachmittag verladen werden können und am nächsten Morgen am Zielort verfügbar sind. Ferner sind eine große Lagerkapazität und ein schnelles und zuverlässiges Logistiksystem einige weitere wichtige Charaktermerkmale eines Frachtdrehkreuzes. Auch sollte die infrastrukturelle Anbindung des Flughafens ausgebaut sein. Optimal ist neben der Anbindung an den Straßenverkehr auch die Verbindung zum Seeweg. So wird z.B. der neue internationale Flughafen von Dubai über eine direkte und zollfreie Anbindung an den Seeverkehr verfügen.¹⁶ Hybride Transporte (Transporte mit unterschiedlichen Transportmitteln) werden dadurch attraktiver, und der Flughafen verschafft sich Wettbewerbsvorteile gegenüber den Konkurrenten.

2.4 Die Entwicklung des Luftfrachtgeschäftes

Der Bereich der Luftfrachtbeförderung wächst rasant. Allein in den Jahren 2000 bis 2007 ist der Markt um 38 Prozent gewachsen und bis 2013 wird mit einer Wachstumsrate von 6,2 Prozent p.a. weltweit gerechnet (2007).¹⁷ Die fortschreitende Globalisierung (zunehmende Anzahl an Expresszustellungen, JIT Produktion steigend, Erweiterung der EU), optimierte Umschlagprozesse an Flughäfen, größere Kapazitäten, ein höherer Technisierungsgrad und die damit verbundenen niedrigeren Preise stärken das Wachstum und lassen die Luftfracht längst nicht mehr als Nebenprodukt des Passage-Bereichs erscheinen. Dennoch ist der Markt sehr volatil und wird von vielen Einflussfaktoren bestimmt (Beispiel: Ölkrise, 11. September, Wirtschaftskrise, Hohe Exportraten aus Asien).¹⁸ Wie jedes andere Logis-

¹⁵ Vgl. Lufthansa Cargo Webseite,

<http://www.lufthansa-cargo.de/content.jsp?path=0,2,19131,19185,19192>, 01.06.2010.

¹⁶ Vgl. Spohr, 2008, S. 26.

¹⁷ Vgl. Spohr, 2008, S. 17.

¹⁸ Vgl. Spohr, 2008, S. 18.

tikunternehmen sind auch die Cargo Unternehmen vom Wachstum der Industrie abhängig. Aktuell ist es die Wirtschaftskrise, die einen erheblichen Einbruch im Luftfrachtgeschäft bewirkt hat. Der Umsatz der Lufthansa Cargo beispielsweise ist im Jahr 2009 um ein Drittel gesunken¹⁹. Aber auch die Asienkrise 1998 und der 11. September 2001 schaden der Entwicklung des Luftfrachtgeschäftes, während die Hochkonjunktur im Jahre 2004 der Branche zu einem erheblich Wachstum verhalf.

2.5 Hauptverkehrsströme des Luftfrachtverkehrs

Der Luftfrachtmarkt weltweit zeigt nach Abbildung 3 (2008), dass die Hauptverkehrsströme gemessen an der Entwicklung der Sendungstonnage, über Nordamerika, Asien und Europa laufen. Die Abbildung soll lediglich die Hauptverkehrsströme aufzeigen, wobei die Wachstumsraten aufgrund der weltweiten Wirtschaftskrise nicht mehr realistisch sind.

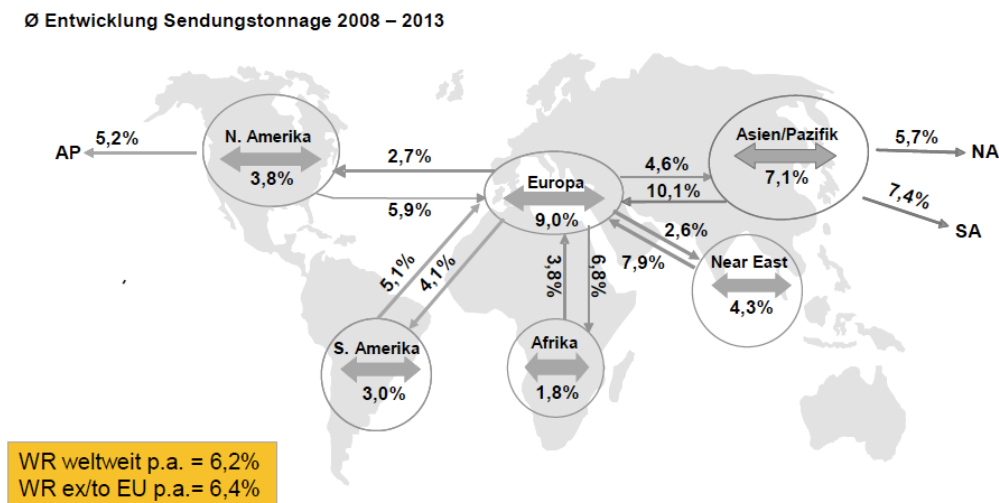


Abbildung 3: Hauptverkehrsströme der Luftfracht 2008-2013.²⁰

Der asiatische Kontinent wächst wirtschaftlich sehr stark, was sich auch im Luftfrachtgeschäft bemerkbar macht.²¹ Allein die Lufthansa Cargo bietet wöchentlich 53 reine Frachtflugverbindungen nach Asien an. Davon bedienen 31 Flüge Destinationen in China.²² In dieser Häufigkeit wird kein anderer Kontinent von der LHC bedient. Ähnlich ist der Flugplan bei den anderen analysierten Fluggesellschaften

¹⁹ Vgl. Lufthansa Cargo Webseite

<http://www.lufthansa-cargo.de/content.jsp?path=0,2,19132,93139,117873#>, 26.03.2010.

²⁰ Vgl. Spohr, 2008, Folie 17.

²¹ Vgl. Grandjot, 2007, S. 14 ff.

²² Vgl. Lufthansa Cargo Jahresbericht 2009, S. 14.

ausgerichtet (siehe Kapitel 6.). Für den weiteren Ausbau des Luftfrachttransportes hat die Lufthansa innerhalb eines Joint Ventures mit „Jade Cargo International“ ihr Netzwerk im asiatischen Raum ausgeweitet, um langfristig vom dortigen Wachstum zu profitieren.²³ Das hat den Vorteil, dass nun von Shenzhen, der Heimatbasis von Jade Cargo international, weltweit alle Ziele angefliegen werden können. Denn die Lufthansa Cargo allein hat als deutsches Unternehmen - nach dem internationalen Luftverkehrsabkommen - dafür nicht die Erlaubnis (siehe Kapitel 2.1).

Auch der Luftfrachtverkehr zwischen Amerika und Europa wird weiter wachsen: „Trotz der schwachen Weltwirtschaft ist die Nachfrage aus Europa nach Asien und die USA weiterhin stabil, und es wird mittelfristig wieder mit Wachstum gerechnet“, (Jahresbericht 2009 (S.12), Lufthansa Cargo). Ein besonderes Augenmerk fällt dabei auf Südamerika. Speziell im Zusammenhang mit der wirtschaftlich aufstrebenden Nation Brasilien und den einzigartigen Produkten (Beispiele: Zierfische, Kaffee und schnell verderbliche Lebensmitteln), die in den Rest der Welt exportiert werden, ist Südamerika ein sehr wichtiger Markt für die weltweite Cargoindustrie. Deshalb hat beispielsweise die Lufthansa Cargo Ihr Streckennetz hinsichtlich der Verbindungen nach Süd- und Mittelamerika erweitert.²⁴

Für Transporte nach Afrika und den Nahen Osten konnte die LHC im vergangenen Jahr ein Wachstum aufweisen im Unterschied zu allen anderen Flugrouten, wo Verluste verzeichnet wurden.²² Speziell die Air France legt mit der Anzahl der wöchentlichen Flüge einen besonderen Schwerpunkt auf den afrikanischen Markt (siehe Kapitel 6.3).

Zusammenfassende Betrachtung

Zusammenfassend grenzt sich der Luftfrachtmarkt mit seinen Eigenschaften deutlich von anderen Transportmitteln wie der Bahn, dem Schiff oder dem Lkw ab. Der Warenwert, der sichere Transport, sowie die zeitliche Komponente sind wichtige Faktoren in der Luftfracht und machen den Unterschied zu anderen Transportmitteln deutlich.

Wie jedes andere Logistikunternehmen auch, ist die Luftfracht sehr abhängig von dem Wachstum der Industrie. Auch wenn die Wachstumsprognosen hoch sind, ist der Luftverkehr sehr volatil. Jüngst erlebte die Cargoindustrie diese Abhängigkeit

²³ Vgl. Lufthansa Cargo Planet 2/2006.

²⁴ Jahresbericht, Lufthansa Cargo, 2009, S. 13.

aufgrund der weltweiten Wirtschaftskrise. Im Jahr 2009 weltweit verbuchten alle Airlines zusammen einen Verlust von 8 Mrd. US \$.²⁵

²⁵ Experteninterview Lufthansa Cargo, Nils Haupt (Leiter der Unternehmenskommunikation).

3. Flugliniennetzwerke

Dieses Kapitel behandelt als zentrales Problem die Definition von Flugliniennetzwerken mit Fokus auf dem Hub-and-Spoke System.

Eine wichtige Voraussetzung für eine effektive zeitliche Abstimmung der Flüge an den großen Luftfrachtdrehkreuzen ist die Nutzung eines „Hub and Spoke“ Netzwerkes durch die Fluggesellschaften. Nur dadurch kann eine Fluglinie konkurrenzfähig beim Aufbau eines globalen Flugnetzwerkes bleiben. Dennoch existieren neben dem Hub-and-Spoke System zahlreiche andere Varianten von Flugnetzwerken. Daher werden in diesem Kapitel neben einer Einführung in das Thema Hub-and-Spoke, Ansätze zur Definition von Flugliniennetzwerken erläutert. Mit Fokus auf die noch folgende Analyse ist das Kapitel auf die Diskussion des räumlichen und zeitlichen Ansatzes beschränkt.

Nach einem kurzen geschichtlichen Abriss über die Entwicklung der gesetzlichen Rahmenbedingungen, welche die Entstehung von zahlreichen Flugliniennetzwerken beeinflusst haben, folgt die Definition des Hub-and-Spoke Systems. Hierbei werden die Vor- und Nachteile des Systems gegenübergestellt und seine Popularität deutlich gemacht. Der Erfolg eines Flugliniennetzwerkes beruht jedoch nicht nur auf *einem* System. Aus diesem Grund wird im nächsten Schritt zusätzlich ein Ansatz von Guillaume Burghouwt erläutert, der wichtige Charakter Merkmale für die Definition von Flugliniennetzwerken aufzeigt. Das Kapitel schließt mit einer Betrachtung der Aspekte, die einen Hub zum „Global Player“ im Luftfrachtgeschäft machen können.

3.1. Die historische Entwicklung von Flugliniennetzwerken

Nach dem Ende des Ersten Weltkrieges im Jahr 1919 beschlossen die Alliierten Siegermächte, dass jeder europäische Staat die volle Souveränität in seinem Luftraum bekommen sollte. Diese Entscheidung förderte die Entstehung nationaler Fluglinien, die stark national gelenkt und subventioniert wurden.

Erst 1978 mit der Deregulierung des amerikanischen Luftverkehrs (Open Sky Agreement) bekamen die Fluggesellschaften mehr Freiheiten bei der Allokation ihrer Ressourcen hinsichtlich der zwei Aspekte Zeit und Luftraum. Die Möglichkeiten des Wettbewerbs über Ticketpreise, Flugfrequenzen, Service Levels und Flugnetz-

werke waren gegeben.²⁶ Weitere Vereinbarungen zur Deregulierung des Flugverkehrs folgten im Jahre 1984 und 1992 (Vereinigtes Königreich - Niederlande 1984, Vereinigte Staaten von Amerika - Niederlande 1992).

Durch die Deregulierung der Luftverkehrsmärkte entwickeln sich zwei reine Netzwerkstrategien, die sich bis heute durchgesetzt haben:

1. „Hub-and-Spoke Netzwerk“
2. Intensivierung der „Point-to-Point“ Verbindungen durch Low-Cost Carrier²⁷

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem „Hub-and-Spoke Netzwerk“, welches die Grundlage der Analyse ist und im nächsten Kapitel definiert wird.

Diese Art dieses Flugnetzwerkes wurde erstmals 1978 kommerziell von American Airlines und Northwest Airlines in den U.S.A. eingeführt. Es folgten weitere große Fluglinien in Amerika und als in Europa von 1987 bis 1993 in drei Liberalisierungsstufen der Luftverkehr dereguliert wurde, kam auch hier bei den internationalen Fluglinien das Hub-and-Spoke Netzwerk zum Einsatz.

Point-to-Point Verbindungen (direkte Verbindungen) werden vorwiegend von Low-Cost Carriern wie beispielsweise Ryanair, Easyjet und Germanwings angeboten. Allerdings sind diese Fluggesellschaften strategisch anders ausgerichtet und für die vorliegende Arbeit nicht von Bedeutung.

Neben den reinen Varianten existieren hybride Varianten von Flugliniennetzwerken. Hybride Netzwerke werden durch eine Mischung verschiedener Netzwerktypen charakterisiert. Ein Beispiel für ein hybrides Flugliniennetzwerk wäre die Mischung aus einem Hub-and-Spoke und Poin-to-Point System. Dies entspricht z.B. der Nutzung eines oder mehrerer Hub Flughäfen in Kombination mit Flugverbindungen zwischen Spoke Städten.

3.2. Definition des „Hub-and-Spoke Netzwerks“

Nach Wilhelm Pompl (2007) wird ein Hub-and-Spoke System wie folgt definiert: „Ein Hub-and-Spoke System ist ein nach dem Nabe und Speiche-System operierendes Streckennetz. Die einzelnen Fluglinien sind speichenartig um einen als Drehscheibe fungierenden zentralen Flughafen (Hub) angeordnet, der die Passagier-

²⁶ Vgl. U.S. Department of State <http://www.state.gov/e/eeb/tra/ata/>, 05.01.10.

²⁷ Vgl. Burghouwt, 2007, S.1 ff.

ströme bündelt und sie auf Anschlussflüge neu verteilt.“ Diese Hub-Bildung führt zu einer Konzentration der Flüge auf einige wenige ausgewählte Flughäfen. So entfallen weltweit 77 Prozent des Passagiervolumens auf nur 32 Flughäfen.²⁸

Die Anforderungen, die an einen Hub gestellt werden sind vielfältig:²⁹

- Hohe Kapazitäten, so dass möglichst viele Flugzeuge parallel abgefertigt werden können
- Kurze Transitzeiten für Passagier und Fracht
- 24 Stunden, 365 Tage im Jahr verfügbar
- Ein großes Einzugsgebiet
- ein leistungsfähiges Logistikzentrum für den Frachtbereich, damit die Umschlags- und Verladezeiten gering bleiben.

Diese sehr bedeutsamen Punkte werden auch in der Zukunft eine wichtige Rolle hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit eines Großflughafen spielen.³⁰

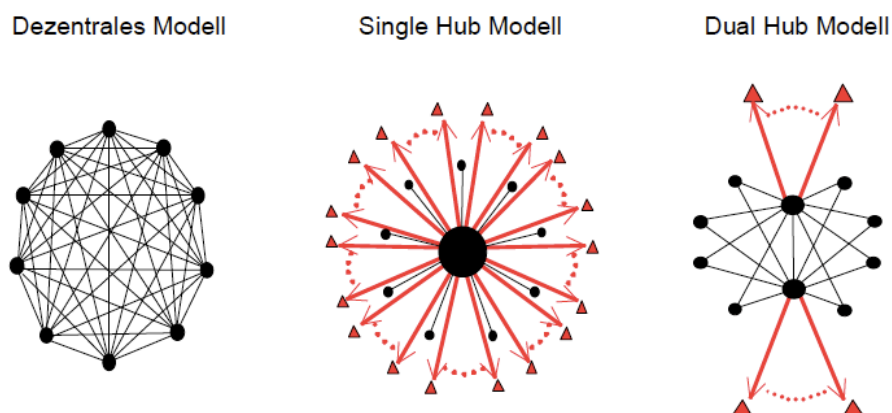


Abbildung 4: Hub Modelle.³¹

In Abbildung 4 sind die wichtigsten Netzwerkstrategien des Luftverkehrs gegenübergestellt. Während das dezentrale Modell der Low-Cost Carrier ausschließlich aus „Point-to-Point“ Verbindungen besteht, präsentiert das Single Hub Modell das klassische Hub-and-Spoke System. Zubringerflüge werden an einem zentralen

²⁸ Vgl. Gordon, 2006, S. 30.

²⁹ Vgl. Littek, 2006, S. 32.

³⁰ Vgl. Spohr, 2008, Folie 29.

³¹ Vgl. Kindelbacher, 2008, S. 30.

Flughafen gebündelt, so dass der weitere Transfer zu weltweiten Flügen mit einer größeren Kapazität und Frequenz möglich ist.

Das Dual Hub Modell ist eine Ergänzung zum klassischen Hub Modell, bei dem neben dem heimischen Hub für eine Fluglinie beispielsweise noch ein weiterer Hub in einem anderen Land existiert, von dem aus die Luftfracht auf Zubringerflüge in die Region verteilt werden kann.

Ein Hub ist gewöhnlich die Heimatbasis einer Fluglinie und bildet das Zentrum ihres Streckennetzes. So ist Frankfurt die Heimatbasis der Lufthansa, London Heathrow die der British Airways, Paris Charles de Gaulle die der Air France usw. Hubs etablieren sich meist aufgrund der Anzahl von „Slots“ die einer Fluglinie zur Verfügung stehen. „Slots“ sind Zeitfenster, in denen eine Fluglinie die Erlaubnis zum Landen und Starten hat. Diese Zeitfenster werden vergeben, sobald der Flughafen Kapazitätsengpässe aufweist,³² was für Hubs sehr häufig der Fall ist. Auf die Vergabe von Slots haben vor allem nationale Interessen einen großen Einfluss. Je mehr Slots eine Fluglinie akquirieren kann, desto mehr Dominanz zeigt sie am Flughafen.

Vor- und Nachteile eines Hub-and-Spoke Systems

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Die Fluggesellschaft kann ihr Geschäft bündeln und von Synergieeffekten profitieren. Wartung, Catering, Flugzeugabfertigung etc. können zentral organisiert werden. Die Auslastung der Flüge ist durch die Bündelung der Fracht höher • Die Kosten pro Sitzplatzkilometer der Fluglinie sinken, was in einer Preissenkung enden kann 	<ul style="list-style-type: none"> • Transferverbindungen verlängern die Reisezeit und vermindern den Reisekomfort • Durch die Dominanz einer Fluggesellschaft an einem Hub entsteht verminderter Wettbewerb, was in zu höheren Flugpreisen führen kann • Durch die zeitweilige Überlastung der Flughafenkapazität können Verspätungen aufkommen, die sich fortpflanzen

³² Vgl. Lufthansa Politikbrief 2008.

<ul style="list-style-type: none"> • Dem Kunden kann eine höhere Frequenz von Flügen geboten werden und die Erweiterung des Streckennetzes ist möglich • Größere Marktausschöpfung, weil auch kleine Städte angeflogen werden können • Durch die Dominanz an einem Hub wird die Fluggesellschaft schwer angreifbar für Konkurrenten • Das Hub-and-Spoke System ist ökonomischer, da eine Vielzahl von direkten Verbindungen ersetzt wird • Ökologisch sinnvoll, weil die Auslastung der Flugzeuge, durch die Bündelung der Passagiere an einem Flughafen, besonders auf den Langstrecken besser ist. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ökologisch aufgrund vieler Flugverbindungen nicht effizient.
---	--

Tabelle 2: Vor- und Nachteile von Hubs.³³

Aufgrund der Dominanz der Vorteile sind die Fluggesellschaften von dem Hub-and-Spoke System überzeugt. Die Konzentration verschiedener Einheiten (Catering, Wartung etc.), die Erweiterung des Streckennetzes und eine hohe Frequenz auf nachfrageintensiven Strecken sind deutliche Vorteile gegenüber dem Point-to-Point System. Häufig können indirekte Verbindung aufgrund kurzer Transitzeiten gut mit Point-to-Point Verbindungen konkurrieren, so dass direkte Verbindungen meistens nur noch auf wirtschaftlich rentablen Flugrouten existieren.

Jedoch muss bemerkt werden, dass es Flugverbindungen zwischen zwei Flughäfen über einen Hub Flughafen gibt, die aufgrund einer sehr langen Reisezeit nicht attraktiv genug für den Passagier sind. So würde z.B. ein Passagier für die Strecke zwischen Frankfurt und Buenos Aires einen Direktflug wählen, weil ein möglicher Transit am Hub Flughafen New York zu viel Zeit in Anspruch nimmt. Daraus folgt,

³³ Vgl. Littek, 2006, S.12-13.

dass ein Hub-and-Spoke System für Routen nur dann als sinnvoll erachtet wird, wenn

- die Spoke Flughäfen möglichst weit auseinander liegen. Beispielsweise nimmt ein Flug von Bremen nach München über den Hub Frankfurt zuviel Zeit in Anspruch, so dass ein direkter Flug vorteilhafter sein könnte.
- der „Umweg“ über einen Hub Flughafen besonders im Fall von zwei weit auseinander liegenden Reisezielen nicht zu groß ist. Beispielsweise ist ein Transit in Frankfurt von Mumbai nach New York akzeptabel, weil der Zwischenstopp keinen großen „Umweg“ erfordert. Während ein Zwischenstopp in New York zwischen Buenos Aires und Frankfurt deutlich mehr Reisezeit gegenüber einer direkten Verbindung in Anspruch nehmen würde.

Diese Bedingungen treffen jedoch verstärkt auf den Passagierverkehr zu, weil das Argument der „verlängerten“ Reisezeit im Cargobereich nicht immer zutrifft. Die Gründe dafür werden im Kapitel 4.4 erläutert.

3.3. Ansätze zur Klassifizierung von Flugliniennetzwerken

Zur eindeutigen Klassifizierung von Flugliniennetzwerken nutzt Guillaume Burghouwt in seinem Buch „Airline Network Development in Europe and its implications for Airport Planning“ einen Ansatz, der auf zwei Komponenten beruht. Zunächst ging der Ansatz aus der räumlichen Komponente hervor. Diese kann in der Literatur in theoretischen Graphenstudien, Hub Lokalisierungsmodellen und in Konzentrations- und Streuungsmodellen gefunden werden.³⁴ Dabei ist das primäre Ziel des räumlichen Ansatzes die Flugbewegungen an einem Flughafen zu bestimmen/bewerten. Für eine eindeutige Klassifikation von Flugliniennetzwerken reichte dieser Ansatz nach G. Burghouwt nicht aus.³⁵ Daher wurde sich auf eine zweite Komponente, den zeitlichen Ansatz konzentriert.

Im Gegensatz zum räumlichen Ansatz ist der zeitliche Ansatz noch recht jung und erst unlängst von der wissenschaftlichen Luftfahrt-Literatur erschlossen worden. Dieser Ansatz beschäftigt sich mit der zeitlichen Abstimmung von Flügen inner-

³⁴ Vgl. Burghouwt, 2007, S.7.

³⁵ Vgl. Burghouwt, 2007, S.9.

halb einer Verkehrswelle. Eine Verkehrswelle bündelt ankommende und abgehende Flüge, so dass die Transitzeiten möglichst gering bleiben. Das Ziel der zeitlichen Abstimmung von Flügen ist, die Transferzeit am Flughafen so kurz wie möglich zu gestalten, so dass ein indirekter Flug auf Basis der Reisezeit mit einem direkten Flug konkurrieren kann. Damit ist der zeitliche Ansatz für diese Arbeit von hoher Bedeutung, weil die Grundvoraussetzung für die Analyse der zeitlichen Konnektivität an Flughäfen mit dem Ansatz geschaffen wird.

Im Folgenden werden beide Ansätze kurz vorgestellt:

3.3.1 Der räumliche Ansatz

Der räumliche Ansatz bezieht sich nach Guillaume Burghouwt auf unterschiedliche Untersuchungen in der Literatur. Dabei ist das primäre Ziel, die Konzentration von Flugbewegungen an einem Flughafen zu bestimmen und zu bewerten.

Die Untersuchung des räumlichen Ansatzes begann mit der Graphentheorie, wo erste Flugnetzwerke definiert und beschrieben wurden. Später konzentrierten sich die Forschungen auf die Analyse von Netzwerken im Falle einer Fusion von Fluglinien oder der Bildung von Flugallianzen. Während die Graphentheorie hauptsächlich der Beschreibung von Modellen diente, arbeiteten die Wissenschaftler an Hub Modellen mit Fokus auf dem Hub-and-Spoke System und der Aufgabe, Hub Flughäfen intelligent zu lokalisieren. Dabei bestand die Herausforderung in der Minimierung der gesamten Transportkosten.

Die Einrichtung eines Hub Flughafens bedeutet, dass eine hohe Konzentration von Flugbewegungen auf einen oder mehrere Flughäfen (Hubs) im Flugliniennetzwerk entfällt. Das Messen und Bewerten dieser Konzentrationen ist mittlerweile der primäre Ansatz zur Diskussion der räumlichen Komponente. Für das Messen von Konzentrationen werden statistische Größen, wie der Gini oder der Herfindahl Index verwendet. Während der Herfindahl Index ein Maß für Marktkonzentrationen ist, ist der Gini Index eine Kennzahl für Ungleichverteilungen. Ein Beispiel für Ungleichverteilungen, ist ein kleines Einzugsgebiet bei einer Konzentration von Flugbewegungen eines Flughafens.³⁶

Die genannten Analysen diskutieren alle den räumlichen Ansatz. Dabei geht es um einen effizienten Aufbau eines Flugliniennetzwerkes und die Lokalisierung eines

³⁶ Vgl. Burghouwt, 2007, S.8-9.

Hub Flughafens, der ein großes Einzugsgebiet, sowie günstige Transportmöglichkeiten zu einer Vielzahl von Destinationen aufweist.

3.3.2 Der zeitliche Ansatz

Neben der sinnvollen räumlichen Allokation eines Hubs ist die zeitliche Abstimmung der Flüge von erheblicher Bedeutung. Das primäre Ziel dieses Ansatzes ist es zu analysieren, wie ankommende und abgehende Flüge an einem Hub Flughafen aufeinander abzustimmen sind. Im Fall einer indirekten Flugverbindung über einen Hub Flughafen sollte der Transitaufenthalt eines Passagiers oder Frachtgutes so kurz wie möglich sein. Es geht darum, dass Fluglinien eine möglichst hohe Anzahl an indirekten Verbindungen über ihren Hub in ihre Flugpläne aufnehmen. Diese Flugverbindungen sollten gewisse Qualitätskriterien erfüllen, welche später speziell für die Luftfracht noch erläutert werden (siehe Kapitel 5.1.2). Die Herausforderung des zeitlichen Ansatzes liegt in der Minimierung der zusätzlichen Transferzeiten eines indirekten Fluges (A-B-C), in diesem Falle über den Hub B, gegenüber einem direkten Flug (A-C) (siehe Abbildung 5). Dabei ist es das Ziel, die Transitperiode für die Fracht so kurz wie möglich zu gestalten, so dass ein direkter Flug zeitlich und kostenmäßig keine Alternative darstellt.

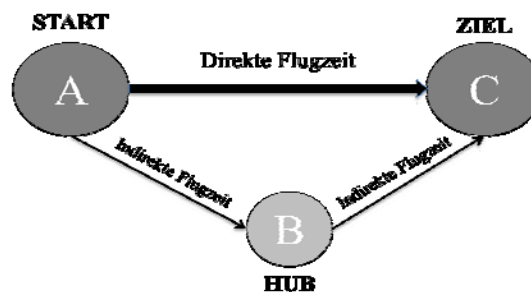


Abbildung 5: Direkte- versus indirekte Verbindung.³⁷

Zwei wichtige Faktoren, die unmittelbaren Einfluss auf die Anzahl und die Qualität indirekter Verbindungen haben, sollten schon jetzt erwähnt werden:

1. Die Anzahl indirekter Verbindungen an einem Hub lässt sich nur über die direkten Verbindungen des Flughafens berechnen. Das ermöglicht die Formel

$$\text{mel } \frac{n * (n - 1)}{2}, \text{ wobei } n \text{ die Spokes des Hubs sind.}$$

³⁷ Eigene Darstellung.

2. Entscheidend ist die Transferzeit an einem Hub. Diese sollte wegen der Bodenprozesse eine Mindestdauer nicht unter- und eine Maximaldauer nicht überschreiten. Dies ist für den Passagierflugverkehr bedeutsamer, als für die Fracht. Bei der Erläuterung des Modells wird dieser Punkt vertieft (siehe Kapitel 5).³⁸

Für die optimale Koordination der Flugpläne ist die zeitliche Komponente ein wichtiger Faktor, da insbesondere im Passagierverkehr Transitzeiten minimiert werden müssen, um die Reisezeit trotz Transit so klein wie möglich zu halten. Besonders für internationale Drehkreuze bekommen Flugpläne, daher sehr häufig eine bestimmte Struktur: Die Verkehrswellenstruktur.

3.3.3 Die Verkehrswellenstruktur (engl. Wave-System Structure)

Eine Verkehrswelle ist eine komplexe Folge ankommender und abgehender Flüge, mit dem Ziel ankommenden und abgehenden Flügen einen Transit von Passagieren und Fracht zu ermöglichen.³⁹ Im Flugplan ist dies sehr gut anhand von zwei dicht aufeinander folgenden Peaks abgehender und ankommender Flüge zu erkennen. Abbildung 6 illustriert ein Beispiel der Verkehrswellenstruktur der Lufthansa am Flughafen München. Die vier Peaks entsprechen vier Verkehrswellen. Auf die erste Welle (6Uhr-7.48Uhr⁴⁰) abgehender Flüge (engl. Departures) folgt ein kleiner Peak ankommender Flüge (engl. Arrivals), so dass die ankommenden Passagiere den nächsten Peak abgehender Flüge nutzen können. Diese Struktur wiederholt sich mehrfach und garantiert für den Passagier und die Fracht kurze Transitzeiten.

³⁸ Vgl. Burghouwt, Jaap de Wit, 2005, S. 186 ff.

³⁹ Vgl. Bootsma, 1997.

⁴⁰ In der Grafik wurden die Uhrzeiten ins Dezimalsystem konvertiert, so dass 780Uhr 7.48Uhr entspricht.

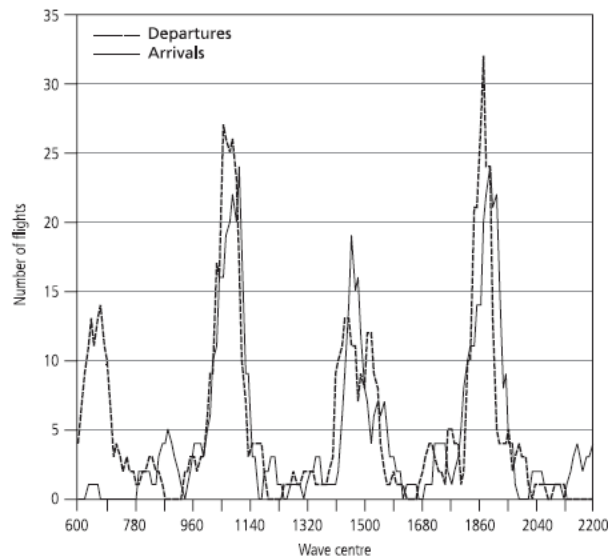


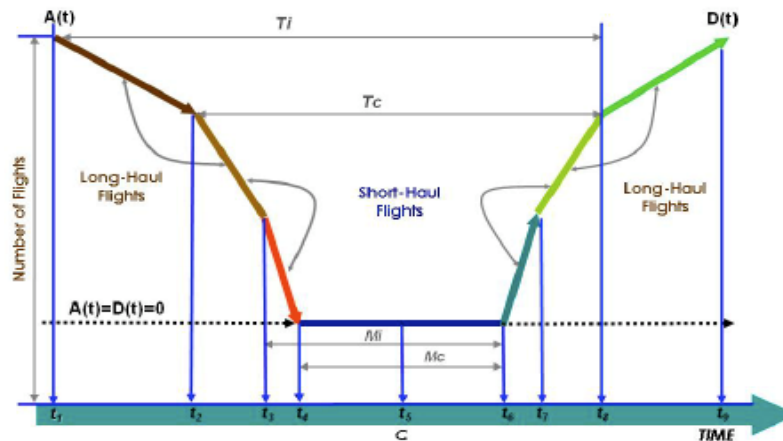
Abbildung 6: Verkehrswellenstruktur der Lufthansa (Passage) am Flughafen München 1999.⁴¹

In der Theorie besteht nach Bootsma (1997) eine Verkehrswellenstruktur aus der Anzahl und der Struktur der individuellen Verkehrswellen und der zeitlichen Abstimmung dieser Wellen aufeinander. Dabei beschreibt die Anzahl der individuellen Verkehrswellen die Peaks ankommender und abgehender Flüge, die jeweils eine eigene Struktur aufweisen. Drei Faktoren bestimmen die Struktur einer Verkehrswelle:

- Die minimale Verbindungszeit (engl. Connecting Time) für kontinentale und interkontinentale Flüge
- Die maximale Verbindungszeit für kontinentale und interkontinentale Flüge
- Die maximale Anzahl an Flügen, die pro Zeitperiode eingeplant werden können

Ziel einer Verkehrswelle ist es, die Verbindungsmöglichkeiten an einem Hub Flughafen zu maximieren, so dass Ware und Passagiere von jedem ankommenden Flug zu jedem abgehenden Flug transferiert werden können.

⁴¹ Vgl. OAG Datenbank (1999).



$$t_1=C-T+(1/2)Tc ; t_2=C-(1/2)Tc ; t_3=C-Mi+(1/2)Mc ; t_4=C-(1/2)Mc ; t_5=C ;$$

$$t_6=C+(1/2)Mc ; t_7=C+Mi-(1/2)Mc ; t_8=C+(1/2)Tc ; t_9=C+Ti-(1/2)Tc$$

A(t) = number of flights that still have to arrive at the hub at time t;

D(t) = number of flights that still have to depart from the hub at time t;

C = Wave Center,

Mi = minimum connecting time for long-haul flights;

Mc = minimum connecting time for short-haul flights;

Ti = maximum connecting time for long-haul flights;

Tc = maximum connecting time for short-haul flights

Source: Bootsma (1997)

Abbildung 7: Theoretischer Aufbau einer Verkehrswelle.⁴²

Abbildung 7 zeigt das theoretische Modell einer Verkehrswelle, die ankommende und abgehende Flüge beinhaltet. In der Praxis entspricht dieses Modell zwei leicht versetzten Peaks ankommender und abgehender Flüge im Flugplan (siehe Abbildung 6). In dieser Struktur werden die Flüge in einem definierten Zeitraum gebündelt. Dieser Zeitraum wird über die Verbindungszeiten jedes Flughafens individuell bestimmt. Der Transitaufenthalt ist aufgrund der infrastrukturellen Gegebenheiten und der Größe für jeden Flughafen unterschiedlich. Nach dem theoretischen Modell ergeben sich Zeitfenster in denen die ankommenden und abgehenden Flugzeuge, sortiert nach interkontinentalen und kontinentalen Flügen starten, und landen dürfen:

	Ankommend	Abgehend
Interkontinental	$T_1 - T_3$	$T_7 - T_9$
Kontinental	$T_2 - T_4$	$T_6 - T_8$

⁴² Vgl. Bootsma, 1997.

Für kontinentale Flugverbindungen wird generell eine kürzere Transitzeit veranschlagt, weil die Abfertigungszeiten kürzer sind, als die der interkontinentalen Flugverbindungen.

Der Zeitraum von T_4 bis T_6 ist die minimale Transferzeit. In dieser Zeit ist kein abgehender oder ankommender Flug vorgesehen, weil ein Transfer unterhalb der minimalen Transferzeit für Kurzstreckenflüge (M_c) nicht möglich ist. Es gilt, eine Abstimmung zu finden zwischen der maximalen Verbindungszeit und der Anzahl der Flüge, die in einer Welle abgefertigt werden sollen ($A(t) + D(t)$). Die maximale Transferzeit beschränkt die Verkehrswelle hinsichtlich Ihrer Ausbreitung. Zudem hat jeder Flughafen nur eine maximale verfügbare Kapazität an Slots, so dass eine Verkehrswelle hinsichtlich Ihrer Größe beschränkt ist. Die Möglichkeit weitere Flüge an den Rand der Welle zu platzieren ist zwar immer gegeben, nur bedingt dies längere Wartezeiten von Passagieren und Fracht. Diese sind ab einem gewissen Grenzwert zumindest im Passagierverkehr nicht mehr akzeptabel.

Viele internationale Fluggesellschaften nutzen nach Analysen von G. Burghouwt drei bis sechs Verkehrswellen täglich an Ihren Hub Flughäfen.⁴³ Je nach Häufigkeit variiert die Anzahl an Flugbewegungen in einer Verkehrswelle.⁴⁴ Je mehr Wellen pro Tag geplant werden, desto weniger Flugbewegungen können pro Welle stattfinden unter der Annahme, dass die Gesamtzahl der Flüge konstant bleibt.

Aufgrund einiger störender Faktoren ist es schwierig das theoretische Modell praktisch an einem Hub umzusetzen:

- Einige Zubringerflughäfen (Spokes) befinden sich zu nah oder zu weit vom Hub entfernt, um in die Struktur der Verkehrswelle zu passen. Diese Flüge werden außerhalb der Welle platziert. Beispielsweise würde die Platzierung der Flugroute Bremen – München über den Hub Frankfurt in einer Verkehrswelle nicht effizient sein, weil beide Flughäfen sich zu nah am Hub befinden und der Passagier aufgrund der Reisezeit den direkten Flug bevorzugen würde.
- Umwelt- und Kapazitätsbeschränkungen können ein Problem sein

⁴³ Vgl. Burghouwt, 2005, S. 193.

⁴⁴ Vgl. Burghouwt, 2007, S.84.

- Nicht alle Fluglinien nutzen eine Verkehrswellenstruktur.⁴⁵ Beispielsweise nutzen Low Cost Carrier hauptsächlich Point-to-Point Verbindungen. In diesem Fall hat die Implementierung einer Verkehrswellenstruktur keine positiven Auswirkungen auf die Routenplanung.

Auch wenn in der Literatur noch darüber diskutiert wird, ob der zeitliche Ansatz so bedeutsam ist, berücksichtigen viele internationale Fluglinien die Verkehrswellenstruktur an ihren Drehkreuzen (siehe Kapitel 5). Die Verkehrswellenstruktur ergibt sich heutzutage mit der Nutzung eines Hub Flughafens, weil momentan keine effizientere Flugplanung existiert. Auch die Praxis zeigt, dass das Angebot und die Qualität indirekter Verbindungen nur mit Hilfe einer effizienten Struktur im Flugplan maximiert werden können.

3.4. Definition von Flugliniennetzwerken

Nach der Erläuterung des räumlichen und zeitlichen Ansatzes ist offensichtlich, dass ein Flugliniennetzwerk unterschiedliche zeitliche und räumliche Konzentrationen aufweisen kann. Zwei extreme Netzwerkkonfigurationen stechen dabei hervor: Das Hub-and-Spoke und das Point-to-Point System. Bezogen auf den räumlichen Ansatz, weist ein Hub-and-Spoke System eine hohe räumliche Konzentration auf, weil viele Flugbewegungen auf einen oder mehrere Hub Flughäfen im Flugliniennetzwerk entfallen. Im Gegensatz dazu, hat das Point-to-Point System keine räumliche Konzentration vorzuweisen. Vielmehr stellt sich das System entflochten dar. Auch aus der zeitlichen Perspektive zeigt das Point-to-Point System keine hohen Konzentrationen, die sich nicht in Form von Wellen konzentrieren, sondern „willkürlich“ festgelegt sind. Auf der anderen Seite zeigt das Hub-and-Spoke System an Hub Flughäfen, in Form der Verkehrswellen und den daraus resultierenden Peaks im Flugplan eine hohe zeitliche Konzentration. Neben den beiden genannten Netzwerktypen existiert eine Vielzahl von Varianten. Auch wenn beide Systeme unter den Fluglinien die Favoriten sind basiert ein internationales Flugliniennetzwerk (ausgenommen Low Cost Carrier) nur selten auf einem reinen Netzwerktyp. Meist werden neben einem Hub-and-Spoke System auch direkte Verbindungen zwischen Spokes angeboten, wenn diese Strecken wirtschaftlich rentabel sind. Weiterhin existieren neben direkten Verbindungen auch Stop-over Flüge. Das fina-

⁴⁵ Vgl. Bootsma, 1997.

le Ziel wird dabei über eine oder mehrere Zwischenlandungen erreicht. Speziell die Routen der Frachtflugzeuge basieren auf diesem Prinzip (siehe Kapitel 5.2). Daher entspricht ein Flugliniennetzwerk selten einer reinen Form eines Netzwerktyps. Vielmehr existieren besonders im Fall von großen internationalen Fluggesellschaften hybride Varianten, die aus mehreren Netzwerktypen bestehen.

Natürlich gibt es neben dem zeitlichen und räumlichen Faktor auch noch viele weitere Faktoren, welche die Planung eines Netzwerkes determinieren. Jedoch basiert die Analyse der Konnektivität von Frachtflügen nur auf räumlichen und zeitlichen Ansätzen.⁴⁶ Auf die Beschreibung weiterer Ansätze wird aus Gründen des Umfangs der Arbeit verzichtet.

3.5 Eine Gesamtbetrachtung der beiden Aspekte - Was macht einen Hub zum Global Player?

Ein Hub Flughafen muss sich immer mit anderen Flughäfen in seinem Segment messen. Jeder Flughafen verfolgt unterschiedliche Interessen und richtet danach sein Angebot an die Fluggesellschaften aus.

Kurze Transferzeiten, hohe Flugfrequenzen und große Kapazitäten im Frachtverkehr sind wichtige Charaktermerkmale eines Flughafen Hubs. Bezogen auf den räumlichen Ansatz sollte ein Hub Flughafen intelligent im Flugliniennetzwerk lokalisiert sein, so dass eine große Anzahl an Destinationen effizient bedient werden kann. Dies bedingt eine hohe Konzentration der Flugbewegungen. Aus Sicht des zeitlichen Ansatzes ist nach den Analysen von G. Burghouwt eine Verkehrswellenstruktur unersetzlich für eine Fluglinie an ihrem Heimatflughafen. Durch diese Struktur werden kurze Transferzeitenzeiten garantiert und in einem kleinen Zeitraum eine große Anzahl an Flugverbindungen generiert. Dies ermöglicht der Fluggesellschaft ein hoch effizientes Flugnetzwerk zu offerieren, welches wirtschaftlich und ökologisch ist.

Neben der Betrachtung der zwei Ansätze zur Definition von Flugliniennetzwerken existieren heutzutage noch eine Vielzahl weiterer Kriterien, die ein Hub Flughafen für das Cargo Geschäft erfüllen sollte. Sehr wichtig ist der dauerhafte Betrieb 24 Stunden am Tag, an 365 Tagen im Jahr. Ansonsten ist die Gefahr von einer Abkopplung der internationalen Warenströme gegeben, so dass viele Fluglinien auf an-

⁴⁶ Vgl. Burghouwt, 2007, S.12 ff.

dere Flughäfen ausweichen müssten. Die globale Logistik lebt davon, dass Güter tagsüber produziert und nachts geflogen werden.⁴⁷

Weiterhin muss ein Flughafen die nötige Infrastruktur mit großen Lager- und Abfertigungskapazitäten, sowie einer guten Verkehrsanbindung anbieten.⁴⁸ Ein neues Angebot ist der kombinierte Transport über den Luft- und Seeweg. Hierfür sind Flughäfen, wie in Dubai oder in Seoul direkt mit dem Hafen verbunden. Dadurch können Zeit gegenüber dem regulären Seeweg und Kosten gegenüber dem Luftweg eingespart werden.⁴⁹

Zusammenfassende Betrachtung

Nach der Deregulierung des Luftverkehrsmarktes, beginnend in den Vereinigten Staaten von Amerika und gefolgt von Europa, begannen die Fluglinien ein Hub-and-Spoke Netzwerk an ihren großen Drehkreuzen zu implementieren. Dieses System hat sich aufgrund der hohen Frequenz auf den Routen und der relativ kurzen Transferzeiten durchgesetzt. So konnten die Fluglinien ihren Service verbessern und vor allem die Flugpreise senken, bei steigender Auslastung der Maschinen. Wegen der räumlichen- und zeitlichen Konzentration hat sich überwiegend das Hub-and-Spoke System bei den internationalen Fluglinien etabliert. Der zeitliche Ansatz spiegelt sich in der Verkehrswellenstruktur wieder, die eine präzise Flugplanung voraussetzt und eine maximale Anzahl indirekter Verbindungen in einem vordefinierten Zeitfenster offeriert. Tatsächlich nutzen Fluglinien häufig eine Mischung von Netzwerksystemen (Hybride Flugliniennetzwerke), da zwischen einigen „Spoke“ Städten auch eine direkte Verbindung sehr sinnvoll sein kann, wenn die Auslastung der Flugzeuge groß genug ist (Beispiel: Köln - Berlin). Auch wenn die Spoke Städte zu nah oder zu weit vom Hub entfernt liegen ist eine direkte Verbindung gegenüber einer indirekten vorzuziehen. Daher basieren die meisten Flugpläne internationaler Fluggesellschaften auf einem hybriden Flugliniennetzwerk.

⁴⁷ Vgl. Jahresbericht Lufthansa Cargo, 2009, S. 19.

⁴⁸ Vgl. Grandjot, 2007, S. 134.

⁴⁹ Vgl. Grandjot, 2007, S. 206.

4. Unterschiedliche theoretische Ansätze

Wie im letzten Kapitel erläutert, sind die Flugpläne internationaler Fluggesellschaften oft in Verkehrswellen unterteilt, die eine hohe Konnektivität an den Flughäfen ermöglichen. Zur Berechnung der Konnektivität an Großflughäfen existieren mehrere theoretische Ansätze. Mithilfe dieser Ansätze werden Flugpläne auf die Abstimmung ihrer Flüge an internationalen Flughäfen analysiert.

Hierfür werden im Folgenden zwei theoretische Ansätze untersucht und gegenübergestellt: Das Netscan Modell und dessen Vorgängermodell, das WNX Modell (Anzahl indirekter Verbindungen). Beide Modelle basieren auf der Forschung des „Amsterdam Aviation Economics (AAE)“⁵⁰ Institutes. Bisher existieren die Modelle und Analysen in der Literatur für den Passagierverkehr.

Im letzten Abschnitt werden die Unterschiede zwischen Luftfrachtverkehr und dem Passagierverkehr erörtert. In diesem Zusammenhang wird die Frage geklärt, ob eine Anpassung der Modelle erforderlich ist.

4.1 Weighted Indirect Connection (WNX)

Das WNX Modell basiert auf Forschungen von Bania (1998), Bootsma (1997), Denis (1994) und Veldhuis (1997). Das Modell bewertet eine indirekte Flugverbindung über einen Hub Flughafen gegenüber einer direkten Flugverbindung. Mathematisch wird das Modell wie folgt beschrieben:⁵¹

$$WI = \frac{2,4 * TI + RI}{3,4}$$

$$TI = 1 - \frac{1}{T_j} * T_h \quad \text{mit } T_h > M_{ij} \text{ und } TI = 0 \text{ wenn } T_h > T$$

$$RI = 1 - (2\frac{1}{2}R - 2\frac{1}{2})$$

$$R = \frac{IDT}{DTT} \quad \text{mit } 1 \leq R \leq 1,4 \text{ und } RI = 0 \text{ wenn } R > 1,4$$

WI = gewichtete indirekte Verbindung
(engl.: weighted indirect connection)

TI = Transfer Index, lineare Funktion der Transferzeit

⁵⁰ Vgl. Amsterdam Aviation Economic <http://www.aaeconomics.com>, 31.03.10.

⁵¹ Vgl. Bootsma, 2007 S. 70-71.

- (engl.: transfer Index)
- RI = Routenindex (Linear function of the routing factor)
- M_{ij} = min. Verbindungszeit für Verbindung j am Flughafen i
(engl.: minimum connection time for connection j at airport i)
- T_j = max. Verbindungszeit für Verbindung j
(engl. maximum connection time for connection j)
- T_h = Transferzeit am Hub (engl. Transfer time at hub)
- IDT = Flugzeit indirekte Verbindung
(engl.: Actual in-flight time, indirect connection)
- DTT = Geschätzte Flugzeit basierend auf der Great Circle Distance, direkte Verbindung (engl.: estimated in-flight time, direct connection based on Great Circle Distance⁵²)
- R = Routenfaktor (engl. Routing factor: ratio between estimated direct and actual indirect in/flight time)

In dem mathematischen Modell hängt die gewichtete Konnektivität (engl. weighted connectivity) (WI) von dem Transferindex (TI) am Hub und dem Verhältnis des indirekten zum direkten Flug auf Basis der Flugdauer ab (Routenindex (RI)). TI und RI sind lineare Funktionen der Flug- und Transferzeit. Die Zahl 2,4 in der Funktion ergibt sich aus der Annahme, dass ein Passagier die Transferzeit, als 2,4 Mal so lang empfindet, wie die reine Flugzeit.⁵³

Der Transferindex ist gleich 1, wenn die Transferzeit gleich 0 ist. Dieses Szenario ist nur bei einer direkten Flugverbindung ohne Transfer möglich. Umgekehrt ist der TI gleich null, wenn die Transferzeit größer als die maximale Verbindungszeit (T_j) ist, weil dann der Anschlussflug nicht erreicht werden kann. Desweiteren muss die Transferzeit immer größer als die minimale Verbindungszeit (M_{ij}) sein, weil ansonsten der Transfer am Flughafen nach den Modellparametern nicht durchführbar ist.

Beide Zeiten, sowohl maximale und minimale Verbindungszeit sind im Vorhinein als gegeben zu betrachten bzw. resultieren aus der Verkehrswellenstruktur. Häufig besteht die Möglichkeit, über die Verkehrswellenstruktur einer Fluglinie und die Verteilung der Wellen die Verbindungszeiten zu definieren. Der Zusammenhang

⁵² Die kürzeste Strecke zwischen zwei Punkten auf der Erde (aus dem engl.: Burghouwt, 2007).

⁵³ Vgl. Burghouwt, 2005, S.188 (Annahme von Burghouwt).

zwischen der Verkehrswellenstruktur und den Verbindungszeiten besteht darin, dass für die Nutzung von Verkehrswellen, minimale und maximale Verbindungszeiten definiert werden müssen. Die Fluglinie muss daher für die Gestaltung des Flugplanes die Transitzeiten an den jeweiligen Flughäfen berücksichtigen, so dass der Transit innerhalb des vorgegebenen Zeitraumes erfolgen kann.

Der Routenindex berechnet sich aus der indirekten Flugzeit (IDT), die sich aus den zwei Flugzeiten errechnet, sowie der direkten Flugzeit, die sich aus der Orthodrome⁵⁴ (engl. Great Circle Distance (GCD)) und der Fluggeschwindigkeit berechnet. Nach Bootsma (1997) wurde ein maximaler Routenfaktor von 1,25 für Passagierflüge angenommen. Hinzu werden noch 0,15 Prozentpunkte für die Start- und Landezeiten addiert. Daraus resultiert der Wert 1,4 für den Routenfaktor. Flugverbindungen, die über diesem Limit liegen, werden nicht mit in die Analyse einbezogen. Im folgenden Beispiel wird diese Rechnung verdeutlicht:

Beispiel: Die indirekte Flugzeit über einen Hub Flughafen beträgt 10 Stunden. Die direkte Flugzeit würde 8 Stunden betragen. Hinzuaddiert werden 0,15 Prozentpunkte für Start- und Landezeiten (s.o.).

$$\text{Routenfaktor} : \frac{10h}{8h} + 0,15 = 1,4$$

Wird der WI jeder einzelnen Verbindung über den Hub Flughafen aufsummiert ergibt sich der WNX. Dieser entspricht der Anzahl an indirekt gewichteten Verbindungen (engl.: Total number of weighted indirect connections). Gewichtet bedeutet in diesem Fall, dass die Verbindung immer relativ zu einer direkten Flugverbindung gewertet wird.⁵⁵

$$\mathbf{WNX} = \sum(\mathbf{WI})$$

Beispiel: Ein WI von 0,8 bedeutet, dass die indirekte Verbindung über einen Hub Flughafen einen Attraktivitätsverlust für den Passagier von 20 Prozent darstellt, aufgrund der verlängerten Reisezeit, die hauptsächlich aus dem Transit am Flugha-

⁵⁴ die kürzeste Verbindung zweier Punkte auf der Erde; sie ist ein Stück eines Kugelgroßkreises.

⁵⁵ Vgl. Burghouwt, 2007, S. 70 - 71.

fen resultiert. Werden die Attraktivitätswerte aufsummiert, so ergibt sich die Summe der gewichteten Transferverbindungen für einen Flughafen.

4.2 Das Netscan Modell

Das Netscan Modell ist eine Weiterentwicklung des WNX Modells und basiert auf den Forschungen von Veldhuis (1997) für den Passagierverkehr.

Mathematisch wird das Modell wie folgt beschrieben:

1.
$$NST = \frac{(40 + 0,068 * gcd\ km)}{60}$$
2.
$$MXT = (3 - 0,075 * NST) * NST$$
3.
$$PTT = FLT + (3 - 0,075 * NST) * TRT$$
4.
$$QLX = 1 - \frac{PTT - NST}{MXT - NST}$$
5.
$$CNU = QLX * NOP$$

NST = Reine Flugzeit in Stunden (engl.: Non-stop travel time in hours)

Gcd = Orthodrome in km (engl.: Great circle distance in km)

MXT = Maximale wahrgenommene Reisezeit in Stunden
(engl.: Maximum perceived travel time in hours)

PTT = Wahrgenommene Reisezeit in Stunden
(engl.: Perceived travel time in hours)

TRT = Transferzeit in Stunden (engl.: Transfer time in hours)

QLX = Qualitätsindex der Verbindung (engl.: Quality index of connection)

CNU = Anzahl von Verbindungseinheiten
(engl.: Number of connection units)

NOP = Anzahl von Flugoperationen (engl.: Number of flight operations)

In Abbildung 8 ist die Funktionsweise des Netscan Modells dargestellt. Eine Besonderheit des Netscan Modells ist die Vorsortierung der Daten (siehe 1. Schritt, Abbildung 8). Dadurch werden weniger Daten für den Algorithmus zugelassen, was zur Einsparungen an Rechenzeit führt. Die Kriterien für das Vorsortieren sind:

1. Minimale Verbindungszeit

2. Maximale Verbindungszeit
3. Routenfaktor (Annahme von 1,7 (G. Burghouwt, 2009)). Die Annahme des Routenfaktors basiert auf Erfahrungswerten von Burghouwt.⁵⁶ Der Unterschied zum WNX Modell basiert daher auf den unterschiedlichen Annahmen der Autoren und den Zeitpunkten der Publikationen.

Abbildung 8: Funktionsweise des Netscan Modells.⁵⁷

Die genannten Kriterien sind im Vorhinein als gegeben zu betrachten und müssen entsprechend den Rahmenbedingungen des zu untersuchenden Flughafens festgelegt werden. Dies geschieht, in dem alle indirekten Verbindungen, die diese Kriterien nicht erfüllen können in den Berechnungen des CNU nicht unberücksichtigt bleiben. Je nach Flughafen und Erfahrungswerten der Fluggesellschaften und des Flughafenbetreibers können die drei Kriterien angepasst werden.

Sind die Flugdaten erst einmal vorsortiert, wird der Qualitätsindex über drei Inputdaten errechnet. Die Flugzeit (NST) kann den Daten des OAG (Official Airline Guide⁵⁸) entnommen werden oder aber über die Orthodrome⁵⁹ und die durchschnittliche Fluggeschwindigkeit berechnet werden. Das Netscan Modell beinhaltet eine Formel für die Berechnung der NST, die sich aus Erfahrungswerten der Autoren zusammensetzt.

Die maximale zugelassene Reisezeit für eine Flugroute berechnet sich relativ zur NST. Wie schon im WNX Modell wird auch hier ein Faktor für das Zeitempfinden

⁵⁶ Vgl. Burghouwt, 2009, S. 389.

⁵⁷ Vgl. Burghouwt, 2009, S. 389.

⁵⁸ Vgl. Official Airline Guide, www.oag.com,

UBM Aviation, <http://www.ubmaviation.com/About-Us/History-of-OAG>, 07.04.10.

⁵⁹ die kürzeste Verbindung zweier Punkte auf der Erde; sie ist ein Stück eines Kugelgroßkreises.

des Passagiers zugrunde gelegt. Dieser Faktor ist im vorliegenden Fall: $(3 - 0,075 \cdot \text{NST})$ und ergibt sich aus Forschungen von Veldhuis.

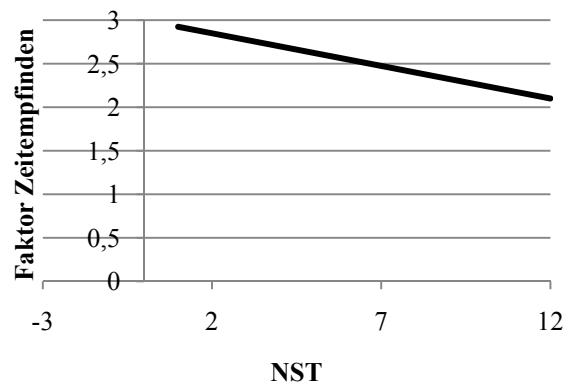


Abbildung 9: Werte des Faktors $(3 - 0,075 \cdot \text{NST})$.⁶⁰

Wie in Abbildung 9 zu erkennen ist, bewegt sich der Faktor zwischen den Werten 3 und 2 in Abhängig von der NST. Je länger der Reiseverlauf ist, desto kleiner ist der Faktor. Dies ist sinnvoll, da Reisen mit einer langen Flugzeit nicht noch mit einem großen Faktor multipliziert werden sollten. Im Falle einer 12stündigen Flugzeit würde die maximale Reisezeit 24 Stunden betragen, was basierend auf den Forschungen von Burghouwt⁶¹, einem Grenzwert für den Passagierverkehr entspricht. Die PPT orientiert sich auch an dem Faktor $(3 - 0,075 \cdot \text{NST})$ und multipliziert diesen mit der Transferzeit. Aus der Addition mit der Flugzeit errechnet sich die empfundene Reisezeit des Passagiers.

Am Ende berechnet sich der Qualitätsindex (QLX) durch die Division der PTT und der MXT jeweils abzüglich der NST. Der QLX einer indirekten Flugverbindung kann niemals einen Qualitätsindex von 100 Prozent erreichen, weil dies einer direkten Flugverbindung entsprechen würde. Folglich ist der Qualitätsindex immer kleiner als 100 Prozent. Des weiteren darf der Qualitätsindex nicht negativ sein, was einem Attraktivitätsverlust gegenüber einer direkten Verbindung von über 100 Prozent entsprechen würde. Dies würde ein Passagier niemals akzeptieren. Daraus folgt die Bedingung, dass MXT immer größer als PPT sein muss.

⁶⁰ Eigene Darstellung.

⁶¹ Vgl. Burghouwt, 2009, S. 389.

Der CNU ergibt sich aus der Multiplikation vom QLX und dem NOP. Dies ist einleuchtend, weil eine indirekte Verbindung nur genauso oft existiert wie die Flüge auch durchgeführt werden.

Wie im Fall des WNX Modells, kann auch der Wert des CNU als eine Transferverbindung interpretiert werden, bezogen auf die Qualität der indirekten Verbindung. Jeder CNU weist eine Attraktivität für den indirekten Flug aus. Ein indirekter Flug weist immer eine Attraktivität von < 1 aus, weil 100 Prozent einem direkten Flug entsprechen würde, was die optimale Flugroute wäre (siehe Erklärung des WI Kapitel 4.1)

Werden nun die aufsummierten CNU's durch die abgehenden Flüge innerhalb des berücksichtigten Zeitraums dividiert, resultiert daraus die durchschnittliche Zahl an Anschlussflügen für einen ankommenden Flug.

Beispiel:

Tokio hatte im Jahr 2007 eine durchschnittliche Hub Konnektivität von 2,99. „Das bedeutet, dass jeder abgehende Flug in Tokio im Durchschnitt mit 2,99 ankommenden Flügen in Verbindung steht“ (Burghouwt 2009).⁶²

4.3 Der Vergleich WNX vs. CNU

Bei beiden Modelle ist deutlich zu erkennen, dass sie aufeinander basieren. Das Netscan Modell ist nicht nur jünger, auch die rechnerische Überlegenheit gegenüber dem WNX Modell ist offensichtlich. Ein bedeutsamer Grund für die Verwendung des Netscan Modells ist, dass die wahrgenommene Reisezeit des Passagiers berücksichtigt wird. Zudem wird diese Zeit immer relativ zur NST berechnet, so dass nicht ein Wert (im WNX Modell 2,4) die empfundene Reisezeit definiert. Die Verwendung eines Faktors zur Berechnung der empfundenen Reisezeit ist sehr wichtig, weil die Zeit während des Transits bei Passagieren länger als vergleichsweise die Reisezeit empfunden wird. So wird die Zeit im Flugzeug von Passagieren anders empfunden, als die Wartezeit am Flughafen. Dennoch ist von großer Bedeutung, dass die maximale Reisezeit durch den Faktor $(3-0,075 \cdot NST)$ im Netscan Modell begrenzt wird. Ein weiterer Vorteil des Netscan Modells ist, dass die Flug-

⁶² Aus dem Englischen zitiert: This means that each outgoing flight at Tokyo connects, on average, with 2,99 incoming flights. Guillaume Burghouwt, J. d. (2009). Air Network performance and hub competitive position. Evaluation of primary airports in East and South-East Asia. *Aiport Management* , 385-399.

daten nach den Verbindungszeiten vorsortiert werden, bevor sie in den Algorithmus eingehen. Die Vorsortierung ersetzt im WNX Modell die Berechnungen des Transferindex (TI) und des Routenfaktors. Dabei wird deutlich, dass durch das Ersetzen der zwei Formeln im WNX Modell kaum noch Formelparameter übrig bleiben. Das Netscan Modell zehrt also auch von einer Überlegenheit der genutzten Parameter. Beispielsweise fließt die maximale Reisezeit und der Vergleich zwischen empfundener Reisezeit und maximaler Reisezeit in die Berechnungen des Qualitätsindex mit ein. Generell basieren die Ergebnisse des Netscan Modells auf fundierten Formeln und logischen Berechnungen. Daher ist die Überlegenheit des Netscan Modells unumstritten.

Nachteilig für den Vergleich beider Modelle ist die Unklarheit einiger Parameter. In der Literatur waren keine Erklärungen zu der 3,4 im WNX Modell oder zu dem Faktor $(3-0,075 \cdot NST)$ und der Formel für die Berechnung der NST zu finden.

4.4 Probleme der Anwendung der Modelle für den Frachtbereich – Vergleich mit dem Passagierverkehr

Der Luftfrachtverkehr entspricht in seinen Eigenschaften nicht dem Passagierverkehr. Beide unterscheiden sich deutlich voneinander. Daher sind heutzutage in großen Fluggesellschaften unterschiedliche Geschäftsfelder Fracht und Passage getrennt (Beispiel⁶³: Lufthansa Passage und Lufthansa Cargo⁶⁴). Bevor auf die grundlegenden Unterschiede zwischen Passagierverkehr und Frachtverkehr eingegangen wird, werden die Differenzen mit Bezug auf das Thema dieser Arbeit erläutert. Diese konzentrieren sich auf die unterschiedlichen Transferzeiten und die Routenplanung.

Im Zusammenhang mit der Problemstellung dieser Arbeit sind die zwei wichtigsten Unterschiede in den minimalen- und maximalen Verbindungszeiten zu finden. Für Fracht und Passage sind diese Zeiten insofern relevant, als dass beide Transporte möglichst schnell ablaufen müssen. Dennoch kann der Frachttransfer an einem Flughafen sehr viel länger dauern, als der eines Transitpassagiers. Der Grund für die längere Transferzeit von Fracht ist offensichtlich: Fracht bewegt sich nicht selbstständig, sondern muss bewegt werden. Außerdem kann der Fall eintreten, dass die Ware ausgepackt und auf eine andere Palette oder Container verladen

⁶³ Vgl. Lufthansa Webseite <http://konzern.lufthansa.com/de/geschaeftsfelder.html>, 31.03.10.

⁶⁴ Vgl. Lufthansa Cargo Webseite www.lufthansa-cargo.de, 31.03.10.

werden muss. Ein Passagier hingegen erreicht selbstständig den nächsten Anschlussflug. Daher muss das Modell in Bezug auf die genannten Zeiten angepasst werden. Die minimale Verbindungszeit für die Fracht wird deutlich größer sein als für den Passagierverkehr (siehe Kapitel 5.1.2).

Weiterhin nutzen viele Cargo Unternehmen den Frachtraum in den konzerneigenen Passagiermaschinen. Folglich müssen nicht nur reine Cargo Flüge⁶⁵ in die Analyse mit einbezogen werden, sondern auch Passagierflüge, die Fracht transportieren.

Außerdem unterscheiden sich die beiden Geschäftsfelder hinsichtlich der Routenplanung. Ein Frachtflugzeug fliegt eine Stadt oft mit einer oder mehreren Zwischenlandungen an. Ein Beispiel ist die Lufthansa Cargo, die von Frankfurt nach Buenos Aires über Dakar und Sao Paulo fliegt.⁶⁶ Gründe für diese Art der Routenplanung sind das Abfliegen der Warenströme und die Notwendigkeit das Flugzeug immer wieder zu betanken, sowie die Auslastung zu erhöhen. Die Waren können in verschiedenen Städten aus- und zugeladen werden, so dass die Destinationen nicht durch zusätzliche Flüge bedient werden müssen. Bezogen auf den Treibstoff, muss das Flugzeug nicht voll getankt werden und kann somit, aufgrund des geringeren Gewichtes, Kerosin sparen. Der große Nachteil solcher Flugrouten ist, dass deutlich mehr Flugpersonal benötigt wird, um die Cargo Flotte zu bedienen, weil bei jeder Zwischenlandung die Crew ausgetauscht werden muss.⁶⁷ Das ist erforderlich, weil für die Piloten die Arbeitszeit im Cockpit begrenzt ist. Dennoch ist die Art der Routenplanung nach Aussagen der Lufthansa Cargo profitabel.⁶⁸ Im Passagierverkehr ist diese Art der Flugroutenplanung nicht möglich, weil solche Reisezeiten für Passagiere nicht akzeptabel sind.

Neben den bereits genannten Gründen existieren noch weitere Unterschiede zwischen Fracht- und Passagierverkehr:

Fracht	Passage
<ul style="list-style-type: none"> • Fracht fliegt oft nur einen Weg, weil sie konsumiert wird 	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Passagier will zumeist hin- und zurückreisen

⁶⁵ Entspricht dem Transport von Ware in einem Frachtflugzeug.

⁶⁶ Vgl. OAG Datenbank.

⁶⁷ Vgl. Experteninterview, LHC, Herr Haupt.

⁶⁸ Vgl. Experteninterview, LHC, Herr Haupt.

<ul style="list-style-type: none"> • Fracht kann kein einfacher Sitzplatz zugewiesen werden. Volumen Gewicht, Größe und Kontur sind unterschiedlich groß, so dass jedes Flugzeug einen Beladungsplan hat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Für einen Passagier gibt es einen Sitzplatz
<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Planbarkeit, weil Luftfracht meist kurzfristig gebucht wird. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Planbarkeit. Es wird oft schon früh gebucht, so dass die Auslastung der Maschinen bekannt ist.
<ul style="list-style-type: none"> • Passiv: Fracht bewegt und beschwert sich nicht 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktiv: Passagiere suchen ihren Anschlussflug und melden sich bei Problemen

Tabelle 3: Unterschiede zwischen dem Luftfrachtverkehr und Passagierverkehr.⁶⁹

Aus der Tabelle wird deutlich, wie sehr sich die Geschäftsfelder unterscheiden. Besonders die geringe Planbarkeit, die Beladung der Flugzeuge, sowie die Auslastung der Flugzeuge sind eine große Herausforderung für das Kostenmanagement einer Cargo Fluglinie.

Zusammenfassende Betrachtung

In diesem Kapitel wurden zwei unterschiedliche theoretische Ansätze zur Bestimmung der Konnektivität an Flughäfen erläutert: Das Netscan Modell und das WNX Modell. Beide Modelle haben Ähnlichkeiten und basieren auf den gleichen Parametern.

Das Netscan Modell ist dem WNX Modell rechnerisch überlegen. Wegen der rechnerischen Überlegenheit und der Empfehlung Guillaume Burghouwts wird das Netscan Modell für die bevorstehende Analyse dieser Arbeit verwendet.

Anhand der dargestellten Unterschiede zwischen dem Luftfracht- und Passagierverkehr ist ersichtlich, dass nicht die Möglichkeit besteht, die vorgestellten Modelle ohne Änderung der Parameter für die Analyse im Luftfrachtverkehr zu nutzen. Die aufgeführten Unterschiede, speziell das nicht vorhandene Zeitempfinden im Frachtverkehr und die längeren Transitzeiten zeigen, dass eine Überarbeitung des Modells nötig ist.

Bezogen auf die Daten dürfen nur Passagierflüge, die Belly Fracht transportieren und reine Cargo Flüge berücksichtigt werden. Auch müssen die Stop-over Flüge in die Berechnungen mit einfließen, da sich aus den Routen eine Vielzahl weiterer Destinationen ergibt, die Einfluss auf das Ergebnis haben.

⁶⁹Vgl. Spohr, 2008, S. 7.

Im Detail werden die Änderungen im nächsten Kapitel diskutiert.

5. Erweiterung des Netscan Modells auf den Luftfrachtverkehr

Das Kapitel beschreibt die Erweiterung des Netscan Modells auf den Frachtbereich. Die Analyse dieser Arbeit wird aufgrund der erwähnten rechnerischen Überlegenheit ausschließlich auf dem Netscan Modell basieren (siehe Kapitel 4.3).

In der Literatur existiert bisher eine Analyse über die Abstimmung von Cargo Flügen an einem Flughafen.⁷⁰ Die Autoren Yonghwa Park, Joong Yup Kim, Kichan Park haben sich in ihrem wissenschaftlichen Bericht „Connectivity Analysis of Air Cargo Transshipment at Hub Airport“ mit der Konnektivität von Frachtflügen am internationalen Flughafen von Seoul auseinandergesetzt. In der Analyse wird zur Berechnung des CNU ein anderes Verfahren (Connectivity Model) genutzt (siehe Anhang). Erst für die Untersuchung beliebter Flugrouten vom Flughafen Seoul wurde das Netscan Modell verwendet. Einige Ideen wurden daher von den koreanischen Autoren in die Überarbeitung des Netscan Modells integriert.

Im folgenden Abschnitt wird die Funktionsweise des angepassten F-Netscan Modells (Freight-Netscan Modell) für den Luftfrachtverkehr erläutert. Anschließend werden die Inputdaten beschrieben und ihre Verwendung begründet. Die Verwendung der Daten basiert auf Experteninterviews der Spedition Kuehne + Nagel und der Lufthansa Cargo.

Das Kapitel endet mit einer kurzen Beschreibung der analysierten Flughäfen.

5.1 Das Modell F-Netscan

Die Funktionsweise des Algorithmus wurde schon im vierten Kapitel beschrieben (siehe Kapitel 4.2). Bezogen auf die Rechenoperationen und den Ablauf bleibt das Modell erhalten. Es wurden lediglich einige mathematische Bedingungen verändert, ersetzt oder gelöscht. Alle Veränderungen werden im Folgenden detailliert erläutert:

⁷⁰ Vgl. Park, 2008.

Abbildung 10: Programmablauf des Modells.⁷¹

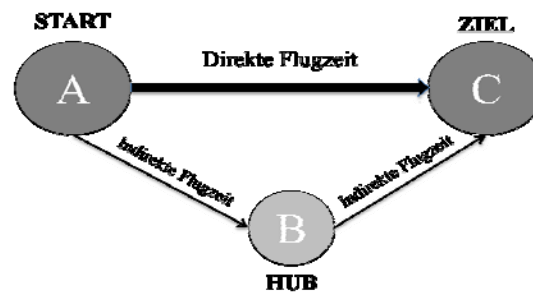
⁷¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an das Netscan Model (Veldhuis 1997).

5.1.1 Die Funktionsweise

In Abbildung 10 wird die Funktionsweise des Modells anhand eines Flussdiagramms dargestellt. Das F-Netscan Modell wurde in ein Java Programm (siehe Anhang) implementiert und beginnt mit dem Einlesen des Flugplanes und der Koordinaten der Flughäfen. Aus dem Flugplan werden für jeden ankommenden Flug die abgehenden Flüge (in dem vorher bestimmten Zeitfenster) ausgegeben. Das Zeitfenster setzt sich aus der minimalen und maximalen Transferzeit zusammen: Wie schnell ist der Transit der Fracht von einem Flugzeug zum nächsten Flugzeug zu bewältigen (minimale Verbindungszeit) und wie lang darf der Transit von Fracht an einem Flughafen nach Ansicht der Fluglinien maximal dauern (maximale Verbindungszeit) (siehe Kapitel 3.3)? Schließlich kostet die Lagerung der Fracht Geld und beeinflusst die Lieferzeit negativ. Folglich sollte das Interesse der Fluggesellschaft sein, so schnell wie möglich die Ware zu transferieren.

Auf den Routenfaktor wurde in den Berechnungen verzichtet. Der Grund ist nahe liegend, denn die Reiseroute ist für die Fracht irrelevant. Anders ausgedrückt, für ein Frachtgut ist es nicht bedeutsam, ob es auf dem Weg von Frankfurt nach Quito über Buenos Aires fliegt oder nicht. Passagiere hingegen würden diese Reiseroute sehr wahrscheinlich nicht wählen, weil ein direkter Flug von Passagieren immer bevorzugt werden würde. Diesen Aspekt nimmt der Routenfaktor auf und stellt sicher, dass Flugrouten mit hohen Reisezeitverlusten gegenüber der direkten Flugverbindung nicht mit in die Berechnungen einfließen. Dafür wird die indirekte Reisezeit durch die direkte Reisezeit dividiert. Überschreitet das Ergebnis einen vordefinierten Grenzwert wird die Verbindung nicht mit in die Berechnungen der Konnektivität aufgenommen. Mit Ausnahme von Hin- und Rückflügen (Start- und Zielflughafen sind identisch) werden alle Routen für den Luftfrachtverkehr berücksichtigt.

Für jeden ankommenden Flug wird jetzt der eigentliche Algorithmus gestartet. Jede einzelne Formel und der Algorithmus werden im Folgenden detailliert erläutert:

Abbildung 11: Direkte- versus indirekte Verbindung.⁷²

1. NST in Stunden (engl.: Non-Stop Travel Time)

Die direkte Flugzeit (NST) ist die Flugzeit, die ein Flugzeug von A nach C (siehe Abbildung 11) benötigt. Diese Zeit berechnet sich aus der Distanz zwischen den beiden Flughäfen, welche durch die Orthodrome (gcd km) bestimmt wird. Die Formel wurde von Guillaume Burghouwt (2009) aus der Literatur übernommen. Nach gründlicher Überprüfung und dem Abgleich mit realen Werten von Fluggesellschaften liefert die Formel verlässliche und realitätsnahe Ergebnisse:

$$NST = \frac{40 + 0,068 * gcd \text{ km}}{60}$$

2. MXT in Stunden (engl.: Maximum Travel Time)

Die maximale Reisezeit berechnet sich aus der Flugzeit (FLT) des ankommenden Fluges am Hub, zuzüglich des abgehenden Fluges (Reisezeit im Flugzeug von A nach B und B nach C) plus 24 Stunden. Die 24 Stunden entsprechen der maximalen Transferzeit am Hub Flughafen. Der Wert wurde anhand eines Experteninterviews mit der Lufthansa Cargo verifiziert (siehe Kapitel 5.1.2).

$$MXT = FLT + 24$$

3. Die wahrgenommene Reisezeit PPT in Stunden (engl.: Perceived Travel Time)

Aufgrund des nicht vorhandenen Zeitempfindens der beförderten Güter im Luftfrachttransport muss die PPT auf eine andere Art und Weise berechnet werden. Die PPT ist die Summe aus der FLT und der Transferzeit (TRT engl.: Transfer time) am Hub Flughafen. Folglich beschreibt die PPT die vollständige Reisezeit von A nach C über den Hub B. Im Vergleich zum ursprünglichen Modell wurde auf den

⁷² Eigene Darstellung.

Faktor $(3-0,075 \cdot NST)$ verzichtet, weil die Berechnung der empfundenen Reisezeit im Luftfrachtbereich nicht nötig ist.

$$PTT - FLT - TRT^{73}$$

Nachdem die drei Zeiten berechnet wurden, wird nun eine Fallunterscheidung gemacht. Die PPT muss kleiner sein als die MXT oder die Flugverbindung darf keinem Hin- und Rückflug (Start- und Zielflughafen sind gleich) entsprechen. Wäre diese Bedingung nicht erfüllt, würde der Qualitätsindex negative Werte annehmen. Dies würde einer negativen Attraktivität der Flugverbindung entsprechen, die nicht existiert (siehe Kapitel 4.2). Kann eine Bedingung nicht erfüllt werden, ist der CNU = 0. Sind beide Bedingungen erfüllt, wird der Quality Index (QLX) berechnet. Die Bedingung resultiert aus der Formel für den QLX, weil der QLX nur Werte von 0 bis 1 aufweisen darf (siehe Punkt 4).

$$MXT > PPT \text{ oder } \text{Startflughafen} \neq \text{Zielflughafen}$$

4. Der Qualitätsindex (QLX engl.: Quality Index)

Der Qualitätsindex entspricht in diesem Modell dem CNU, der eine indirekte Verbindung mit einem Attraktivitätsindex bewertet. Die Multiplikation mit der Anzahl der Flüge in einer Woche - wie im Kapitel 4.2 beschrieben - entfällt, da hier jeder Flug einzeln untersucht wird. Der QLX nimmt nur Werte von 0 bis 1 an, weil eine Flugroute keine höhere Attraktivität als 100 Prozent oder null Prozent ausweisen kann. Ein direkter Flug von A nach C hat immer einen QLX von 1. Ein QLX von Null entspricht einem indirekten Flug, der die angesetzten zeitlichen Kriterien nicht erfüllt. Nach G. Burghouwt (2009) berechnet sich der QLX wie folgt:

$$QLX = 1 - \frac{PTT - NST}{MXT - NST}$$

Die tatsächliche Reisezeit inklusive Transferzeit und die maximale Reisezeit werden jeweils abzüglich der Non-stop Reisezeit (ohne Transferzeit, (NST)) dividiert.

⁷³ Vgl. Park, 2008, S 6.

Das Ergebnis wird Zahl eins subtrahiert, weil eine indirekte Verbindung nicht eine Attraktivität von 100 Prozent aufweisen kann.

5. Das Connectivity Unit (CNU)

Wie schon im Punkt 4 erwähnt entspricht der QLX dem Connectivity Unit (CNU). Der CNU entspricht einem Attraktivitätswert der indirekten Verbindung im Vergleich zur direkten Verbindung. Für jeden ankommenden Flug werden die CNUs der einzelnen möglichen abgehenden Flüge aufsummiert. Die Summen der CNUs für die ankommenden Flüge werden wiederum addiert und ergeben den Gesamt CNU für den ausgewählten Hub Flughafen. Das Ergebnis kann als die Anzahl gewichteter Transferverbindungen mit Bezug auf die direkte Flugverbindung für den analysierten Flughafen und die Fluglinie interpretiert werden.

Hinweis: Im Anhang dieser Arbeit befindet sich ein Beispiel für die Berechnung eines CNU innerhalb des Java Programms.

5.1.2 Verwendete Daten

Die verwendeten Daten teilen sich in zwei Gruppen auf. Die erste Gruppe beinhaltet die Flugpläne aus der OAG Datenbank, sowie die Koordinaten der Flughäfen zur Berechnung der Orthodrome. Die zweite Gruppe beinhaltet verschiedene Annahmen, die auf Basis von Literaturrecherchen und Experteninterviews verifiziert wurden. Im Einzelnen wurden die folgenden Daten verwendet:

OAG Daten

Die Flugpläne stammen aus den OAG Flugdaten. In der Analyse wurde die Woche vom 14. Mai 2007 bis zum 20. Mai 2007 erfasst. In dieser Woche sind alle Flüge (Nonstop und Stopover Flüge) einer Fluglinie (keine Kooperationsflüge⁷⁴) enthalten, in denen Fracht transportiert wurde (Passagierflüge mit Belly Fracht und vollständige Frachtflüge). Es werden nur die ankommenden und abgehenden Flüge von einem Hub Flughafen betrachtet.

Das Ziel der Analyse war es eine repräsentative Woche zu wählen, die möglichst wenig saisonale Effekte aufweist. Daher wurde sich bewusst für eine Woche in der Mitte des Monats Mai entschieden. Wie in Abbildung 12 zu erkennen ist, werden

⁷⁴ Flüge, die in Kooperation mit einer anderen Fluggesellschaft durchgeführt werden
Vgl. <http://www.personenverkehr.eu/Besonderheiten/LuftverkehrKooperation.htm>, 22.05.2010.

im Mai durchschnittliche viele Güter bezogen auf das Jahr transportiert. Die Abbildung verwendet Daten der Lufthansa Cargo aus dem Jahr 2008. Es wird unterstellt, dass die Nachfrage bei den anderen Fluggesellschaften eine ähnliche Verteilung aufweist. Dies ist sehr wichtig, weil die Unterschiede in den Ergebnissen des CNU aufgrund der Anzahl von Flugbewegungen schon erheblich sein können.

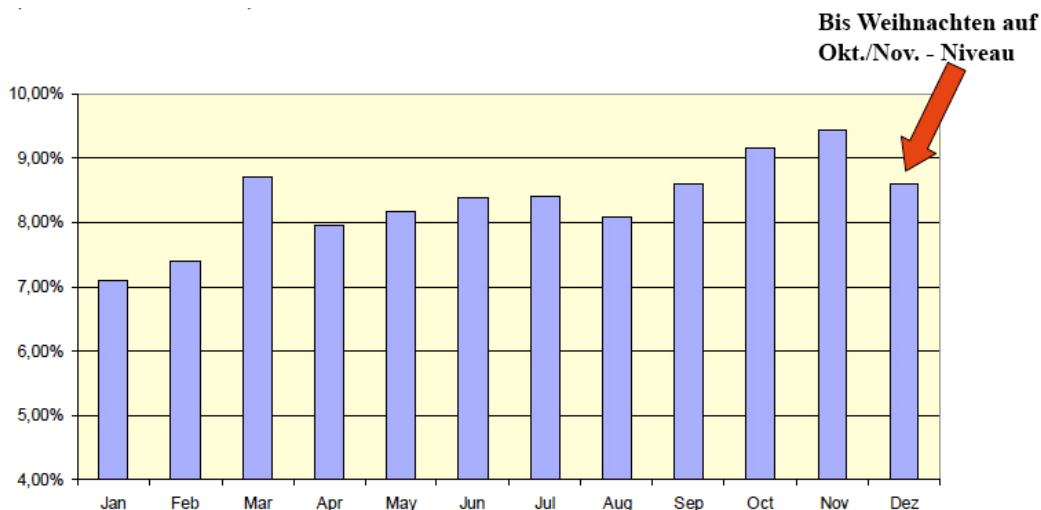


Abbildung 12: Verteilung der Nachfrage bei der LHC über das Jahr verteilt (2008).⁷⁵

Weiterhin wurden alle Daten durch den Road-Feeder Service bereinigt, weil es zweifelhaft erschien, dass alle Fluggesellschaften den Road-Feeder Service in ihren Flugplänen berücksichtigten.

GCD Daten

Die Orthodrome⁷⁶ (engl. Great Circle distance GCD) werden für die Berechnung der direkten Flugzeit zwischen zwei Punkten benötigt (spez. NST Non-Stop Travel Time). Eine Tabelle mit den jeweiligen Flughafencodes, sowie den geographischen Längen- und Breitengraden wurde vom Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung am Karlsruher Institut für Technologie zur Verfügung gestellt.

Darstellung der Verkehrswellenstruktur an den Flughäfen

Die Verkehrswellenstruktur wird für Mittwoch, den 16. Mai 2007 dargestellt. Es wurde sich bewusst für den Wochentag Mittwoch entschieden, weil die Wochentage deutliche Unterschiede in den Flugbewegungen aufweisen. Dies ist auf das

⁷⁵ Vgl. Kindelbacher, 2008, S. 20.

⁷⁶ die kürzeste Verbindung zweier Punkte auf der Erde; sie ist ein Stück eines Kugelgroßkreises.

Nachfrageverhalten der Kunden zurückzuführen (siehe Abbildung 13). Für ein möglichst repräsentatives Ergebnis zeigt der Mittwoch das gemittelte Nachfrageverhalten in der Woche.

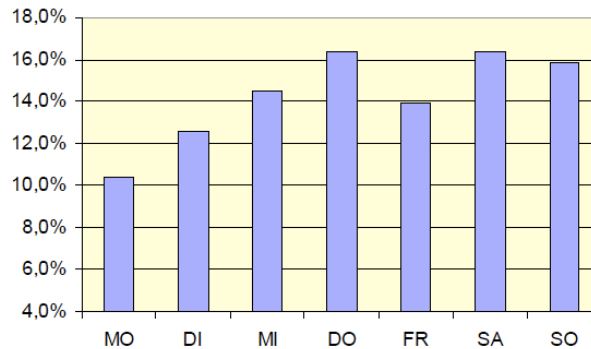


Abbildung 13: Verteilung der Nachfrage über die Woche bei LHC.⁷⁷

Minimale und maximale Verbindungszeit

In der Literatur existieren keine verlässlichen und allgemein gültigen Angaben zu Transferzeiten von Fracht an Hub Flughäfen. Auch anhand der Verkehrswellenstruktur bestand nicht die Möglichkeit, ein eindeutiges Zeitfenster zu definieren, weil dieses durch den teilweise ausgeprägten Einfluss des Flugplans der Passagefluglinien nicht abgegrenzt werden konnte. Hinzu kam die Ungewissheit über die Zeitangaben der Bodenprozessen. Dennoch hat sich die Lufthansa Cargo und die Spedition Kuehne + Nagel für ein Experteninterview zur Verfügung gestellt. Auch wenn im Interview deutliche Unterschiede in den Standpunkten der Gesprächspartner zu erkennen waren, konnte es verifizierte Daten erbringen, die in das Modell eingeflossen sind. Die Daten aus den beiden Experteninterviews wurden als allgemeingültig erachtet und somit in das Modell implementiert. Eine Anpassung des Modells an fluglinienspezifische Daten ist problemlos möglich.

Die Annahmen für die analysierten Fluglinien und Flughäfen basieren daher auf den Aussagen der Lufthansa Cargo⁷⁸ und dem Speditionsunternehmen Kuehne + Nagel⁷⁹.

Im Folgenden werden einige Einflussfaktoren auf die Verbindungszeiten aufgeführt, die in den Interviews angesprochen wurden. Speziell im Luftfrachtgeschäft

⁷⁷Vgl. Kindelbacher, 2008, S. 21.

⁷⁸ Ansprechpartner: Herr Thomas Rohrmeier, Produktmanagement.

⁷⁹ Ansprechpartner: Herr Jan Mertens, Luftfrachtexperte.

sind die Versandart, die Verpackung der Ware, sowie die Flugpläne entscheidende Faktoren für die Transitzeiten am Flughafen:

1. Versandart:

Kuehne + Nagel bietet drei Arten des Versandes an: „KN Expert“ (3 - 5 Tage Lieferzeit), „KN Express“ (1 - 3 Lieferzeit), „KN Extend“ (6 - 15 Tage Lieferzeit). Je nach der Wahl der Versandart wird die Fracht mit höherer oder niedriger Priorität behandelt. Die Lufthansa Cargo bietet ähnliche Versandarten an. Im Rahmen der Analyse bestand aufgrund der vorhandenen Daten nicht die Möglichkeit, nach Versandarten zu differenzieren.⁸⁰

2. Verpackung

Für die Verpackung der Fracht ist entscheidend, ob beispielsweise eine Palette oder ein Container (ULD), welche für einen Anschlussflug vorgesehen sind, weiterverladen werden können oder noch ausgepackt werden müssen, weil nicht alle Sendungen auf der Palette oder innerhalb des Containers für den gleichen Transitflug bestimmt sind. Ist das der Fall, kann der Verpackungsprozess einige Zeit in Anspruch nehmen, um die Ware im Transitbereich erneut zu sortieren.⁸¹

3. Flugplan

Ein Problemfeld ist der Flugplan, weil die Flugzeuge im Fracht-, wie auch im Passagiergeschäft oftmals überbucht werden. Nicht immer ist ein Anschlussflug innerhalb von zwei oder drei Stunden verfügbar. Außerdem muss der nächste Anschlussflug über freie Kapazitäten verfügen. Daher muss das Zeitfenster für den Transit der Fracht ausreichend groß genug sein, um den Qualitätskriterien gegenüber den Kunden nachzukommen.⁸²

4. Sicherheitsbestimmungen

Mit der zunehmenden Gefahr terroristischer Anschläge nehmen auch die Sicherheitsvorkehrungen zu. Besonders für den Luftfrachtverkehr in die

⁸⁰ Vgl. Kuehne + Nagel E-Portal, http://www.kn-portal.com/services/airfreight/air_products/, 18.05.2010.

⁸¹ Vgl. Experteninterview, Kuehne + Nagel, Herr Mertens.

⁸² Vgl. Experteninterview, Kuehne + Nagel, Herr Mertens.

U.S.A. gibt es sehr hohe Sicherheitsanforderungen. Jede Ware muss überprüft werden, was einige Zeit in Anspruch nimmt. Dabei sind die Sicherheitsanforderungen von Land zu Land unterschiedlich.⁸³

Aus den genannten Gründen ist die Definition einer minimalen durchschnittlichen Verbindungszeit eine große Herausforderung. Kuehne + Nagel vertritt die Ansicht, dass ein Zeitfenster von 6-10 Stunden für den Transfer ausreichend ist. Die Lufthansa Cargo ist der Meinung, durchschnittlich 12 Stunden für den Transitaufenthalt der Standardfracht am Frankfurter Flughafen (ca. 2/3 der Gesamtfracht) zu benötigen.

Recherchen in der Literatur zu allgemein gültigen Transferzeiten ergaben, dass in der wissenschaftlichen Praxis sehr viel kürzere Transferzeiten angenommen werden.⁸⁴ Diese erscheinen nach den Expertengesprächen lediglich in Ausnahmefällen realisierbar, so dass im entwickelten Modell eine durchschnittliche Transferzeit von acht Stunden als minimale Verbindungszeit für alle analysierten Flughäfen festgelegt wurde. Für die maximale Verbindungszeit gab die Lufthansa Cargo an, dass die Fracht innerhalb von 24 Stunden den Flughafen verlassen haben muss – dies wird von der Geschäftsleitung als Sollwert festgelegt. Nur in Ausnahmefällen lagert die Fracht länger als einen Tag am Flughafen. Daher wird die maximale Verbindungszeit mit 24 Stunden (1440 Minuten) angesetzt. Auch Kuehne + Nagel ist der Meinung, dass 24 Stunden ein realistischer Wert ist. Dennoch rechnet das Unternehmen im Fall von Transitfracht immer mit 48 Stunden, um die Sicherheit zu haben, dass die Fracht in dem genannten Zeitraum auch tatsächlich versandt worden ist. Dies hat vor allem damit zu tun, dass es in der Hochsaison (November und Dezember) an einigen Flughäfen zu sogenannten „Backlogs“ kommen kann. D.h. die Frachtflugzeuge sind überbucht und der Spediteur muss damit rechnen, dass die Fracht vielleicht erst mit dem nächsten verfügbaren Flug versandt wird. Weiterhin ist immer das Risiko vorhanden, dass die Ware nicht rechtzeitig verladen wird oder Flugverspätungen eintreten. Zur Minimierung des eigenen Risikos setzt Kuehne + Nagel einen extrem pessimistischen Wert ein, der ausnahmslos eingehalten werden kann.

⁸³ Vgl. Experteninterview, LHC, Herr Rohrmeier.

⁸⁴ Vgl. Newton, 2009, S. 23; Park, 2008.

Als Standardwert ist in dem Modell eine maximale Verbindungszeit von 24 Stunden hinterlegt, was als wahrscheinlich und plausibel erscheint. Aufgrund der weiten Spannbreite zwischen den Aussagen von Kuehne + Nagel und Lufthansa Cargo, werden in einer Szenarioanalyse die Verbindungszeiten nach den Aussagen der Unternehmen modifiziert, separat analysiert und damit die Robustheit des Modells bewertet (siehe Kapitel 6.7.2).

5.2 Die analysierten Flughäfen

Die Analyse ist mehrheitlich auf die europäischen Drehkreuze fokussiert. Dies hat den Vorteil, dass aufgrund der ähnlichen geographischen Lage und des einheitlichen Marktes die Voraussetzungen für die Vergleichbarkeit der Flughäfen gegeben sind. Außerdem ist eine hohe Dichte an großen Drehkreuzen und der nationalen Fluglinien verfügbar, die im gegenseitigen Wettbewerb stehen. Dabei ist interessant zu betrachten, mit welchen Strategien die Fluglinien agieren. Ausschlaggebend sind dafür die Wahl der Destinationen, sowie die Verteilung der Fracht auf Passagier und Frachtflugzeuge.

Aus den genannten Gründen wurden folgende Flughäfen und ihre Cargo Fluggesellschaften betrachtet:

1. Frankfurt am Main (FRA), Deutschland, Lufthansa Cargo (LHC)
2. Paris Charles de Gaulle (CDG), Frankreich, Air France Cargo (AF Cargo)
3. London Heathrow (LHR), Großbritannien, British Airways Cargo (BA Cargo)
4. Amsterdam Schiphol (AMS), Niederlande, KLM Cargo (KLM Cargo)
5. Luxemburg Flughafen (LUX), Luxemburg, CargoLux (CV Cargo)
6. Incheon Seoul international Airport (ICN), Südkorea, Korean Air Cargo (KE Cargo)

Neben den vier großen europäischen Hubs umfasst die Analyse noch zwei weitere Flughäfen.

Für den internationalen Vergleich wurde der „Incheon International Airport“ in Seoul (Südkorea) gewählt. Es ist der Heimathub der Korean Air. Die Korean Air ist nach den Integratoren FedEx und UPS die größte Frachtfluglinie der Welt gemes-

sen an den Tonnenkilometern⁸⁵. Mit dem Flughafen in Seoul wird daher das asiatische Cargo Geschäft, sowie die Konnektivität der weltweit größten Cargo Fluglinie an ihrer Heimatbasis analysiert.

Der zweite Flughafen ist der Hub der Cargolux in Luxemburg. Die Cargolux ist eine Fluggesellschaft, deren einziges Produkt die Luftfracht ist. Sie transportiert die rund 700.000 Tonnen Fracht im Jahr.⁸⁶ Cargolux gilt als eine der größten reinen Frachtfluggesellschaften, so dass ein Vergleich mit sogenannten kombinierten Fluggesellschaften den Rahmen der vorliegenden Arbeit erweitern wird.

Trotz Ihrer Fusion im Jahr 2007 werden die KLM und die Air France als zwei eigenständige Fluggesellschaften in der Analyse behandelt.⁸⁷

⁸⁵ Vgl. Verkehrsrundschau, <http://www.verkehrsrundschau.de/sixcms/detail.php?id=440511>, 08.04.10.

⁸⁶ Vgl. Cargolux Webseite, <http://www.cargolux.com/Company/KeyFigures.php?w=TTC>, 08.04.10.

⁸⁷ Vgl. KLM Webseite, <http://www.corporate.klm.com/en/about-klm/the-organization-facts-and-figures>, 27.04.10.

6. Präsentation der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse präsentiert. Bewusst wird auf Bewertungen der Resultate verzichtet. Diese werden erst im nächsten Kapitel dargelegt.

Das Kapitel ist nach den Flughäfen strukturiert. Für jeden Flughafen werden die Ziele der nationalen Fluggesellschaft, aufgeteilt nach Regionen beschrieben. Darauf folgt die Verkehrswellenstruktur, die bewusst, wie im letzten Kapitel erläutert, immer den Mittwoch der analysierten Woche abbildet. Die Analyse für jeden Flughafen endet mit den Ergebnissen der möglichen gewichteten Transferverbindungen (Konnektivität) basierend auf den Berechnungen des F-Netscan Modells.

Alle Ergebnisse beziehen sich auf die analysierte Woche im Mai (14. Mai 2010 – 20. Mai 2010). Berücksichtigung fanden alle Flugverbindungen, auf denen Fracht als Belly Fracht oder im Frachtflugzeug transportiert wurde. Die Ziele der Fluglinien verteilen sich auf sieben Regionen: Europa, Nordamerika, Nahe Osten, Asien, Afrika, Südamerika und Ozeanien. Dadurch ist eine adäquate Differenzierung der Flugdestinationen möglich.

6.1 Flughafen Frankfurt am Main

Der siebtgrößte Frachtflughafen der Welt (siehe Kapitel 2.3) ist nicht nur für die Passagiere das Tor zur Welt, sondern auch für die Fracht. Mit 230 Frachtflügen (Passagierflüge mit Fracht und reine Frachtflüge 2009) und der weltweit auf Platz zwei angesiedelten (nach Tonnenkilometern) Lufthansa Cargo ist Frankfurt ein sehr wichtiger Flughafen für Deutschland und Europa. Rund 5000 Tonnen Fracht (2009) werden in Frankfurt täglich in der Cargo City Süd und Nord verladen.⁸⁸

6.1.1 Ziele der Lufthansa Cargo von Frankfurt

Art der Flüge	Anzahl der Flüge (pro Woche)	Frachtkapazitäten in Tonnen (pro Woche)
Frachtflüge:	138	11.848,4
Passagierflüge:	2.194	11.131
Summe:	2.332	22.974,4

Tabelle 4: Verteilung der LHC Flüge von FRA auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.⁸⁹

⁸⁸Vgl. Frankfurt Flughafen

http://www.frankfurt-airport.de/cms/default/rubrik/24/24600.daten_fakten-341340.html, 08.04.10.

⁸⁹Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

Mehr als die Hälfte der Frachttonnage wird von der Lufthansa Cargo in reinen Frachtern angeboten. Die andere Hälfte kommt als Belly Fracht in Passagiermaschinen an ihr Ziel. Insgesamt starten 2.332 Flüge in dem analysierten Zeitraum von Frankfurt aus, die 22.974,4 Tonnen Fracht transportieren können (siehe Tabelle 4).

In den folgenden Kreisdiagrammen werden die Hauptmärkte, aufgeteilt in Regionen, für die Lufthansa Cargo veranschaulicht:

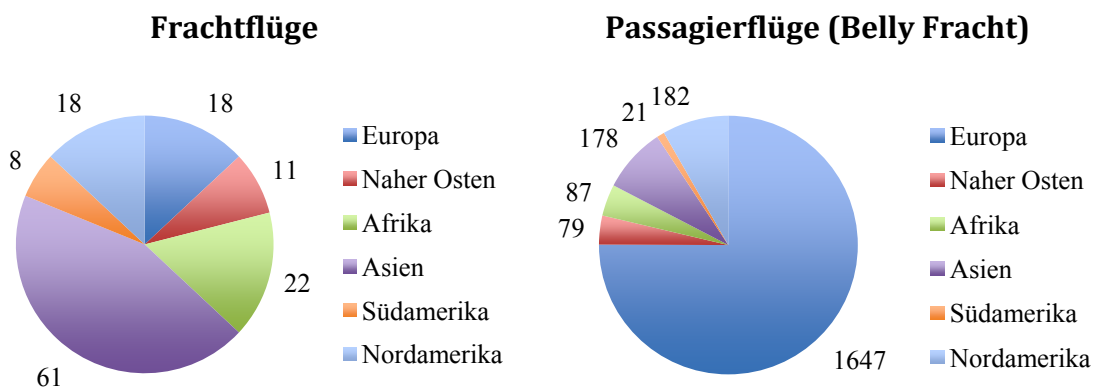


Abbildung 14: Destinationen der LHC Cargo Flüge.⁹⁰

Abbildung 15: Destinationen der LH Passagierflüge mit Belly Fracht.⁹¹

Die Verteilung der Flüge auf die Destinationen ist sehr unterschiedlich für die zwei Kategorien Frachtverkehr und Passagierverkehr. Aus den Kreisdiagrammen lassen sich sehr gut die umsatzstärksten Märkte für die Luftfracht in Frachtflugzeugen erkennen. Asien gilt mit 61 Verbindungen wöchentlich als sehr bedeutsamer Markt. Nordamerika und Afrika folgen mit nur jeweils 1/3 der Flüge in Richtung Asien. Innerhalb Europas werden nur sechs reine Frachtflüge angeboten, durch die ein Warenaustausch stattfindet. Die restlichen 12 Flüge gehören statistisch zu den Asienflügen⁹², weil diese in Kasachstan landen, um Treibstoff zu tanken und die Crew auszutauschen.⁹³ Dabei findet kein Warenaustausch statt (siehe Kapitel 4.4). Ähnlich dient auch der Nahe Osten nur als Zwischenstation für die Flüge nach Asien. Hier findet jedoch auch ein verstärkter Warenaustausch statt. Südamerika wird acht Mal pro Woche von Frachtflugzeugen bedient (siehe Abbildung 14).

⁹⁰ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

⁹¹ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

⁹² Vgl. OAG Daten.

⁹³ Vgl. Aussage von Herrn Michael Goentgens (Pressesprecher LHC).

Die Destination der Passagierflüge mit Belly Fracht beziehen sich zu 75 Prozent auf den europäischen Kontinent. Weitere Schwerpunkte liegen auf den Strecken nach Asien und Nordamerika.

6.1.2 Die Verkehrswellenstruktur

Anhand der Verkehrswellenstruktur⁹⁴ (siehe Abbildung 16) sind drei Ankunfts- und vier Abflugwellen⁹⁵ der Lufthansa Cargo am Frankfurter Flughafen zu erkennen. Die Darstellung der Verkehrswellenstruktur beinhaltet nicht, wie im Ansatz von G. Burghouwt erläutert (siehe Kapitel 3.3.3), die minimalen und maximalen Verbindungszeiten. Der Grund hierfür ist die Nutzung von Passagierflügen und reinen Frachtflügen der Cargo Fluglinien. Durch die Vermischung der Flüge ist eine Struktur unter Berücksichtigung der Verbindungszeiten nicht mehr möglich. Das primäre Ziel ist es, die Existenz einer Verkehrswellenstruktur im Cargogeschäft zu präsentieren, sowie die Anzahl der Wellen darzustellen. Dies soll zeigen, dass der zeitliche Ansatz von G. Burghouwt in der Realität relevant ist und auch im Luftfrachtverkehr berücksichtigt wird. Außerdem soll verdeutlicht werden, zu welcher Tageszeit eine erhöhte Anzahl von Flugbewegungen zu beobachten ist.

Die Ankunftswellen am Frankfurter Flughafen der LHC erstrecken sich über die folgenden Zeiträume: Von 4.30Uhr - 11Uhr (1), 13Uhr - 17Uhr (2) und von 18Uhr - 23Uhr (3). In den Zeiträumen folgt die Abflugwelle immer der Ankunftsstelle: Von 6Uhr - 11Uhr (1), 11.30Uhr - 13.30Uhr (Abflugp.), 14.30Uhr - 17.30Uhr (2) und 19.30Uhr - 23Uhr (3).

⁹⁴ Verkehrswellenstruktur ist anhand aufeinanderfolgender Peaks von ankommenden und abgehenden Flügen zu beobachten.

⁹⁵ Die Wellen sind kombiniert (Ankunfts- und Abflugwelle) grün umrandet. Einen Abflugpeak separat in orange markiert.

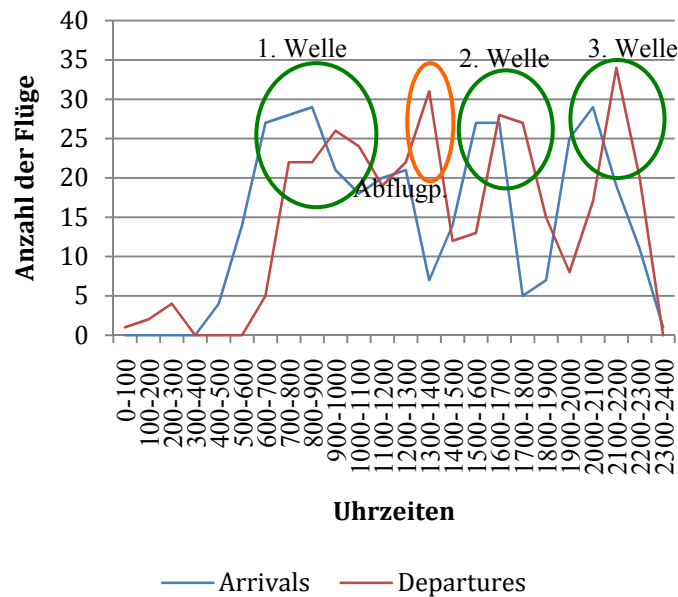


Abbildung 16: Verkehrswellenstruktur der LHC (Fracht und Belly Passage) für FRA
Mittwoch 16. Mai 2007.⁹⁶

Der Anschluss der Abflugwelle an die Ankunftsquelle ist typisch, da so der Transfer von ankommenden auf abgehende Flüge ermöglicht wird. Je nach Priorität (siehe Kapitel 5.1.2) besteht die Möglichkeit, die Ware im Fall von Expressfracht auch innerhalb einer Welle zu transferieren. Ansonsten muss aufgrund der Umschlagzeiten (8 Stunden Minimum) auf die nächste Welle eines späteren verfügbaren Fluges ausgewichen werden. Der einzelne Abflugpeak zwischen 11.30Uhr und 13.30Uhr existiert ohne einen vorher anschließenden Ankunftspeak. Womöglich zehrt der Abflugpeak noch von der vorangegangenen Welle.

Von Mitternacht bis 5Uhr morgens starten aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen nur reine Frachtflugzeuge (siehe OAG Daten). Diese haben eine Ausnahmegenehmigung für das offiziell geltende Nachtflugverbot.⁹⁷

Auffallend ist die große Anzahl von Flugzeugen, die kurz vor Mitternacht starten (34 Flüge). Dies ist ein typisches Phänomen des Logistikgeschäfts, weil viele Unternehmen ihre Ware am späten Nachmittag am Flughafen anliefern, so dass der Transport über Nacht stattfindet. Der Vorteil ist, dass die Ware in dem Fall häufig am nächsten Morgen am Zielort verfügbar ist. Daher ist am Abend sehr häufig eine größere Konzentration an Flugbewegungen im Cargobereich zu beobachten.

⁹⁶ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

⁹⁷ Vgl. Faz.net,

<http://www.faz.net/s/Rub5785324EF29440359B02AF69CB1BB8CC/Doc~ECB6CE34AFC5D478F93C7EA0AF9E46DE5~ATpl~Ecommon~Scontent.html>, 24.05.2010.

6.1.3 Anzahl der indirekten Verbindungen

Die Connectivity Unit für alle Flüge der Lufthansa Cargo, die ab Frankfurt Fracht transportieren, ist 140.019 pro Woche. Dies bedeutet, dass alle indirekten Flugverbindungen mit einer Attraktivität von null bis 100 Prozent mit Bezug auf den direkten Flug, aufsummiert die totale Anzahl von 140.019 Transferverbindungen ergeben. Wird nun die Anzahl der ankommenden Flüge durch die Connectivity Unit dividiert⁹⁸, folgt daraus, dass die Lufthansa Cargo für jeden ankommenden Flug durchschnittlich 60 Anschlussflüge die Woche anbietet. Damit hat die Fluglinie an ihrer Heimatbasis die größte Konnektivität aller analysierten Flughäfen vorzuweisen.

6.2 Amsterdam Schiphol

Der Flughafen Amsterdam Schiphol fertigt im Frachtbereich rund 4.000 Tonnen täglich ab (2008). 70 Prozent (2008) der Fracht am Flughafen Schiphol ist Transfracht. Amsterdam ist für die Niederlande das einzige große internationale Drehkreuz und die Heimatbasis der Fluggesellschaft KLM.⁹⁹

6.2.1 Ziele der KLM von Amsterdam Schiphol

Art der Flüge	Anzahl der Flüge (pro Woche)	Frachtkapazitäten in Tonnen (pro Woche)
Frachtflüge:	27	2.616,3
Passagierflüge:	1.328	16.710,7
Summe:	1.355	19.327

Tabelle 5: Verteilung der KLM Cargo Flüge von AMS auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.¹⁰⁰

Anhand der Anzahl der Flüge ist deutlich zu erkennen, dass die KLM ihre Fracht hauptsächlich als Belly Fracht in Passagiermaschinen transportiert. Insgesamt befördern 1.355 Flüge wöchentlich 19.327 Tonnen Fracht (siehe Tabelle 5).

In den folgenden Kreisdiagrammen werden die Hauptmärkte, aufgeteilt in Regionen, für die KLM Cargo veranschaulicht:

⁹⁸ Vgl. Kapitel 5.1.1.

⁹⁹ Vgl. Fact Sheet, 2009, Schiphol Group

(<https://www.schiphol.nl/SchipholGroup/NewsMedia/SchipholFactSheets.htm?presentationid=237353&print=true&shtype=true>), 19.05.2010.

¹⁰⁰ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

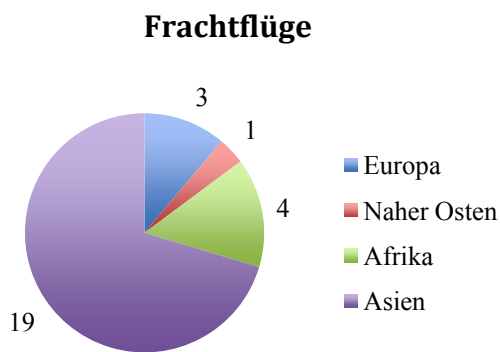


Abbildung 17: Destinationen der KLM Cargo Flüge.¹⁰¹

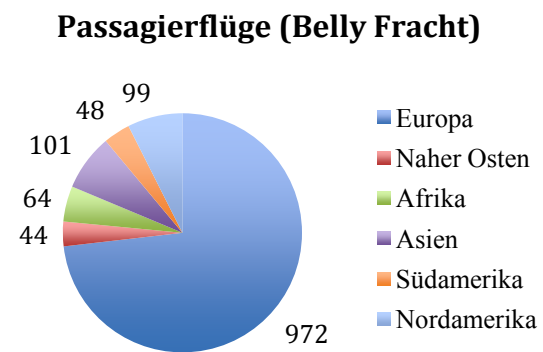


Abbildung 18: Destinationen der KLM Passagierflüge mit Belly Fracht.¹⁰²

Die im Vergleich zur Lufthansa Cargo kleine Flotte von Frachtflugzeugen setzt die KLM hauptsächlich auf den Strecken nach Asien ein. 70 Prozent der Frachtflugzeuge fliegen wöchentlich Ziele in Asien an. Der afrikanische Kontinent wird mit vier Cargo Flügen wöchentlich bedient. Südamerika, Australien und Nordamerika werden im Frachtflugplan nicht berücksichtigt. Das Emirat Dubai wird einmal wöchentlich als Zwischenlandung auf dem Weg nach Singapur und Malaysia genutzt.¹⁰³ Gleiches gilt für die drei europäischen Cargo Flüge. Hier dient wiederum Kasachstan als Zwischenstation der reinen Frachtflugzeuge. Daher bedient die KLM Cargo primär den afrikanischen und asiatischen Kontinent mit Frachtflugzeugen (siehe Abbildung 17).

86 Prozent ihrer Fracht transportiert die Fluggesellschaft in Passagierflugzeugen und bedient dadurch die übrigen Regionen im Frachtflugplan (ausgenommen Ozeanien). Für die Passagierflüge mit Belly Fracht liegen 73 Prozent der Destinationen auf dem europäischen Kontinent. Im Passagierflugplan rangiert Asien auf dem zweiten Platz hinter Europa bezogen auf die Anzahl der wöchentlichen Verbindungen von Amsterdam. Weitere Haupttrouten der KLM befinden sich zwischen Europa und Nordamerika, sowie Asien. Der Frachttransport nach Südamerika wird ausschließlich über die Passagierflugzeuge abgewickelt (siehe Abbildung 18).

¹⁰¹ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹⁰² Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹⁰³ Vgl. OAG Daten.

6.2.2 Die Verkehrswellenstruktur

Fünf Ankunfts- und Abflugwellen Wellen¹⁰⁴ beschreiben den Flugplan der KLM Cargo am Flughafen Amsterdam Schiphol (siehe Abbildung 19). Die Ankunftswellen erstrecken sich über die folgenden Zeiträume: Von 5Uhr - 6.30Uhr (1), 7Uhr - 9.30Uhr (2), 10Uhr - 12.30Uhr (3), 15Uhr - 18Uhr (4) und von 18.30Uhr - 21Uhr (5). Wie schon bei der LHC folgen auch hier die Abflugwellen den Ankunftswellen: Von 7Uhr - 9Uhr (1), 9.30Uhr - 12Uhr (2), 13Uhr - 14Uhr (3), 14.30Uhr - 18Uhr (4), 18.30Uhr - 22.30Uhr (5).

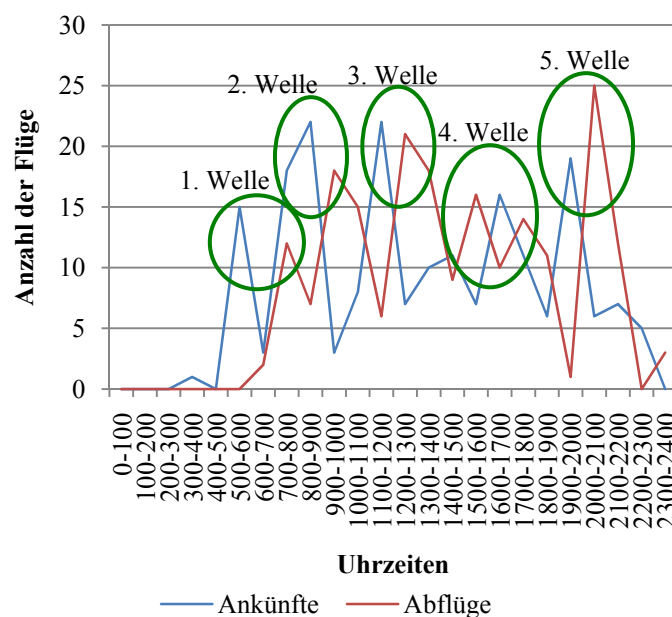


Abbildung 19: Verkehrswellenstruktur der KLM (Fracht und Belly Passage) für AMS
Mittwoch 16. Mai 2007.¹⁰⁵

Auch anhand dieser Verkehrswellenstruktur ist die erhöhte Anzahl von Abflügen am Abend zu erkennen, was wiederum typisch für das Logistikgeschäft ist (siehe Kapitel 6.1.2).

6.2.3 Anzahl der indirekten Verbindungen

Die Fluglinie KLM hat an ihrer Heimatbasis für alle Flüge, in denen Fracht transportiert wird, pro Woche ein CNU von 43.333. Damit gibt es für jeden ankommenden Flug die Möglichkeit, einen Transfer zu 32 verschiedenen Flüge vorzunehmen.

¹⁰⁴ Die Wellen sind kombiniert (Ankunfts- und Abflugwelle) grün umrandet.

¹⁰⁵ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

Mit diesem Ergebnis belegt die KLM an ihrer Heimatbasis unter den anderen analysierten Fluglinien den zweiten Platz.

6.3 Paris Roissy Charles de Gaulle

Der Flughafen Roissy Charles de Gaulle ist, wie Paris für Frankreich, das Zentrum des französischen Flugverkehrs. Der Flughafen ist die Heimatbasis der Air France. 90 Prozent (2009) des französischen Cargo Volumens wird über diesen Flughafen abgewickelt. Der größte Frachtflughafen in Europa profitiert vor allem von den drei Hauptkunden FedEx, Air France Cargo und der französischen Post. Sechs Frachtzentren stellen sicher, dass die 2,28 Millionen Tonnen Fracht jährlich (Stand: 2008) verladen werden. Der Flughafen ist rund um die Uhr, 365 Tage im Jahr verfügbar.¹⁰⁶

6.3.1 Ziele der Air France Cargo von Paris Roissy Charles de Gaulle

Art der Flüge	Anzahl der Flüge (pro Woche)	Frachtkapazitäten in Tonnen (pro Woche)
Frachtflüge:	93	9.285,1
Passagierflüge:	640	5.632,8
Summe:	733	14.917,9

Tabelle 6: Verteilung der AF Cargo Flüge von CDG auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.¹⁰⁷

Fast 75% der wöchentlichen Fracht von Air France werden in Frachtflugzeugen transportiert. Insgesamt befördern 733 Flüge wöchentlich 14.917,9 Tonnen Fracht (siehe Tabelle 6).

In den folgenden Kreisdiagrammen werden die Hauptmärkte, aufgeteilt in Regionen, für die Air France Cargo veranschaulicht:

Frachtflüge

Passagierflüge (Belly Fracht)

¹⁰⁶Vgl. Webseite von den Pariser Flughäfen, <http://www.aeroportsdeparis.fr/ADP/fr-FR/Professionnels/Cargo/ChiffresCles/Resultats/>, 08.04.10.

¹⁰⁷ Eigene Darstellung auf Basis von OAG Daten.

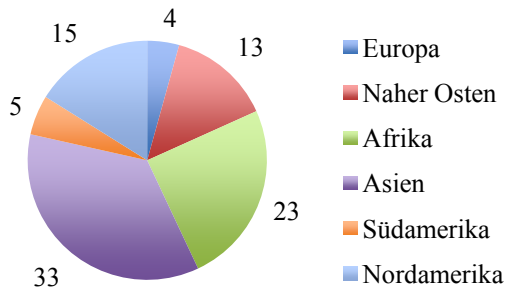


Abbildung 20: Destinationen der AF Cargo Flüge.¹⁰⁸

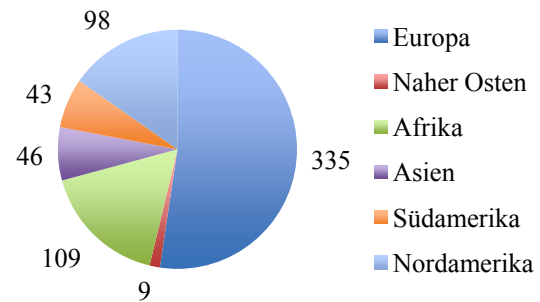


Abbildung 21: Destinationen der AF Passagierflüge mit Belly Fracht.¹⁰⁹

Aus dem Kreisdiagramm (siehe Abbildung 20) lassen sich drei Hauptstrecken für den Frachtflugverkehr identifizieren: Auf den asiatischen Kontinent entfallen 33 Cargo Flüge, 23 Flüge bedienen den afrikanischen Kontinent und 15 Flüge sind für Nordamerika bestimmt. Der Nahe Osten dient als Zwischenstation auf den Routen nach Asien und Afrika. Dennoch findet auch hier ein Warenaustausch statt.¹¹⁰ Ziele in Europa und Südamerika werden nur in sehr geringem Maße angeflogen. Diese Destinationen werden durch die starke Präsenz im Passagierverkehr berücksichtigt (siehe Abbildung 21). Bezogen auf den Passagierverkehr sind die Hauptstrecken anders verteilt: In diesem Fall dominieren Europa, Afrika und Nordamerika den Flugplan.

6.3.2 Anzahl der indirekten Verbindungen

Die Verkehrswellenstruktur der Air France Cargo an ihrer Heimatbasis Paris Charles de Gaulle zeigt jeweils sechs Ankunfts- und Abflugwellen¹¹¹. Die Ankunftswellen verteilen sich auf folgende Zeiträume: 5.30Uhr - 7.30Uhr (1), 8Uhr - 9.30Uhr (2), 10Uhr - 12.30Uhr (3), 16.00Uhr - 19Uhr (4), 19.30Uhr - 20.30Uhr (5), 21Uhr - 23Uhr (6). Die Abflugwellen erstrecken sich über die folgenden Zeiträume: 6Uhr - 8.30Uhr (1), 9Uhr - 12Uhr (2), 12.30Uhr - 14.30Uhr (3), 15Uhr - 17.30Uhr (4), 18 - 20Uhr (5) und 20.30Uhr - 22.30Uhr (6).

¹⁰⁸ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹⁰⁹ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹¹⁰ Vgl. OAG Daten.

¹¹¹ Die Wellen kombiniert sind (Abflug- und Ankunftsstelle) grün umrandet.

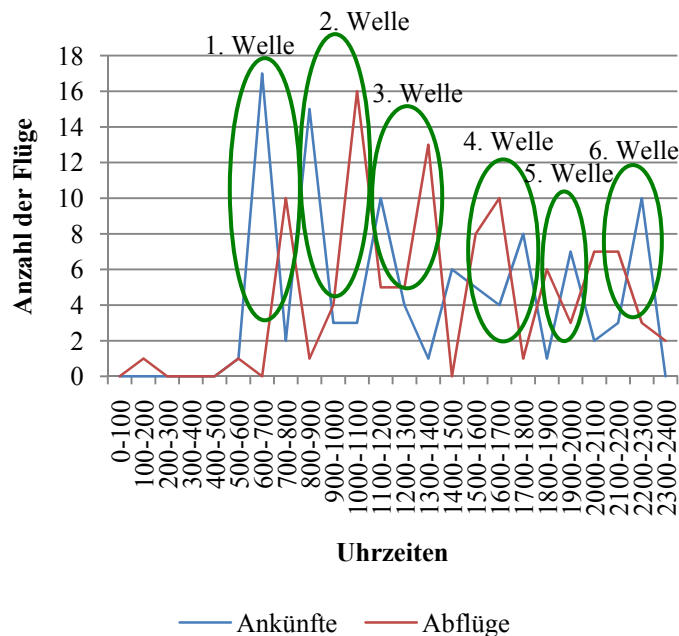


Abbildung 22: Verkehrswellenstruktur der AF Cargo (Fracht und Belly Passage) für CDG
Mittwoch 16. Mai 2007.¹¹²

Gut erkennbar ist das Ungleichgewicht von ankommenden und abgehenden Flügen am Morgen, welches gegen die Mittagszeit ausgeglichen wird.

6.3.3 Anzahl der indirekten Verbindungen

Der CNU der Air France ist an ihrer Heimatbasis Paris Charles de Gaulle mit 12.370 pro Woche, für alle Frachttransportierenden Flüge relativ gering. Auf einem ankommenden Flug kommen im Durchschnitt nur 17 abgehende Flüge. Damit belegt die Fluggesellschaft den vierten Platz in der Analyse.

6.4 London Heathrow

Auch wenn London Heathrow zu den größten Flughäfen der Welt zählt, so gilt dies hauptsächlich für den Passagierverkehr. Mit 1,3 Millionen Tonnen Luftfracht (Stand: 2009) liegt das britische Drehkreuz im Mittelfeld bei einem weltweiten Vergleich der Frachtflughäfen. Dennoch bietet London Heathrow 179 Destinationen im Fracht- und Passagierverkehr und ist gerade im Verkehr Europa - Nordamerika ein sehr wichtiger Standort.¹¹³

¹¹² Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹¹³ Vgl. London Heathrow Webseite

http://www.heathrowairport.com/portal/page/Heathrow%5EGeneral%5EOur+business+and+community%5EMedia+centre%5Efacts+and+figures/3cff846f3bba2010VgnVCM100000147e120a____/448c6a4c7f1b0010VgnVCM200000357e120a____/, 08.04.10.

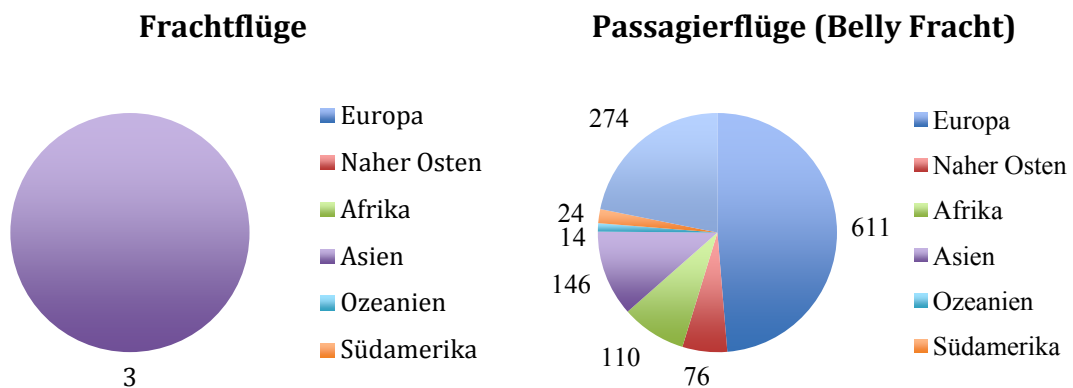
6.4.1 Ziele der British Airways von London Heathrow

Art der Flüge	Anzahl der Flüge (pro Woche)	Frachtkapazitäten in Tonnen (pro Woche)
Frachtflüge:	3	327
Passagierflüge:	1.255	13.389,1
Summe:	1.258	13.716,1

Tabelle 7: Verteilung der BA Cargo Flüge von LHR auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.¹¹⁴

Aufgrund von nur drei Cargo Flügen in der Woche transportiert die BA Cargo ihre Fracht ausschließlich über die Passagierflugzeuge. Die restliche Fracht verteilt sich auf die 1.255 Passagierflüge mit einer Kapazität von 13.389,1 Tonnen (siehe Tabelle 7).

In den folgenden Kreisdiagrammen werden die Hauptmärkte, aufgeteilt in Regionen, für die British Airways Cargo veranschaulicht:

Abbildung 23: Destinationen der BA Cargo Flüge.¹¹⁵Abbildung 24: Destination der BA Passagierflüge mit Belly Fracht.¹¹⁶

Der Frachtverkehr mit drei Flügen in der Woche nach Asien ist in der Analyse zu vernachlässigen (siehe Abbildung 23). Abgesehen vom Frachtverkehr bedient die Fluglinie im Passagierverkehr mit Belly Fracht alle Kontinente. Ein Schwerpunkt liegt auf dem europäischen Kontinent (knapp 50 Prozent aller Flugverbindungen) und dem Nordamerikanischen Markt, der 22 Prozent des gesamten Passagierverkehrs einnimmt. Asien und Afrika folgen mit über 100 wöchentlichen Verbindungen ab Heathrow. Der Nahe Osten gewinnt mit 76 Flugverbindungen an Bedeu-

¹¹⁴ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.¹¹⁵ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.¹¹⁶ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

tung. Durchschnittlich zwei Mal am Tag fliegt British Airways auch Ziele in Ozeanien an. Neben der Cargolux, ist die BA Cargo die einzige Fluglinie, die diese Region direkt bedient (Abbildung 24).

6.4.2 Verkehrswellenstruktur

Die BA World Cargo operiert an ihrem Drehkreuz London Heathrow in drei Verkehrswellen¹¹⁷ (siehe Abbildung 25). Die Ankunftswellen verteilen sich auf die folgenden Zeiträume: 5Uhr - 10Uhr (1), 11Uhr - 16Uhr (2), 17Uhr - 21Uhr (3). Die Abflugswellen folgen zeitlich jeweils dicht dahinter: 7Uhr - 11.30Uhr (1), 12Uhr - 19Uhr (2) und 20Uhr - 23Uhr (3). Nach Mitternacht bis 4.30Uhr finden keine Flugoperationen statt. Dennoch ist auch hier die erhöhte Anzahl an Abflügen vor Mitternacht zu beobachten.

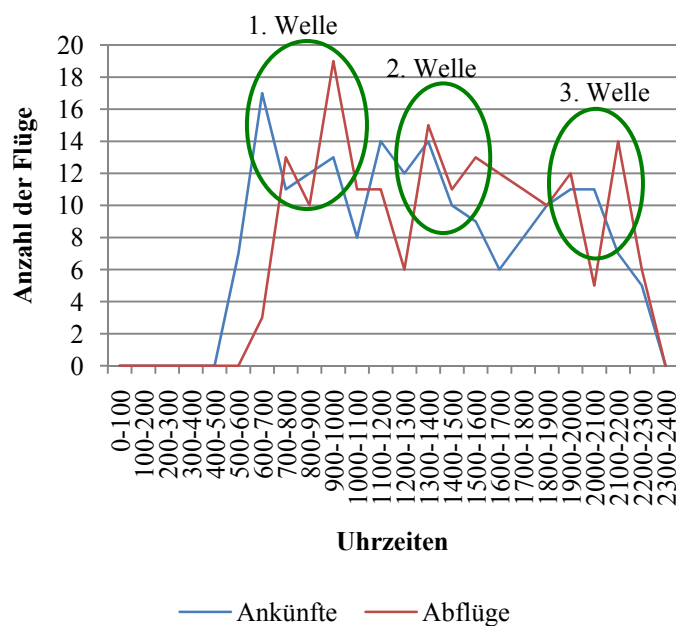


Abbildung 25: Verkehrswellenstruktur der BA Cargo (Fracht und Belly Passage) für LHR Mittwoch 16. Mai 2007.¹¹⁸

6.4.3 Anzahl der indirekten Verbindungen

Die British Airways belegt mit einem CNU von 36.548 pro Woche, für alle Fracht transportierenden Flüge, den dritten Platz. Daraus resultieren für jeden ankommenden Flug durchschnittlich 29 abgehende Flüge.

¹¹⁷ Die Wellen sind kombiniert (Ankunfts- und Abflugwelle) grün umrandet.

¹¹⁸ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

6.5 Luxemburg Flughafen

Der Flughafen in Luxemburg ist die Heimatbasis von Cargolux. Die Besonderheit der Fluglinie ist die ausschließliche Beförderung von Luftfracht. Folglich werden keine Passagierflüge angeboten. Am Flughafen in Luxemburg werden ungefähr eine Million Tonnen Fracht im Jahr umgeschlagen.¹¹⁹ Davon fliegt die Cargolux 80 Prozent der Fracht in alle Teile Erde.¹²⁰

6.5.1 Ziele der Cargolux von Luxemburg

Art der Flüge	Anzahl der Flüge (pro Woche)	Frachtkapazitäten in Tonnen (pro Woche)
Frachtflüge:	162	19.926
Passagierflüge:	0	0
Summe:	162	19.926,1

Tabelle 8: Verteilung der CV Cargo Flüge von LUX auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.¹²¹

Cargolux ist die einzige Fluglinie in der Analyse, die nur Frachtflüge anbietet. Mit 162 Frachtflügen in der Woche bietet die Fluglinie im Durchschnitt die gleiche Gesamtkapazität (19.926,1 Tonnen), wie die anderen Fluglinien auf Passagierflügen und reinen Cargo Flügen (siehe Tabelle 8) an.

In dem folgenden Kreisdiagramm werden die Hauptmärkte, aufgeteilt in Regionen, für die Cargolux veranschaulicht:

Frachtflüge

¹¹⁹ Vgl. Lux Airport, Jahresbericht 2008, S. 35.

¹²⁰ Vgl. Cargolux Webseite, <http://www.cargolux.com/Company/KeyFigures.php?w=TTC>, 19.05.2010.

¹²¹ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

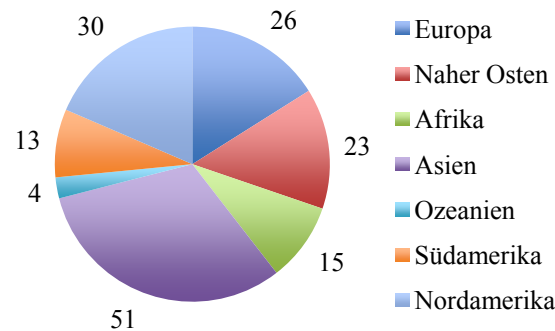


Abbildung 26: Destinationen der CV Cargo Flüge.¹²²

Die Cargolux bedient in der Woche alle sechs Kontinente mit ihrer Flotte. Hauptrouten im Flugplan sind zwischen Europa und Asien mit 51 Flügen in der Woche, sowie Europa und Nordamerika mit 30 Flügen in der Woche. Aufgrund des fehlenden Passagierverkehrs lässt die Cargolux auch 26 Frachter wöchentlich innerhalb Europas verkehren. Danach folgt der Nahe Osten mit 23 wöchentlichen Verbindungen. Afrika und Südamerika werden in etwa gleichwertig bedient. Auffallend sind die vier Flugverbindungen nach Ozeanien. Neben der Cargolux bietet keine Fluglinie in der Analyse Flugverbindungen mit Frachtflugzeugen nach Ozeanien an (siehe Abbildung 26).

6.5.2 Verkehrswellenstruktur

Die Cargolux operiert in Luxemburg mit drei Ankunfts- und Abflugwellen, sowie einem Abflugpeak am Abend¹²³ (siehe Abbildung 27). Allerdings ist die maximale Anzahl an Flugbewegungen mit drei Flügen begrenzt. Die Ankunftswellen steigen im Verlauf des Tages mit der Anzahl von Flügen an: Von 5.30Uhr - 7.30Uhr (1), 10.30Uhr - 14Uhr (2) und von 16.30Uhr - 19Uhr (3). Ein ähnlicher Verlauf ist bei den Abflugwellen zu beobachten: 8.30Uhr - 11Uhr (1), 12.30Uhr - 15.30Uhr (2), 16Uhr - 17.30Uhr (3). Der Abflugpeak erstreckt sich über den Zeitraum von 19.30Uhr - 22.30Uhr (Abflugp.). Kennzeichnend für das Logistikgeschäft ist die große Zahl an Abflügen kurz vor Mitternacht. Im Fall der Cargolux ist die Anzahl der Flüge in einem Peak sehr gering, so dass darüber diskutiert werden muss, bis zu welcher Anzahl von Flügen eine Verkehrswellenstruktur erkennbar ist (siehe Kapitel 7.2).

¹²² Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹²³ Die Wellen sind kombiniert (Ankunfts- und Abflugwelle) grün umrandet. Ein einzelner Abflugpeak ist orange umrandet.

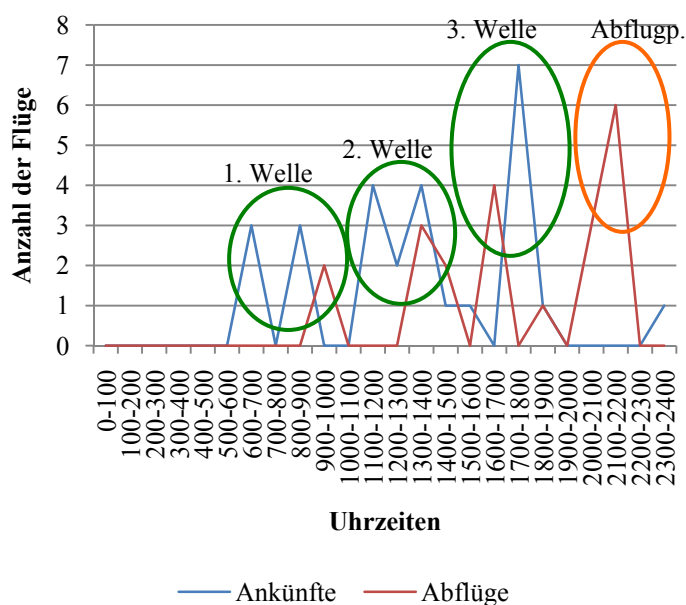


Abbildung 27: Verkehrswellenstruktur der CV für LUX
Mittwoch 16. Mai 2007.¹²⁴

6.5.3 Anzahl der indirekten Verbindungen

Die Cargolux hat einen CNU von 491 pro Woche vorzuweisen. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die Fracht für jeden ankommenden Flug auf durchschnittlich drei abgehende Flüge zu transferieren.

6.6 Incheon international Airport, Seoul (Südkorea)

Der „Incheon international Airport“ von Seoul ist die Heimatbasis der Korean Air Cargo. Mit einer Kapazität von ca. 4 Millionen Tonnen Luftfracht und des Hafenan schlusses ist der Flughafen für das 21. Jahrhundert gerüstet. Neben Shanghai, Hongkong und Singapur ist dieser Flughafen eines der Hauptdrehkreuze Asiens im Luftfrachtgeschäft.¹²⁵

6.6.1 Ziele der Korean Air Cargo von Incheon-Seoul

Art der Flüge	Anzahl der Flüge (pro Woche)	Frachtkapazitäten in Tonnen (pro Woche)
Frachtflüge:	170	12.964
Passagier:	468	13.395,7

¹²⁴ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

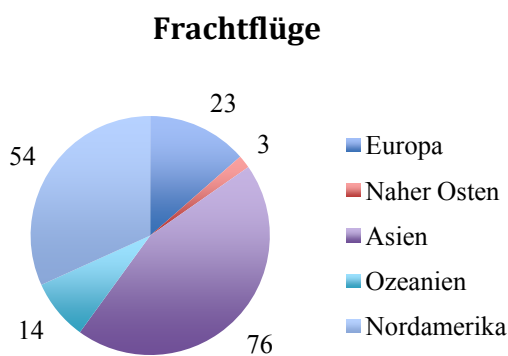
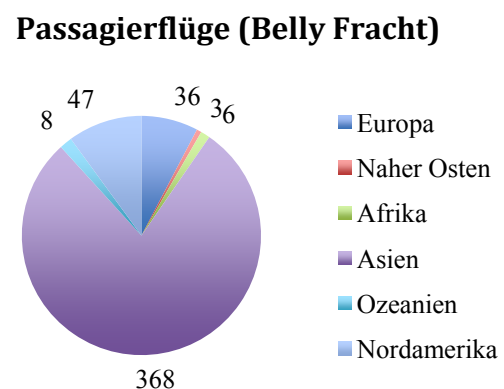
¹²⁵ Vgl. Incheon international Aiport, Jahresbericht 2009 S. 18.

Summe:	638	28.359,7
--------	-----	----------

Tabelle 9: Verteilung der KE Cargo Flüge von ICN auf Frachtflugzeuge und Passagierflugzeuge.¹²⁶

Bezogen auf die Gesamtkapazität und der Anzahl der Cargo Flüge ist die Korean Air Cargo, die größte der sechs analysierten Frachtfluglinien. Wie im Fall der LHC verteilt die Fluglinie ihre Frachtkapazitäten zu 50 Prozent auf die Passagierflüge und Cargo Flüge (siehe Tabelle 9).

In den folgenden Kreisdiagrammen werden die Hauptmärkte, aufgeteilt in Regionen, für die Korean Air Cargo veranschaulicht:

Abbildung 28: Destinationen der KE Cargo Flüge.¹²⁷Abbildung 29: Destinationen der KE Passagierflüge mit Belly Fracht.¹²⁸

Als nicht-europäische Fluggesellschaft konzentriert sich das Flugliniennetzwerk der Korean Air Cargo auf einen anderen Bereich der Erdkugel (siehe Abbildung 28 und Abbildung 29): Sowohl im Frachtflugverkehr, als auch im Passagierverkehr liegt eine deutliche Konzentration der Flugrouten auf der asiatischen Region. Die Prioritäten der Flugrouten sind im Passagierverkehr und Cargoverkehr bis auf Ozeanien und Afrika gleich verteilt. Nordamerika ist der zweitwichtigste Absatzmarkt, gefolgt von Europa. Ozeanien wird von Cargo Flugzeugen stärker berücksichtigt als durch den Passagierverkehr. Südamerika und Afrika werden im Flugplan der Cargo Flüge vollständig vernachlässigt. Nur sechs Passagierflüge bedienen Ziele in Afrika.

¹²⁶ Eigene Darstellung basierend auf den OAG Daten.

¹²⁷ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹²⁸ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

6.6.2 Verkehrswellenstruktur

Die Korean Air Cargo operiert am internationalen Flughafen von Seoul mit vier Ankunfts- und drei Abflugwellen (siehe Abbildung 30). Die Ankunftswellen verteilen sich über die folgende Zeiträume: von 5Uhr - 8Uhr (1), 9.30Uhr - 12.30Uhr (2), 13Uhr - 15Uhr (2) und 15.30Uhr - 19Uhr (3). Während der letzten Ankunftsweile ist die Anzahl der ankommenden Flugzeuge von bis zu 17 Flugzeugen in einer Stunde deutlich größer als der Durchschnitt von acht Flugzeugen pro Stunde.

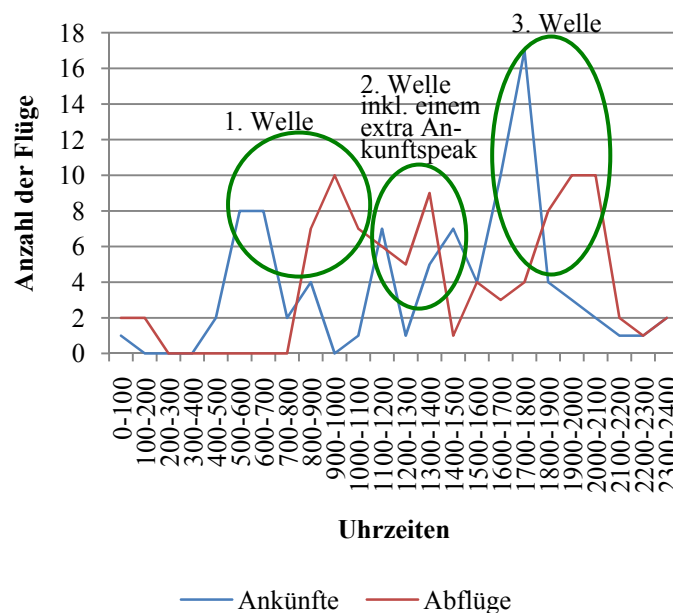


Abbildung 30: Verkehrswellenstruktur der KE für ICN
Mittwoch 16. Mai 2007.¹²⁹

Die Abflugwellen beginnen im Vergleich zu den anderen Fluglinien später am Tag: Von 7.30Uhr - 12.30Uhr (1), 13Uhr - 15Uhr (2) und 18Uhr - 21Uhr (3). Wie bei den meisten Cargo Fluglinien ist auch bei der Korean Air ein Anstieg der Flugoperationen am Abend zu beobachten.

6.6.3 Anzahl der indirekten Verbindungen

Die Korean Air hat am Flughafen in Seoul (Incheon International Airport) eine Konnektivität von 9.098 Transferverbindungen vorzuweisen. Damit gibt es die Möglichkeit, von jedem ankommenden Flug auf 14 abgehende Flüge zu transferieren.

¹²⁹ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

7. Auswertung der Ergebnisse

Die Auswertung der Resultate soll Erkenntnisse über die Qualität der Transitbedingungen an den analysierten Flughäfen im Cargo Segment erbringen.

Im ersten Teil des Kapitels werden die jeweiligen Flugliniennetzwerke nach ihrer Wahl der Destinationen beurteilt. Dafür ist interessant zu erfahren, ob die Destinationen der Fluggesellschaften denen der Hauptverkehrsströme des Luftfrachtverkehrs (siehe Kapitel 2.5) entsprechen.

Im Anschluss folgt die Bewertung und Interpretation der Konnektivität. Im ersten Schritt ist eine Analyse der Verkehrswellenstruktur vorgesehen. Dabei wird auf die Anzahl der genutzten Wellen der jeweiligen Fluglinien eingegangen und geklärt, ob auch die Cargo Flüge in einer Verkehrswellenstruktur operieren. Im zweiten Schritt folgt eine detaillierte Auswertung der Ergebnisse für die Transferverbindungen an den analysierten Flughäfen. Die Fluglinien werden hinsichtlich ihrer Strategien für die Verteilung der Fracht auf die Flugzeuge untereinander verglichen. Die Ergebnisse werden teilweise durch Aussagen aus Experteninterviews untermauert.

Im dritten Teil des Kapitels wird das F-Netscan Modell anhand seiner Stellschrauben kritisch analysiert. Dabei werden zwei Szenarien betrachtet, die eine Veränderung der Ergebnisse durch Modifizierungen der Parameter aufzeigen.

Im vierten Teil werden Verbesserungsvorschlägen für die Flughäfen und Fluglinien diskutiert, um die Konnektivität zu steigern.

Das Kapitel endet mit einer kritischen Betrachtung der Analyse, sowie möglicher Alternativen für die Analyse der Konnektivität im Frachtbereich.

7.1 Bewertung des Flugliniennetzwerkes nach Destinationen

Die Ergebnisse aus Kapitel 6 entsprechen den erläuterten Hauptverkehrsströmen der Luftfracht in Kapitel 2.5. Generell versuchen alle Fluggesellschaften weltweit, die nachgefragten Warenströme zu bedienen und davon zu profitieren. In Abhängigkeit von der Nachfrage hat jede Fluglinie bezogen auf die Destinationen eigene Schwerpunkte im Flugplan. Sollten einige Regionen nicht im Flugplan der Fluggesellschaften berücksichtigt worden sein, besteht dennoch die Möglichkeit, dass Waren über Kooperationsflüge transportiert werden. Dies wurde in der Analyse allerdings nicht berücksichtigt.

Für Europa ist Asien im Luftfrachtverkehr der wichtigste Markt.¹³⁰ Daher weisen europäischen Fluglinien auf Flugrouten nach/von Asien die höchste Frequenz auf. Das lässt sich auf die hohen Exportraten der Region zurückführen.

Eine weitere Gemeinsamkeit der europäischen Fluglinien sind die Eigenschaften des Luftfrachtverkehrs in Europa. Für Transporte innerhalb Europas nutzen die Fluggesellschaften bis auf wenige Ausnahmen den bodengebundenen Verkehr (Road Feeder Service) oder die Belly Kapazitäten der Passagiermaschinen. Wie schon in Kapitel 2.2 beschrieben, ist der Straßentransport wirtschaftlicher als die Nutzung von Frachtflugzeugen. Neben dem Road Feeder Service ist für alle europäischen Fluggesellschaften (ausgenommen Cargolux) im europäischen Verkehr das große Angebot an **kontinental** Passagierflügen sehr nützlich. In diesem Segment können die Cargo Firmen auf 50 - 75 Prozent der konzerneigenen Passagefluglinie zurückgreifen.

Nordamerika wird intensiv von der Lufthansa Cargo, der Air France Cargo, der Cargolux und Korean Air Cargo mit Cargo Flügen bedient. British Airways Cargo und der KLM Cargo fehlen die Kapazitäten an Frachtflugzeugen für den Markt. Daher nutzen diese zwei Fluggesellschaften die Belly Kapazitäten ihrer Passagiermaschinen.

Afrika und Südamerika werden mit der Ausnahme von der Korean Air Cargo in den Flugplänen berücksichtigt. Die Nachfrage nach Luftfrachttransporten ist vor allem auf den Import von verderblichen Waren und Tieren zurückzuführen. Blumen, spezielle Sorten von Fisch, sowie Fische für Aquarien sind Produkte, die in Europa verstärkt nachgefragt werden. Besonders die Air France Cargo legt in Ihrem Flugplan einen Schwerpunkt auf den Warenaustausch mit Afrika.¹³¹

Hinsichtlich der Wahl des Transportmittels, ob Frachtflugzeug oder Passagierflugzeug, haben die Fluglinien unterschiedliche Strategien. Die Lufthansa Cargo und die Korean Air Cargo sind im Besitz einer ausreichenden Anzahl an Frachtflugzeugen, um 50 Prozent der Fracht in eigenen Flugzeugen zu transportieren. Die übrige Fracht wird in Passagiermaschinen geflogen.

¹³⁰ Vgl. Pressebox, <http://www.pressebox.de/pressebox/messe-muenchen-gmbh/boxid/311474>, 23.04.10.

¹³¹ Vgl. Aussagen von Herrn Nils Haupt, (Leiter Unternehmenskommunikation, LHC).

BA Cargo und KLM haben deutlich weniger Frachtflugzeuge zur Verfügung und probieren, somit einen Großteil der Fracht über die Passagiermaschinen zu transportieren.

Die Korean Air Cargo (KE Cargo) hat im Gegensatz zu den europäischen Fluglinien z.B. einen anderen geographischen Schwerpunkt in ihrem Flugliniennetzwerk. So nutzt die Fluggesellschaft die geographische Nähe zu Ozeanien und natürlich zu ihrer eigenen Region Asien. Ein Großteil der Transportflüge entfällt auf diese beiden Regionen. Dennoch profitiert die KE Cargo natürlich auch von der hohen Nachfrage auf den Strecken von/nach Europa und Nordamerika (siehe Kapitel 2.5).

Der Vorteil der kombinierten Nutzung von Fracht- und Passagierflugzeugen ist, dass die Fluglinie auf eine viel größere Anzahl an Flugbewegungen zurückgreifen kann. Beispielsweise werden Passagierverbindungen in einer größeren Frequenz angeboten als reine Cargo Flüge. Der Nachteil vom Belly Transport¹³² ist, dass keine Gefahrgüter und besonders sperrige Ware (Beispiel: Autos) transportiert werden dürfen. Für sperrige Güter reicht der Stauraum in Passagierflugzeugen nicht aus und der Transport von Gefahrgütern in Passagiermaschinen ist gesetzlich verboten. In diesen Fällen ist der Transport nur in reinen Frachtflugzeugen möglich.

7.2 Bewertung der Konnektivität

Wie schon im theoretischen Teil der Arbeit diskutiert, ist ein Hub Flughafen nur dann als solcher identifizierbar, wenn dieser die ankommenden Flüge bündelt und viele weitere Anschlussmöglichkeiten bietet. Ein sehr gutes Kriterium für die Bewertung eines Hubs ist die Verkehrswellenstruktur der Fluglinien. Alle Fluglinien operieren an ihren Heimatbasen mit einer Verkehrswellenstruktur im Flugplan. In der Präsentation der Ergebnisse sind die einzelnen Peaks gut zu identifizieren. Unterschiede waren nur in der Anzahl und der Dauer der Wellen zu erkennen. Die Air France Cargo operiert beispielsweise in sechs Verkehrswellen am Flughafen Paris Charles de Gaulle. Diese Struktur ist aber im Vergleich zu der Verkehrswellenstruktur der LHC in Frankfurt durch zeitlich kürzere Wellen geprägt. Dadurch verringert sich die Anzahl der Flüge, die pro Welle platziert werden können. Dieses Phänomen wird durch eine größere Anzahl an Wellen wieder ausgeglichen.

Es zeigt sich, dass jede Fluggesellschaft ihre eigene Strategie entwickelt hat und diese ständig optimieren muss. Die „beste Strategie“ existiert in diesem Falle nicht.

¹³² Transport von Fracht in Passagierflugzeugen.

Isoliert betrachtet würde beispielsweise die LHC mit ihrer eigenen Flugzeugflotte keine Verkehrswellenstruktur vorweisen können, weil die Anzahl der startenden und landenden Flugzeuge zu gering wäre, als dass daraus eine Struktur erkennbar werden würde. Im Anhang ist eine Verkehrswelle (siehe Abbildung 38) für LHC entworfen worden, die das Phänomen einer Verkehrswelle von reinen Cargo Flügen (nur Frachtflugzeuge) zeigt. Auch die Cargolux operiert nicht wirklich in einer Verkehrswellenstruktur, weil auch hier die Anzahl der Flüge zu gering ist. Da in der Literatur keine festen Kriterien für die Mindestanzahl an Flügen in einer Verkehrswellenstruktur vorgegeben sind, ist es schwierig eine Grenze zu definieren. In der Analyse ergaben sich nur verwertbaren Ergebnisse, wenn Passagier und Luftfrachtflüge berücksichtigt wurden. Dazu muss bemerkt werden, dass aufgrund der langen (bis zu 12 Stunden) Transferzeiten, ein Transit innerhalb einer Verkehrswelle nicht möglich ist. Folglich kann ein Transfer nur mit der nächsten oder übernächsten Welle erfolgen. Ausgenommen ist das Expressgeschäft, welches durchaus einen Transit innerhalb einer Verkehrswelle realisieren kann, weil die Verladung von einem zum nächsten Flugzeug innerhalb einer Stunde möglich ist.

Bewertung der einzelnen Flughäfen

Im Einzelnen sollen nun die Ergebnisse der Fluglinien an ihren Heimatbasen diskutiert werden. Die Ergebnisse beziehen sich auf eine minimale Transferzeit von acht Stunden und eine maximale Transferzeit von 24 Stunden. Aufgrund der groben Skalierung in der folgenden Abbildung verfügt die Cargolux nicht über einen Balken. Dennoch beträgt ihre Konnektivität 491.

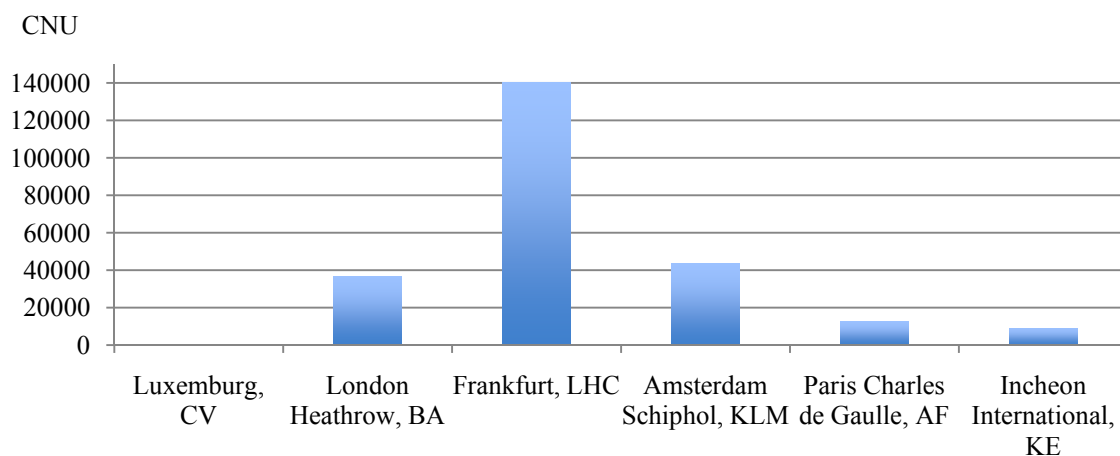


Abbildung 31: Gegenüberstellung der CNUs für die analysierten Flughäfen.¹³³

Die Dominanz der **Lufthansa Cargo** an ihrem Heimatflughafen Frankfurt gegenüber den Konkurrenten ist beachtlich (siehe Abbildung 31). Der Abstand auf den nächsten Konkurrenten KLM beträgt knapp 100.000 CNU. Aus 140.019 Transferverbindungen resultiert im Durchschnitt für jeden ankommenden Flug die Möglichkeit, auf 60 Flüge Fracht zu transferieren. Dies resultiert vor allem aus dem großen Angebot von Flügen, denn die Anzahl der Transitverbindungen steigt exponentiell mit der Zahl der ankommenden Flüge (siehe Abbildung 32). Mit 2.332 Flügen pro Woche lässt die LHC ihre nächsten Konkurrenten um 1.000 Flüge oder mehr hinter sich liegen (siehe Tabelle 10). Die hohe Anzahl an Flugbewegungen pro Woche (2.332) ist eine Grundvoraussetzung für die effiziente Konnektivität, weil für jeden ankommenden Flug ein CNU berechnet wird. Dennoch ist das Ergebnis auch das Resultat einer sehr effizienten Flugplanung. Die enge Kooperation mit der LH Passage bietet der LHC 2.194 Flügen pro Woche für den Transport von Fracht an, neben den 138 wöchentlichen Cargo Flügen.

Nach Aussagen des Leiters der Kommunikation der LHC hat der Passagierverkehr in der Flugplanung Priorität. Für den Flugplan der Frachtflotte bedeutet dies, dass sich die LHC an den Flugplan der Lufthansa Passage anpassen muss. Dies ist nicht immer ganz einfach, weil Fracht bevorzugt während der Nacht transportiert wird und der Passagierverkehr vorwiegend am Tag stattfindet.

Insgesamt ist die Lufthansa Cargo sehr dominant im Markt positioniert und betreibt das Luftfrachtgeschäft mit ehrgeizigen Zielen.

Flughafen	Passagierflüge	Frachtflüge	CNU	Durchschnittliche Hub Konnektivität¹³⁴
FRA, LHC	2.194	138	140.019	60
AMS, KLM	1.328	27	43.333	32
LHR, BA	1.255	3	36.5483	29
CDG, AF	640	93	12.370	17
LUX, CV	0	162	491	3
ICN, KE	468	170	9.098	14

¹³³ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹³⁴ Diese Werte sind nur Durchschnittswerte und errechnen sich durch die Division von CNU/Ankommende Flüge. Die Werte wurden gerundet.

Ø 25,83

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse.¹³⁵

Die **KLM** folgt der LHC mit einem CNU von 43.333 (siehe Abbildung 31). Der geringe CNU gegenüber der Lufthansa Cargo erklärt sich aus der Anzahl angebotener Flugverbindungen: Die Lufthansa bietet über 100 reine Cargo Flüge und 866 Passagierflüge (siehe Tabelle 5) mit Belly Transport mehr an (siehe Tabelle 10). Dies ist der Hauptgrund für den deutlich kleineren CNU, weil der CNU mit der Anzahl der Flüge exponentiell ansteigt. Dieser Zusammenhang wird sehr deutlich in Abbildung 32 dargestellt. Die Anzahl der Flugbewegungen ist zu gering.

Die KLM Cargo transportiert nur 14% ihrer Fracht in reinen Frachtflugzeugen (siehe Kapitel 6.2). Folglich wird der Großteil der Waren per Belly Fracht in Passagierflugzeugen transportiert. Auf Basis des Passagierverkehrs und mit Bezug auf die im Gegensatz zur LHC kleinere Flugzeugflotte ist der CNU gut. Nach dem Studium der Flugzeugflotte der KLM nutzt die Fluglinie viele Flugzeuge mit zusätzlichen Frachtkapazitäten. Beispielsweise bietet eine umgebaute 747-400 für bis zu 35 Tonnen Cargo Fracht¹³⁶ Kapazität an. Dies ist sicherlich eine Alternative zu einer eigenständigen großen Cargo Tochter und spart Kosten, weil weniger Flugzeuge unterhalten werden müssen. Dennoch sind die Frachtkapazitäten begrenzt. Anhand der Ergebnisse ist jedoch ersichtlich, dass die KLM den Luftfrachtverkehr nicht speziell fokussiert und ausbaut. Hier besteht sicherlich noch Bedarf, besonders für den Aufbau einer eigenen Cargoflotte.

¹³⁵ Eigene Darstellung (Vgl. Kapitel 6).

¹³⁶ Vgl. KLM Plane Sheet.

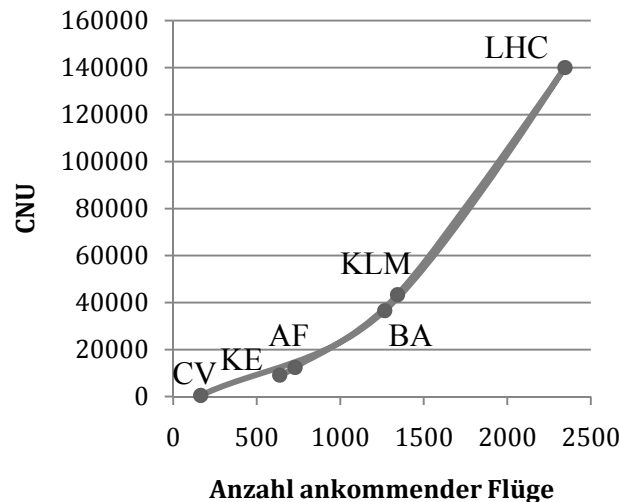


Abbildung 32: CNU in Abhängigkeit von den ankommenden Flügen der analysierten Flughäfen.¹³⁷

Die **BA World Cargo** operiert bis auf drei wöchentliche Cargo Flüge nur über die Frachtkapazitäten der Passagierflugzeuge. Bei einer Anzahl von wöchentlich 1.258 Flügen ist die Konnektivität im Vergleich zur LHC dennoch nicht zufriedenstellend (siehe Kapitel 6.4). Auch in diesem Fall resultiert der drastische Konnektivitätsunterschied aus der Anzahl der Flüge (siehe Tabelle 10). Die reinen Cargo Flüge fehlen der BA komplett und auch die Passagierflüge, die Belly Fracht transportieren, unterscheiden sich um über 900 Flugverbindungen zu der LHC. Dies ist erneut die Hauptursache für einen geringen Konnektivitätsindex. Hinzu kommt, dass sich das Luftfrachtgeschäft der BA in London auf drei Flughäfen aufteilt (Heathrow, Stansted, Gatwick) und somit nur ein Teil des Cargo Geschäftes analysiert wurde. Dennoch ist es bemerkenswert, dass die Fluglinie nur aufgrund der hohen Anzahl Passagierflüge die dritthöchste Konnektivität erreicht und noch über der durchschnittlichen Konnektivität der Flughäfen liegt.

Nach Aussagen eines Luftfrachtexperten von Kuehne + Nagel (Herr Mertens) ist das Problem der Flughäfen die infrastrukturelle Ausstattung: „London Heathrow ist gerade im Luftfrachtbereich kein empfehlenswerter Flughafen. Sendungen gehen verloren oder lagern über Tage am Flughafen“. Auch in der Presse ist der Flughafen kein Vorzeigebjekt: „BAA will mit dem "T5" genannten Gebäude den Flughafen aus den Negativschlagzeilen bringen und das "Fliegen wieder zur Freude machen".¹³⁸

¹³⁷ Eigene Darstellung auf Basis von OAG Daten. (Verbindungszeiten 480-1440 min).

¹³⁸ Vgl. Spiegel Online, <http://www.spiegel.de/reise/europa/0,1518,543811,00.html>, 28.04.10.

Hinzukommt, dass für die British Airways der Luftfrachtbereich sicherlich keine Kernkompetenz ist und auch keinen großen Stellenwert genießt, wie beispielsweise bei der Lufthansa.

Der Konnektivitätsindex von der **AF Cargo** am Pariser Flughafen Roissy Charles de Gaulle ist erstaunlich klein verglichen mit den anderen großen europäischen Fluggesellschaften. Ein CNU von 12.370 (siehe Abbildung 31) aus dem 17 mögliche Anschlussflüge pro ankommenden Flug resultieren, ist im Vergleich zu den Konkurrenten nicht ausreichend. Eine mögliche Erklärung für das Ergebnis ist die geringe Kapazitätsnutzung der Passagierflugzeuge. Die AF Cargo transportiert knapp 75% ihrer Fracht in Frachtflugzeugen (siehe Tabelle 10). Dies hat zur Folge, dass ein Großteil der Passagierflüge aus der Analyse herausfällt. Nur 640 Passagierflüge wurden berücksichtigt. Im Vergleich zu den anderen europäischen Fluglinien ist dieser Wert sehr klein. Daraus folgt ein im Vergleich zu den anderen analysierten europäischen Fluggesellschaften kleiner Konnektivitätsindex. Die europäischen Konkurrenten (ausgenommen Cargolux) nutzen alle über 1.000 Passagierflüge in der Woche für den Transport von Luftfracht. Nicht auszuschließen ist auch ein Datenfehler.

Die Ergebnisse der **Korean Air Cargo** (siehe Abbildung 31) sind im Vergleich zu der europäischen Konkurrenz äußerst niedrig. Allerdings entsprechen sie der Analyse von G. Burghouwt über die asiatischen Drehkreuze. Asiatische Fluggesellschaften haben generell im Vergleich zu Europa erheblichen Nachholbedarf in der Abstimmung von Flügen an ihren Drehkreuzen.¹³⁹ Dies verdeutlichen auch die Ergebnisse dieser Analyse: Insgesamt gibt es nur 7.401 Anschlussflüge pro Woche. Für jeden ankommenden Flug stehen im Durchschnitt nur 14 Anschlussflüge zur Verfügung. Die geringe Konnektivität wird jedoch durch große Frachtkapazitäten auf den Flügen ausgeglichen. Dies kann auch eine mögliche Strategie sein, wenn die Nachfrage entsprechend hoch ist. Dennoch bleibt der Hauptgrund für den kleinen CNU erneut die Anzahl der Flüge. Mit insgesamt 638 Flügen pro Woche ist die Fluggesellschaft weit von dem Angebot europäischer Fluggesellschaften entfernt.

¹³⁹ Vgl. Burghouwt, 2010, S. 399.

Der Incheon International Airport ist nicht sehr beliebt unter den Spediteuren. Nach Aussage des Luftfrachtexperten von Kuehne + Nagel ist der Flughafen bezogen auf das Cargogeschäft von vielen Verspätungen und Problemen im Frachtverkehr geprägt. Regelmäßig treten sogenannte „Backlogs“ auf. Folglich muss die Fracht auf eine andere Maschine gebucht werden, was natürlich zu Zeitverzögerungen in der Lieferkette führt.

Die Ergebnisse der **Cargolux** sind schwer interpretierbar. Eine Fluglinie die ausschließlich Cargo Flüge anbietet kann keine hohe Konnektivitätsindizes vorweisen. Mit einer Anzahl von 162 Flügen in der Woche ist dies nicht realisierbar. Daher liegt der Fokus der Cargolux darauf, die Abdeckung der Hauptwarenströme weltweit zu erreichen (siehe Abbildung 28). Dabei ist die hohe Auslastung der Flugzeuge ein primäres Ziel. Speziell Frachtflugzeuge fliegen selten nur ein Ziel auf ihrer Route an. Die Flugzeuge sind manchmal bis zu 60 Stunden unterwegs und steuern auf ihrer Reise mehrere Flughäfen an. Aufgrund der kleinen Anzahl an Flügen. Bei einer langen Reisedauer hat die Abstimmung der Flüge nicht die höchste Priorität für die Fluggesellschaft.

Wird die Konnektivität allerdings mit dem CNU aus dem Frachtflugplan (nur reine Frachtflüge) der LHC und der Korean Air Cargo verglichen, ist die Cargolux gut positioniert.

Zusammenfassende Betrachtung

Zusammengefasst geben die Ergebnisse einen guten Überblick über die Abstimmung der Flüge der Cargo Fluglinien an ihren Heimatbasen. Eine einheitliche Erkenntnis ist, dass keine Cargo Fluglinie ohne die genutzten Passagierflugzeuge eine hohe Konnektivität erreicht hätte. Die Lufthansa, ein Konzern mit einer sehr starken Cargo als Tochterunternehmen, hat ein herausragendes Ergebnis erzielt und liegt weit vor den Konkurrenten. Der Grund für den hohen Konnektivitätsindex liegt an dem Angebot von Flügen, was durch den Kurvenverlauf der CNU in Abhängigkeit der ankommenden Flüge sehr gut darstellen lässt (siehe Abbildung 32). Hierin unterscheidet sich die LHC sehr deutlich zu den anderen Fluggesellschaften. Air France Cargo überrascht mit einem sehr kleinen CNU, was aber wiederum auf der geringen Anzahl an Flugbewegungen beruht.

7.3 Kritische Betrachtung des F-Netscan Modells

Bisher waren hauptsächlich die Anzahl der ankommenden Flüge jeder Fluggesellschaft verantwortlich für einen hohen bzw. kleinen Konnektivitätsindex. In diesem Abschnitt werden die Stellschrauben des Modells betrachtet. In einem ersten Schritt werden Parameter im F-Netscan Modell beschrieben, die nicht veränderbar sind, aber im Vergleich zum Netscan Modell die Ergebnisse beeinflussen. In einem zweiten Schritt werden dann in einer Szenarioanalyse die veränderbaren Parameter modifiziert und die Ergebnisse analysiert.

7.3.1 Einfluss der Modifizierungen am F-Netscan Modell auf die Ergebnisse

Einige Änderungen innerhalb des im Algorithmus des Netscan Modells haben erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse. Diese Änderungen werden nicht, wie die Verbindungszeiten verändert. Sie charakterisieren das Luftfrachtgeschäft im F-Netscan Modell. Im Folgenden werden die Änderungen am Netscan Modell und ihr Einfluss auf die Ergebnisse erläutert:

1. Die Anzahl der berechneten Flugverbindungen ist deutlich größer, weil durch den fehlenden Routenfaktor kaum Verbindungen wegfallen. Beispielsweise sind in dem jetzigen Modell Flugkombinationen möglich wie z. B. New York - Frankfurt - Chicago. Natürlich würde eine Cargo Fluglinie keine Fracht auf diesem Weg transportieren, sondern den direkten Weg New York - Chicago wählen. Dennoch ist der Transport über Frankfurt theoretisch möglich und muss daher auch in Betracht gezogen werden. Im ursprünglichen Netscan Modell mit Routenfaktor wären das Beispiel nicht in die Berechnung mit eingegangen, weil Passagiere diese Art von Flugverbindung nicht buchen würden (siehe Kapitel 4.2). Jedoch werden Berechnungen vom Startflughafen über den Hub und wieder zurück zum Startflughafen (Beispiel: New York - Frankfurt - New York) weiterhin nicht zugelassen.
2. Die „erfahrene Flugzeit“ (PPT) und die „maximale Flugzeit“ (MXT) werden großzügiger berechnet, weil für den Frachttransport auf die Parameter des „Zeitgefühls“ verzichtet wurde. Die MXT ist in den meisten Fällen ausreichend groß genug, weil eine mögliche Transferzeit von 24 Stunden einen sehr großen Zeitraum für die Verladung der Fracht am Flughafen schafft.

Dadurch wird die Bedingung $PPT < MXT$ häufig erfüllt, so dass eine Transferverbindung berechnet werden kann.

Die aufgeführten Modifizierungen der Formeln führen zu einer Erhöhung der Transferverbindungen im Luftfrachtverkehr im Vergleich zum Passagierverkehr, weil eine größere Anzahl indirekter Flugverbindungen für die Berechnung des CNU zugelassen werden.

7.3.2 Modifizierung der Verbindungszeiten

Eine sehr wichtige Stellschraube am F-Netscan Modell sind die Verbindungszeiten. Durch die Modifizierung dieser Zeiten werden die Zeiträume für den Transit von Fracht vergrößert oder verkleinert. Folglich können nach dem Aufbau des Modells die Veränderungen der Ergebnisse sehr groß sein. So bedeutet eine Verkürzung der minimalen Verbindungszeit eine Vergrößerung des verfügbaren Zeitraumes für den Transit. Im Gegensatz dazu hat eine Verkleinerung der maximalen Verbindungszeit zur Folge, dass der Zeitraum für den Transit eingeschränkt wird, so dass auch der Konnektivitätsindex sinkt. Beide Szenarien beziehen sich auf die Aussagen der Spedition Kuehne + Nagel und der Lufthansa Cargo (siehe Kapitel 5.1.2).

Vergrößerung der maximalen Verbindungszeit

Nach den Aussagen von Kuehne + Nagel kalkuliert das Unternehmen für Transferfracht immer einen Tag mehr als für die Standard Luftfracht (Fracht, die ohne jegliche Priorität befördert wird, siehe Kapitel 5.1.2). Gründe für die Verlängerung des Transportes sind die Unsicherheiten über das Erreichen des Anschlussfluges und die Verladung am Transferflughafen, sowie ein möglicher Backlog¹⁴⁰. Gegenüber dem Kunden ist die zeitliche Verlängerung der Transportzeit von Transferfracht eine Vorsichtsmaßnahme, um Qualitätskriterien einhalten zu können.¹⁴¹ Daher wurde in diesem Szenario die maximale Verbindungszeit durch Erhöhung der Transferzeit um 48 Stunden vergrößert. Die minimale Verbindungszeit bleibt mit acht Stunden (480 Minuten) konstant.

¹⁴⁰ Siehe Kapitel 5.1.2.

¹⁴¹ Experteninterview, Kuehne + Nagel, Herr Mertens.

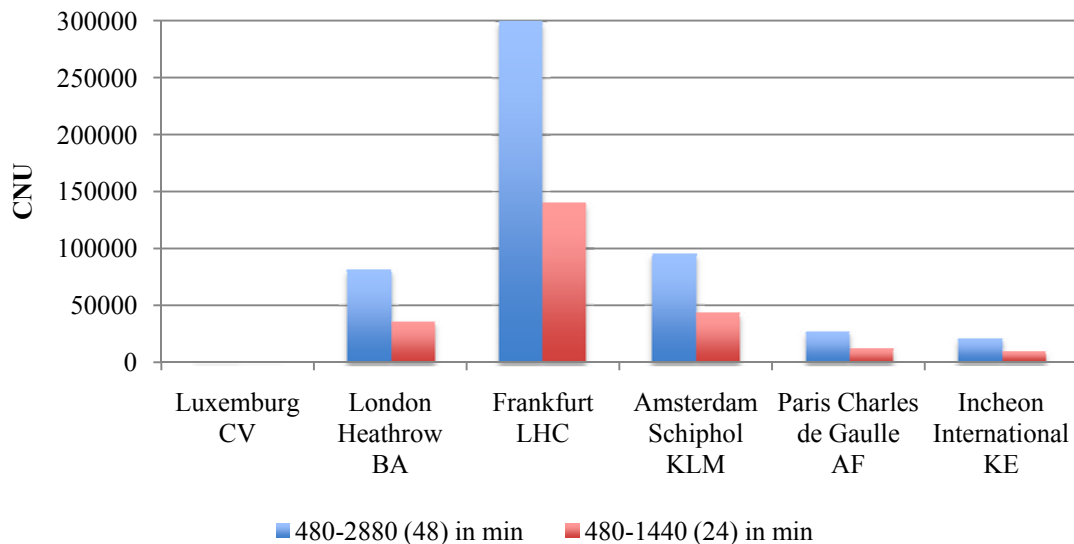


Abbildung 33: Hub Konnektivität von den analysierten Flughäfen mit unterschiedlichen maximalen Verbindungszeiten.¹⁴²

Die Abbildung 33 zeigt die Veränderung der maximalen Transferzeit. Der blaue Balken basiert auf einer Transferzeit von 48h + Flugzeit, während der rote Balken die ursprünglichen 24h + Flugzeit präsentiert. Die Vergrößerung des Zeitraumes führt zu einem deutlichen Anstieg der Transferverbindungen. Das Ergebnis lässt sich anhand der langen maximalen Transferzeit (MXT) begründen. Die Bedingung $PPT < MXT$ innerhalb des Algorithmus ist nun für eine größere Anzahl von Flugrouten offen und verursacht dadurch den Anstieg der Transferverbindungen. Dies ist für die Spediteure und die Luftfrachtunternehmen sehr angenehm, weil das Risiko, die Fracht nicht innerhalb des gewünschten Zeitraumes an ihr Ziel zu bringen, minimiert wird.

Vergrößerung der minimalen Verbindungszeit

Das zweite Szenario (siehe Abbildung 34) bezieht sich auf die Aussagen der LHC (Herr Rohrmeier, Produktmanagement LHC). Die Aussage besagt, dass die Lufthansa eine minimale Transferzeit von 12 Stunden am Frankfurter Flughafen veranschlagt, weil das Unternehmen der Meinung ist, dass unter 12 Stunden nicht die Möglichkeit besteht, die durchschnittliche Standardfracht (Fracht ohne Prioritätsstatus¹⁴³) zu transferieren.¹⁴⁴ Die blauen Balken repräsentieren die ursprüngliche

¹⁴² Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

¹⁴³ Für den Prioritätsstatus muss der Kunde mehr Geld bezahlen und erreicht dadurch, dass seine Fracht mit hoher Priorität behandelt wird, so dass der Transport schneller erfolgt als ohne den Prioritätsstatus.

¹⁴⁴ Vgl. Experteninterview, LHC, Herr Rohrmeier.

minimale Verbindungszeit von acht Stunden, während die roten Balken die Aussagen der LHC von 12h darstellen. Leider ist der CNU von Luxemburg aufgrund der groben Skalierung nicht darstellbar.

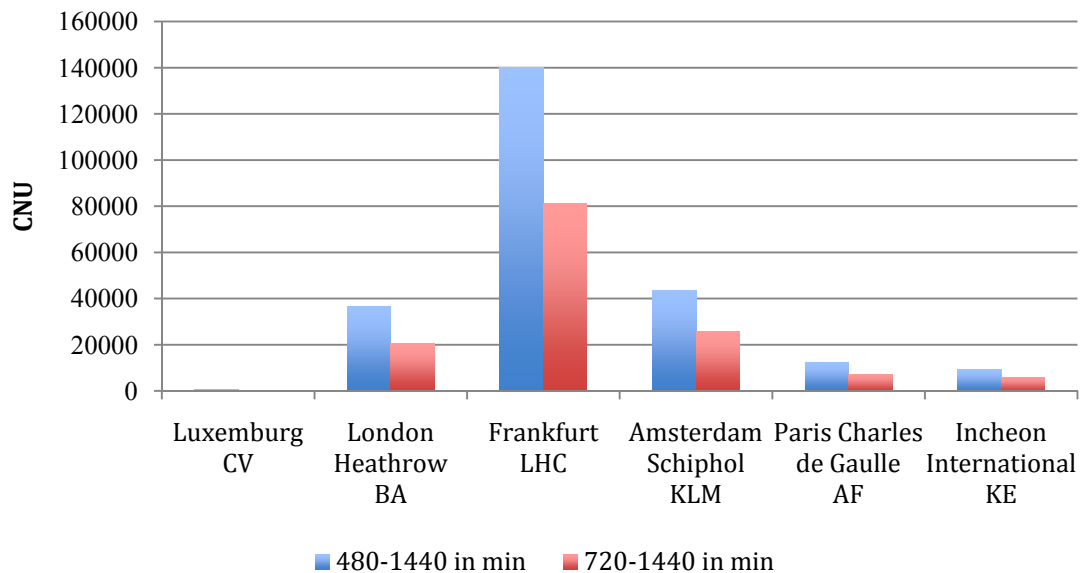


Abbildung 34: Hub Konnektivität von den analysierten Flughäfen mit unterschiedlichen minimalen Verbindungszeiten.¹⁴⁵

Eine Verkürzung des Zeitfensters von vier Stunden (impliziert durch eine Erhöhung der minimalen Transferzeit von acht Stunden auf 12 Stunden) verringert den CNU um 35-50 Prozent je nach Betrachtung des Flughafens. Der Grund für die Minimierung des CNU ist offensichtlich. Eine Verkleinerung des Zeitraumes für den Transit von Fracht impliziert automatisch, dass die Zahl der Anschlussflüge sinkt. Die unterschiedlichen prozentualen Konnektivitätsverluste beruhen auf den Verteilungen der Flüge über den Tag. Durch den Verlust von 4h zu den ursprünglichen 8h minimaler Verbindungszeit fallen eine hohe Anzahl Anschlussflüge aus. Außerdem erhöht sich die „empfundene“ Reisezeit PPT ($PPT = FLT + TRT$), weil die Transferzeit automatisch mit mindestens 12 Stunden angesetzt ist. Die maximale Transferzeit $MXT = FLT + 24$ bleibt allerdings konstant. Dies hat zur Folge, dass die Bedingung $PPT < MXT$ nicht mit der gleichen Häufigkeit erfüllt wird, als wenn die minimale Transferzeit 8h wäre.

Zusammenfassende Betrachtung

¹⁴⁵ Eigene Darstellung basierend auf OAG Daten.

Die Szenarioanalysen boten die Möglichkeit, die Auswirkungen einer Verkürzung oder Verlängerung der Verbindungszeiten besser zu untersuchen. Der Zeitrahmen für den Transfer am Flughafen ist maßgeblich verantwortlich für die Anzahl an möglichen Verbindungsflügen. Dennoch unterscheidet sich das Ranking der Flughäfen in keinem der betrachteten Fälle.

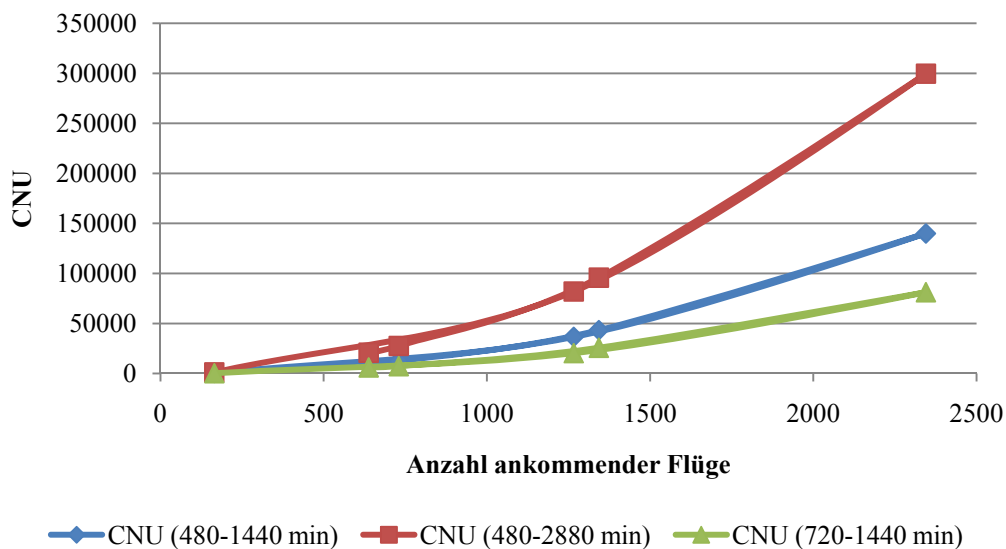


Abbildung 35: Verlauf der CNU Kurve für unterschiedliche Verbindungszeiten.¹⁴⁶

In Abbildung 35 werden die unterschiedlichen Kurvenverläufe des CNU in Abhängigkeit der ankommenden Flüge für die unterschiedlichen Verbindungszeiten dargestellt. Die Abbildung zeigt, den exponentiellen Anstieg des CNU im Fall einer Vergrößerung der maximalen Transferzeit (rote Kurve). Eine Verkleinerung der minimalen Transferzeit hat den gleichen Effekt. Während eine Erhöhung der minimalen Verbindungszeit, den Zeitraum für den Transit verkleinert, ergibt sich daraus auch eine Verkleinerung des CNU (Verflachung der Kurve, siehe grüne Kurve). Die Darstellung fasst die Veränderungen der Transferzeiten übersichtlich zusammen und zeigt die jeweiligen Auswirkungen auf den CNU.

7.4 Verbesserungsmöglichkeiten der CNU für Fluglinie und Flughafen

Aus den Szenarioanalysen sind die Schaltstellen für die Verbesserung der Konnektivität sichtbar geworden. Eine Erhöhung des CNU ergibt sich aus der Vergrößerung des Zeitfensters für den Transfer der Fracht, z.B. durch die Verkürzung der

¹⁴⁶ Eigene Darstellung auf Basis von OAG Daten für die analysierten Flughäfen.

minimalen Verbindungszeit. Für das Expressfrachtgeschäft ist dies vorteilhaft um den Transfer am Flughafen so kurz wie möglich zu gestalten. Nach Aussagen der Lufthansa sind im Expressfrachtgeschäft Transferzeiten von einer Stunde erreichbar. Für die Standardfracht würde eine Verringerung der minimalen Verbindungszeit bedeuten, dass der Handlingaufwand erheblich steigt. Der Kunde muss dabei auch die Bereitschaft zeigen, dieses zu bezahlen. Die Fluggesellschaft sollte in diesem Fall einen Kompromiss zwischen einem schnellen Transport, der nur durch Mehraufwand möglich ist und dem Angebot niedriger Preise finden. Daher bieten die Cargounternehmen und Speditionen unterschiedliche Produkte in Bezug auf die Versandzeiten an.

Die Vergrößerung der maximalen Verbindungszeit ist eine weitere Methode die Konnektivität zu erhöhen, weil durch die Erhöhung ein größerer Zeitraum für den Transfer von Fracht gegeben ist. Dennoch impliziert die Erhöhung in vielen Fällen eine längere Transportzeit. Das ist für die Kunden nicht immer akzeptabel und daher die schlechtere Variante, die Anzahl der Transferverbindungen zu erhöhen.

Weitere Möglichkeiten der Verbesserung bestehen in einem Ausbau der Logistikzentren und Verbesserungen der Bodenprozesse. Schnelle Transportwege und optimierte Prozesse beim Beladen und Entladen der Flugzeuge, sowie der flugtauglichen Verpackung reduzieren den zeitlichen Aufwand. Im Hinblick auf die Beladung der Flugzeuge müssen Backlogs verhindert werden. Speziell durch das Interview mit Kuehne + Nagel ist deutlich geworden, dass Backlogs¹⁴⁷ ein nicht zu unterschätzendes Problem der Fluggesellschaften und Flughäfen bilden.

Im Bezug auf den Flugplan ist eine bessere Abstimmung der Passagierflüge mit den Cargo Flügen wünschenswert. Selbstverständlich ist diese Art der Abstimmung nur dann erforderlich, wenn die Cargoflotte über eine ausreichende Anzahl an Flugzeugen verfügt. Im Fall der British Airways Cargo, die nach Aussagen der Analyse im Besitz von drei Frachtflugzeugen ist, wäre eine Anpassung der Flugpläne nicht möglich. Ein besseres Beispiel ist die Lufthansa Cargo, die eine Anpassung der Flugpläne bewusst unterstützt.¹⁴⁸

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag ist die Abfertigung der Flugzeuge in der Nacht. Anhand der Verkehrswellenstruktur ist das Start- und Landeaufkommen über den Tag verteilt zu beobachten. Dabei ist die Anzahl der Flüge sicherlich noch

¹⁴⁷ Vgl. Kapitel 5.1.2.

¹⁴⁸ Vgl. Experteninterview, Herr Rohrmeier, LHC.

ausbaufähig, sofern die gesetzlichen Rahmenbedingungen dies erlauben. Dadurch ergäbe sich eine größere Anzahl Slots für den Flughafenbetreiber und ein schnellerer Frachttransfer zwischen den Flugzeugen. Meist landen die Cargo Flüge tagsüber oder im optimalen Fall in den Morgenstunden am Zielflughafen. Die Fracht ist so schneller für den Empfänger verfügbar oder aber ein Transfer auf die morgendlichen Verkehrswellen der Passagierflüge ist möglich.

Am Ende müssen alle Verbesserungen sowohl für die Kunden als auch für die Fluggesellschaften zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Daher sind die angesprochenen Punkte nur Vorschläge und müssen mit Blick auf ihre Wirtschaftlichkeit individuell auf die Fluggesellschaften und Flughafenbetreiber zugeschnitten werden.

7.5 Kritische Bewertung der Analyse und mögliche Alternativen

Bisher existiert in der Literatur auf dem dargelegten Niveau hinsichtlich der Parameter kein vergleichbares Modell zur Analyse von Transferzeiten im Luftfrachtgeschäft. G. Burghouwt empfiehlt das Modell basierend auf der Erkenntnis, dass die in den mathematischen Formeln eingesetzten Parameter genau und aktuell sind. In Bezug auf die Analyse von Passagierflügen berechnet das Modell die Transferverbindungen auf Basis der Zeiten, die auf dem Empfinden von Passagieren beruhen (siehe Kapitel 4). Daher sind die Ergebnisse realitätsnah und keine abstrakten Werte, die nur als Vergleich dienen. Außerdem beschleunigt die Vorsortierung der Daten die Berechnungen. Dennoch muss immer bedacht werden, dass jedes Modell nur so gut ist, wie seine Parameter und der Dateninput.

Für die Berechnung der Konnektivität im Luftfrachtverkehr sind einige Parameter modifiziert worden, um den Anforderungen der Luftfracht Branche zu entsprechen. Dabei liegt der Fokus auf der empfundenen Reisezeit und dem Zeitfenster (minimale und maximale Verbindungszeit) für den Transfer am Flughafen.

Speziell in Bezug auf die Transferzeiten musste sich auf die Aussagen der Unternehmen verlassen werden. Leider war die Varianz der angegebenen Werte zwischen Kuehne + Nagel und der Lufthansa Cargo relativ groß, so dass verschiedene Szenarien analysiert werden mussten und die Ergebnisse dadurch stark voneinander abwichen. Letztlich hat sich die Platzierung der Flughäfen aber in keinem der

untersuchten Szenarien verändert. Dennoch besteht die Möglichkeit, die Analyse noch differenzierter zu gestalten. Beispielsweise könnten die Flughäfen nach Produktklassen von Transporten (Express, Standard, Günstig) analysiert werden. Auch in diesem Falle könnte eine genaue Aussage über die Transferzeiten und die resultierenden CNU's getroffen werden.

Eine wichtige Voraussetzung für Analysen nach dem dargelegten Modell (F-Netscan) ist die Aktualität der Daten. Die Flugdaten von 2007 berücksichtigen nicht die Fusion der Air France und der KLM. Außerdem mussten die Daten manuell durch die Road Feeder Services bereinigt werden.

In der Literatur existieren keine bekannten Alternativen zum Netscan Modell. Das Modell von Y. Park (2008) berechnet zwar die Konnektivitätsindices für Flughäfen, ist aber nicht mit dem Netscan Modell gleichzusetzen, weil mathematisch ein anderer Ansatz zur Bewertung eines Flughafens genutzt wird (siehe Anhang). Weiterhin ist ein Vergleich nicht möglich, weil das Netscan Modell im Rahmen einer Analyse von einzelnen Routen verwendet wird. Zudem müsste das Modell mit verifizierten Annahmen aus der Praxis bestückt werden, um die Ergebnisse verwertbar zu gestalten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Forschungsbedarf auf diesem Gebiet noch lange nicht erschöpft ist. Auch wenn das Netscan Modell schon sehr weit entwickelt ist und verlässliche Ergebnisse produziert, muss speziell im Luftfrachtverkehr noch detaillierter analysiert werden.

8. Fazit und Ausblick

Die zeitliche Abstimmung von ankommenden und abgehenden Flügen an Hub Flughäfen ist ein sehr wichtiges Thema für Fluggesellschaften. Mit dem Aufbau eines globalen Flugliniennetzwerkes kann über eine Verkehrswellenstruktur an den Drehkreuzen eine hohe Anzahl indirekter Verbindungen generiert werden. Wirtschaftlich betrachtet ist die Nutzung von effizienten Flugrouten über Hub Flughäfen sehr sinnvoll, weil die vergleichsweise höheren Kosten für Point-to-Point Verbindungen vermieden werden und das Leistungsspektrum mit Bezug auf die große Anzahl von Destinationen erweitert werden kann.

Der Luftfrachtverkehr ist schon lange kein „by-product“ mehr. Vielmehr hat sich in den letzten Jahrzehnten eine eigene Industrie entwickelt, die durch den anhaltenden Prozess der Globalisierung mit enormen Wachstumsraten expandiert. Folglich hat der Ausbau eines Hub-and-Spoke Systems und der damit verbundenen effektiven Nutzung von indirekten Flugverbindungen eine hohe Priorität für die Cargo Industrie.¹⁴⁹

Die Analyse dieser Arbeit sollte Aufschluss darüber bringen, wie effektiv die Cargo Fluglinien ihre Flüge an ihren Heimatbasen aufeinander abstimmen. Die großen Unterschiede in den operativen Ausführungen des Luftfrachtverkehrs gegenüber dem Passagierverkehr hatten zur Folge, dass das Netscan Modell durch Anpassungen in den mathematischen Formeln überarbeitet werden musste (siehe Kapitel 4). Speziell im Bezug auf die Transferzeiten waren Anpassungen nötig, da der Transfer von Fracht am Flughafen deutlich mehr Zeit erfordert, als der Transfer von Passagieren. Der Hauptgrund dafür sind die längeren Bodenprozesse im Luftfrachtgeschäft. Die Verladung, Verpackung und die Verzollung benötigen erheblich mehr Zeit, als der Transfer im Passagiergeschäft (siehe Kapitel 5).

Die Ergebnisse, welche durch das F-Netscan Modell (Modifizierte Netscan Modell) für die Fluglinien an Ihren Heimatflughäfen errechnet wurden, waren generell zufriedenstellend.

¹⁴⁹ Vgl. Experteninterview, Herr Rohrmeier, LHC

Dennoch bleibt zu diskutieren, welche Transferzeiten den besseren Bezug zur Praxis widerspiegeln: Die Lufthansa Cargo war der Meinung zwölf Stunden seien realistisch, während Kuehne + Nagel von acht Stunden ausging. Beide Aussagen begründeten sich u.a. auf unternehmerische Interessen und Garantien gegenüber den Kunden zurückzuführen waren. Die Lösung des Problems war nicht ganz einfach. Dennoch boten die Hauptanalyse und die anschließenden Szenarien Resultate um die Situation der Fluglinien hinsichtlich der Konnektivität an ihren Heimatbasen einzuschätzen. Die Platzierung der Flughäfen änderte sich in keiner Analyse. Daher konnte auf dieser Basis eine konkrete Aussage getroffen werden.

Bezogen auf die tatsächlichen Werte der CNU ergaben beide Szenarien in Kapitel 6 (acht und zwölf Stunden minimale Transferzeit) realistische Werte. Am Ende beruhte die Entscheidung der minimalen Transferzeit auf der Priorität der Waren im Transitverkehr. Ein Transit von einem Flugzeug zum nächsten wäre innerhalb von einer Stunde möglich. Diese Aussage besaß aber für die Mehrzahl der Produkte keine Gültigkeit. Daher wurde sich auf 8h minimale Transferzeit von Fracht festgelegt. Diese Annahme beruhte unter anderem auf Literaturangaben, welche von noch optimistischere Zeiten ausgingen. Weiterhin musste ein Kompromiss zwischen den Aussagen der beiden Unternehmen gefunden werden.

Die Lufthansa Cargo erreichte eine sehr hohe Konnektivität in Frankfurt. Der Grundlage für dieses Ergebnis war die große Anzahl an Passagierflügen, die von der Lufthansa Tochter Cargo für Luftfrachttransporte genutzt werden konnten. Hinzu kamen die eigenen Frachtflugzeuge, die ohnehin eine überdurchschnittliche Anzahl an Flügen generierten. Es wird deutlich, dass die Lufthansa Cargo mit einem Flugplan arbeitete, in dem viel Wert auf die Abstimmung von Flügen gelegt wurde. Konkurrenten, wie die KLM Cargo, BA Cargo oder AF Cargo erzielten deutlich niedrigere Konnektivitätsindices, weil sich die Anzahl Flugbewegungen zu denen der LHC zu deutlich unterschied. Die Flugbewegungen waren die Hauptursache für die hohe Konnektivität der LHC. Der Grund hierfür ist, dass für jede ankommende Verbindung ein CNU errechnet wird, der sich bei einem im ähnlichen Zeitraum ankommenden Flug verdoppelt. Im Idealfall sind es die gleichen Anschlussflüge, weil der Zeitunterschied zwischen den beiden ankommenden Flügen sehr klein ist.

Nicht zufriedenstellend ist das Ergebnis der Air France Cargo. Nach Aussortierung der Passagierflüge ohne Belly Fracht blieben nur noch 640 Flüge pro Woche übrig, was im Vergleich zu den Konkurrenten ein sehr kleiner Wert ist. Ein Datenfehler ist in diesem Fall nicht auszuschließen.

Mit Bezug auf die Analyse muss bemerkt werden, dass ein Modell nur so gut ist, wie die Inputdaten, mit denen es rechnen kann. Die Berechnungen würden durch eine Aufteilung in Produktklassen an Genauigkeit zunehmen. Dies wird durch eine genaue Zuordnung der Transferzeiten begründet. Für jedes Luftfrachtprodukt werden auf Basis der Priorität unterschiedliche Transferzeiten angesetzt. Dabei wäre das Problem der Definition von Transferzeiten vernachlässigbar. Außerdem ist die Verwendung von aktuellen Daten immer empfehlenswert, da im Luftfrachtgeschäft Veränderungen und Wachstum alltäglich sind.

Eine weitere Möglichkeit die Analyse auszubauen, ist die Analyse anderer Fluglinien und Flughäfen. In diesem Fall bietet sich ein Vergleich einzelner Regionen an. Außerdem könnten individuelle Flughäfen durch die Analyse aller nutzenden Fluglinien verglichen werden. Neben den Flughäfen können, wie schon in der Literatur zu finden ist, einzelne Flugstrecken verglichen werden. In der Arbeit haben sich die Hauptverkehrsströme im Luftfrachtverkehr sehr deutlich herauskristallisiert. Daher wäre es auch interessant, die Wettbewerbsfähigkeit der Fluglinien im Transfer von Waren an Hub Flughäfen auf den beliebten Flugrouten zu analysieren.

Für die Zukunft werden die Transitverbindungen noch mehr an Bedeutung zunehmen. Mit dem Ausblick auf eine weltweit stark wachsende Flotte von Frachtflugzeugen, sowie auf die Integration des A380, stehen die Flugplaner vor großen Herausforderungen.¹⁵⁰ Speziell der A380 ist ein typischer Flugzeug, welches nur für Großflughäfen geeignet ist. Daher wird das Hub-and-Spoke System auf den Haupttrouten zwischen Europa, Asien und Amerika verstärkt genutzt werden. Point-to-point Verbindungen werden in Zukunft vermehrt durch indirekte Verbindungen ersetzt werden. Dies ist aber nur durch noch geringere Transitzeiten möglich, die nur mit Hilfe eines guten Logistiksystems am Flughafen ermöglicht werden können. In diesem Zusammenhang ist die Lufthansa Cargo bereit, einen dreistelligen Millionenbetrag in die Cargo City Nord zu investieren, wenn das Nacht-

¹⁵⁰ Vgl. Grandjot, 2007, S. 90

flugverbot in Frankfurt gelockert wird.¹⁵¹ Infolge der allgemeinen Wachstumsaus-sichten im Luftfrachtverkehr haben Konnektivitätsanalysen und die Weiterent-wicklung des Netscan Modells noch viel Potential für die Zukunft zu bieten.

¹⁵¹ Vgl. Jahresbericht 2009, Lufthansa Cargo

Literaturverzeichnis

Bootsma, P.D., 1997: Airline Flight Schedule Development; Analysis and Design Tools for European Hinterland Hubs. Elinkwijk B.V., Utrecht

Burghouwt and de Witt, G. and J., 2005: Temporal configurations of European airline networks, Journal of Air Transport Management, S. 188 - 198

Burghouwt, G., 2007: Airline Network Development in Europe and its implications for Airport Planning

Burghouwt, G., de Witt, J., Veldhuis, J., 2009: Air Network performance and hub competitive position: Evaluation of primary airports in East and South-East Asia, Airport Management Vol. 3, NO 4, S. 384-400, July-September 2009, Henry Stuart Publications

CESARZ, F. (1985): Deutsche Lufthansa: Nationale Rolle und Unabhängigkeit, in: Lufthansa (HRSG.): Jahrbuch, Köln, S. 73

Gordon, A., (2006): Five things everyone should know about network evolution, Vortrag anlässlich der 9. Hamburg Aviation Conference, 22.-24. Februar 2006, Hamburg

Grandjot, H.-H., 2007: Air Cargo Guide – An introduction to the air cargo industry, Huss Verlag

Incheon international Airport, 2009: Jahresbericht 2009, <http://www.airport.kr/eng/iia/>

Kindelbacher, B., 2008: „Luftverkehrsdrehkreuze“ - Herausforderungen der Luftfracht-Netzplanung, Vorlesung Luftfrachtdrehkreuze, Institut für Bauingenieurwesen, Karlsruher Institut für Technologie

KLM Cargo, 2010: Artwork KLM fleet: Hans Murriss, KLM Engineering & Maintenance, KLM Plan Facts, <http://corporate.klm.com/en/about-klm/fleet>

Künneht, T., 2009: Einstieg in Eclipse 3.5: Effizient Java-Entwicklung mit Eclipse – Plug-ins, Web- RCP Anwendungen erstellen – inkl. Refactoring, Debugging, Subversion, CVS u.v.m. (Gebunden Ausgabe), 3. Auflage, Galileo Press

Littek, F., 2006: Luftfracht, Motorbuch Verlag

Lufthansa Cargo, 2009: Jahresbericht 2009

Lufthansa Cargo, 2006: Lufthansa Planet Februar 2006

Lufthansa Cargo, 2009: Politikbrief November 2009: Informationsdienst für Entscheider in Politik, Medien und Wirtschaft (<http://presse.lufthansa.com/politikbrief.html>)

Lux Airport, 2008: Jahresbericht 2008, <http://www.lux-airport.lu/2008/>

Mensen, H., 2007: Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen, Springer Verlag

Newton, S., 2009: European Network transport model refinement regarding freight and intermodal transport to and from the rest of the world, Sixth Framework Programme, Worldnet Network Data, NEA, S. 20-25

Niedermeyer, M., 2008: Infrastruktur - Grundlage einer erfolgreichen Luftfrachtoperation, Vorlesung Luftfrachtdrehkreuze, Institut für Bauingenieurwesen, Karlsruher Institut für Technologie

Official Airline Guide (OAG), 2007: Flugdaten, zur Verfügung gestellt vom Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung

Park, Y., Kim, Y-J., Park, K., 2008: Connectivity Analysis of Air Cargo Transshipment at Hub Airport, ATRS 2008 Conference in Greece (#172)

Pompl, 2007: Luftverkehr – Eine ökonomische und politische Einführung, 5. Auflage, Springer Verlag

Ratz, D., Scheffler, J., Seese D., 2004: Grundkurs Programmieren in Java, Band 1: Der Einstieg in die Programmierung und Objektorientierung, Hanser Verlag

Ratz, D., Scheffler, J., Seese D., Wiesenberger J., 2003: Grundkurs Programmieren in Java, Band 2: Programmierung kommerzieller Systeme, Hanser Verlag

Spohr, C., 2006: Infrastrukturentwicklung in Europa, Lehrauftrag am Karlsruher Institut für Technologie (Universität Karlsruhe)

Spohr, C., 2008: Luftfrachtverkehr und die Lufthansa Cargo – Eine Einführung in die Branche, Vorlesung Luftfrachtdrehkreuze, Institut für Bauingenieurwesen, Karlsruher Institut für Technologie (Universität Karlsruhe)

Ullenboom, C., 2009: Java ist auch eine Insel: Programmieren mit der Java Plattform, Standard Edition, Version 6, Galileo Press

Vahrenkamp, R., 2007: Logistik – Management und Strategien, 6. Auflage, Oldenburg Verlag (S. 274 – 303)

Veldhuis, J., (1997): The competitive position of airline networks, Journal of Air Transport Management, 3(4), (pp.181-188)

Anhang

Beispiel für die Berechnung eines CNU

```

-----
7754 YYC LUX 4 (4-45) - (4-1730) 845 7464 1
from: (5-130) - toTime: (5-1730)
----> 7365 LUX MXP 5 (5-830) - (5-945) 115 481 1 qlx = 0.3697383034138342
----> 7725 LUX PIK 5 (5-1130) - (5-1215) 145 977 1 qlx = 0.22664778182950496
----> 7725 LUX SEA 5 (5-1130) - (5-1530) 1130 8138 1 qlx = 0.14031333434574123
----> 7725 LUX SFO 5 (5-1130) - (5-1930) 1330 9077 1 qlx = 0.1372128471773152
----> 7725 LUX YYC 5 (5-1130) - (5-2355) 1455 7464 1 qlx = 0.0
----> 7745 LUX IND 5 (5-1200) - (5-1635) 1035 6920 1 qlx = 0.13801313663929327
----> 7745 LUX LAX 5 (5-1200) - (5-1855) 1455 9236 1 qlx = 0.12276643687487421
----> 7425 LUX GYD 5 (5-1535) - (5-2310) 435 3534 1 qlx = 0.07468290454924087
----> 7425 LUX ICN 5 (5-1535) - (5-1825) 1450 8692 1 qlx = 0.051465425270367016
----> 7425 LUX KMQ 5 (5-1535) - (6-1430) 1255 9268 1 qlx = 0.05352672907840039
Cnu = 1.3143668991785713
-----
7736 YYC LUX 6 (6-125) - (6-1810) 845 7464 1
from: (7-210) - toTime: (7-1810)
----> 7527 LUX GYD 7 (7-830) - (7-1605) 435 3534 1 qlx = 0.3766616055526921
----> 7527 LUX HKG 7 (7-830) - (1-500) 1215 9321 1 qlx = 0.2990693883122826
----> 7787 LUX JFK 7 (7-930) - (7-1245) 915 6050 1 qlx = 0.23036398752898557
----> 7787 LUX MEX 7 (7-930) - (7-1711) 1311 9411 1 qlx = 0.2113304331344955
----> 2027 LUX PEK 7 (7-940) - (1-225) 945 7944 1 qlx = 0.2662649152014067
----> 7747 LUX LAX 7 (7-1020) - (7-1350) 1230 9236 1 qlx = 0.1848188174087656
----> 7107 LUX FIH 7 (7-1145) - (7-2205) 920 6067 1 qlx = 0.24073268275248316
----> 7927 LUX HKG 7 (7-1145) - (1-900) 1315 9321 1 qlx = 0.19256265311633014
----> 7107 LUX LOS 7 (7-1145) - (7-1750) 605 4789 1 qlx = 0.25262862241103956
----> 7927 LUX THR 7 (7-1145) - (7-1915) 500 3927 1 qlx = 0.2519650374875375
----> 7827 LUX AMM 7 (7-1730) - (1-145) 530 3169 1 qlx = 0.025745607909822388
----> 7827 LUX DAM 7 (7-1730) - (7-2245) 415 3064 1 qlx = 0.026862754542964162
----> 7827 LUX SHJ 7 (7-1730) - (1-845) 830 4995 1 qlx = 0.02414439027239057
Cnu = 2.5831508956311957

```

Abbildung 36: Screenshot des Java Programms. Verbindungen der CV über LUX.¹⁵²

Abbildung 36 zeigt einen Screenshot des Java Programms zur Berechnung des CNU. Die obere Zeile getrennt durch Trennstriche listet einen Flug von YYC (Calgary, Kanada) nach LUX (Luxemburg) am Donnerstag (4) der analysierten Woche auf. Der Flug startet in Calgary um 0.45Uhr Ortszeit und erreicht Luxemburg um 17.30Uhr Ortszeit. Dahinter befindet sich die Flugnummer 845, sowie die Distanz erreicht über die Orthodrome von 7464 Kilometern. Aufgrund der vorgegebenen minimalen und maximalen Transferzeiten (min: 8 Stunden, max: 24 Stunden) errechnet sich das Programm den Zeitrahmen, in dem es Anschlussflüge suchen darf: „from“: Freitag (5) 1.30Uhr bis „totime“ 17.30Uhr. Die folgende Liste gibt alle möglichen Anschlussflüge für den Flug aus Calgary aus mit Rücksicht auf die Transferzeiten. Für jeden dieser Flüge wird aufgrund des Algorithmus eine Attraktivität berechnet, die aufsummiert einen CNU von 1,314366... ergibt. Dieser Wert entspricht der Anzahl an gewichteten Transferverbindungen. Für jeden ankomen-

¹⁵² Eigene Darstellung.

den Flug, siehe zweite Zeile werden diese Berechnungen durchgeführt, so dass am Ende ein Ergebnis für den finalen CNU präsentiert wird.

Modell von Y. Park

Eine Alternative zu dem Netscan Modell ist das Modell von Yonghwa Park, Joong Yup Kim und Kichan Park. In diesem Modell wird auch ein Konnektivitätsindex errechnet, der die Relation zwischen ankommenden und abgehenden Flügen berechnet. Je kleiner der Index, desto größer ist die Konnektivität an dem Flughafen:

$$CI = \sqrt{\sum_{t=1}^{24} \left\{ \left(\frac{A_t}{AA} \right) - \left(\frac{D_{t+LUT}}{AD} \right) \right\}^2} \quad 153$$

- A_t = Anzahl von Flügen, die noch bis zum Zeitpunkt t den Hub erreichen müssen
- D_{t+LUT} = Anzahl von Flügen, die noch bis zum Zeitpunkt t+LUT den Hub verlassen haben müssen
- LUT = Belade und Entlade Zeiten
- t = Zeitabstände, die von 1 bis 24 am Tag variieren
- AA = Durchschnittliche Anzahl von der Gesamtsumme A_t
- AD = Durchschnittliche Anzahl von der Gesamtsumme D_t

Das mathematische Modell ist von der Lücke zwischen ankommenden und abgehenden Flügen in der Verkehrswellenstruktur abgeleitet worden. Die Struktur von nur 24 Zeitslots (t) ist nicht akkurat.

Cargolux im Vergleich zu den Wettbewerbern

Ein weiteres Szenario ergab sich im Rahmen der Analyse. Die Ergebnisse der Cargolux sind nur schwer interpretierbar, weil keine vergleichbare Fluggesellschaft analysiert wurde. Daher dient der Frachtflugplan (ohne Passagierflüge) der LHC und der Korean Air Cargo als Vergleich. Beide Flugpläne zeigen große Ähnlichkeiten.

¹⁵³ Y. Park, 2008, S. 6

Das Ergebnis (siehe Abbildung 37) zeigt, dass der Grund, ohne Passagierflüge ist keine hohe Konnektivität zu erreichen berechtigt ist. Interessant ist die Beobachtung, dass die KE Cargo die meisten Anschlussflüge vorweist. In Kombination mit den Passagierflügen liegt die Fluglinie hinsichtlich ihrer Konnektivität auf dem vorletzten Platz.

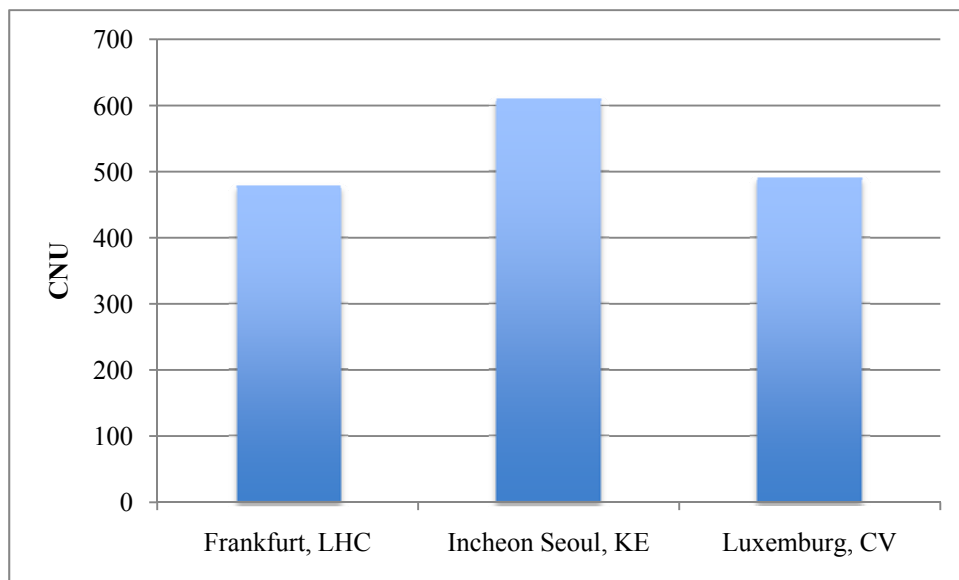


Abbildung 37: Eigene Darstellung aus Basis von OAG Daten.

Verkehrswellenstruktur der Frachtflüge ab FRA für die LHC

Abbildung 38 zeigt, dass aus dem Flugplan der reinen Cargo Flüge keine Verkehrswellenstruktur resultiert. Begründet wird dies mit der geringen Anzahl an Flugbewegungen aus denen keine verwertbare Struktur resultiert.

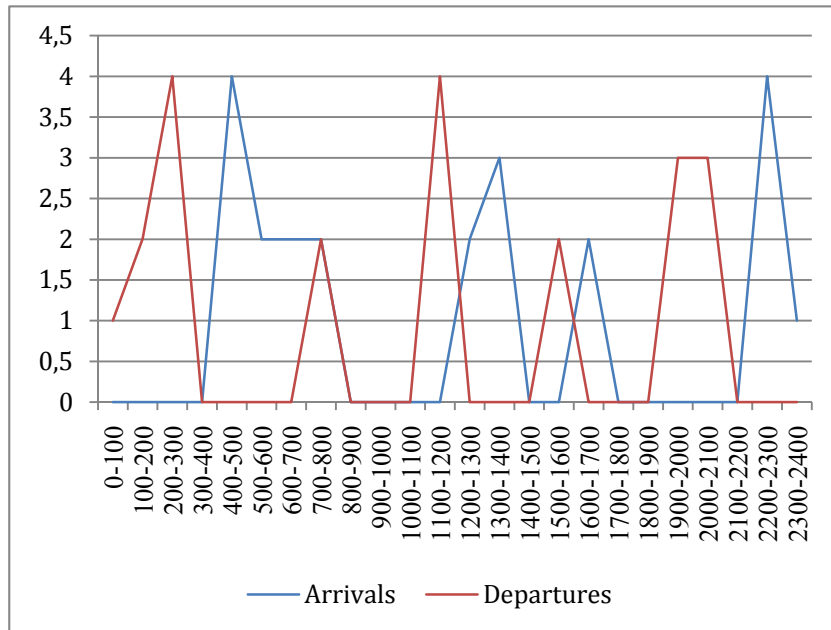


Abbildung 38: Verkehrswellenstruktur der Cargo Flüge von LHC, Mittwoch 16.5.2007.¹⁵⁴

Zur Verdeutlichung wurde ein weiterer Wochentag in die Analyse mit einbezogen (siehe Abbildung 39)

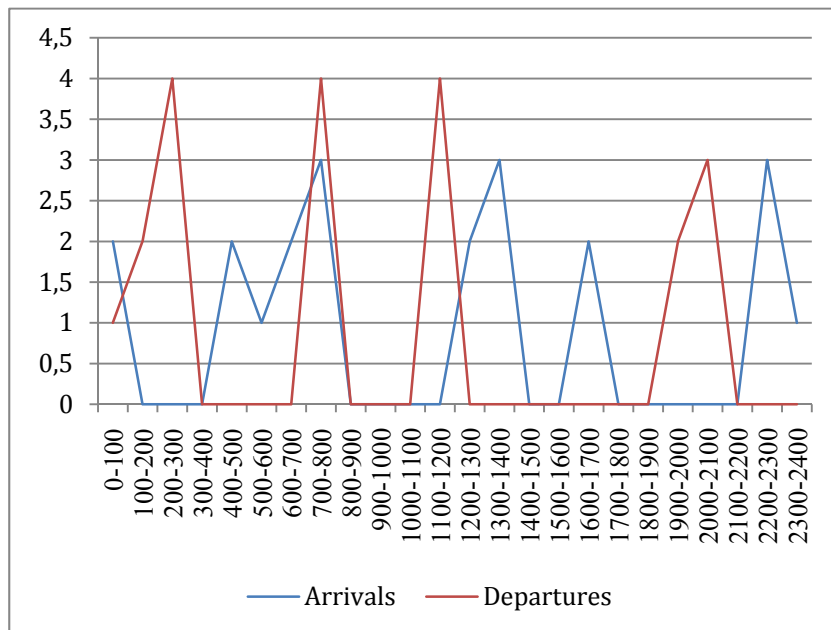


Abbildung 39: Verkehrswellenstruktur der Cargo Flüge von LHC, Mittwoch 18.5.2007.¹⁵⁵

¹⁵⁴ Auf Basis von OAG Daten.

¹⁵⁵ Auf Basis von OAG Daten.

Experteninterviews

Experteninterview mit Herrn Jan Mertens (Kuehne + Nagel, Luftfrachtexperte), 23 April 2010

Die Hauptaussagen in Stichpunkten zusammengefasst:

- Die Transferzeiten sind abhängig von verschiedenen Faktoren
 1. Flughafen

Jeder Flughafen hat aufgrund seiner Kapazitäten und Logistiksysteme, sowie der Größe des Flughafens andere Verbindungszeiten.
 2. Priorität der Fracht

Die Versandarten unterscheiden sich in der Priorität des Versandes. Kuehen + Nagel bietet drei verschiedene Luftfrachtprodukte an:

 - KN Express: 1 bis 3 Tage Lieferzeit
 - KN Express: 3 bis 5 Tage Lieferzeit
 - KN Extend: 6 bis 15 Tage Lieferzeit
 3. Probleme der Verpackung im Transitverkehr

Häufig befindet sich die Fracht auf Paletten oder in ULDs. Im Transitverkehr besteht die Möglichkeit, dass nicht die komplette Fracht für einer Palette oder ULD für den Transitverkehr bestimmt sind. Die Folge ist ein Umpackprozess, der das Auspacken und das wieder Einpacken der Ware mit einbezieht.
 4. Überbuchte Maschinen

Überbuchte Maschinen haben zur Folge, dass die Fracht nicht immer auf dem gebuchten Flug mitfliegen kann. Folglich muss die Fracht umgebucht werden, was speziell im Frachtverkehr, weil die Flugfrequenzen der Frachtmaschinen nicht hoch zu ein bis zwei Tagen Wartezeit führen kann. Dadurch entstehen sog. Backlogs entstehen.

- Aus diesen Aussagen folgt, dass ein Transfer für Standardfracht innerhalb von 6-10 Stunden durchgeführt werden kann. Der Mittelwert wäre dann acht Stunden
- Fluggesellschaften sind in diesen Angaben pessimistischer, weil dies immer ein Versprechen gegenüber dem Kunden ist.
- Für die maximale Transferzeit wird bei Kuehne + Tagel immer mit einem Tag mehr je nach Versandprodukt gerechnet. Dies hat mit den Backlogs zu tun, dass ein Transfer nicht immer optimal verläuft und die Spedition dann mit einem Zeitpuffer arbeitet.
- Flughafen: London Heathrow gilt unter den Spediteuren als ein sehr unbeliebter Flughafen. Gründe dafür sind: Lange Transferzeiten, Fracht geht verloren oder wird vergessen.
- Incheon internationaler Flughafen (Seoul, Südkorea): Auch ein Flughafen mit erheblichen Mängeln im Frachtverkehr: Transitzeiten oft extrem lang, weil die Maschinen überbucht sind. Es werden sogar Auktionen eingerichtet in denen die Kunden für den schnellstmöglichen Transport bieten können.
- Zu der maximalen Belly Kapazität von Passagierflugzeugen konnten keine Aussagen gemacht werden.

Experteninterview mit Herrn Thomas Rohrmeier, Lufthansa Cargo, Produktmanagement, 05.5.2010

Die Hauptaussagen in Stichpunkten zusammengefasst:

- Der Transfer von Standardfracht ist am Frankfurt Flughafen innerhalb von 12 Stunden durchführbar.

- Hohe Sicherheitsbestimmungen, speziell für Frachtflüge in die U.S.A. erfordern viel Zeit. Jedes Frachtgut muss teilweise durchleuchtet werden.
- In München ist der Transfer in 8 Stunden möglich
- Das Ziel der LHC ist es, jedes Frachtgut in Frankfurt innerhalb von 24 Stunden in Flugzeuge zu verladen.
- Der Flugplan der Lufthansa Cargo wird soweit dies möglich ist an den Flugplan der Lufthansa Passage angepasst
- Das Hub-and-Spoke System ist für die Lufthansa Cargo sehr wichtig. Beispielsweise konzentriert sich der Luftfrachtverkehr von LHC in Deutschland nur auf zwei Flughäfen: Frankfurt und München
- Das Logistikgeschäft braucht Flugoperationen in der Nacht. Ohne die Start- und Landeerlaubnis von Frachtmaschinen in der Nacht ist der Flughafen Frankfurt nicht mehr konkurrenzfähig.
- Die Lufthansa Cargo investiert einen dreistelligen Millionenbetrag in die Cargo City Nord, wenn das Nachtflugverbot ausgesetzt wird. Denn nur dann kann das Unternehmen weiterhin in Frankfurt operieren und wachsen.

Vortrag von Herrn Nils Haupt (Leiter Kommunikation LHC) während einer Führung von der Lufthansa Cargo, 15.04.2010 (Tag der Logistik)

- Der aufsummierte Verlust aller Fluglinien weltweit betrug im letzten Jahr (2009) 8 Milliarden Dollar.
- Mit 450 Piloten werden 19 MD11 Frachter geflogen. Der Grund für die große Anzahl an Piloten sind die zahlreichen Zwischenlandungen auf den Strecken nach Südamerika, Asien und Südafrika. Bei jeder Zwischenlandung werden die Piloten getauscht.

- Erläuterung der Produktverteilung: Aus Südamerika und Afrika werden hauptsächlich verderbliche Waren, Fische und Blumen nach Europa geflogen. Aus Asien kommt viel Kleidung und High Tech Ware.
- Die Routenplanung im Cargogeschäft beinhaltet oft mehrere Zwischenstops. Dadurch kann Treibstoff eingespart werden und die Auslastung der Flugzeuge ist höher aufgrund der Möglichkeit mehrere Städte zu bedienen. Beispielsweise werden die Frachtflugzeuge auf dem Weg nach Asien in Russland betankt. Dadurch wird Treibstoff gespart.
- Auf den Routen nach Buenos Aires wird in Dakar, Senegal, Westafrika und Sao Paulo zwischengelandet. Wirtschaftlich ist diese Art der Flugroutenplanung sehr rentabel.

Emailanfrage Herrn Michael Goentgens zur Nutzung des Zwischenstopp der LHC in Krasnojarsk:

Sehr geehrter Herr von Cossel,

vielen Dank für Ihre eMail. Krasnojarsk wird derzeit als technischer Zwischenstopp genutzt, das Flugzeug wird dort betankt und auch die Crews wechseln. Der Flughafen wird aber nicht als Hub zum Warenaustausch genutzt.

Viele Grüße und viel Erfolg für Ihre Arbeit!

Michael Göntgens

> _____
> Michael Göntgens
>
> Senior Manager Communications

> Lufthansa Cargo AG
>
> Communications, FRA F/CI
> Frankfurt Airport, Gate 25, Bldg. 451

>D-60546 Frankfurt/Main
>Tel.: +49 (0)69 / 696 95447
>Fax: +49 (0)69 / 696 98 95447
>E-Mail: michael.goentgens@dlh.de
>
>www.lufthansa-cargo.com

Das Java Programm

In diesem Abschnitt wird die Funktionsweise des Programms beschrieben. Es werden jeweils der Flugplan und die Daten zur Berechnung der Orthodrome (Great Circle Distance) als .csv Datei eingelesen. Diese Daten werden in einer Hashmap gespeichert und dann durch den Algorithmus im FlightCalculator.java geführt, der die gewünschten Resultate errechnet. Eine Hashmap ist ein Assoziativspeicher¹⁵⁶, der die eingelesenen Daten mit Schlüsseln assoziiert, damit diese schnell gefunden werden können¹⁵⁷.

Der Aufruf des Programms erfolgt über den folgenden Befehl:

```
Data/Datei.csv data/gcd1.csv Flughafen Kürzel
```

Beispiel, Aufruf für die LHC Flüge ab Frankfurt:

```
data/LHFRAfinal.csv data/gcd1.csv FRAU
```

Natürlich können auch eigene csv Dateien eingelesen werden, nur müssen diese speziell von der Anzahl der Spalten den Beispieldateien entsprechen. Die gcd.csv bitte nicht verändern.

In der Main Klasse (main.java) können die Verbindungszeiten geändert werden. Bitte immer in Minuten angeben.

Im Folgenden die Aufgaben der einzelnen Klassen inkl. dem Quellcode:

1. OagCsvReader

Diese Klasse liest die aus den OAG Daten generierte Datei ein und speichert die Daten in neun verschiedenen Spalten. Es werden jeweils folgende Daten eingelesen: Die Flugnummer, Abflughafen (DEP_AIRPORT), Ankunftsflughafen (ARRIVAL_AIRPORT), Lokale Abflugszeit (LOCAL_DEP_TIME), Lokale Ankunftszeit

¹⁵⁶ Itwissen.de

<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Assoziativspeicher-associated-memory.html>, 08.04.10

¹⁵⁷ Online Portal des Buches Jave ist auch nur eine Insel

http://www.knowscore.de/javacd/doc/javainasel4/javainasel_11_005.htm#Rxx365java11005040003901F03F100, 08.04.10

(LOCAL_ARR_TIME), Tage der Flüge (1-7, LOCAL_DAYS_OPS), Flugzeit (FLIGHT_TIME) und die Orthodrome (GCD).

Alle diese Werte werden in einer Hash Map gespeichert. Dadurch wird das Abrufen der Werte erleichtert.

Quellcode: *OagCsvReader.java*

```

import java.io.BufferedReader;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStream;
import java.io.InputStreamReader;
import java.util.HashMap;
import java.util.Map;

public class OagCsvReader {

    final static int FLIGHT_NO_COL = 0;
    final static int DEP_AIRPORT_COL = 1;
    final static int ARRIVAL_AIRPORT_COL = 2;
    final static int LOCAL_DEP_TIME_COL = 3;
    final static int LOCAL_ARR_TIME_COL = 4;
    final static int LOCAL_DAYS_OPS_COL = 5;
    final static int FLIGHT_TIME_COL = 6;
    final static int GCD_COL = 7;
    final static int NO_OF_COLUMNS = 8;

    // In dieser Klasse wird der Flugplan aus einer CSV Datei eingelesen. Die auszulesenden
    // Spalten sind oben angegeben
    // Die ausgelesenen Daten werden in eine Hashmap integriert.
    public OagCsvReader() {

    }

    public Map<String, Flughafen> readCsvDatabase(InputStream aCsvInputStream) throws
    IOException {
        BufferedReader theReader = new BufferedReader(new
        InputStreamReader(aCsvInputStream));
        String line = null;
        Map<String, Flughafen> flughafenMap = new HashMap<String, Flughafen>();
        while ((line = theReader.readLine()) != null) {
            try {
                line = line.replaceAll("\\\\", "");
                String[] columns = line.split(";");
                if (columns.length != NO_OF_COLUMNS) {
                    System.err.println("OagCsvReader: Warning: not enough columns in line: "
+ line);
                }
            }
            else {
                String departureAirportName = columns[DEP_AIRPORT_COL];
                String arrivalAirportName = columns[ARRIVAL_AIRPORT_COL];

                if (! flughafenMap.containsKey(arrivalAirportName)) {
                    // Flughafen noch nicht vorhanden dann anlegen
                    flughafenMap.put(arrivalAirportName, new Flughafen(
                    arrivalAirportName));
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    if (! flughafenMap.containsKey(departureAirportName)) {
        // Flughafen noch nicht vorhanden dann anlegen
        flughafenMap.put(departureAirportName, new Flughafen(
            departureAirportName));
    }
    int arrivalTime = Integer.parseInt(columns[LOCAL_ARR_TIME_COL]);
    int departureTime = Integer.parseInt(columns[LOCAL_DEP_TIME_COL]);
    int flightTime = Integer.parseInt(columns[FLIGHT_TIME_COL]);
    int gcd = Integer.parseInt(columns[GCD_COL]);

    // für die Days of Operation wird in dieser For Schleife dem Computer
    // beigebracht, dass eine Ziffer jeweils ein Tag ist
    String daysOfOps = columns[LOCAL_DAYS_OPS_COL].replaceAll(" ", "");
    for (int i = 0; i < daysOfOps.length(); ++i) {
        char day = daysOfOps.charAt(i);
        if (Character.isDigit(day)) {
            int dayOfOpsInt = Integer.parseInt(Character.toString(day));
            OagTime oagArrTime = new OagTime(dayOfOpsInt, arrivalTime);
            OagTime oagDepTime = new OagTime(dayOfOpsInt, departureTime);
            if (oagArrTime.compareTo(oagDepTime) < 0) {
                oagArrTime = oagArrTime.addMinutes(OagTime.MINUTES_PER_DAY);
            }

            // Für jeden Flug werden die folgenden Daten ausgegeben
            Flughafen.Flug theFlight = new Flughafen.Flug(
                columns[FLIGHT_NO_COL],
                departureAirportName,
                arrivalAirportName,
                dayOfOpsInt,
                oagArrTime,
                oagDepTime,
                flightTime, gcd, daysOfOps.length());

            flughafenMap.get(departureAirportName).addDepartureFlug(theFlight);
            flughafenMap.get(arrivalAirportName).addArrivalFlight(theFlight);
        }
    }
}
}
}
catch (NumberFormatException nfex) {
    System.err.println("Warning: could not parse line: " + line);
}
}
return flughafenMap;

```

```

    }
}

```

2. GcdReader

Hier werden die Daten aus einer .csv Datei in drei verschiedene Spalten eingelesen. Der Reihenfolge nach sind die Spalten wie folgt definiert: Flughafen nach IATA Code (CITY), Längengrad (LONGITUDE), Breitengrad (LATITUDE). Auch diese Werte werden in einer Hash Map gespeichert.

Quellcode: GcdReader.java

```

import java.io.BufferedReader;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStream;
import java.io.InputStreamReader;

// Der GcdReader liest die Daten zur Berechnung der Orthodrome aus der gcd1.csv Datei
// Die folgende 4 Spalten werden eingelesen und in die Hashmap theGcdCalc implementiert
public class GcdReader {
    final static int CITY = 0;
    final static int LONGITUDE = 1;
    final static int LATITUDE = 2;
    final static int NO_OF_COLUMNS = 3;

    static public GcdCalculator readCsvDatabase(InputStream aCsvInputStream)
        throws IOException {

        GcdCalculator theGcdCalc = new GcdCalculator();
        BufferedReader theReader = new BufferedReader(new InputStreamReader(
            aCsvInputStream));
        String line = null;
        while ((line = theReader.readLine()) != null) {
            try {
                line = line.replaceAll("\\\"", "");
                String[] columns = line.split(",");
                if (columns.length != NO_OF_COLUMNS) {
                    System.err.println("GcdReader: Warning: not enough
columns in line: "
                    + line);
                } else {
                    String aCity = columns[CITY];
                    double aLongitude = Double
                        .parseDouble(columns[LONGITUDE]);
                    double aLatitude = Double
                        .parseDouble(columns[LATITUDE]);
                    theGcdCalc.addCityLocation(aCity, aLongitude,
aLatitude);
                }
            } catch (NumberFormatException nfex) {
                System.err.println("Warning: could not parse line: " + line);
            }
        }
        return theGcdCalc;
    }
}

```



```
}

```

3. OagTime

Durch die einheitliche Angabe der Flugzeiten im ganzzahligen Format (Beispiel: 1150 steht für 11.50Uhr oder 11 Stunden und 50 Minuten Flugzeit), sowie der Problematik mit den Tagen der Flugdurchführungen (Days of operation), bringt diese Klasse dem FlightCalculator bei, wie die Zeiten zu interpretieren sind. Dafür stellt sie mehrere Methoden zur Verfügung, welche dann im Flight.Calculator, sowie der Main Klasse verwendet werden.

Quellcode: OagTime.java

```
// In dieser Klasse wird dem Programm die Umrechnung der Zeiten beigebracht, die nachher zur
// Berechnung des CNU
// abgerufen werden. Dies basiert auf der Basis von Minuten in der Woche
// Alle Methoden sind Fragmente, die in den anderen Klassen abgerufen werden

```

```
public class OagTime implements Comparable<OagTime> {

    private int minutesSinceMondayMidnight = 0;
    public final static int MINUTES_PER_DAY = 24 * 60;
    private final static int MINUTES_PER_WEEK = 24 * 60 * 7;

    private OagTime() {

    }
    // Bestimmung der Minuten seit Montag Mitternacht
    public OagTime(int dayOfOp, int time) {
        minutesSinceMondayMidnight = (dayOfOp - 1) * MINUTES_PER_DAY +
toMinutes(time);
    }

    // Bestimmung der neuen Abflugszeiten
    public OagTime addMinutes(int minutes) {
        OagTime newTime = new OagTime();
        newTime.minutesSinceMondayMidnight = (this.minutesSinceMondayMidnight +
minutes) % MINUTES_PER_WEEK;

        return newTime;
    }

    // Methode zur Berechnung der Transferzeit
    public int diffInMinutes(OagTime anOagTime) {
        int diff = this.minutesSinceMondayMidnight -
anOagTime.minutesSinceMondayMidnight;
        if (diff < 0) {
            diff += MINUTES_PER_WEEK;
        }
        return diff;
    }
}

```

```

// Methode zur Umrechnung der Tageszeit in Minuten
public static int toMinutes(int timeofday) {
    return (int)(timeofday / 100) * 60 + (timeofday % 100);
}

//
public int compareTo(OagTime o) {
    return this.minutesSinceMondayMidnight - o.minutesSinceMondayMidnight;
}

// Bestimmung der Days of operation
public int getDayOfOp() {
    return (int)(minutesSinceMondayMidnight / MINUTES_PER_DAY) + 1;
}
// Umrechnung der Dezimalzeit (1100 zu 11.00h), so dass die Tageszeit bestimmt werden
kann
public int getTimeOfDay() {
    int minutesInDay = minutesSinceMondayMidnight - (getDayOfOp() - 1) *
MINUTES_PER_DAY;
    return (int)(minutesInDay / 60) * 100 + minutesInDay % 60;
}

public String toString() {
    return "(" + getDayOfOp() + "-" + getTimeOfDay() + ")";
}
}

```

4. FlightCalculator

Diese Klasse führt den Algorithmus aus, wie in 5.1 Das Modell beschrieben. In dem Quellcode befindet sich noch eine Methode zur Berechnung des Routenfaktors. In dem genutzten Modell wird die Methode nicht verwendet. Für eventuell noch folgende Analysen kann die Methode sehr hilfreich sein.

Quellcode: *FlightCalculator.java*

```

import java.io.*;

public class FlightCalculator {

    private int minConnectingTime;
    private int maxConenctionTime;
    private GcdCalculator gcdCalculator;

    FlightCalculator(GcdCalculator aGcdCalc, int minConnectingTime, int
maxConnectingTime) {
        this.gcdCalculator = aGcdCalc;
        this.minConnectingTime = minConnectingTime;
        this.maxConenctionTime = maxConnectingTime;
    }

    /**

```

```

* Berechnet den max routing factor zweier Fluege als Indirekte Flugzeit / Direkte Flugzeit.
* Dabei ist anArrivalFlight ein Flug von A -> B
* und aDepartureFlight ein Flug von B -> C
* flugzeit(A -> B) + flugzeit (B -> C)
* dann ist maxRoutingFactor = ----- + Lande
/Startfaktor
* ( gcd(A, C) / Durchschnittliche Fluggeschwindigkeit )
*
* anArrivalFlight
* aDepartureFlight
* Die Methode wird in der derzeitigen Nutzung des Programmes nicht verwendet
*/

    public double maxRoutingFactor(Flughafen.Flug anArrivalFlight, Flughafen.Flug
aDepartureFlight) {
        // Durchschnittliche Fluggeschwindigkeit in Kilometer pro Stunde, weil gcd auch
in Kilometern!
        int flightspeed = 877;
        // Indirekte Flugzeit in Stunden als Summe der Flugzeit der beiden Einzelfluege
        double IDD = (OagTime.toMinutes(anArrivalFlight.flightTime) +
OagTime.toMinutes(aDepartureFlight.flightTime)) / 60.0;

        // Die Direct flight time wird ueber die Direkte Distanz der zwei Flughaeften, also
die Distanz ohne Hub berechnet
        double gcddirect =
gcdCalculator.calcGreatCircleDistance(anArrivalFlight.depAirport, aDepartureFlight.arrAirport);

        double DTT = (gcddirect/flightspeed);
        double maxRoutingFactor = ((IDD/DTT) + 0.15); // 0,15 ist der Lande und Start-
zeitfaktor

        return maxRoutingFactor;
    }
    // Methode zur Berechnung der Flugdauer zwischen A ---> C ohne Zwischenstop
    public double gcddirectnst(Flughafen.Flug anArrivalFlight, Flughafen.Flug
aDepartureFlight) {
        double gcd = gcdCalculator.calcGreatCircleDistance(anArrivalFlight.depAirport,
aDepartureFlight.arrAirport);
        double gcddirectnst = gcd;;

        return gcddirectnst;
    }

    // Methode zur Berechnung des CNU
    public double calcCnu(Flughafen anAirport, Flughafen.Flug anArrivalFlight) throws
NumberFormatException, IOException {

        double cnu = 0;

        // Vorsortierung der abgehenden Flüge in das vorgegebene Zeitfenster
        OagTime fromTime =
anArrivalFlight.arrivalTime.addMinutes(minConnectingTime);
        OagTime toTime = anArrivalFlight.arrivalTime.addMinutes(maxConenctionTime);
        System.out.println("from: " + fromTime + " - toTime: " + toTime);

        for (Flughafen.Flug departureFlight :
anAirport.getDepartureFlightsFromTo(fromTime, toTime)) {

            // Berechnung der Non-stop Travel time

```

```

        double nst = ((40 + 0.068 * gcddirectnst(anArrivalFlight,
departureFlight)) / 60); // in Stunden und Lande und Startzeitfaktor bereits inkludiert

        // Berechnung der Flugzeit
        double flightTime =
(OagTime.toMinutes(anArrivalFlight.flightTime) + OagTime.toMinutes(departureFlight.flightTime))
/ 60.0; // in Stunden

        // Berechnung der maximalen Reisezeit
        double mxt = flightTime + 24;

        // Berechnung der Transitzeit
        double trt =
departureFlight.departureTime.diffInMinutes(anArrivalFlight.arrivalTime) / 60.0;

        // Berechnung der empfundenen Reisezeit
        double ptt = (flightTime + trt);
        double qlx;

        // Die if Schleife verhindert einen negativen QLX und die Einbin-
dung von Flügen, wo Abflug und Ankunft gleich sind.
        // Beispiel: ZRH-FRA-ZRH
        if (ptt > mxt || gcddirectnst(anArrivalFlight, departureFlight) ==
(40/60)) {
            qlx = 0;
        }
        else {
            // Berechnung des qlx
            qlx = 1 - ((ptt - nst) / (mxt - nst));
        }
        // Ausgabe für jeden abgehen Flug: FlugNr, DepAirport,
ArrAirport, Tag, Deptime, Arrtime, FlightTime, Distance in gcdkm, FlightOps, QLX
        System.out.println("\t\t--> " + departureFlight + " qlx = " + qlx);
        cnu += qlx;
    }
    return cnu;
}
}
}

```

5. Flughafen

Die Klasse Flughafen.java sortiert die eingelesenen Flüge in einer TreeMap. Mithilfe der TreeMap können die Flüge nach den gewünschten Kriterien ausgegeben werden und dem FlightCalculator zur Berechnung bereitgestellt werden. Hierbei wird viel auf Methoden der Oagtime Klasse zurückgegriffen, weil die Flüge nach der Minimum und Maximum Verbindungszeit sortiert werden müssen.

Quellcode: Flughafen.java

```

import java.util.ArrayList;
import java.util.List;

```

```
import java.util.SortedMap;
import java.util.TreeMap;
import java.util.Map;
```

```
// In der Klasse wird die Liste für die abgehenden Flüge erstellt.
```

```
public class Flughafen {
    public static class Flug {
        String flugNr;
        String depAirport;
        String arrAirport;
        int gcd;
        int dayOfOps;
        OagTime arrivalTime;
        OagTime departureTime;
        int flightTime;
        int nops;

        public Flug(String fnr, String depAirport, String arrAirport, int daysOfOps, OagTime atime,
            OagTime dtime, int ftime, int gcd, int nops) {
            flugNr = fnr;
            this.depAirport = depAirport;
            this.arrAirport = arrAirport;
            this.dayOfOps = daysOfOps;
            arrivalTime = atime;
            departureTime = dtime;
            flightTime = ftime;
            this.gcd = gcd;
            this.nops = nops;
        }
        // Ausgabe String nachher im FlightCalculator
        public String toString() {
            return flugNr + " " + depAirport + " " + arrAirport + " " + dayOfOps + " " + departureTime + " -
" + arrivalTime + " " + flightTime + " " + gcd + " " + nops;
        }
    }

    private String name;

    public Flughafen(String name) {
        this.name = name;
    }

    public String getName() {
        return name;
    }

    private List<Flug> departureFlightList = new ArrayList<Flug>();
    private List<Flug> arrivalFlightList = new ArrayList<Flug>();
    // Hier wird eine Treemap erstellt, die alle abgehende Flüge sortiert und diese dann in dem Zeit-
fenster
    // Minimum und Maximum Connecting Time ausgebene kann
    private TreeMap<OagTime, List<Flug>> departureMap = new TreeMap<OagTime, List<Flug>>();

    public List<Flug> getArrivalFlightList() {
        return arrivalFlightList;
    }

    public List<Flug> getDepartureFlightList() {
```

```

    return departureFlightList;
}

public void addArrivalFlight(Flug aFlug) {
    arrivalFlightList.add(aFlug);
}

// In dieser Liste werden die Departure Flights zusammengestellt
public void addDepartureFlug(Flug aFlug) {
    if (!departureMap.containsKey(aFlug.departureTime)) {
        departureMap.put(aFlug.departureTime, new ArrayList<Flug>());
    }
    departureMap.get(aFlug.departureTime).add(aFlug);
    departureFlightList.add(aFlug);
}

// Diese Methode wird die Liste der Departure Flights nach den Transferzeiten erstellt
public List<Flug> getDepartureFlightsFromTo(OagTime fromTime, OagTime toTime) {
    List<Flug> aFlugList = new ArrayList<Flug>();
    // bisZeit ist NICHT inkludiert. Deshalb +1 Minute damit man Fluege inkl. bisZeit findet
    toTime = toTime.addMinutes(1);

    // Hier werden die Anschlussflüge nach Zeiten sortiert.
    if (fromTime.compareTo(toTime) > 0) {
        SortedMap<OagTime, List<Flug>> tmpMap = departureMap.subMap(fromTime, new
OagTime(7, 2359));
        for (Map.Entry<OagTime, List<Flug>> e : tmpMap.entrySet() ) {
            aFlugList.addAll(e.getValue());
        }
        tmpMap = departureMap.subMap(new OagTime(1, 0), toTime);
        for (Map.Entry<OagTime, List<Flug>> e : tmpMap.entrySet() ) {
            aFlugList.addAll(e.getValue());
        }
    }
    else {
        SortedMap<OagTime, List<Flug>> tmpMap = departureMap.subMap(fromTime, toTime);
        for (Map.Entry<OagTime, List<Flug>> e : tmpMap.entrySet() ) {
            aFlugList.addAll(e.getValue());
        }
    }
    return aFlugList;
}
}

```

6. GcdCalculator

Diese Klasse berechnet die Entfernung zwischen zwei gewünschten Flughäfen aus den Längen- und Breitengrade, die über den GcdReader eingelesen wurden.

Quellcode: *GcdCalculator.java*

```

import java.util.HashMap;
import java.util.Map;

public class GcdCalculator {

```

```

// Aufruf einer neuen HashMap zum Auslesen der Flughäfen mit den zugehörigen Koordinaten
naten
private Map<String, Coord> airportKoordsMap = new HashMap<String, Coord>();

public class Coord
{
    double longitude;
    double latitude;
}

public GcdCalculator () {}

// Flughäfen werden mit Koordinaten ausgelesen und in die HashMap airportKoordsMap
eingefügt
public void addCityLocation(String aCity, double aLongitude, double aLatitude) {
    Coord theCoord = new Coord();
    theCoord.longitude = aLongitude;
    theCoord.latitude = aLatitude;
    airportKoordsMap.put(aCity, theCoord);
}

// Ausgabe der zwei Koordinaten für die Flughäfen
public double calcGreatCircleDistance(String aCity1, String aCity2) {
    Coord coord1 = airportKoordsMap.get(aCity1);
    Coord coord2 = airportKoordsMap.get(aCity2);
    return calcGCD(coord1, coord2);
}

// Methode zur Berechnung der Orthodrome (Great Circle Distance)
public double calcGCD(Coord c1, Coord c2)
{
    // Konvertierung ins Bogenmass
    double L1 = Math.toRadians(c1.latitude);
    double L2 = Math.toRadians(c2.latitude);
    double G1 = Math.toRadians(c1.longitude);
    double G2 = Math.toRadians(c2.longitude);

    double distancekm;
    double distance1;

    // If Entscheidung, damit bei zwei gleichen Koordinaten sprich der gleichen
    // Stadt eine Distanz von Null ausgegeben wird
    if (L1 == L2 && G1 == G2) {
        distance1 = 0;
    }
    else {
        // Great Circle Distance im Bogenmass
        double angle1 = Math.acos(Math.sin(L1) * Math.sin(L2)
            + Math.cos(L1) * Math.cos(L2) * Math.cos(G1 - G2));

        // Konvertierung zurueck in Geradeinheiten
        angle1 = Math.toDegrees(angle1);

        // Umrechnung in Nautical Miles each degree on a great circle of Earth is 60 nautical miles
        distance1 = 60 * angle1;

        //Konvertierung in Km
    }
    distancekm = distance1 * 1.852;
    return distancekm;
}

```

```

    }
}

```

7. Main

Main.java ist die Hauptklasse, welche das Programm startet. Sie startet jeweils die anderen Klassen und gibt am Ende das Ergebnis aus.

Quellcode: Main.java

```

import java.io.FileInputStream;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.IOException;
import java.util.Map;

public class Main {

    public static void main(String[] args) {
        OagCsvReader theCsvReader;
        try {
            theCsvReader = new OagCsvReader();

            // Der Flugplan wird eingelesen
            Map<String, Flughafen> flughafenMap =
theCsvReader.readCsvDatabase(new FileInputStream(args[0]));

            // Die Daten zur Berechnung der Orthodrome werden eingelesen (GCD
Daten)
            GcdCalculator theGcdCalculator = GcdReader.readCsvDatabase(new
FileInputStream(args[1]));

            // Als Beispiel werden die Distanzen zwischen Los Angeles Airport - Bre-
men Airport ausgegeben
            System.out.println("BRE <-> LAX = " +
theGcdCalculator.calcGreatCircleDistance("BRE", "LAX") + " km");
            System.out.println("KBP <-> FRA = " +
theGcdCalculator.calcGreatCircleDistance("LAX", "BRE") + " km");

            // Der FlightCalculator wird mit den Bedingungen (GcdCalculator, Mini-
mum, Maximum Connecting Time) gestartet
            FlightCalculator flightCalc = new FlightCalculator(theGcdCalculator, 480,
1440);

            // Für jeden ankommenden Flug werden die abgehenden Flüge mit QLX
ausgegeben.
            System.out.println("Arrival Flights " + args[2] + ": ");
            double sumCnu = 0.0;

            // Mit der For Schleife werden die CNU's aufsummiert und am Ende ausgegeben.
Dabei wird jeder Anschlussflug mit den Details
            // aus der Klasse FlightCalculator ausgegeben.
            for (Flughafen.Flug f : flughafenMap.get(args[2]).getArrivalFlightList()) {

```



```
        System.out.println(f);
        double cnu = flightCalc.calcCnu(flughafenMap.get(args[2]), f);
        System.out.println("Cnu = " + cnu);
        System.out.println("-----");
    -----");
        sumCnu += cnu;
    }
    System.out.println("Summe Cnu's: " + args[2] + " = " + sumCnu);

    // Der Catch Block fängt Fehler ab
} catch (FileNotFoundException e) {
    // TODO Auto-generated catch block
    e.printStackTrace();
} catch (IOException e) {
    // TODO Auto-generated catch block
    e.printStackTrace();
}
}
}
```