



DFS Deutsche Flugsicherung

TAAM 30

Integration des Flugplatzes Wiesbaden- Erbenheim in den Nahverkehrsbereich Frankfurt.

Abschlussbericht

30. November 1999

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Geschäftsbereich Flugsicherungsdienste
Bereich FPL

Impressum:

Erstellt durch FPL

Dokument-ID: Abschlussbericht_Taam30, gedruckt: 19.03.00, zuletzt geändert/gespeichert: 30.11.99

Anzahl Seiten: 26

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Kaiserleistraße 29 - 35
63067 Offenbach
Tel. (069) 8054-1150 / 1151

Copyright © DFS Deutsche Flugsicherung GmbH 1999

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH unzulässig und wird zivil- und strafrechtlich verfolgt. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Inhalt

Inhalt	iii
1 Hintergrund	1-1
2 Ziel der Simulation	2-1
3 Rahmenbedingungen	3-1
3.1 Allgemeine Daten.....	3-1
3.2 Parameter für den Flughafen Frankfurt	3-2
3.3 Parameter für den Flughafen Wiesbaden.....	3-2
4 Verkehrsbeispiel	4-1
5 Simulations- und Meßgebiet	5-1
6 Simulationsmodelle	6-1
6.1 Simulationsmodell A	6-1
6.2 Simulationsmodell B	6-1
7 Simulationsmittel	7-1
8 Simulationsergebnisse	8-1
8.1 Verkehrsverteilung	8-1
8.2 Lastwerte	8-4
8.3 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	8-7
9 Auswertekriterien	9-1
10 Anhang	10-1

1 Hintergrund

Im Zusammenhang mit dem „Mediationsverfahren“ für den Ausbau des Flughafens Frankfurt werden verschiedene Ausbauvarianten untersucht. Die Variante „Wiesbaden – Klein“ sieht auf der Basis des heutigen Bahnsystems einen Anstieg der Flugbewegungen am Flughafen Frankfurt auf 500.000 An- und Abflüge im Jahr vor. Gleichzeitig sollen am Flughafen Wiesbaden 60.000 Flüge/Jahr abgefertigt werden.

Der Bereich „FPL“ der DFS wurde beauftragt, auf der Basis einer Schnellzeitsimulation die Auswirkungen des Flugbetriebes (Variante „Wiesbaden- Klein“) auf den TMA- Bereich des Großflughafens Frankfurt zu untersuchen.

Auf die verkehrstechnische Anbindung des Bodenverkehrs der Flughäfen Frankfurt und Wiesbaden und auf die Einbeziehung der angrenzenden ACC- Sektoren in den Simulationsablauf wurde vertragsgemäß verzichtet.

2 Ziel der Simulation

Mit Hilfe des Schnellzeitsimulators TAAM sollten die Auswirkungen der beabsichtigten zivilen Inbetriebnahme des Flugplatzes Wiesbaden- Erbenheim auf die Luftraumstruktur des Nahverkehrsereichs (TMA) Frankfurt festgestellt werden. Die Untersuchung unterstellte höhere Verkehrszahlen als heute. Es wurde angenommen, dass an dem Flughafen Frankfurt 500.000 und an dem Flughafen Wiesbaden 60.000 Flüge pro Jahr abgewickelt werden. U.a. wurden die Arbeitslasten in den einzelnen Sektoren, die Verteilung der Luftfahrzeuge und die Verzögerungen gemessen und bewertet.

3 Rahmenbedingungen

Neben den geographischen Definitionen für das Simulationsvorhaben „Wiesbaden – Klein“ sind auch die Rahmenbedingungen durch Vorgaben definiert worden, die im unmittelbarem Zusammenhang zur Zielsetzung stehen. Hieraus ergab sich:

- Der zu simulierende Flugverkehr wurde von der FAG Frankfurt für das Mediationsverfahren zusammengestellt und entspricht damit der für den Realisierungszeitraum erwarteten Verkehrsdichte und Verkehrszusammensetzung.
- Die Luftraumstruktur (SID's, STAR's und Sektorisierung) innerhalb des Nahverkehrsbereiches (TMA) Frankfurt wurde von der DFS Niederlassung Frankfurt, FMF, im Zusammenhang mit der Planung für „EAM04“¹ überarbeitet. Diese neue Luftraumstruktur entspricht dem planerischen Zeithorizont für das Vorhaben „Wiesbaden- Klein“.

3.1 Allgemeine Daten

- Ostlanderichtung für Frankfurt und Wiesbaden.
- Die Landebahn in Wiesbaden wurde auf 2800m nach Westen verlängert.
- Wiesbaden erhielt ca. 18 Flüge/Std. aus 60.000 Flüge/Jahr.
- Streckennetz inkl. An/Abflugstrecken nach „EAM04“.
- An- und Abflugstrecken für Wiesbaden wurden neu definiert.
- Frankfurt TMA wurde neu definiert und bis FL 115 angehoben.
- Erhöhte Wirbelschleppen- Abstände wurden berücksichtigt.
- Staffelungswerte für den Bereich der TMA = 3 NM, 1000ft.

¹ EAM04:

Im Rahmen der europäischen Bemühungen um eine Harmonisierung der Flugsicherungssysteme sollen auch die Streckenführungen und die Luftraumstruktur überprüft und neu gestaltet werden. Hinter dem Begriff „EAM04“ verbirgt sich der deutsche Anteil, der in den kommenden Jahren stufenweise eingeführt wird.

3.2 Parameter für den Flughafen Frankfurt

- Anflüge 07L und 07R werden mit 1,5 NM „staggered“ (Final) gestaffelt.
- „RNWY Capture Distance“ (touch-down to lift-off) = 1,7 NM.
- Abflüge nach Norden und über HAB = 07 L/R (in Anlehnung an heutige Verfahren) sonst Abflüge von 18.
- Anflüge für Frankfurt erhalten zusätzlich nördlichen (left) „Downwind“ für 07R/L.

3.3 Parameter für den Flughafen Wiesbaden

- Anflüge von GEDNO zunächst wie für EDDF, dann aber: ≈ 4 NM after abeam FFM right turn on left downwind 08 \downarrow 4000; leave 4000 free of obst. on left base-leg 08.
- Anflüge von WETAU zunächst wie für EDDF, dann aber: breaking-off right to intercept left downwind 08 \downarrow 4000; leave 4000 free of obst. on left base-leg 08.
- Anflüge von GOARS; straight-in 08, if unable, procedure as before.
- Anflüge von PSASE zunächst wie für EDDF, dann aber: breaking-off right after ≈ 20 NM off FFM \downarrow 4000, intercept right base-leg 08.
- Abflüge nach Norden und Nord- Ost; über TAU; a) weiter LIMBU etc.
oder b) weiter GIN etc.
- Abflüge nach Westen über GOWES; left turn (keep below inbounds).
- Abflüge nach Süden und Süd-Osten; left turn via TAU, GOARS \uparrow TL, RUDEL \uparrow FL80:
direkt NKR etc. oder
direkt RID then ODEWA etc.

4 Verkehrsbeispiel

Die für die Simulation erforderlichen Flugplandaten wurden von der DFS Niederlassung Frankfurt, FMF, in enger Zusammenarbeit mit der FAG aufbereitet und elektronisch an die DFS / FPL übertragen.

Die Verkehrsdichte der im Meßbereich fliegenden Luftfahrzeuge und die Verteilung und Zusammensetzung des Luftverkehrs entspricht dem Verkehrsgeschehen, welches für den Lösungsvorschlag „Wiesbaden – Klein“ erwartet wird. Simuliert wurde ein zeitlicher Auszug von 7 Stunden aus der Gesamtverkehrsmenge von 500.000 Einzelflügen pro Jahr für den Flughafen Frankfurt und 60.000 Einzelflügen pro Jahr für den Flugplatz Wiesbaden- Erbenheim.

Der zeitliche Ausschnitt von 7 gemessenen Stunden aus dem prognostizierten Jahresverkehrsaufkommen entsprach 755 Einzelflügen und verteilte sich wie folgt:

1. Frankfurt 636 Flüge, davon 306 Ab- und 330 Anflüge.
2. Wiesbaden 119 Flüge, davon 64 Ab- und 55 Anflüge.

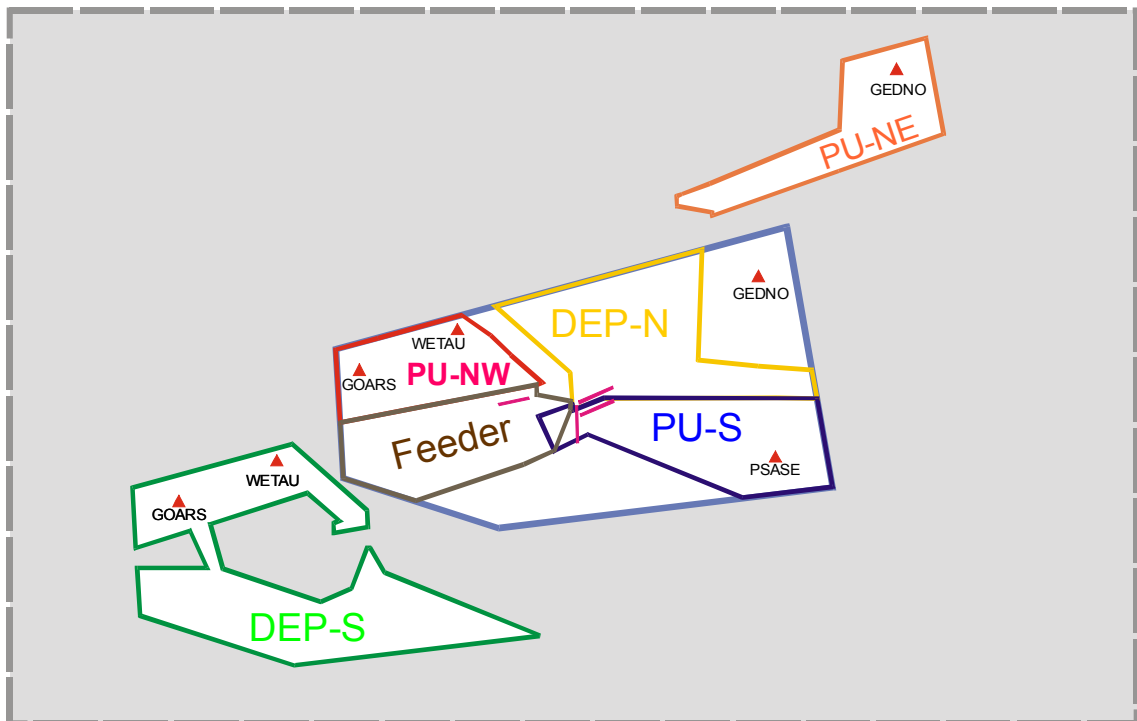
Zur Durchführung der Simulation wurde jeweils eine Stunde vor und nach dem Messzeitraum benötigt, in der sich der Auf- bzw. Abbau der Flugbewegungen vollziehen konnten.

5 Simulations- und Meßgebiet

Für jede Schnellzeitsimulation, mit deren Hilfe die Belastungen von Strecken- und Sektorstrukturen in einem definierten Messgebiet gemessen und bewertet werden sollen, muss auch ein geographisch größeres sog. Simulationsgebiet festgelegt werden, welches alle Anflüge auf Frankfurt und Wiesbaden etwa 10 – 20 Flugminuten vor Einflug in die TMA erfasst.

Das Simulationsgebiet wurde somit größer als das Messgebiet. Es erfasste den gesamten Luftraum um die TMA Frankfurt und erstreckte sich lateral bis zu etwa 100 NM nach außen. Das Messgebiet beschränkte sich auf die im Rahmen der „EAM04“ geplante neue TMA. Die TMA wurde im Vergleich zum Ist-Zustand auf FL 115 angehoben, lateral erweitert und mit 3 Pick-Up, 2 DEP- und Feeder-Sektoren eingerichtet.

Abbildung 1: Darstellung des Simulations- und Messgebietes mit den Sektoren der TMA-Frankfurt. Zur besseren Erkennung sind die Sektoren PU-NE und DEP-S abgesetzt.



6 Simulationsmodelle

Das Messgebiet der Simulation umfasste den Bereich der TMA Frankfurt, deren Luftraumstruktur (Sektoren, SID's, und STAR's) nach den planerischen Vorgaben „EAM04“ ausgebaut war. In der TMA wurden folgende Sektoren eingerichtet:

Pick-Up Nord/Ost, Einflugfix; GEDNO.

Pick-Up Nord/West, Einflugfix; GOARS und WETAU.

Pick-Up Süd, Einflugfix; PSASE.

Dep-Süd mit allen Starts aus ETOU + EDDF Bahn 18.

Dep-Nord alle Starts aus EDDF Bahn 07L und 07R.

Feeder mit 2 unterschiedlichen Zuständigkeiten.

Es wurden zwei Simulationsszenarien aufgebaut.

6.1 Simulationsmodell A

Simulation über 7 Std. (Messzeitraum) des Nahverkehrsbereichs Frankfurt mit 3 Pick-Up und

2 Departure- Sektoren entsprechend der Luftraumstruktur „EAM04“ und

- 1 FEEDER (Sektor/Arbeitsplatz für Wiesbaden und Frankfurt gemeinsam).

6.2 Simulationsmodell B

Simulation über 7 Std. (Messzeitraum) des Nahverkehrsbereichs Frankfurt mit 3 Pick-Up und

2 Departure- Sektoren entsprechend der Luftraumstruktur „EAM04“ und

- FEEDER 1 (Funktion wie Radar- Director) führt anfliegende Luftfahrzeuge bis zum unmittelbaren Anflug auf die Grundlinien EDDF 07 L/R und übergibt an FEEDER 2. Übernimmt gleichzeitig vollständige FEEDER – Funktion für ETOU 08.
- FEEDER 2 (Sektor/Arbeitsplatz für Frankfurt, jedoch mit beschränkter Zuständigkeit). Übernahme der Flüge vor der Grundlinie etwa bei 20 – 10 NM vor dem Aufsetzen auf den Bahnen 07R und 07L.

7 Simulationsmittel

Die Simulation wurde mit dem Schnellzeitsimulationssystem "TAAM", **T**otal **A**ir-space & **A**irport **M**odeller, durchgeführt. Dieses von der Firma "The Preston Group" und der australischen CAA gemeinsam entwickelte System wird im Bereich FPL der DFS eingesetzt.

Im Vergleich zu anderen Simulationssystemen können bei TAAM- Simulationen die Bewegungsabläufe der Luftfahrzeuge ähnlich wie an einem Radarsichtgerät dargestellt werden, so dass dem Auftraggeber zu jeder Zeit Einblick und Kontrolle über die Prozessabläufe gewährt werden kann. In der Simulationsphase wird jedes einzelne Luftfahrzeug, dessen Flugplandaten in der Definitionsphase aufbereitet worden ist, dynamisch durch folgende Funktionen überlagert:

- Berechnung der tatsächlichen Flugprofile (4D Trajectories) aus dem Gesamtgeschehen u.a. auch zur Einordnung in die Landefolge.
- Berechnung der tatsächlichen Startfolge durch Einordnung jedes Abfluges in "Startfenster", die durch das Verkehrsgeschehen bestimmt werden.
- Aufbau von Warteverfahren, falls Anflüge durch Radarführung oder Speed-Control nicht sofort eingeordnet werden können.
- Bestimmung und Vermeidung von Staffelungsunterschreitungen durch Anwendung definierter Ausweichmanöver.
- Berechnung und Einhaltung der vorgeschriebenen Mindestabstände und Beachtung von Wirbelschleppen.

Auf diese Weise wird das tatsächliche Flugprofil für jeden einzelnen Flug bestimmt. Hieraus resultieren bei gleichem Verkehrsbeispiel aber unterschiedlichen Simulationsmodellen u.a. ein abweichendes Zeitverhalten und eine jeweils andere Dichte der Konfliktfälle in den Sektoren.

Flexibel und stufenlos einstellbare Maßstäbe gestatten sowohl die Anzeige einzeln ausgewählter Luftfahrzeuge als auch die Anzeige komplexer Verkehrsstrukturen. "Delay"- Verteilungen, Warteverfahren, entstehende Konfliktsituationen und deren Lösung werden ebenso für den Betrachter dargestellt, wie das "Powersetting", das vertikale Profil, der Flugweg und die zeitlichen Abhängigkeiten der Flugbewegungen.

Nach jedem Simulationslauf werden umfangreiche Analyse- Routinen gestartet, die eine Bewertung der vorgelegten Simulationsszenarien mit umfangreichen statistischen Daten unterstützen und zu einer objektiven Beurteilung beitragen.

8 Simulationsergebnisse

Um die Auswirkung der beabsichtigten zivilen Inbetriebnahme von Wiesbaden auf die Luftraumstruktur der TMA feststellen zu können, mussten zunächst die Strukturen der TMA untersucht werden.

Das Verkehrsaufkommen und die übrige Luftraumstruktur blieb in beiden Organisationen (ORG1 und ORG2) bis auf den Feeder- Bereich unverändert.

Die Bewertung der Simulationsergebnisse erfolgte für die einzelnen Sektoren vorrangig auf der Basis der Bewertungskriterien Verkehrsverteilung und Arbeitslastwerte.

8.1 Verkehrsverteilung

Die Abbildungen 2 und 3 stellen die für beide Modelle ermittelte Anzahl der Flüge pro Stunde dar. Die Graphiken zeigen, dass in ORG2 die Verkehrszahlen für den Feeder 1 leicht abgebaut wurden.

Betrachtet man die Verkehrsverteilung (ORG 1 und ORG 2), so konnte eine sehr unterschiedliche Belastung der einzelnen Sektoren festgestellt werden. Dem hochbelasteten Feeder 1 mit durchschnittlich 59 Flügen/h in ORG1 und durchschnittlich 55 Flügen/h in ORG2 steht der Sektor PU-NE mit durchschnittlich nur 11 Flügen/h (ORG1 u. 2) gegenüber. Aus diesem Missverhältnis lässt sich ableiten, dass die Entwicklungsarbeiten für eine optimierte Luftraumstruktur im Bereich der TMA Frankfurt noch nicht abgeschlossen sind.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die durchschnittlichen Verkehrszahlen (gerundet), die in den einzelnen Sektoren gemessen wurden.

Abbildung 2: ORG 1

Sektor:	Ø Flüge/h:
Feeder 1	59
--	--
PU-NW	36
DEP-S	36
PU-S	31
DEP-N	19
PU-NE	11

Abbildung 3: ORG 2

Sektor:	Ø Flüge/h:
Feeder 1	55
Feeder 2	49
PU-NW	36
DEP-S	36
PU-S	31
DEP-N	19
PU-NE	11

Abbildung 4: Anzahl der Flüge/h in der ORG1

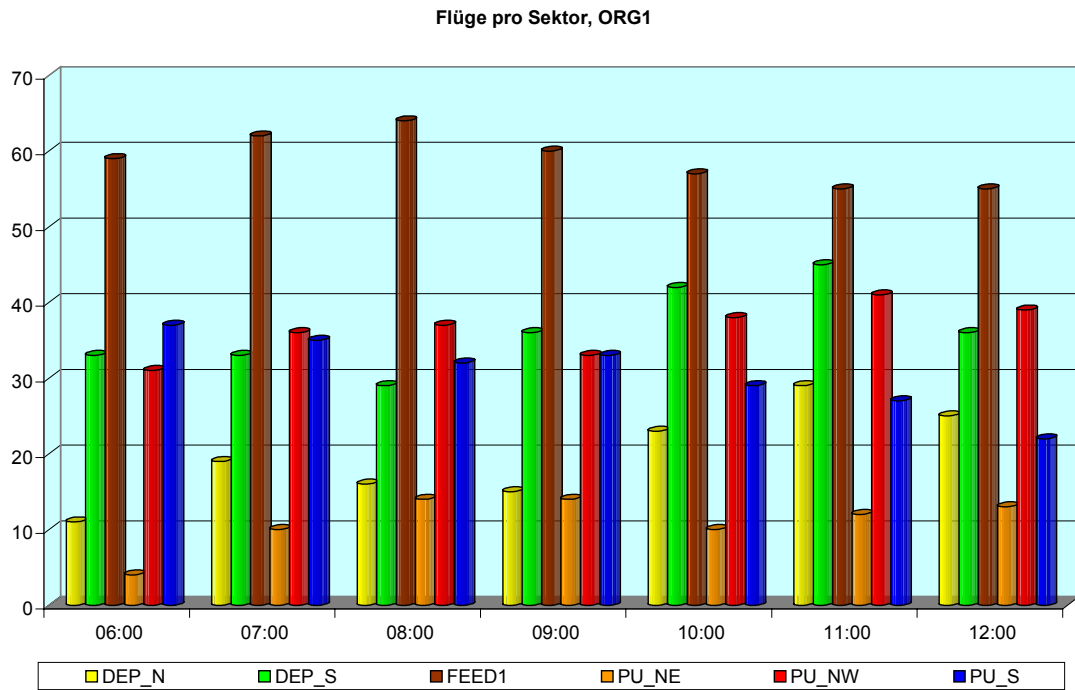
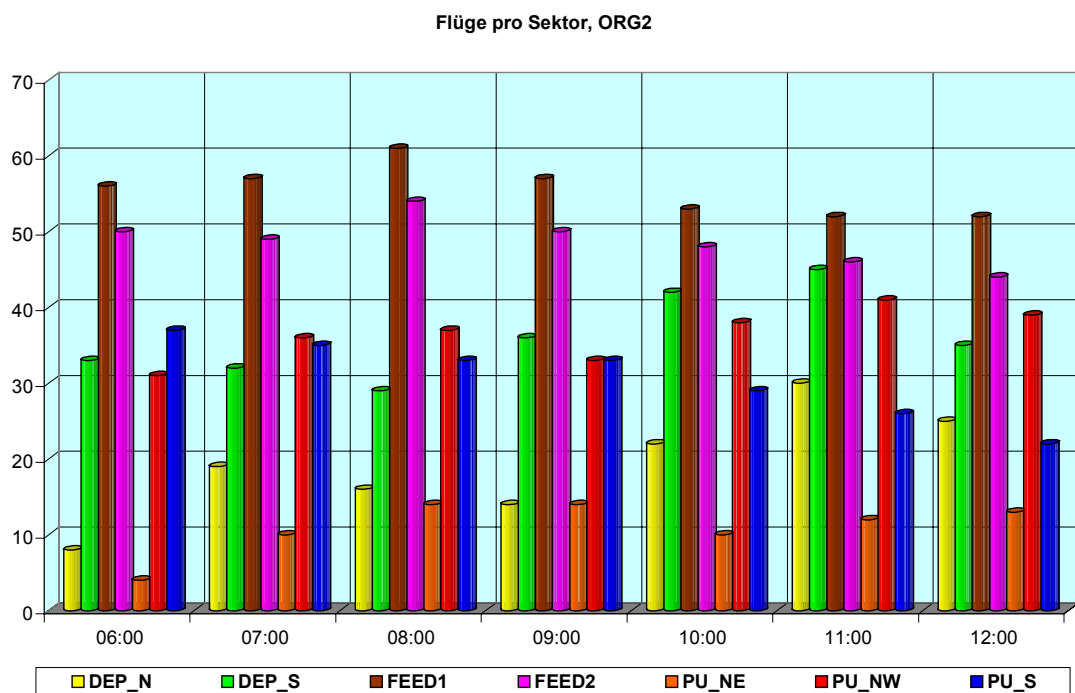


Abbildung 5: Anzahl der Flüge/h in der ORG2



Die Anzahl der Flüge im Sektor Feeder 1, die in der ORG1 noch mit durchschnittlich 59 Flügen/h gemessen wurden, konnte in der ORG2 auf 55 Flüge/h reduziert werden. Die Abnahme der Anzahl der Luftfahrzeuge wurde durch die Einführung des Feeder 2 erreicht. Durch den starken „Vectoring“-Anteil im Bereich der Feeder und die damit verbundene überproportionale Frequenzbelastung muss der Wert von 55 Flügen/h dennoch als hoch eingeschätzt werden (Im Feeder 1 verringerte sich die durchschnittliche Verweildauer der Lfz. von der ORG1 mit 5,8 MIN. auf 3,3 MIN. in der ORG2).

Die Verkehrsverteilung für beide Flughäfen (Wiesbaden und Frankfurt) ergab sich aus der im Rahmen der Mediation diskutierten Gesamtmenge von 500.000 Flügen/Jahr für Frankfurt und 60.000 Flügen/Jahr für Wiesbaden-Erbenheim. Zum Zwecke der verkehrstechnischen Beurteilung und für die Simulation sind Verkehrsjahreszahlen ungeeignet. Daher musste die Verkehrsdichte/Jahr in „reale“ Verkehrszahlen pro Stunde umgewandelt werden, wobei auch die Zusammensetzung der Luftfahrzeugmuster von Bedeutung ist.

Der Verkehrszuwachs auf 755 An- und Abflüge für Wiesbaden und Frankfurt innerhalb von 7 Stunden entspricht anteilig für Frankfurt einem Zuwachs von ca. 18% gegenüber einem heutigen Spitzenwert von 1400 An- und Abflügen an einem Tag (mit 19 operativen Betriebsstunden).

Gemessen wurden die folgenden Stundenwerte für die Flughäfen Frankfurt und Wiesbaden:

Frankfurt	max. 94 Flüge/h	durchschnittlich	87 Flüge/h
Wiesbaden	max. 19 Flüge/h	durchschnittlich	17 Flüge/h
Summe:	max.113 Flüge/h	durchschnittlich	104 Flüge/h

Bedingt durch die im Verkehrsbeispiel vorgegebenen hohen Verkehrszahlen von 636 Flügen in 7 Stunden für Frankfurt und die Einhaltung der notwendigen Staffelungskriterien im Endanflug und für die Abflüge wurde trotz der Vorgabe von 1,5 NM „staggered“ (heute 2,5 NM auf den Finals 07R und 07L) festgestellt, dass die Verkehrsmenge nur mit wachsendem „Delay“ im An- und Abflug (Frankfurt) abgearbeitet werden kann.

Die Ursache für die Delaybildung ist aus dem Ungleichgewicht zwischen der vorgegebenen Verkehrsmenge und dem aus Sicherheitsgründen anzuwendenden Regelwerk zur Staffelung der Luftfahrzeuge im An- und Abflug abzuleiten.

Bei den An- und Abflügen für Wiesbaden wurde kein „Delay“ festgestellt.

Für den Zeitraum von 7 Stunden wurde für Frankfurt die folgende „Delaybildung“ festgestellt:

<u>Wiesbaden:</u>	kein	Delay.		
<u>Frankfurt:</u>	Im Anflug,	Spitzenwert	18	MIN. Delay
	Im Abflug,	Spitzenwert	40	MIN. Delay
<u>Durchschnittswert:</u>	alle Flüge (nur Frankfurt)		5,47	MIN. Delay

8.2 Lastwerte

Eine qualitativ bessere Methode zur Bewertung der Simulation sind die Messungen zur Bestimmung der Arbeitslasten der Lotsen. Neben der Anzahl der Flüge gehen hier auch die Verweilzeiten der Luftfahrzeuge in den Sektoren, die Komplexität der Streckenstrukturen, das Konfliktpotential, sowie der Koordinationsaufwand in die Berechnung der Arbeitslastfaktoren ein. Eine nähere Beschreibung dieser Messmethode ist im Anhang dieses Dokumentes enthalten. Zur besseren Darstellung der Veränderungen im Feeder Bereich wurde in den nachstehenden Graphiken die gleiche Skalierung verwendet. Die PU- und DEP- Sektoren haben in den beiden Simulationsmodellen ORG1 und ORG2 die gleichen Lastwerte, da die Strukturen und die Verkehrsmenge in beiden Organisationsformen unverändert blieben.

Aus den Messergebnissen in ORG1 geht hervor, dass der Feeder 1 mit Lastwerten von zeitweise über 110 Punkten eine deutliche Überbelastung aufweist. Die Struktur des Feeder 1 in der ORG1 ist daher für die Übernahme in den zukünftigen Betrieb nicht geeignet.

Abbildung 6: Arbeitslasten ORG1

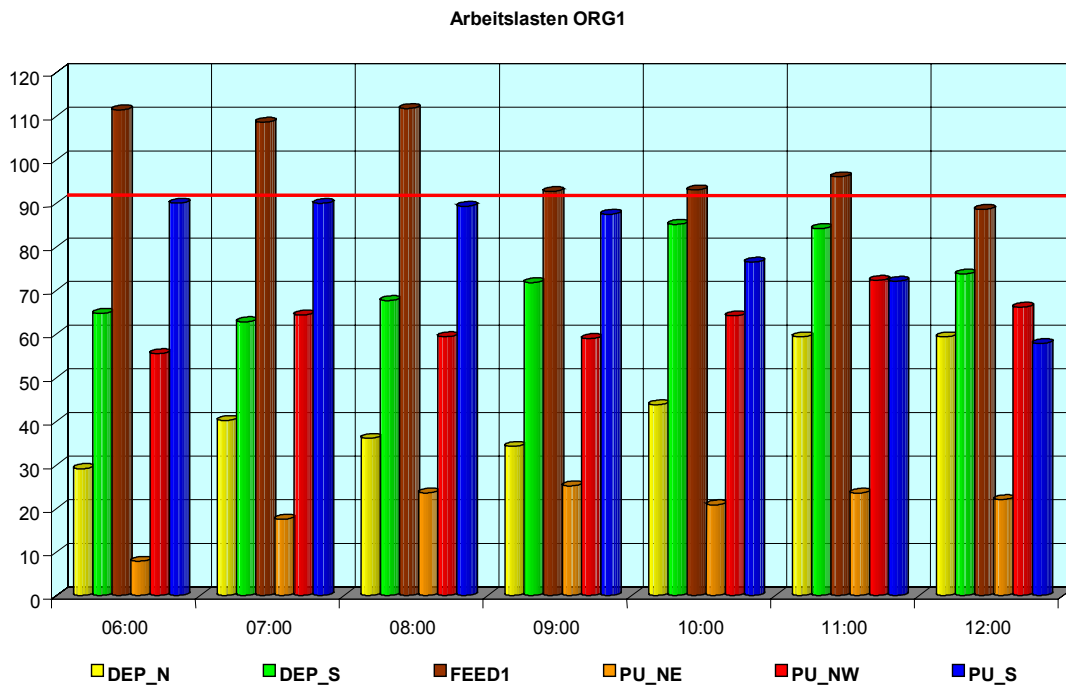
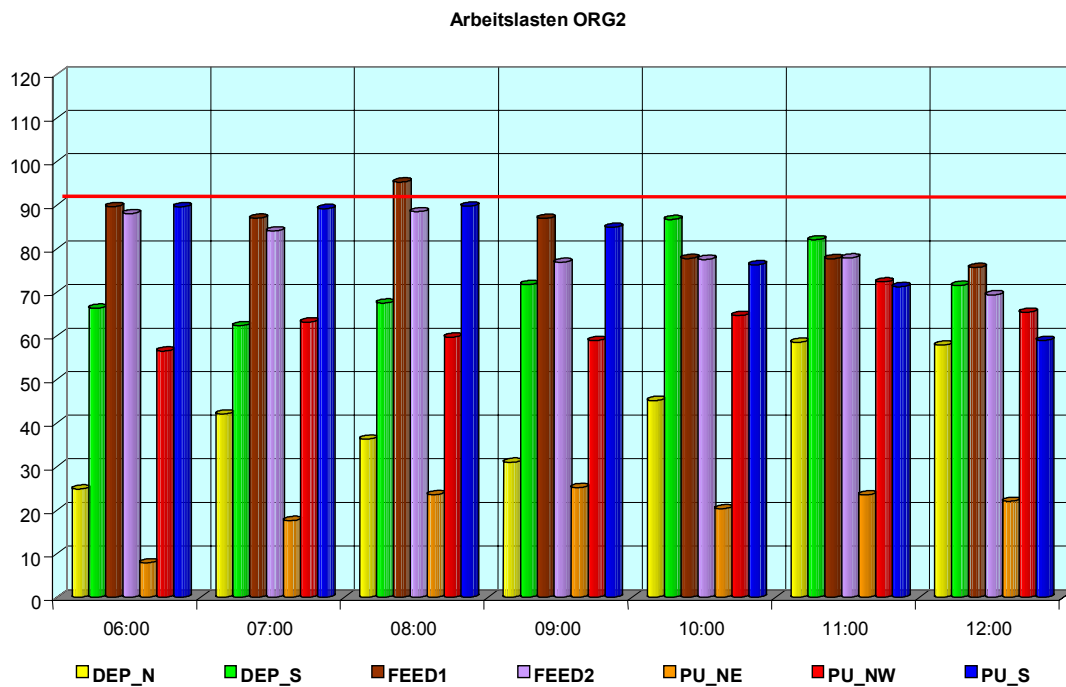


Abbildung 7: Arbeitslasten ORG2



Die Messwerte in der ORG2 zeigen trotz der Entlastung des Feeder 1 durch Einrichtung einer speziellen, nur auf die „Frankfurt Finals“ 07R und 07L ausgerichteten Sonderlösung, dass die Lastwerte für diesen Sektor mit durchschnittlich 84 Lastwertpunkten und zeitweise 90 Punkten in der Spitze immer noch sehr hoch sind. Lastwertpunkte im Bereich von 90 gelten als Grenzwerte, die höchstens kurzfristig auftreten sollten. Eine Möglichkeit zu einer weiteren Senkung der Belastung im Bereich des Feeder1 wäre, alle Anflüge nach Wiesbaden einem anderen Sektor zu übertragen.

Die nachstehenden Tabellen geben die durchschnittlichen Lastwertpunkte wieder, die in beiden Simulationsmodellen festgestellt wurden.

Abbildung 8: ORG 1

Sektor:	Ø Lasten:
Feeder 1	100
--	--
PU-S	80
DEP-S	73
PU-NW	63
DEP-N	43
PU-NE	20

Abbildung 9: ORG 2

Sektor:	Ø Lasten:
Feeder 1	84
Feeder 2	80
PU-S	80
DEP-S	73
PU-NW	63
DEP-N	43
PU-NE	20

Die Lastwertmessungen der Pickup- und Departure- Sektoren zeigen eine sehr uneinheitliche Verteilung auch in den Arbeitslasten von 10 bis 89 Punkten in der Spitze und von 20 bis 80 Lastwertpunkten im Durchschnitt. Es wird empfohlen, bei der weiteren Entwicklung der Sektorstrukturen und der Streckenführungen auf eine Harmonisierung der Arbeitslasten zu achten.

Die bei einem moderaten Verkehrsaufkommen von durchschnittlich 31 Flügen/h vergleichsweise hohen Arbeitslastwerte im Sektor PU-S sind auf die große Anzahl potentieller Konflikte zurückzuführen. Erschwerend für die Arbeit des Lotsen wirkt sich in diesem Sektor der sowohl lateral als auch vertikal begrenzte Zuständigkeitsbereich aus. In der Höhe stehen praktisch nur 5 Flugflächen zur Verfügung, die einerseits durch die geringe Höhe der TMA (FL115) und andererseits durch Sicherstellung der Abflüge (und teils auch aus Lärmschutzgründen) bestimmt sind. Die laterale Verengung der Manövrierfläche nahe dem Abflugkorridor der Bahn 18 im Süden des Flughafens führten zu erhöhten Konfliktrisiken, die sich auch in den dargestellten Lastwertpunkten zeigen.

8.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Wiesbaden- Erbenheim kann auf der Basis der simulierten Rahmenbedingungen an die Luftraumstruktur für die geplante TMA Frankfurt angeschlossen werden.
- Die in der TMA Frankfurt vorgesehenen Verfahren und Sektoren müssen weiter optimiert werden.
- Die Verkehrszahlen ergeben einen „Eckwert“² von 87 Flügen/h. Dieser Eckwert ist das Ergebnis aus den vorgegebenen Staffelungskriterien für den An- und Abflug und dem vorgelegten Verkehrsaufkommen.
- Die Lastwerte von 110 Lastwertpunkten im Bereich des Feeder 1 (ORG1) sind zu hoch für eine mögliche betriebliche Übernahme.
- Die Lastwerte von ca. 90 Lastwertpunkten für den Bereich des Feeder 1 (ORG2) bewegen sich im Grenzbereich zur Überlast und sollten (beispielsweise durch Übergabe der „Inbounds“ für Wiesbaden an einen anderen Sektor) reduziert werden.
- Die Lastwerte für den Bereich des Pickup- Süd (PU- S) von zeitweise bis zu 89 Punkten entstehen dadurch, dass die lateralen und vertikalen Begrenzungen des Sektors, gemessen am Verkehrsaufkommen, zu gering bemessen sind.
- Die Verspätungen aller Flüge nach und von Frankfurt mit durchschnittlich 5,47 MIN. (verteilt auf Maximalwerte von bis zu 18 MIN. im Anflug und bis zu 40 MIN. im Abflug) sind das Resultat aus dem Ungleichgewicht zwischen der angebotenen Verkehrsmenge und dem aus Sicherheitsgründen anzuwendenden Regelwerk zur Staffelung der Luftfahrzeuge im An- und Abflug.

² Unter „Eckwert“ wird hier die durchschnittliche Anzahl von Flugbewegungen pro Stunde verstanden, die sich aus Anzahl der simulierten An- und Abflügen für Frankfurt ergibt.

9 Auswertekriterien

Die Auswertungskriterien, die zur Anwendung kommen, werden auf das Simulationsziel abgestimmt. Mit der zivilen Inbetriebnahme des Flugplatzes Wiesbaden-Erbenheim und seiner Anbindung an das IFR- Streckennetz ergibt sich zwangsläufig eine neue Komponente in der Verkehrsbearbeitung der TMA Sektoren.

Die vom Simulationssystem TAAM gemessene Häufigkeit, die Dichte, Komplexität und Qualität der Konflikte wird ausgewertet.

Die festgestellte Verkehrsverteilung, die Konflikte und der Koordinationsaufwand ist die Grundlagen zur Berechnung von Arbeitslastfaktoren, die wiederum in die Bestimmung der Sektorkapazität eingehen.

Neben der Aussage über die Sektorkapazität in den TMA Sektoren werden auch Rückschlüsse auf mögliche Verspätungen in der Verkehrsabwicklung des Flughafens Frankfurt und Wiesbaden gemacht.

Das System unterstützt die folgenden Meßkriterien, die zusätzlich noch mit gestaffelten Gewichtungsfaktoren überlagert werden und hierdurch zu Aussagen führen, die der Realität sehr nahe kommen:

- Konflikthäufigkeit: Qualität u. Komplexität der Konflikte je Sektor / Zeiteinheit.
- Arbeitslastfaktor: Arbeitsaufwand je Sektor / Zeiteinheit.
- Verkehrsverteilung: Anzahl der Flugbewegungen je Sektor / Zeiteinheit.
- Koordinationsaufwand: Anzahl und Gesamtaufwand je Sektor / Zeiteinheit.

Zusätzlich bietet das System TAAM eine vollständige Darstellung des Simulationsablaufes auf einem Farbmonitor. Beobachtungen des Fluggeschehens geben eine weitere analytische Möglichkeit zur Bewertung der Simulationsszenarien.

Eine genaue Beschreibung der Methode und Algorithmen zur Auswertung der Simulationsergebnisse ist im Anhang zu dieser Spezifikation enthalten.

10 Anhang

Der gesamte deutsche Luftraum, der für die Durchführung von Flügen nach Instrumentenflugregeln zur Verfügung steht, ist in aneinandergrenzende Zuständigkeitsbereiche aufgliedert, innerhalb derer jeweils mindestens ein Radarlotse verantwortlich tätig ist. Diese Zuständigkeitsbereiche sind dreidimensionale Raumkörper (Flugsicherungs-Sektoren), die zusammen die gesamten Streckenführungen aufnehmen.

Wenn in einer Schnellzeitsimulation von Verkehrsdurchsatz oder von Sektorkapazität gesprochen wird, wird eigentlich von der Fähigkeit der Lotsen gesprochen, eine bestimmte Menge Einzelflüge sicher und verzögerungsfrei durch ihren Luftraum leiten zu können. Diese Fähigkeit der Lotsen steht in einem engen Zusammenhang mit der:

- Sektorgröße und den Staffelungskriterien.
- Mischung der Luftfahrzeug-Typen und den allgemeinen Flugabsichten (An-, Ab- oder Überflüge).
- Streckenstruktur und dem darin enthaltenen Konfliktpotential.
- Qualität der elektronischen Hilfsmittel.

Zur Feststellung von Sektorbelastungen bzw. Verkehrsdurchsatz muss deshalb die Arbeitslast der Lotsen zur Abarbeitung des Verkehrs quantifiziert werden können.

Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH stellt in diesem Anhang die von ihr entwickelten und angewendeten Algorithmen zur Bestimmung von Sektorlastwerten vor. Die Ergebnisse aus den Berechnungen stehen in prinzipieller Übereinstimmung zu Erfahrungswerten, zu Werten von EUROCONTROL und zu den Ergebnissen aus dem von Prof. Kastner erstellten Gutachten von 1998/99 zur Lastbestimmung der Lotsen.

Jeder einzelne Flug wird nach seiner tatsächlichen Flugbahn durch einen definierten Luftraum datentechnisch erfasst und mit anderen Flügen im gleichen Luftraum in Beziehung gesetzt. Es werden wesentliche Flugphasen, wie steigen/sinken, landen/starten, im Anflug/im Abflug, Sektorein-/Sektorausflug usw. sekundengenau und für jeden Flug einzeln festgehalten und als sog. „Ereignisse“ in einer Datenbank gespeichert, sodass ein vollständiges Abbild der räumlichen Bewegungsabläufe und Ereignisse entsteht.

Zum Zwecke der Analyse werden (offline) Faktoren bestimmt, die unmittelbar in Bezug zu Arbeitsschritten stehen, die ein Lotse in seinem Zuständigkeitsbereich zur Abarbeitung von Konfliktrisiken bis zu Routinetätigkeiten erfüllen muss. Diese Faktoren werden in den Analyseroutinen als einzelne Parameter für jeden FS-Sektor wirksam und auf die gemessenen „Ereignisse“ aufaddiert. Durch diese Methode kann der Aufwand nachempfunden werden, den die realen Lotsen benötigen, bis sie zu Kontroll-, Planungs- und Koordinationsentscheidungen kommen, die dann als Eingriff in das Verkehrsgeschehen aktiv umgesetzt werden.

Diese, für jeden Sektor zur Verfügung gestellten Werte, unterstützen die Vorgehensweise, mit dem System Vergleichsuntersuchungen durchzuführen. In diesem Zusammenhang berechnet das System bei jedem einzelnen Messlauf u.a. die folgenden Grunddaten für die Auswertung, die sich aus der dynamischen Abfolge bestimmter „Ereignisse“ (succession of events) ergeben:

- Anzahl Lufffahrzeuge und Verweildauer der Lfz. pro Sektor / Zeiteinheit.
- Konflikte: Qualität und Anzahl je Sektor / Zeiteinheit.
- Koordinationsaufwand: Qualität / Anzahl der Aktionen je Sektor / Zeiteinheit.
- Höhenwechsel: Arbeitsaufwand je Sektor / Zeiteinheit.

Die in der TAAM Simulation zur Verfügung gestellten Grunddaten werden weiter untergliedert (parametrisiert) und können je nach Sektor bzw. Zuständigkeitsbereich individuell gewichtet werden. Auf diese Weise wird der Aufwand in der Simulation nachempfunden, der sonst durch reale Lotsen aufgebracht werden muss, um einen gleichen Verkehrsdurchsatz zu gewährleisten.

Die Sektorbelastung ergibt sich aus der Addition von Teillasten, die in der folgenden Beschreibung näher erläutert wird und am Ende nach der folgenden Formel errechnet wird:

$$WL = WL1 + WL2 + WL3 + WL4$$

Die Teillast WL1

Aus der Anzahl der kontrollierten Flugbewegungen pro Sektor wird ein Basiswert als erste Teilbelastung **WL1** berechnet. Dieser Wert wird zur Aufnahme der Grundbelastung bzw. der Routinetätigkeiten wie das Führen der Kontrollstreifen, RT- Verkehr, Radar- Monitoring, allg. Abstimmungen usw. benutzt. Zusätzlich

wird die durchschnittliche Verweildauer der Luftfahrzeuge im Zuständigkeitsbereich zur Berechnung des allgemeinen Routineaufwandes mit aufgenommen. Je nach Entwicklungsstand des technischen Flugsicherungssystems fällt die Teilbelastung **WL1** unterschiedlich aus. Mit einer Variablen wird dem jetzigen technischen Entwicklungsstand in der Flugsicherung in Deutschland Rechnung getragen. Mit fortschreitender Automation in der Flugsicherung wird erwartet, dass sich der Routineaufwand reduzieren wird. Heute entspricht dieser „Overhead“, ähnlich der Auffassung von EUROCONTROL, einem Anteil von etwa 50% bis 60% der Gesamtarbeitslast in den Sektoren.

Zur Berechnung der Basisarbeitslast **WL1** wird die folgende Formel angewendet:

$$WL1 = A + b \cdot B$$

A = Anzahl der Flugbewegungen / Sektor.

b = Variable, heute = 2.

B = Durchschnittliche Sektorverweilzeit.

Beispiel: Bei 35 Flugbewegungen / Std. mit einer durchschnittlichen Sektorverweilzeit von 5 Minuten ergebenen sich die folgenden Werte für die Teilbelastung **WL1**:

$$35 + 2 \times 5 = \mathbf{45 \text{ Punkte}}$$

Die Teillast WL2

Die Teilbelastung **WL2** ist für die Lastwerte reserviert, die sich aus der Konflikterkennung ergeben und im tatsächlichen Betrieb zu diversen Lösungswegen führen, die dann durch den Lotsen in Kontroll-, Planungs- oder Koordinationsentscheidungen umgesetzt und ausgeführt werden. Aus diesem Ansatz wird es von Bedeutung, dass möglichst alle wichtigen Konflikttypen bzw. die verschiedenen Flugwege, die zu Staffellungsunterschreitungen führen, erfasst werden. Denn aus der Stellung der Konfliktpartner zueinander kann einerseits auf die zeitliche Dringlichkeit und andererseits auf die Komplexität zur Konfliktlösung geschlossen werden. Aus diesem Grunde wird jeder Konflikttyp unterschiedlich gewichtet. Der Anteil der Belastung **WL2** an der Gesamtarbeitslast eines Sektors beträgt im Durchschnitt etwa 20% bis 30%. Es gelten die folgenden Konflikttypen mit den folgenden Gewichtungsfaktoren:

- **K1** - Annäherung über gleiche Weglinie, beide Lfz. gleiche Höhe: Faktor = 1,0
- **K2** - Annäherung über gleiche Weglinie, ein Lfz. steigt/sinkt: Faktor = 1,0
- **K3** - Annäherung über gleiche Weglinie, beide Lfz. steigen/sinken: Faktor = 1,2
- **K4** - Annäherung über kreuzende Weglinien, beide Lfz. gleiche Höhe: Faktor = 1,5
- **K5** - Annäherung über kreuzende Weglinien, ein Lfz. steigt/sinkt: Faktor = 1,6
- **K6** - Annäherung über kreuzende Weglinien, beide Lfz. steigen/sinken: Faktor = 1,7
- **K7** - Annäherung über entgegengesetzte Weglinien, Lfz. gleiche Höhe: Faktor = 1,7
- **K8** - Annäherung über entgegengesetzte Weglinien, ein Lfz. steigt/sinkt: Faktor = 1,7
- **K9** - Annäherung über entgegengesetzte Weglinien, beide Lfz. steigen/sinken: Faktor = 1,8

K1 bis K9 = Konflikttyp und Häufigkeit (Anzahl der Fälle) pro Sektor.

Neben den ausgewiesenen 9 Konflikttypen ist es von besonderer Bedeutung festzuhalten, bis zu welcher lateralen Dichte sich zwei auf Kollisionskurs befindliche Luftfahrzeuge einander genähert haben. Das System liefert die Daten der geringsten Annäherung zweier Luftfahrzeuge zueinander, wenn die vertikale Mindeststaffelung unterschritten wurde z.B. bei 3 NM lateraler Staffelung wird der Wert zwischen „Kollision“ und 6 NM festgestellt und registriert. Mit Hilfe dieser Informationen kann mit großer Sicherheit auf die notwendigen Handlungen geschlossen werden, die vom Lotsen zur sicheren Einstaffelung der Luftfahrzeuge veranlasst werden. Aus diesem Grunde werden die folgenden Annäherungen festgehalten und mit Wertfaktoren belegt:

- **F1** = Annäherung zwischen Kollision und Erreichen des Staffelungsmindestwertes. Darstellung: Konflikt 0% – 100% Faktor = 1,0
- **F2** = Annäherung zwischen 20% vor Staffelungsmindestwert und Staffelungsmindestwert. Darstellung: Konflikt 100% – 120% Faktor = 0,8
- **F3** = Annäherung zwischen 50% vor Staffelungsmindestwert und 20% vor Staffelungsmindestwert. Darstellung: Konflikt 120% – 150% Faktor = 0,65
- **F4** = Annäherung zwischen doppeltem Staffelungsmindestwert und 50% vor Staffelungsmindestwert. Darstellung: Konflikt 200% – 150% Faktor = 0,5

Über das Rechnersystem TAAM werden nun die nach den Qualitätsmerkmalen „on-line“ gezählten „Konflikt- Ereignisse“ mit den Parametern K1 bis K9 und F1 bis F4 belegt. Aus dieser Betrachtungsweise ergibt sich für die Berechnung der Teilbelastung **WL2** dann die folgende Formel:

$$\begin{aligned}
 & (X \cdot K1 \cdot F1) + (X \cdot K1 \cdot F2) + (X \cdot K1 \cdot F3) + (X \cdot K1 \cdot F4) + \\
 & (X \cdot K2 \cdot F1) + (X \cdot K2 \cdot F2) + (X \cdot K2 \cdot F3) + (X \cdot K2 \cdot F4) + \\
 & (X \cdot K3 \cdot F1) + (X \cdot K3 \cdot F2) + (X \cdot K3 \cdot F3) + (X \cdot K3 \cdot F4) + \\
 & (X \cdot K4 \cdot F1) + (X \cdot K4 \cdot F2) + (X \cdot K4 \cdot F3) + (X \cdot K4 \cdot F4) + \\
 \text{WL2} = & (X \cdot K5 \cdot F1) + (X \cdot K5 \cdot F2) + (X \cdot K5 \cdot F3) + (X \cdot K5 \cdot F4) + \\
 & (X \cdot K6 \cdot F1) + (X \cdot K6 \cdot F2) + (X \cdot K6 \cdot F3) + (X \cdot K6 \cdot F4) + \\
 & (X \cdot K7 \cdot F1) + (X \cdot K7 \cdot F2) + (X \cdot K7 \cdot F3) + (X \cdot K7 \cdot F4) + \\
 & (X \cdot K8 \cdot F1) + (X \cdot K8 \cdot F2) + (X \cdot K8 \cdot F3) + (X \cdot K8 \cdot F4) + \\
 & (X \cdot K9 \cdot F1) + (X \cdot K9 \cdot F2) + (X \cdot K9 \cdot F3) + (X \cdot K9 \cdot F4)
 \end{aligned}$$

Der Wert **X** ist die Anzahl der festgestellten Konflikttypen, sortiert nach den 9 definierten Qualitäten (K1 – K9), die pro FS- Sektor bzw. pro Zuständigkeitsbereich berechnet und gezählt werden.

Beispiel: Bei insgesamt 17 festgestellten Konflikten und diversen Annäherungen würde sich für die Last **WL2** die folgende Berechnung ergeben:

$$(2 \times \text{Konflikt K1} \times \text{Annäherung F1}) + (3 \times \text{Konflikt K5} \times \text{Annäherung F4}) + \\
 (8 \times \text{Konflikt K6} \times \text{Annäherung F3}) + (4 \times \text{Konflikt K9} \times \text{Annäherung F1}) = \text{WL2}$$

das bedeutet:

$$\text{WL2} = (2 \times 1 \times 1) + (3 \times 1,6 \times 0,5) + (8 \times 1,7 \times 0,65) + (4 \times 1,8 \times 1) = \mathbf{20,44 \text{ PKT.}}$$

Die Teillast WL3

Durch die Einführung neuer Koordinationsverfahren, beispielsweise durch den automatischen Austausch der „Estimates“, durch fest vereinbarte Übergabehöhen und andere durch gegenseitige Abkommen festgelegte Übergabe- und Übernahmebedingungen, hat sich die Koordinationslast **WL3** in den letzten Jahren reduziert. Viele Untersuchungen, auch im Ausland, haben gezeigt, dass durch verfahrenstechnische Absprachen der ehemals große Anteil der Arbeitsbelastungen, die aus den Koordinationsprozessen stammen, geringer geworden sind.

In dem hier genutzten Workloadmodell beträgt der Anteil der Koordinationsarbeitslast an der Gesamtarbeitslast im Sektor z.Zt. etwa 15%. Grundlage für die Berechnung der Koordinationsarbeitslast sind die vom System gelieferten Koordinationseinheiten, die für jeden Ein- und Ausflug in bzw. aus dem Sektor, innerhalb der gleichen Kontrollstelle, innerhalb der gleichen FIR und nach außen generiert werden. Auf diese Weise wird zwischen unterschiedlichen Koordinationstypen unterschieden. Insgesamt kann das System bis zu 40 solcher Koordinationstypen unterscheiden, von denen für die jetzige Simulation nur ein Teil genutzt wird. So kann beispielsweise eine Koordinationseinheit zwischen Sektoren unterschiedlicher Kontrollstellen höher gewichtet werden als eine Koordinationseinheit zwischen Sektoren der gleichen Kontrollstelle. Zusätzlich erfolgt eine Unterscheidung zwischen dem die Koordination auslösenden Sektor und dem jeweiligen Empfänger der Information.

Die Koordinationsarbeitslast **WL3** wird wie folgt berechnet:

$$WL3 = (KO1 \cdot Sx \text{ from}) + (KO2 \cdot Sx \text{ to}) + \dots$$

Zum Einsatz in die Formel werden die folgenden Daten berechnet:

KO1 = Anzahl der aus einem Sektor ausfliegenden Luftfahrzeuge.

KO2 = Anzahl der in einem Sektor einfliegenden Luftfahrzeuge.

Sx = Koordinationstyp mit folgenden Wertfaktoren (Parameter):

S1 (inter, from) Empfänger = 0,15 S3 (inter, to) Initiator = 0,20

S2 (intra, from) Empfänger = 0,10 S4 (intra, to) Initiator = 0,15

Beispiel: Es wurden gezählt; 20 ausfliegende Flüge in andere Kontrollstelle. 15 einfliegende Flüge aus anderer Stelle. 15 ausfliegende Flüge in Nachbarsektor, gleiche Stelle. 20 einfliegende Flüge aus Nachbarsektor, gleiche Stelle.

$$WL3 = (20 \times 0,2) + (15 \times 0,15) + (15 \times 0,15) + (20 \times 0,1) = \mathbf{10,5 \text{ Pkt.}}$$

Die Teillast WL4

Neben der Grundlast, die mit dem Wert *WL1* (Sektorgröße / Menge der Durchflüge) festgestellt wurde, muss, aus der Perspektive der Lotsentätigkeiten, ein weiteres Merkmal berücksichtigt werden, welches darauf eingeht, dass nicht jeder Kontrollsektor gleich schwierig zu bearbeiten ist. Es wurde festgestellt, dass der Anteil der Vertikalbewegungen die Arbeitslast in den Zuständigkeitsbereichen mit der Verkehrsmenge unproportional ansteigen lässt. Hieraus ergibt sich ein weiterer „Overhead“, welcher zusätzlich berücksichtigt werden muss. Viele Höhenwechsel in einem Sektor verursachen weniger Verkehrsdurchsatz. Oder - Ein wachsender Anteil an Vertikalbewegungen verursacht einen wachsenden Anteil Kontrolleingriffe. Aus diesem Grunde ist mit der Teilbelastung *WL4* der Arbeitsaufwand erfasst worden, der dem Anteil der Vertikalbewegungen im Sektor entspricht.

Die Arbeitslast aus Höhenwechsel *WL4* wird wie folgt berechnet:

$$WL4 = H \cdot Hf \quad \begin{array}{l} H = \text{Anzahl der festgestellten Höhenwechsel /Sektor.} \\ Hf = \text{Gewichtungsfaktor als Konstante} = 0,3 \end{array}$$

Beispiel: Es werden in einem Sektor 15 Höhenwechsel gezählt, d.h:

$$WL4 = 15 \times 0,3 = \mathbf{4,5 \text{ Pkt.}}$$

$$WL = WL1 + WL2 + WL3 + WL4 \quad (45 + 20,44 + 10,5 + 4,5) = \mathbf{80,44}$$

Aus den vorher gezeigten Beispielen und nach Einsatz der Punktwerte in die Formel ergibt sich eine fiktive Sektorbelastung von 80,44 Punkten, dessen reale Wertigkeit sich entweder aus dem Vergleich zur „Simulation der Wirklichkeit“ ergibt – also als relative Größe angesehen werden muss. Oder es liegen umfangreiche Erfahrungswerte vor, die vorher über ähnliche Messmethoden objektiv nachgemessen werden konnten. In diesem Falle kann man von realen Lastwerten sprechen.

Unter Anwendung der dargestellten Berechnungsalgorithmen gelten inzwischen die folgenden auch international anerkannten betrieblichen Lastwerte:

- Zulässige kurzzeitige Belastung, begrenzt 1 Std. = **90 Punkte**
- Dauerbelastung = **70 Punkte**