



# P-AIR-FORM

P-AIR-FORM Abschlussbericht

**DLR IB 112-2015/02**

Zugänglichkeitsstufe A/I

**Institut für Flugführung**

Direktor: Prof. Dr. Dirk Kügler

**Abteilung Luftverkehrssysteme**

Abteilungsleiter: Dr. -Ing. Michael Schultz



## Dokument Information

Zuständiger Projekt- / Abteilungsleiter:	Yves Günther (PL)
Zuständiger Autor:	Günther, Yves
Weitere Autor(en):	Kern, Stefan; Loth, Steffen; Papenfuß, Anne; Pick, Andreas; Schmitz, Reinhard, Wenzel, Steffen; Gerz, Thomas
Projekt / Zielfeld:	P-AIR-FORM
Zugänglichkeitsstufe:	A/I
Datei:	IB-2015-02_P-AIR-FORM_Abschlussbericht_V1.0.docx
Version:	1-0-0
Speicherdatum:	2015-08-17
Gesamtseitenzahl:	85

### Freigabe:

Die Freigabe erfolgt lt. gesondertem Freigabeformblatt:

© 2015, DLR, Institut für Flugführung:

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung innerhalb und außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des DLR, Institut für Flugführung, unzulässig und wird zivil- und strafrechtlich verfolgt. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2015 DLR e.V., Projekt P-AIR-FORM, Copyright reserved

## Inhalt

<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>5</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>5</b>
<b>1. ÜBERBLICK UND ZIELE IN P-AIR-FORM .....</b>	<b>7</b>
1.1. ÜBERBLICK .....	7
1.2. ZIELE.....	10
1.3. UMSETZUNG.....	11
1.4. ZUSAMMENFASSUNG DER ARBEITEN UND WESENTLICHE ERGEBNISSE .....	12
1.5. FORTFÜHRENDE ARBEITEN NACH P-AIR-FORM.....	13
<b>2. SITUATIONSBILD - HOSPITATIONEN AN VERSCHIEDENEN FLUGHÄFEN.....</b>	<b>14</b>
2.1. HOSPITATIONSFLUGHÄFEN.....	14
2.2. HOSPITATIONSERGEBNISSE .....	15
<b>3. AUSWAHL RELEVANTER PBAM – KPIS.....</b>	<b>20</b>
3.1. BEGRIFFSKLÄRUNG .....	20
3.2. AUSWAHLKRITERIEN PBAM RELEVANTER KPIS .....	21
3.3. RELEVANTE KPIS FÜR EIN PBAM.....	21
<b>4. KOOPERATIONSKONZEPT .....</b>	<b>22</b>
4.1. KONZEPTIDEE.....	22
4.2. BEISPIEL FÜR KOORDINIERTER RESSOURCENPLANUNG.....	23
4.3. ERGEBNISSE DES STAKEHOLDERWORKSHOPS .....	26
<b>5. OPERATIONELLES KONZEPT.....</b>	<b>27</b>
5.1. ZIELE.....	27
5.2. KONZEPTIDEE DES PERFORMANCE BASED AIRPORT MANAGEMENT .....	27
5.3. PERFORMANCE BASED AIRPORT MANAGEMENT AM BEISPIEL PÜNKTLICHKEIT.....	29
5.4. ERGEBNISSE DES STAKEHOLDERWORKSHOPS .....	37
<b>6. VERBESSERUNG DER WETTERVORHERSAGE FÜR EINE GENAUERE VERKEHRSPLANUNG (KOMBINATION NOWCAST UND FORECAST).....</b>	<b>38</b>
6.1. MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER WETTERVORHERSAGE HINSICHTLICH DER ANFORDERUNGEN EINER VORAUSPLANUNG .....	38
6.2. WINTERWETTER.....	40
6.3. GEWITTER .....	42
<b>7. EINFLUSS DES WETTERS AUF EINE VORAUSPLANUNG DES LUFTVERKEHRS .....</b>	<b>46</b>
7.1. EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK.....	46
7.2. EINFLUSS DES WETTERS IN P-AIR-FORM.....	47
7.3. KRITISCHE WETTERERSCHEINUNGEN.....	50
7.4. EINFLUSS DES WETTERS AUF DIE VERSCHIEDENEN BEREICHE DER VERKEHRABWICKLUNG .....	51
7.5. GEWITTERSZENARIEN IN DER SIMULATION .....	54
<b>8. KOPPLUNG EINER VERKEHRSPLANUNG MIT DER SCHNELLZEITSIMULATION (TOP-AIRTOP) .....</b>	<b>56</b>
8.1. ZIEL UND UMFANG DER KOPPLUNG .....	56
8.2. GROBE SYSTEMARCHITEKTUR .....	56
8.3. ANFORDERUNGEN AN DIE SYSTEME TOP UND AIRTOP DURCH DIE SZENARIEN .....	56
8.4. UMSETZUNG DES SIMULATIONSZYKLUS.....	58
8.5. ERGEBNISSE .....	59

---

<b>9.</b>	<b>SIMULATION VON LUFTVERKEHR – SCHNELLZEIT-SIMULATIONSUMGEBUNG (AIRTOP).....</b>	<b>62</b>
9.1.	SZENARIEN.....	62
9.2.	SIMULATIONSAUFBAU.....	63
9.3.	ERGEBNISSE VERGLEICH GEWITTERSZENARIO 1 UND GEWITTERSZENARIO 2.....	67
<b>10.</b>	<b>FLUGHAFENWEITE STAKEHOLDER ENTSCHEIDUNGEN – ENTWICKLUNG EINES SIMULATIONSFÄHIGEN MODELLS (ARIS).....</b>	<b>69</b>
10.1.	MOTIVATION.....	69
10.2.	MODELLIERUNG.....	69
10.2.1.	<i>Nutzung von Visio</i> .....	69
10.2.2.	<i>Nutzung der Simulationssoftware ARIS</i> .....	70
10.2.3.	<i>Organisation</i> .....	72
10.2.4.	<i>Ressourcen</i> .....	73
10.2.5.	<i>Prozesse</i> .....	73
10.3.	FAZIT DER MODELLIERUNG.....	78
<b>11.</b>	<b>AUSBLICK.....</b>	<b>79</b>
<b>12.</b>	<b>WESENTLICHE IM PROJEKT ERARBEITETE DOKUMENTE.....</b>	<b>80</b>
<b>13.</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNGEN UND ABSCHLUSSARBEITEN.....</b>	<b>81</b>
<b>14.</b>	<b>LITERATURQUELLEN.....</b>	<b>83</b>
<b>15.</b>	<b>KONTAKT.....</b>	<b>85</b>

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: VERGLEICH A-CDM GEGENÜBER TAM .....	9
TABELLE 2: HOSPITIERTER FLUGHÄFEN .....	15
TABELLE 3: ZIELE DER STAKEHOLDER .....	18
TABELLE 4: EINFLUSSMÖGLICHKEITEN DER STAKEHOLDER AUF DEN BETRIEBLICHEN ABLAUF UND DIE PÜNKTLICHKEIT .....	35
TABELLE 5: VIER IM CB-LIKE-ALGORITHMUS VERWENDETE METEOROLOGISCHE PARAMETER, MIT DENEN GEWITTER INDIZIERT WERDEN .....	44
TABELLE 6: ÜBERSETZUNG DES GEWITTERINDIKATORS IN EINE GEWITTEREINTRITTSWAHRSCHEINLICHKEIT MIT HILFE DES GÜTEMAßES FALSE-ALARM-RATIO (FAR) .....	44
TABELLE 7: KRITISCHE RÜCKENWINDKOMPONENTEN AM FLUGHAFEN FRANKFURT ([DOK_WETTER]) .....	48
TABELLE 8: WETTERKLASSEN DER PRU/ATMAP-GRUPPE MIT HOHEN KOEFFIZIENTEN [PRU_2011] .....	51
TABELLE 9: ABSTANDS- UND ZEITKRITERIEN IN DER BLITZDETEKTION [DGUV_2011] .....	55
TABELLE 10: SIMULATIONSSZENARIOEN .....	63

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ÜBLICHE ANZAHL DER ANBIETER BEI AM FLUGHAFEN ABLAUFENDEN (HAUPT-) PROZESSE .....	7
ABBILDUNG 2: KONZEPTEVOLUTION IM FLUGHAFENMANAGEMENT .....	8
ABBILDUNG 3: GEMEINSAME AUSRICHTUNG DER BETRIEBSZIELE DER PROZESSBETEILIGTEN AN KPIS .....	9
ABBILDUNG 4: VERGLEICH ZWISCHEN PBAM UND A-CDM PROZESSEN, [GUE_2013] .....	10
ABBILDUNG 5: VORGEHEN IM PROJEKT P-AIR-FORM .....	11
ABBILDUNG 6: SCHEMA ZUR VERALLGEMEINERUNG VON ARBEITSBEREICHEN DER FLUGHAFENSTAKEHOLDER ..	16
ABBILDUNG 7: ENTSCHEIDUNGSRELEVANTE AUFGABEN .....	17
ABBILDUNG 8: AUSZUG AUS DER ERSTELLTEN KPI LISTE ([TABELLE_KPI]) .....	20
ABBILDUNG 9: GENERISCHE SCHRITTE DES KOOPERATIONSKONZEPTES .....	23
ABBILDUNG 10: ENTWICKLUNG VON DEMAND UND DELAY IM ANWENDUNGSBEISPIEL .....	24
ABBILDUNG 11: ABLAUF DER PLANUNG DER ABFLUG-REIHENFOLGE .....	25
ABBILDUNG 12: PBAM-PROZESSZYKLEN (LANGFRISTIG UND TAKTISCH) [VERÖFFENTLICHUNG_PUNCTUALITY]	28
ABBILDUNG 13: PBAM-PROZESSZYKLUS FÜR DEN TAKTISCHEN BETRIEB .....	29
ABBILDUNG 14: NENNUNG UND GEWICHTUNG RELEVANTER INDIKATOREN DURCH STAKEHOLDER (HOSPITATIONEN) .....	30
ABBILDUNG 15: MÖGLICHE GRAFISCHE ANZEIGE DER TARGETFESTLEGUNG .....	31
ABBILDUNG 16: PROZESSBEREICHE UND MEILENSTEINANSATZ ZUR ÜBERWACHUNG DES KPI PÜNKTLICHKEIT [VERÖFFENTLICHUNG_PUNCTUALITY] .....	32
ABBILDUNG 17: VERGLEICH TARGETWERTE MIT AKTUELLEN BZW. PROGNOSEWERTEN .....	33
ABBILDUNG 18: MÖGLICHE GRAFISCHE ANZEIGE ZUR ÜBERWACHUNG DES KPI PÜNKTLICHKEIT .....	34
ABBILDUNG 19: DARSTELLUNG VON MIT WHITE BERECHNETEN WINTERWETTEROBJEKTEN .....	41
ABBILDUNG 20: PROFILE VON TEMPERATUR UND FEUCHTE AM 20. JANUAR 2013 UM 16:30 UTC AM FLUGHAFEN MÜNCHEN IM VEREINFACHTEN SKEW-T-DIAGRAMM .....	42
ABBILDUNG 21: REFLEKTIVITÄTSDATEN (IN dBZ) DES DEUTSCHEN WETTERRADARNETZWERKS (FARBKODIERT) UND KONTUREN DER VON RAD-TRAM ERKANNTEN ZELLEN MIT STARKNIEDERSCHLAG ODER HAGEL IN DER UMGEBUNG DES MÜNCHNER FLUGHAFENS. ....	43
ABBILDUNG 22: BEISPIEL EINER CB-LIKE VORHERSAGE .....	45
ABBILDUNG 23: VERKEHRSELASTUNG UND WETTEREINFLUSS [SCH_2013] .....	49
ABBILDUNG 24: BEGRIFFE „WETTERPHÄNOMEN“ BZW. „WETTERKLASSE“ NACH [PRU_2011] .....	50
ABBILDUNG 25: BEISPIEL EINER GEWITTERZELLE AUF ANFLUGROUTE ([DOK_WETTER]) .....	52
ABBILDUNG 26: LANDESTRECKENFAKTOREN FÜR FÜNF VERSCHIEDENEN RWY-BEDINGUNGEN [AIRB_2005] ...	54
ABBILDUNG 27: ALTERNATIVE SYSTEMARCHITEKTUR .....	56
ABBILDUNG 28: SYNCHRONITÄT DER TOP-PLANUNG UND DER AIRTOP-SIMULATION .....	57
ABBILDUNG 29: ÄNDERUNGEN IN DER PLANUNGSGRUNDLAGE .....	58
ABBILDUNG 30: DURCHSCHNITTLICHES DEPARTURE DELAY PRO STUNDE .....	60
ABBILDUNG 31: DURCHSCHNITTLICHES BISHERIGES ARRIVAL DELAY .....	61
ABBILDUNG 32: FLUGHAFENNAHBEREICH .....	64



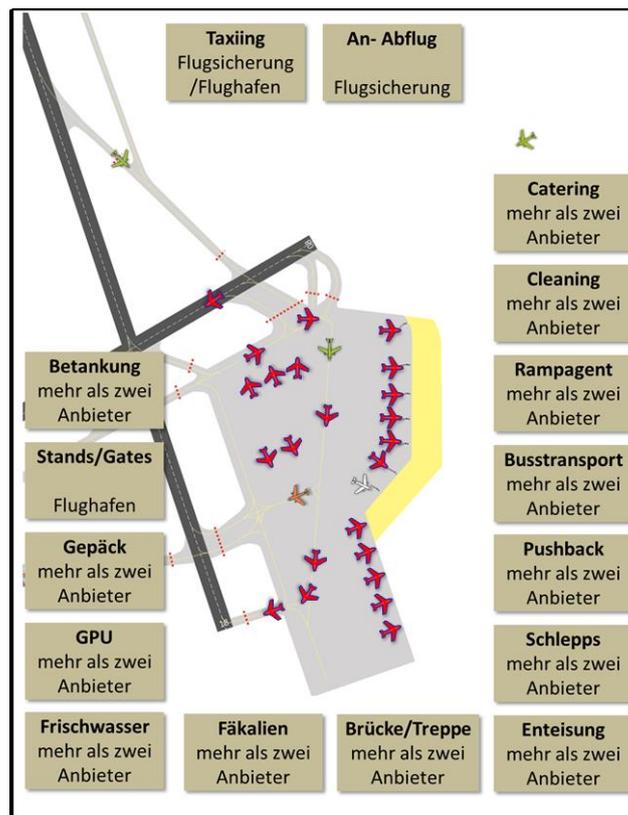
---

ABBILDUNG 33: HOLDINGS BEI HAM IM GEWITTERFALL (DATEN: FLIGHTRADAR24, 15.05.13).....	64
ABBILDUNG 34: FLUGROUTEN VON UND NACH HAMBURG .....	65
ABBILDUNG 35: GEWITTERZELLE ÜBER DEM PLATZ (MUC AUF HAM PROJIZIERT).....	66
ABBILDUNG 36: GEWITTERSZENARIO 1, MOMENTAUFNAHME SIMULATION UM 17:55 UHR.....	67
ABBILDUNG 37: GEWITTERSZENARIO 2, MOMENTAUFNAHME SIMULATION UM 17:55 UHR.....	68
ABBILDUNG 38: MODELL DER CANCELLATION EINES FLUGES IN VISIO.....	70
ABBILDUNG 39: ARIS-HAUS .....	71
ABBILDUNG 40: ORGANIGRAMM EINER BEISPIELHAFTEN AIRLINE .....	72
ABBILDUNG 41: ORGANIGRAMM DER PASSAGE EINER AIRLINE .....	72
ABBILDUNG 42: ANWENDUNGSSYSTEMDIAGRAMM IT-SYSTEME AIRLINE.....	73
ABBILDUNG 43: ÜBERGEORDNETE WERTSCHÖPFUNGSKETTE EINER FLUGGESELLSCHAFT .....	74
ABBILDUNG 44: WERTSCHÖPFUNGSKETTE DES FLUGBETRIEBES (2. EBENE).....	75
ABBILDUNG 45: WERTSCHÖPFUNGSKETTE DER RECOVERY OPERATIONS (3. EBENE) .....	75
ABBILDUNG 46: EPK FLIGHT CREW RECOVERY BEI VERSPÄTETEM FLUG.....	77
ABBILDUNG 47: VERKNÜPFUNG DER VERSCHIEDENEN ANSICHTEN DES ARIS-HAUSES IN EINER EPK .....	78

# 1. Überblick und Ziele in P-AIR-FORM

## 1.1. Überblick

Der Betrieb eines Flughafens ist hoch komplex. Viele Unternehmen, wie Flugsicherung, Flughafenbetreiber, Ground Handler oder Fluglinien mit unterschiedlichsten Zielstellungen (fortan Stakeholder genannt) wirken bei der Abfertigung der Luftfahrzeuge und der Passagiere mit (siehe Abbildung 1).



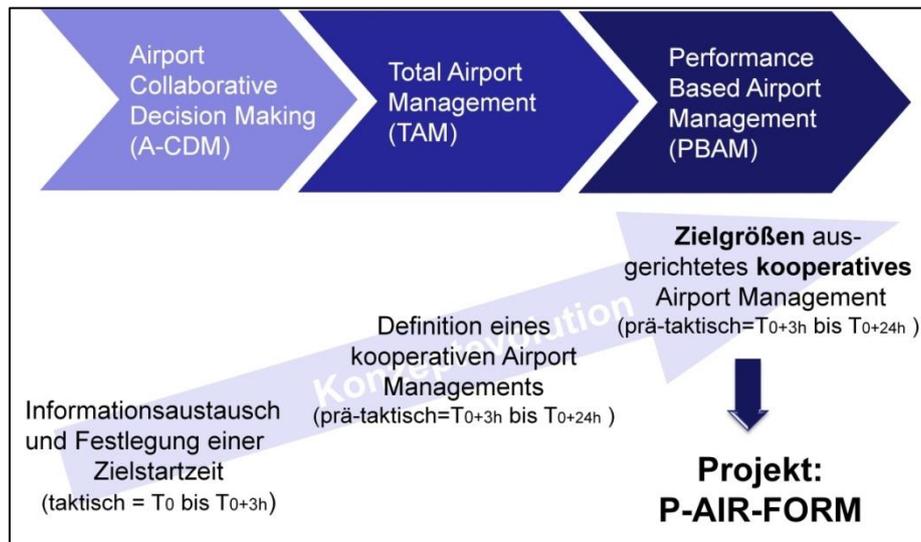
**Abbildung 1: übliche Anzahl der Anbieter bei am Flughafen ablaufenden (Haupt-) Prozesse**

Diese Stakeholder sind heutzutage oftmals nur für ihre eigenen Prozesse am Flughafen verantwortlich. Sie planen und organisieren diese in eigenen operationellen Zentren (z.B. Airline Operations Center, Betriebsleitzentrale Ground-Handler, Flugbetriebszentrale der Flughafenbetriebsgesellschaft). Aufgrund dieser meist räumlichen Trennung erfolgen Informationsaustausch, Kommunikation und gegenseitige Absprachen nur rudimentär. Beispielsweise werden Verspätungen oder Verfrühungen von Flugzeugen (z. B. der sog. Nordatlantikwelle) zwischen den Stakeholdern zu spät ausgetauscht. Dies resultiert in einer suboptimalen Prozesskoordination. Die Prozesse sind nicht optimal aufeinander abgestimmt. Gründe für Handlungen werden nicht kommuniziert, was zudem zu Konflikten und Missverständnissen führen kann. Beides resultiert letztendlich darin, dass die Steuerung und Regelung von Flughafenprozessen ein hohes Verbesserungspotential aufweist.

Einen ersten Schritt zur Optimierung der Flughafenprozesse wurde mit dem Airport-Collaborative Decision Making (A-CDM) gegangen. Hier werden im Wesentlichen Zeiten verschiedener Meilensteine (Milestones) einer Flugtrajektorie (örtlich/zeitlich) registriert und Verbindlichkeiten für die Offblock-Zeiten der einzelnen Luftfahrzeuge festgelegt. Die so

gewonnene verbesserte Informationslage zu den Flügen und die Vorhersagbarkeit von Abflügen dienen stabileren Betriebsabläufen aller ATM-Beteiligten, insbesondere im Luftraum über Europa [MUC\_2007].

A-CDM ist in der Planung allerdings beschränkt auf die Offblock-Zeiten und es gibt kaum einen kooperativen Entscheidungsprozess zwischen den einzelnen Stakeholdern, um betriebliche Strategien, die den Ablauf der Operations aller Stakeholder am jeweiligen Flughafen beeinflussen, zu entwickeln und festzulegen. Diese gemeinsam entwickelten Betriebsstrategien sind die Voraussetzung für ein stakeholderübergreifendes PBAM (vgl. Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4).



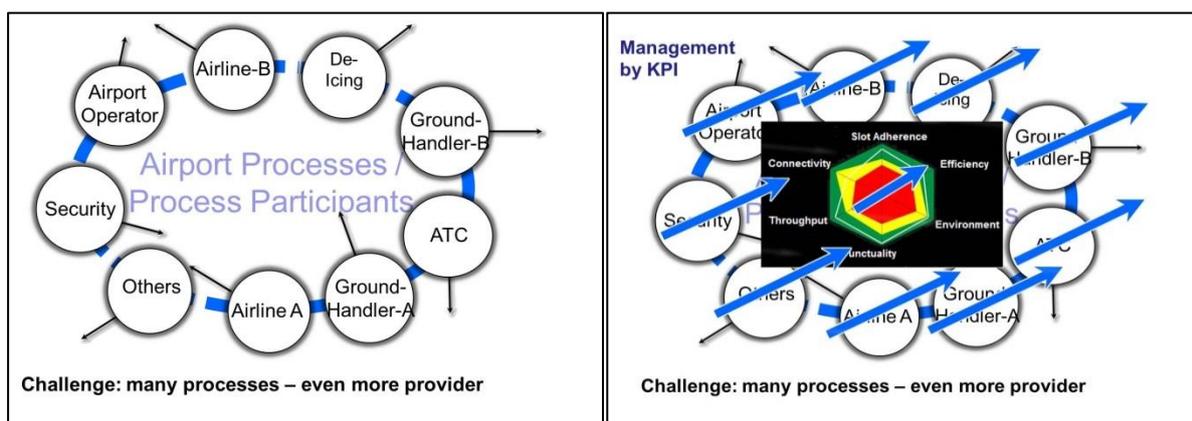
**Abbildung 2: Konzeptrevolution im Flughafenmanagement**

Aufbauend auf A-CDM wurde vom DLR bereits in 2006 in Zusammenarbeit mit dem EUROCONTROL Experimental Center (EEC) ein Konzept zum Total Airport Management (TAM) entwickelt [GUE\_2006]. Dieses beschreibt grundlegende mögliche Änderungen der Airport Operations für die Zeit nach 2020, mit Blick auf den prä-taktischen Planungshorizont (weg von der heute üblichen ad-hoc bzw. taktischen Sichtweise) ohne jedoch den Fokus auf bestimmte Merkmale im Detail zu legen. Es ist in diesem Konzept vorgesehen, dass die Stakeholder zusammen Strategien für den jeweiligen Betriebstag oder auch einzelne Betriebsstunden bereits mit einem Horizont von mehreren Stunden im Voraus entwickeln und festlegen. Die hierfür vorgesehene Managementebene existiert heute nicht. Wesentliche Unterschiede zwischen A-CDM und TAM sind in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt.

	A-CDM	TAM
<b>Planungshorizont</b>	Bis ca. 3h vor Flugereignis	Bis zu 24h vor Flugereignis
<b>Plangenerierung der Stakeholder</b>	Kein gemeinsamer Plan (AOP <sup>1</sup> ) sondern Einzelpläne	- Optimierter AOP als verbindlicher Plan - Integration Land/Luftseite
<b>Situational Awareness (SA) der Stakeholder</b>	Meilensteine des jeweiligen Fluges werden registriert und zur Verfügung gestellt	- Überwachung und Vorhersage von Leistungsindikatoren (KPIs) - Alarmierungsfunktionen
<b>Optimierung</b>	Pre-departure Sequenzen (inkl. variabler Taxi-Zeit)	Werkzeugunterstützte Gesamtbetriebsoptimierung
<b>Collaborative Decision Making</b>	Keine gemeinsame Entscheidungsfindung	Entscheidungsunterstützung und gemeinsame Entscheidung

**Tabelle 1: Vergleich A-CDM gegenüber TAM**

In dem Konzept wurden auch bereits mögliche KPIs (Leistungsindikatoren wie bspw. Pünktlichkeit, Durchsatz) benannt, ohne diese jedoch konkreter zu bestimmen oder deren Wirkung auf den Flughafenbetrieb der Zukunft zu untersuchen. Auf europäischer Ebene zeichnet sich ab, dass gerade die KPIs zukünftig eine entscheidende Rolle bei den zu treffenden operativen Entscheidungen am Flughafen spielen werden. Es gibt im Institut für Flugführung aus diesem Grund eine Ausrichtung hin zum Performance Based Airport Management (PBAM). Dazu wird sich im Detail mit den KPIs als zentrale Treiber bei den operativen Entscheidungen am Flughafen der Zukunft beschäftigt. Ziel ist es, dass alle Stakeholder gemeinsame Ziele identifizieren und ihre eigenen Prozesse danach ausrichten, wie exemplarisch in Abbildung 3 dargestellt. PBAM kann somit als Evolution von TAM mit Spezialisierung auf Teilaspekte aus TAM verstanden werden.



**Abbildung 3: gemeinsame Ausrichtung der Betriebsziele der Prozessbeteiligten an KPIs**

Zu der Thematik TAM gab es in der Vergangenheit bereits zwei Projekte mit unterschiedlichen Zielen. Im DLR internen Projekt FAMOUS (Future Airport Management

<sup>1</sup> AOP= Airport Operations Plan

Operation Utility System) wurde der Fokus hauptsächlich auf die Machbarkeit einer prä-taktischen Planung mittels des entwickelten Systems TOP (Total Operations Planner) gelegt. Der TOP war, neben Konzepten zur TOP Nutzung in einem Flughafenleitstand, das Ergebnis von FAMOUS. Im vom BMWi geförderten Projekt TAMS (Total Airport Management Suite) wurde sich dagegen auf die Verbindung verschiedener taktischer Tools konzentriert. Diese Verbindung bereits vorhandener taktischer Tools stellt die Weiterentwicklung des A-CDM Konzeptes dar, welches in TAMS erstmalig auf Toolebene innerhalb einer DLR-Simulationsumgebung implementiert und validiert wurde. TAMS hat nachgewiesen, dass bereits die Kopplung der taktischen Tools den Flughafenbetrieb effizienter machen kann. So wurden z.B. die Abflugverspätung um 26% und eine Wartezeit am Startbahnhkopf um 21% gegenüber einem Vergleichsszenario reduziert. Die Überführung einer prä-taktischen Planung in den (simulierten) Flughafenbetrieb wurde in beiden Projekten nicht vorgenommen. Dies stand nun im Fokus des Projektes P-AIR-FORM.

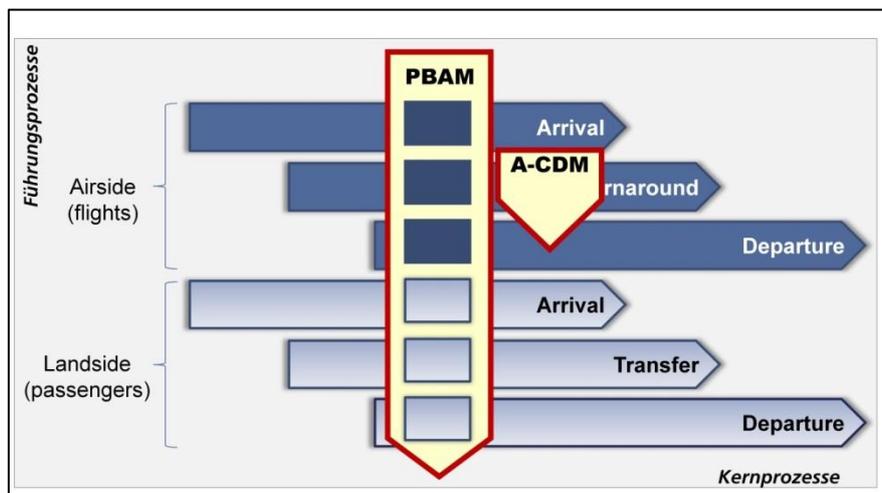


Abbildung 4: Vergleich zwischen PBAM und A-CDM Prozessen, [GUE\_2013]

## 1.2. Ziele

Im Projekt P-AIR-FORM gab es drei wesentliche Ziele, die erreicht werden sollten:

- A. Es soll der Nachweis geführt werden, dass Effizienzsteigerungen im operativen Betrieb eines Flughafens auf Basis einer prä-taktischen Planung realisierbar sind;
- B. Es sollte beispielhaft aufgezeigt werden, wie sich in einem PBAM-Umfeld die Arbeitsweisen und Kooperationen der Flughafen-Stakeholder verändern werden, um die prä-taktische Planung durchführen zu können;
- C. Die positiven Wirkungen verbesserter Wettervorhersagen bei Gewitterwetter in der prä-taktischen Planung des Flughafenbetriebs sollten nachgewiesen werden.

### 1.3. Umsetzung

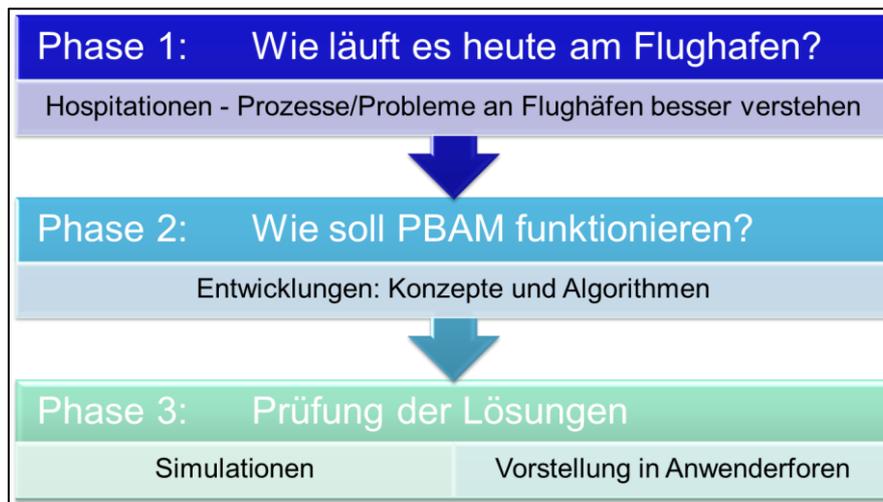


Abbildung 5: Vorgehen im Projekt P-AIR-FORM

Im Projekt P-AIR-FORM ist nach einer festgelegten Reihenfolge vorgegangen worden (siehe Abbildung 5). Zunächst wurde in Phase 1 der Stand von Prozessabläufen und den Herausforderungen an verschiedenen Flughäfen aufgenommen. Ein dafür entwickelter umfangreicher Fragebogen wurde bei den Hospitationen mit den Stakeholdern vor Ort durchgesprochen und anschließend ausgewertet. Der Fragebogen umfasste u.a. Fragen zu möglichen Zielen und Treibern, nach welchen heute bereits gearbeitet wird, als auch Fragen zu Prozessabläufen.

Auf den Ergebnissen aufbauend fand in der zweiten Phase die Entwicklung des Operationellen Konzeptes und des Kooperationskonzeptes statt. Auch wurden hier die Tools für die prä-taktische Planung und die Simulation für die späteren Versuche vorbereitet.

In der Phase 3 fanden Simulationen statt, um insbesondere bei vorhergesagtem Gewitter die prä-taktische Planung von Flugereignissen an einem Flughafen, durch die Simulationssoftware AirTOP zu prüfen und zu bewerten.

AirTOP ist ein Echtzeitsimulationstool, welches den fliegenden Verkehr abbildet und im Rahmen des Projektes versucht den durch die prä-taktische Planung vorgegebenen Zielzeiten nachzukommen und den Luftverkehr entsprechend durchzuführen.

Das Projekt P-AIR-FORM hatte einen repräsentativen Verkehrsflughafen mit entsprechender Verkehrsnachfrage im Jahr 2020 zum Untersuchungsgegenstand. Die Auswirkungen des Gewitters am und um den Flughafen auf den Luftverkehr wurden hierbei untersucht und entsprechend in der Planung berücksichtigt. Der Mehrwert einer prä-taktischen Planung konnte unter Berücksichtigung verbesserter Wettervorhersagen mit Hilfe von AirTOP bewertet werden.

Ebenfalls in dieser Phase wurden die Ergebnisse des Projektes während eines Anwenderforums mit Stakeholdern verschiedener Flughäfen besprochen, diskutiert und wichtige Anreize für die weitere Forschung wurden gegeben. Der vom DLR gewählte PBAM Ansatz wurde als innovativ und vielversprechend aufgenommen und die weitere Forschung in diesem Themengebiet begrüßt.

Das Projekt P-AIR-FORM ist von der Programmatik Luftverkehr des DLR finanziert worden und es wirkten die folgenden Institute bzw. OEs mit:

- Flugführung (FL)
- Physik der Atmosphäre (PA)
- Lufttransportsysteme (LY).

## **1.4. Zusammenfassung der Arbeiten und wesentliche Ergebnisse**

Im Rahmen des Projektes wurden Hospitationen durchgeführt, verschiedene Dokumente erarbeitet, Software für den Einsatz in einer Simulation vorbereitet und Simulationen durchgeführt. Im Einzelnen wurde folgendes erarbeitet:

- Auswertung des Hospitationsfragebogens mit 60 Fragen (siehe Kap. 2)
- Zusammenstellung möglicher relevanter KPIs im PBAM Kontext (siehe Kap. 3)
- Kooperationskonzept (Zusammenarbeit der Stakeholder an einem PBAM-Flughafen, siehe Kap. 4)
- Erste Ansätze, wie ein PBAM Flughafen nach KPIs gesteuert werden kann (Operationelles Konzept, siehe Kap. 5)
- Verknüpfung von Nowcast- und Forecastverfahren für eine bessere Wetterprognose (siehe Kap. 6)
- Wetter-ATM Regelwerk, welches die Wirkungen von Wettererscheinungen auf den Luftverkehr beschreibt (siehe Kap. 7)
- Kopplung prä-taktisches Planungssystem TOP mit der Schnellzeitsimulationssoftware AirTOP (siehe Kap. 8)
- Durchführung von 4 Simulationsläufen bei ungestörtem Flughafenbetrieb, bei wetterbedingtem gestörtem Flughafenbetrieb jeweils mit und ohne Vorplanung des TOP (siehe Kap. 9)
- Exemplarische Modellierung von Prozessabläufen bei entscheidungsrelevanten Aufgaben (siehe Kap. 10)

Als Ergebnis aus den einzelnen Arbeiten zeigte sich, dass die Gewitterprognose ggü. heutigen Systemen in einem Zeitraum von 1-3h deutlich verbessern lässt und damit auch die Eintrittswahrscheinlichkeit steigt (Details siehe Kap. 6).

Es hat sich gezeigt, dass das prognostizierte Delay über den Tag durch die prä-taktische Vorplanung dem tatsächlich aufgebauten Delay ohne eine Vorplanung (nur Simulation ohne Kopplung) im Gewitterfall sehr ähnelt, bei gleichem Szenario und damit gleichen Randbedingungen (siehe Kap. 8).

Die Auswertung der Simulationen hat gezeigt, dass vorgegebene Zielzeiten der einzelnen Flüge in der Simulation zum großen Teil eingehalten werden können und beispielsweise durch operative Verfahren an Vorflughäfen Flüge gezielt festgehalten werden oder im Flug verlangsamt werden können. Das hat als Ergebnis dazu geführt, dass bei einer verbesserten Wettervorhersage und damit früherer verlässlicher (Um-) Planungen das Holding delay am vom Gewitter betroffenen Flughafen abnahm, als auch die Zahl der notwendigen Ausweichlandungen reduziert wurde (siehe Kap. 9).

Die Konzeptarbeiten (Kap. 4 und 5) wurden mit den Vertretern verschiedener Stakeholder bei einem Workshop besprochen. Es wurde konstatiert, dass

- Die Ansätze des DLR vielversprechend seien, dann aber
- Ein rechtlicher Rahmen für eine KPI basierte Steuerung eines Flughafens geschaffen werden muss
- Beschlüsse zur Art der Durchführung des Flughafenbetriebes verbindlich sein müssen
- Es eines neutralen und akzeptierten Entscheiders bedarf
- Auswirkungen von Störungen vorhergesagt und visualisiert werden müssen
- Die Vorhersagen verlässlich sein müssen
- Alle Beteiligten die Situation richtig einschätzen können müssen
- Eine auf KPIs basierende Steuerung des Flughafenbetriebs derzeit schwer vorstellbar ist
- Prototypen zur Präsentation der Inhalte essentiell sind.

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Arbeiten näher erläutert.

## **1.5. Fortführende Arbeiten nach P-AIR-FORM**

Das Projekt P-AIR-FORM hat wichtige Meilensteine in der Entwicklung eines Performance Based Airport Management erreicht. Sowohl die Konzeptideen, als auch die Ergebnisse aus den Simulationen wurden von Flughafen-Stakeholdern als sehr nützlich und als einen notwendigen ersten Schritt angesehen.

Das DLR wird sich mit der PBAM-Thematik weiter auseinandersetzen, um präsentable Prototypen zu erstellen. Im Bereich der Simulationen und des Nachweises des Nutzens eines PBAM werden weitere offene und grundlegende Fragen erörtert. Hierbei werden auch Anforderungen, Bestrebungen und Entwicklungen auf internationaler Ebene mit berücksichtigt (z.B. SESAR) bzw. eigene Entwicklungen gezielt mit eingebracht. Weitere Prototyp-Entwicklungen werden auch zukünftig sowohl in Entwicklungsumgebungen beim DLR, als auch im operationellen Umfeld, wie der ARIF (Airport Research and Innovation Facility) am Hamburger Flughafen, demonstriert werden.

## 2. Situationsbild - Hospitationen an verschiedenen Flughäfen

Die Mitarbeiter des DLR haben in der Vergangenheit bereits vielfach einzelne Arbeitsstationen verschiedener Flughafen-Stakeholder kennengelernt, die Mitarbeiter an den Arbeitsstationen interviewt und Arbeitsweisen analysiert. Hier wurde sich allerdings hauptsächlich auf operative Prozesse konzentriert.

Der Fokus eines PBAM liegt jedoch auf den Entscheidungsspielräumen, Entscheidungsvorgaben und Verhandlungsmöglichkeiten, über welche die Mitarbeiter der Stakeholder im täglichen Betrieb verfügen. Diese Fokussierung unter Berücksichtigung der operativen Prozesse war nun Bestandteil eines zu entwickelnden Fragebogens im Rahmen des Projektes P-AIR-FORM. Es sollte herausgearbeitet werden:

- ob bereits nach Zielvorgaben gehandelt wird und wenn ja, nach welchen?
- welche Tools/Unterstützungssysteme für die eigenen Entscheidungen genutzt werden?
- mit wem sich auf welchem Wege bei welchen Entscheidungen ausgetauscht wird?
- wie die Abstimmung und Koordinierung bei gemeinsam zu treffenden Entscheidungen gestaltet ist und welche Defizite ggf. existieren?
- auf welcher Basis Situationen wie bewertet werden und wie dann die Entscheidungsfindung abläuft?
- wie Abläufe insbesondere im Gewitterfall gestaltet sind.

Die Auswertung des Fragebogens war die Grundlage für Überlegungen, wie ein PBAM zukünftig operativ funktionieren könnte und wie die Stakeholder untereinander agieren sollten (verglichen mit heute).

In diesem Kontext sollte ebenfalls erörtert werden, welchen Einfluss ggf. die Flüge der Allgemeinen Luftfahrt auf den kommerziellen Verkehr an Flughäfen ausüben und ob diese Flüge in ein PBAM mit einzubinden sind. Hierfür wurde eine studentische Arbeit vergeben, die sich mit dem Einfluss von Flügen der Allgemeinen Luftfahrt auf den kommerziellen Verkehr auseinandersetzt (Abschlussarbeit in Anfertigung, Stand 28.04.15).

### 2.1. Hospitationsflughäfen

In den vorhergehenden Ausführungen wurde bereits angedeutet, dass mehr die Entscheidungen und Vorgaben für einzelne Arbeitsstationen im Vordergrund standen. Aus diesem Grunde stellte sich die Frage, wer am Flughafen entscheidungsrelevante Aufgaben bearbeitete. Hierbei zeigte sich, dass die „ausführende“ Ebene im ad-hoc Bereich eher nicht diesen Kriterien entsprach. Die Planungs- und Dispositionsebene jedoch ist mit solchen Aufgaben/Entscheidungen betraut.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die hospitierten Flughäfen. Die einzelnen Ziffern stellen die Zahl der hospitierten Stationen des jeweiligen Stakeholders dar. Hierbei sei angemerkt, dass es nicht möglich war, an jedem Flughafen immer dieselben Arbeitsstationen anzulaufen.

Flughäfen	Berlin SXF; TXL	Frankfurt FRA	Düsseldorf DUS	Wien VIE	Köln CGN	Hamburg HAM
Stakeholder	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Airport	4	2	4	2	2	1
Airline	1	3	2	2	2	-
Flugsicherung	1	-	-	1	1	-
Groundhandling	1	-	2	1	-	-

Tabelle 2: hospitierte Flughäfen

## 2.2. Hospitationsergebnisse

Eine Aufgabe innerhalb des Projektes P-AIR-FORM war, Verallgemeinerungen für Arbeitsbereiche verschiedener Stakeholder zu definieren, um Aufgaben losgelöst von regionalen Bezeichnungen/Verantwortungsbereichen zuordnen zu können (siehe Abbildung 6). Deshalb wurden im Projekt Aussagen gleicher Stakeholder, soweit möglich, verglichen und verallgemeinert zugeordnet. Eine Auflistung der im Projekt P-AIR-FORM eruierten entscheidungsrelevanten Aufgaben ist der Abbildung 7 zu entnehmen.

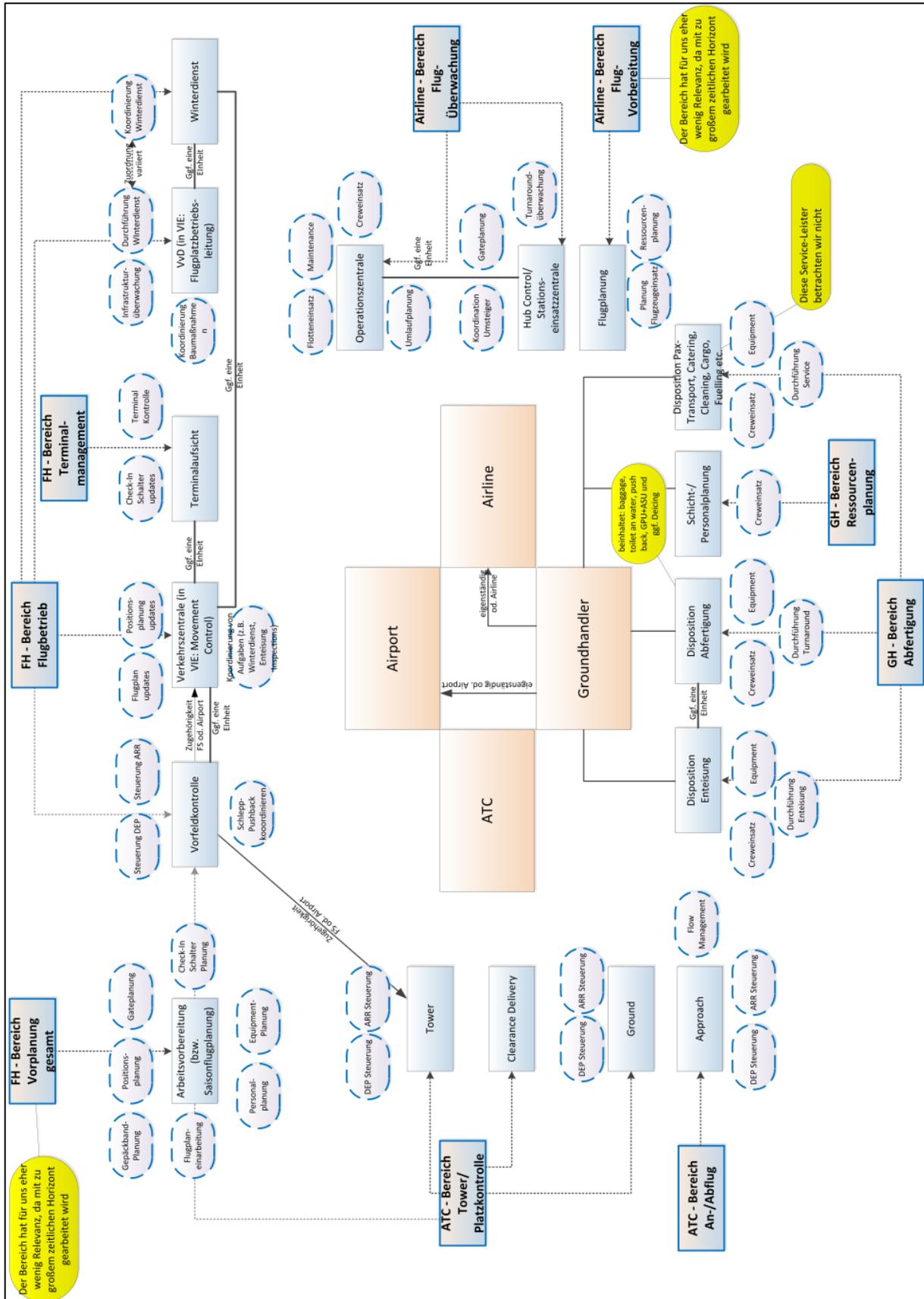


Abbildung 6: Schema zur Verallgemeinerung von Arbeitsbereichen der Flughafenstakeholder

Stakeholder	Einheit	Entscheidungsrelevante Aufgaben	
Airport	FH - Bereich Flugbetrieb	Infrastruktur	Sperrung von Teilen der Infrastruktur: - Wartungsarbeiten - Schneeräumung - Inspections - Nutzung als Abstellflächen (z.B. der RWY) - Unfall
		Operativer Bereich	Festlegung Enteiserreihenfolge Einstellung von Vorfeldaktivitäten (z.B. Blitzeinschlagsgefahr) Festlegung der Push-Back Reihenfolge Umplanung von Standplätzen Hold on position XY? (wenn der DEP einen Slot hat) Überwachung von pol., gesellschaftl. Regeln (z.B. Nachtflugverbot, Lärm etc.) und Reaktion bei Nicht-Einhaltung
	FH - Bereich Terminalmanagement	Infrastruktur	Terminalsperre (oder Teile davon) - Wartungsarbeiten - verdächtiges Gepäck - technische Gründe (z.B. Systemausfall zur Steuerung von Türen) - sicherheitsrelevante Gründe (z.B. Brandschutz)
		Operativer Bereich	Umplanung der Gatebelegung Umplanung der Check-In Schalter Belegung
Airline	Airline - Bereich Flug-Überwachung	Flottenbezogener Bereich	Delay von Flügen (DEP, aus technischen Gründen, wegen auß. Umstände) Cancellations Flugplanupdates (z.B. Ausweichen auf Alternate, anderes Fluggerät) 
		Pax-bezogener Bereich	Anordnung Quick Turnaround Delay von Flügen (Paxe als Grund) Standplatzumplanung (Vorschlagsgenerierung) Priorisierungen von Flügen 
ATC	ATC - Bereich Tower/Platzkontrolle	An- und Abflug	Festlegung Abflugreihenfolge  Festlegung An- Abflugkapazitäten  Festlegung Bahnenbetriebswechsel 
		Ground	Festlegung der Clearance Reihenfolge 
	ATC - Bereich An-/Abflug (Approach)	An- und Abflug	Festlegung der ARR-Reihenfolge  Festlegung der TMA Kapazität 
Groundhandler	GH - Bereich Abfertigung	Turnaround	Festlegung der Abfertigungs-Reihenfolge (Prioritätenliste)  Festlegung der Nutzung von Fahrzeugen (z.B. Pushback)
		Enteisung	Festlegung der zur Verfügung stehenden Ressourcen
	GH - Bereich Ressourcenplanung	Personal	Planung des Stamm- und „Reserve“-personals
		Equipment	Planung des einsetzbaren Equipments

Winterwetter  
 Gewitter

Abbildung 7: entscheidungsrelevante Aufgaben

Bei der Auswertung der Fragebögen zeigte sich, dass nicht alle Fragen immer beantwortet wurden bzw. so beantwortet wurden, dass die Antworten nicht den Erwartungen entsprachen, was einerseits der zeitlichen Verfügbarkeit der Hospitierten geschuldet war und

andererseits die Hospitierenden keine Antwort geben konnten. In Summe waren die Ergebnisse jedoch trotzdem verwertbar.

**Arbeiten nach Zielvorgaben**

In Tabelle 3 ist dargestellt, welche relevanten (Unternehmens-) Ziele von welchen Stakeholdern an den verschiedenen Flughäfen genannt wurden. Die jeweilige vertikale Einsortierung der genannten Ziele beruht hauptsächlich auf qualitativen Aussagen. An jeweils oberster Stelle wurden die wichtigsten Ziele genannt. Es wurde deutlich, dass ein heterogenes Bild in den Stakeholdergruppen (Airline, Airport, Groundhandler, Flugsicherung) über die Ziele und deren Relevanz für das jeweilige Unternehmen existiert. Lediglich die Pünktlichkeit ist bei den Airlines grundsätzlich an erster Stelle genannt worden. Bei den Groundhandlern beispielsweise spielte sie eher eine untergeordnete Rolle.

In der Auswertung zeigte sich hierbei jedoch, dass die genannten Ziele kaum oder überhaupt nicht als Grundlage für planerische und operative Entscheidungen genutzt werden, wie in einem PBAM vorgesehen.

	Berlin	Frankfurt	Düsseldorf	Köln	Wien	Hamburg
<b>Airline</b>	Pünktlichkeit	Pünktlichkeit	Pünktlichkeit	Pünktlichkeit	Pünktlichkeit	
		Wirtschaftlichkeit	Wirtschaftlichkeit, Effizienz, Kundenzufriedenheit	Wirtschaftlichkeit	Kosteneffizienz	
		Kundenzufriedenheit		Effizienz	Kundenzufriedenheit	
		Effizienz				
		Konnektivität				
<b>Flughafen</b>	Pünktlichkeit	Stabilität der Operations	Kundenzufriedenheit	Pünktlichkeit, Kundenzufriedenheit	Pünktlichkeit, Kosten, Effizienz	Effizienz, flüssige Betriebsabläufe, Umweltverträglichkeit, Kundenzufriedenheit
	Wirtschaftlichkeit	Pünktlichkeit, Effizienz	Pünktlichkeit	Zufriedenheit der MA		
	Kundenzufriedenheit, Betrieb aufrecht erhalten	Kundenzufriedenheit	Effizienz			
	Effizienz		Wirtschaftlichkeit			
	Lärmschutz		Lärmschutz			
<b>Groundhandler</b>	Kundenzufriedenheit	Effizienz	Verpflichtungen ggü. der Airlines		Wirtschaftlichkeit	
		Wirtschaftlichkeit, Kundenzufriedenheit			Pünktlichkeit	
		Pünktlichkeit			Arbeitsplätze, Wirtschaftsfaktor	
<b>Flugsicherung</b>				Effizienz	Pünktlichkeit, Effizienz	
				Lärmschutz		

**Tabelle 3: Ziele der Stakeholder**

**Abstimmung, Koordinierung und Entscheidungsfindung**

Wie in Abbildung 7 ersichtlich wurde, hat jeder einzelne Stakeholder mit den entsprechenden Einheiten verschiedene entscheidungsrelevante Aufgaben zu bearbeiten. Dabei muss er wie

in Abbildung 38: Modell der Cancellation eines Fluges in Visio, Seite 70 dargestellt mit anderen Stakeholdereinheiten kommunizieren und Informationen austauschen.

Es hat sich herausgestellt, dass an den unterschiedlichen Flughäfen aufgrund von regionalen Unterschieden bei der Systemausstattung, der Verfahrensanweisungen und Informationslagen auch unterschiedlich mit verschiedenen Aufgaben umgegangen wurde. Dabei sind unterschiedlichste Gründe für das gute oder nicht so gute Funktionieren der Aufgabenerfüllung genannt worden. Einige der mehr als einmal genannten Defizite sollen an dieser Stelle genannt werden:

- Fehlende/ungenauere Zeitinformationen zu:
  - o Slot-Zeiten, relevant für die Disposition im Groundhandling
  - o ETAs (Estimated Time of Arrival), relevant für die Koordinierung der Standplatzbelegung und das Groundhandling
  - o Delays im Turnaround, wichtig für die Anfragen zu Slot-Extensions, Disposition von Schleppern etc.
  - o Cancellations, relevant für alle Stakeholder
  
- Wetterinformationen:
  - o Teilw. ungenaue Angaben zu erwartetem Wetter
  - o Keine einheitliche Interpretation der Auswirkungen des Wetters
  - o Reaktion auf Wetterereignisse oft im Vorfeld nicht klar
  - o Abstimmung zwischen Enteisung und der Einhaltung von Slots ist nicht gegeben
  - o Wegen kurzfristiger Prognose ist die Planung des Personal- und Arbeitsmittelbedarfes teilw. nicht rechtzeitig möglich
  
- Weitere Angaben:
  - o Es fehlt eine Planungssicherheit (und auch Planbarkeit) für die eigenen Prozesse
  - o Eine Übersicht darüber, was am Flughafen passiert und wie Kennwerte aussehen, fehlt (z.B. Pünktlichkeit, Demand, Kapazität)
  - o Der Austausch zu Handlungen anderer Stakeholder ist teilw. ungenügend
  - o Die Auswirkung der Handlungen anderer Stakeholder ist oft nicht sofort ersichtlich
  - o Die Standplatzbelegungszeiten sind wegen fehlender Informationen oft ungenau

### 3. Auswahl relevanter PBAM – KPIs

In PBAM soll der Flughafen mithilfe von KPIs gesteuert werden. Dafür wurde im Projekt P-AIR-FORM zunächst ermittelt, welche sich dazu eignen. Um einen Überblick über die existierenden Größen zu erhalten, mit denen ein Flughafen heutzutage gesteuert wird, wurde eine Literaturrecherche sowie Auswertung von Hospitationen an Flughäfen durchgeführt. Dabei fand sich eine Vielzahl von Kennwerten (360), die für eine Bewertung u.a. des Flughafenbetriebs herangezogen werden können (Auszug aus der erstellten Liste siehe Abbildung 8). Eine Auswahl daraus wird als relevant für eine Steuerung im Rahmen des PBAM erachtet.

1	KPI?	Name KPI (englisch)	Name KPI (deutsch)	Access & Efficiency	Capacity	Cost Efficiency	Efficiency	Sustainability	Flexibility	Interoperability	Participativity	Predictability	Safety	Security	Traffic Volume & Demand	Maßeinheit	Quelle
200		Passenger gate allocation freezing time					X						X				
201		Aircraft stand & passenger gate freezing time					X										
202		TOBT/TSAT accuracy					X					X	X			%	
203		Airport slot adherence			X											%	
204		Aircraft (fleet) utilisation					X					X					
205		Delays due to late personnel (flight crew, maintenance staff etc.)					X						X				
206		Delays due to late equipment					X						X				
207		Delay recovery time related to stand allocation					X										

Abbildung 8: Auszug aus der erstellten KPI Liste ([Tabelle\_KPI])

#### 3.1. Begriffsklärung

In der Literatur wird von Performance Indicators (PI) und Key Performance Indicators (KPI) unterschieden sowie eine Gruppierung in Key Performance Areas (KPA) vorgenommen.

Nach [EU 2010] dient ein PI zum „performance monitoring, benchmarking and reviewing“. Ein KPI dient der Festlegung und Überwachung eines Performanz-Zieles.

Thematisch ähnliche PI/KPI werden in KPA gruppiert. Beispiele für KPAs sind „Capacity“, „Efficiency“, „Predictability“ oder „Safety“ [Sesar-0607] oder [ATMAP 2009].

### 3.2. Auswahlkriterien PBAM relevanter KPIs

Die vorliegenden Beschreibungen von KPIs bezüglich ihrer Verwendbarkeit im Projekt P-AIR-FORM sollten untersucht und gefiltert werden. Kriterien zur Auswahl bestimmter KPIs sind die folgenden Kriterien gewesen:

- Festlegung verschiedener Steuerungsstrategien,
- gesetzliche Verpflichtung der Bestimmung einer Kenngröße,
- Wichtigkeit der Dokumente mit KPI Nennung,
- grundsätzliche Nutzbarkeit der KPI für eine gezielte Flughafen-Steuerung,
- innerhalb des Projektes zur Verfügung stehenden Daten zu ihrer Bestimmung,
- innerhalb des Projektes realisierbare Umsetzung der (automatischen) Bestimmung der KPI.

Weiterhin wurde darauf geachtet, dass durch die gewählten KPIs die gesamte Prozesskette eines Fluges von der Ankunft am Flughafen über die Abfertigung bis zum Verlassen des Flughafens abgedeckt wird. Dadurch sind dann ggf. Hinweise auf Performanzprobleme in Teilbereichen des Flughafens erkennbar, die dann durch weitere, geeignetere Kennwerte näher untersucht werden können und die über die folgenden KPIs gesteuert werden sollen.

Performanz bzw. performance bedeutet: "A measure of what is achieved or delivered by a System, person, team, Process, or IT Service." [ITIL\_2007]

### 3.3. Relevante KPIs für ein PBAM

Die zur Steuerung eines Flughafens im Sinne PBAM relevanter KPIs wurden mithilfe eines erarbeiteten Templates genau beschrieben. Neben der Einsortierung in eine KPA und einer Beschreibung sowohl als Text als auch in Formelform wurden auch die zur Berechnung benötigten Daten sowie die Stakeholder aufgeführt, für die der KPI relevant ist.

Folgende 6 KPIs wurden als für alle Stakeholder priorisierten KPIs identifiziert:

- Punctuality
- Punctuality Improvement/Degradation
- Local ATC Pre-Departure Delay
- Average Arrival/Departure Delay
- Emissions
- Turn-round Compliance.

Durch diese Auflistung der KPIs werden alle Bereiche in der Prozesskette eines Fluges am Flughafen betrachtet und eine Steuerung kann dadurch gegeben sein. Außerdem sind einige dieser KPIs jeweils für mehrere der Stakeholdergruppen (Airline, ANSP, Airport, Groundhandler) relevant.

Im Rahmen des Projektes wurde jedoch nicht deutlich, ob die aufgenommenen KPIs auch tatsächlich den Bedürfnissen der einzelnen Stakeholder am Flughafen gerecht werden würden. Aus diesem Grund sind derzeit (Stand: 28.04.15) 3 Abschlussarbeiten in Bearbeitung, bei denen aus jeweils unterschiedlichen Blickwinkeln eine Bewertung relevanter KPIs für die Flughafenstakeholder vorgenommen wird (aus Vertragssicht, wirtschaftlicher Sicht und operationeller Sicht).

## 4. Kooperationskonzept

### 4.1. Konzeptidee

Das Arbeitspaket „Kooperationskonzept“ beschäftigte sich mit der Frage, wie die Zusammenarbeit der Stakeholder an einem PBAM-Flughafen gestaltet werden sollte, so dass eine Steuerung des Flughafens nach Key Performanz-Indikatoren (KPI) erfolgen kann. Der Begriff Kooperation wird in der Literatur mit unterschiedlicher Bedeutung verwendet [BELL \_1995 ] [Hee\_2005] [Hoc\_2001] [Tan \_ 2006] . In diesem Arbeitspaket bezieht sich Kooperation spezifisch auf die Qualität einer Zusammenarbeit und wird, der Kategorisierung von Heese [Hee\_2005] folgend, von den Begriffen Koordination und Kollaboration abgegrenzt. Eine Kooperation bedeutet, dass Kooperationspartner auf die Erfüllung eines gemeinsamen Ziels hin arbeiten. Koordination bezeichnet die gemeinsame Verwendung von Informationen und Ressourcen ohne gemeinsames Ziel. Kollaboration bedeutet, zu einem gemeinsamen Arbeitsprozess beizutragen [Hee\_2005, S.16].

Sollen sich Stakeholder an einem Flughafen kooperativ verhalten, setzt dies demnach voraus, dass es ein gemeinsames Ziel gibt, auf das gemeinsam hin gearbeitet wird. Für das Kooperationskonzept wurden die folgenden Mechanismen identifiziert

- die Definition eines gemeinsamen Ziels für alle Stakeholder als Treiber für kooperatives Verhalten
- die Koordination von Ressourcen, Arbeitsschritten und Entscheidungen, vor allem bezogen auf Zeitabläufe
- die Kollaboration, d.h. die Teilhabe mehrerer Stakeholder an einem übergreifenden Arbeitsprozess.

Es wird davon ausgegangen, dass Kooperation der Stakeholder, operationalisiert durch übergreifende Abstimmungen des täglichen Betriebs, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen, die knappen Ressourcen des Flughafens besser ausgenutzt werden können und damit insgesamt die Effizienz des Flughafenbetriebs gesteigert werden kann.

Grundvoraussetzung für die Kooperation der Stakeholder am Flughafen ist die Definition und Verfolgung eines gemeinsamen Ziels (siehe Abbildung 3: gemeinsame Ausrichtung der Betriebsziele der Prozessbeteiligten an KPIs). Für die Abstimmungen sind qualitativ bessere Informationen notwendig, als heutzutage bzw. über A-CDM verfügbar sind, da sie im Entscheidungsprozess Unsicherheiten eliminieren und deshalb fundierte Entscheidungen erlauben. Verbesserte Informationen ermöglichen weiterhin, dass im Falle von prognostizierten Störungen von Betriebsabläufen agiert werden kann, anstelle von bloßem Reagieren auf aufgetretene Störungen.

Eine Analyse der heutigen Abstimmungsprozesse – auf Grundlage der Hospitationen – ergab, dass es im Allgemeinen keine gemeinsamen Ziele für alle Stakeholder als Basis für Entscheidungen gibt. Außerdem erschweren fehlende oder ungenaue Informationen über Betriebsabläufe, verfügbare Ressourcen und Kapazitäten die Koordination bestehender Prozesse. In manchen Fällen erschwert die Vertraulichkeit von Daten den Austausch zusätzlich. Außerdem sind die jeweiligen vorgegebenen Rahmenbedingungen für Entscheidungen, sowie situative Bedürfnisse der Prozesspartner weitestgehend unbekannt.

Das erarbeitete Kooperationskonzept bietet folgenden Lösungsvorschlag:

- 1) Die Definition eines gemeinsamer Ziels erfolgt über die Einführung von KPIs (hier Pünktlichkeit).
- 2) Anhand von Struktur-Abläufen und Regeln können Stakeholder in einem Stakeholder-übergreifenden Prozess (Kollaboration) zeitlich koordiniert Informationen und relevante Zwischenergebnisse austauschen und somit ein qualitativ besseres Ergebnis (Erreichen des KPI-Zielwert) erreichen.

Deshalb wurden für ein konkretes Szenario Vorschläge für Handlungen, Informationsverteilung und Entscheidungsmöglichkeiten erarbeitet und Spielräume einzelner Stakeholder identifiziert.

Durch die Einführung eines PBAM gibt es prinzipiell für alle Flughafen-Stakeholder relevante und verbindliche KPIs. Inwieweit die Verbindlichkeit hergestellt wird, ist nicht Teil des Kooperationskonzeptes. Das Erreichen von Zielwerten für einen oder mehrere KPIs kann demnach das gemeinsame Ziel, die Grundvoraussetzung von Kooperation, darstellen. Der Fokus lag allerdings in der Analyse, welche Arbeitsschritte und Entscheidungen koordiniert bzw. gemeinschaftlich (kollaborativ) erfolgen sollten (Abbildung 9), da dies näher an den bekannten operationellen Verfahren der Anwender liegt.

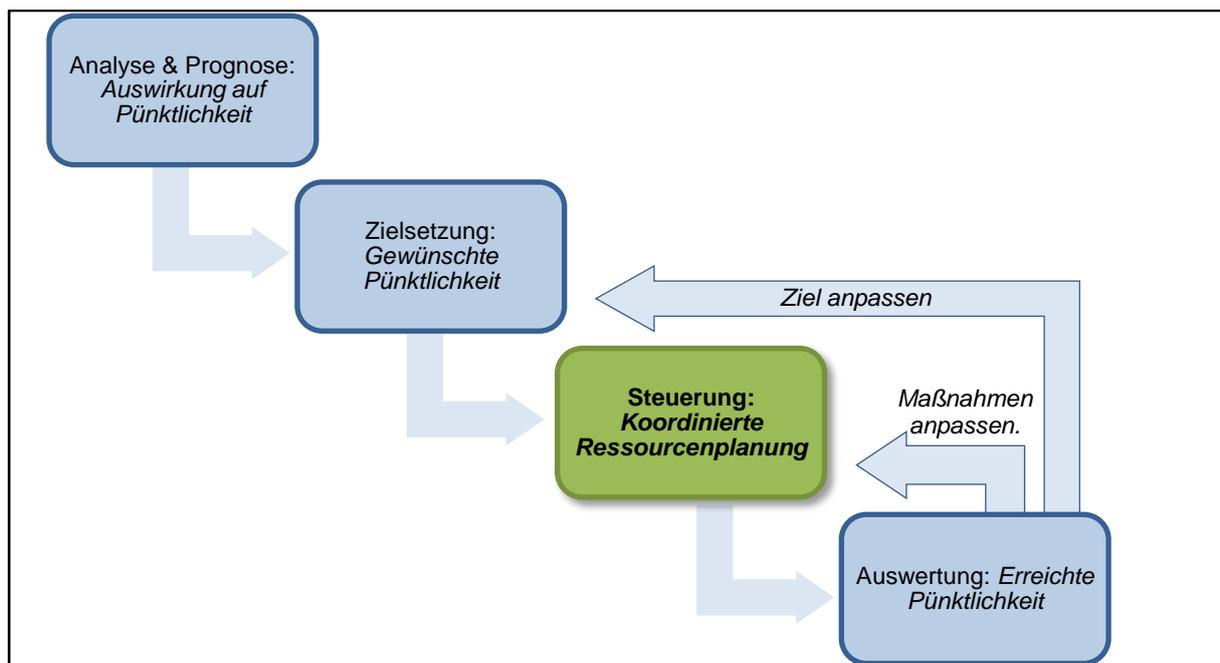


Abbildung 9 Generische Schritte des Kooperationskonzeptes

## 4.2. Beispiel für Koordinierte Ressourcenplanung

Für das erwähnte Beispiel „Festlegung der Abflugreihenfolge nach einem Gewitter“ wurde ein Regelwerk erarbeitet, welches definiert, wann welche Stakeholder welche Informationen untereinander austauschen sollten, um über eine Abflugreihenfolge zu entscheiden. Aufgrund dieser Entscheidung sollte die Pünktlichkeit des abfliegenden Verkehrs im Zeitraum von 17:00 bis 19:00 Uhr einen Zielwert von 50% pünktliche Abflüge erreichen. Ohne pünktlichkeits-steigernde Maßnahmen hätte die Pünktlichkeit bei 12% gelegen. Es konnte gezeigt werden, dass durch eine temporäre Erhöhung der Groundhandler-Kapazität

(bspw. durch die Anpassung der Pausenzeiten auf die Störung oder die Aktivierung von Reservemannschaft aus der Belegschaft oder Zeitarbeitsfirmen), sowie eine Änderung der Abflugreihenfolge optimiert nach Pünktlichkeit, theoretisch die Pünktlichkeit auf 53 % gehoben werden konnte. Für die Abflug-Reihenfolge konnten außerdem Priorisierungswünsche der Airlines berücksichtigt werden. Ziel des Anwendungsbeispiels war es, Stakeholdern das Prinzip der Koordinierten Ressourcenplanung zu verdeutlichen, um deren Feedback zu erhalten. Es wurden deshalb einige Annahmen und Vereinfachungen getroffen. Relevant ist, dass mit Vorlaufzeit zusätzliche Maßnahmen möglich sind, wie die Mobilisierung zusätzlichen Personals, oder eine Priorisierung und Depriorisierung der Abflüge einer Airline, als bei ad-hoc, reaktiven Entscheidungen.

Eine Entwicklung des der Nachfrage für die Abfertigung durch das Groundhandling, sowie des mittleren Delays und die Beeinflussung dieser Kennwerte durch die Abstimmung ist in Abbildung 10 dargestellt. Dabei zeigen die Balken die voraussichtliche Anzahl von LFZ, die Off-Block gehen (Demand) pro 15-Minuten Intervall. Die dunkelblauen Balken stellen den Demand dar, wenn der Groundhandler seine maximale Abfertigungskapazität temporär auf 15 LFZ erhöht. Die hellblauen Balken zeigen den Demand, wenn zusätzlich die Priorisierungswünsche der Airlines umgesetzt sind und außerdem möglichst viele LFZ das Pünktlichkeitskriterium einhalten. Ab dem Zeitpunkt 18:30 Uhr würde die Priorisierung einen anderen Off-Block Demand verursachen. Entsprechend zeigen die Linienplots die voraussichtliche mittlere Abweichung zur geplanten OffBlock-Zeit in 15 Minuten-Intervallen. Es wird deutlich, dass mit der Priorisierung der LFZ und einer Optimierung auf Pünktlichkeit (magenta-farbene Kurve), einige wenige LFZ stark verspätet starten (Zeitpunkt 19:15 Uhr) und dadurch die Verspätung in früheren Zeiträumen (18:30 bis 19:00 Uhr) geringer ist. An diesem Beispiel wird deutlich, dass die Entscheidungen ein Abwägen zwischen verschiedenen KPIs darstellen. Im Rahmen des Arbeitspakets „Kooperationskonzept“ wurde deshalb das Regelwerk erstellt, welche Informationen und Entscheidungen wann an wen übermittelt werden, damit eine möglichst von allen getragene Entscheidung gefunden wird, welche pünktlichere Betriebsabläufe in einer Störungssituation ermöglicht.

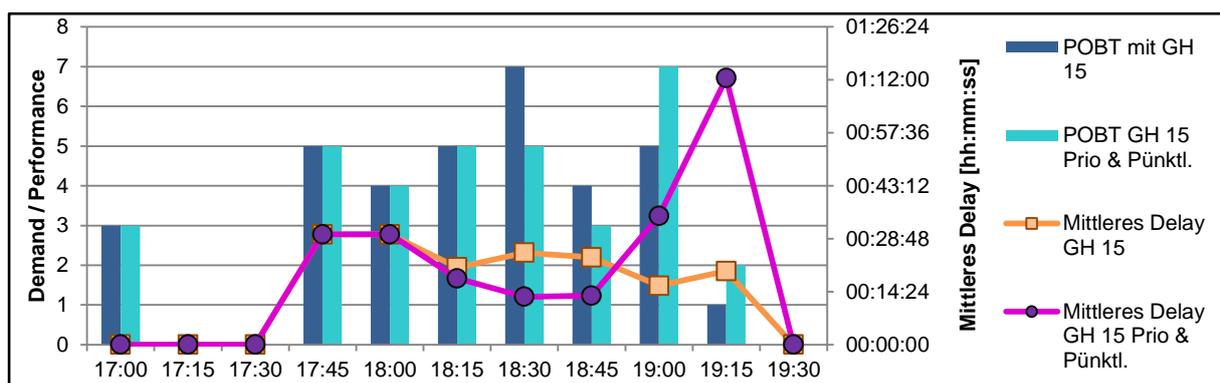


Abbildung 10: Entwicklung von Demand und Delay im Anwendungsbeispiel

In Abbildung 11 ist ein Vorschlag für einen zeitlichen Ablauf der Abstimmung dieser Maßnahmen zwischen den Stakeholdern Airport, Groundhandling, ATC und Airlines dargestellt. Entscheidend ist hierbei, dass beispielsweise das Groundhandling bereits früh in die Entscheidungsfindung mit einbezogen wird, indem der Groundhandler die maximale Abfertigungskapazität als Information an alle Prozessbeteiligten kommuniziert. In diesem Beispiel nimmt der Airport die Rolle des Initiators und Treibers des Prozesses ein. Um dies tatsächlich umzusetzen, müssten sich rechtliche Vorgaben für Flughafenbetreiber ändern.

Alternativ könnte diese Rolle auch von einem neutralen Vermittler, der keinem Flughafen-Stakeholder angehört, übernommen werden. Der generelle Ablauf wäre aber von dieser Position nicht betroffen. Produkt der Entscheidungsfindung ist eine angepasste TOBT für die LFZ in dem, von der Störung betroffenen, Zeitraum.

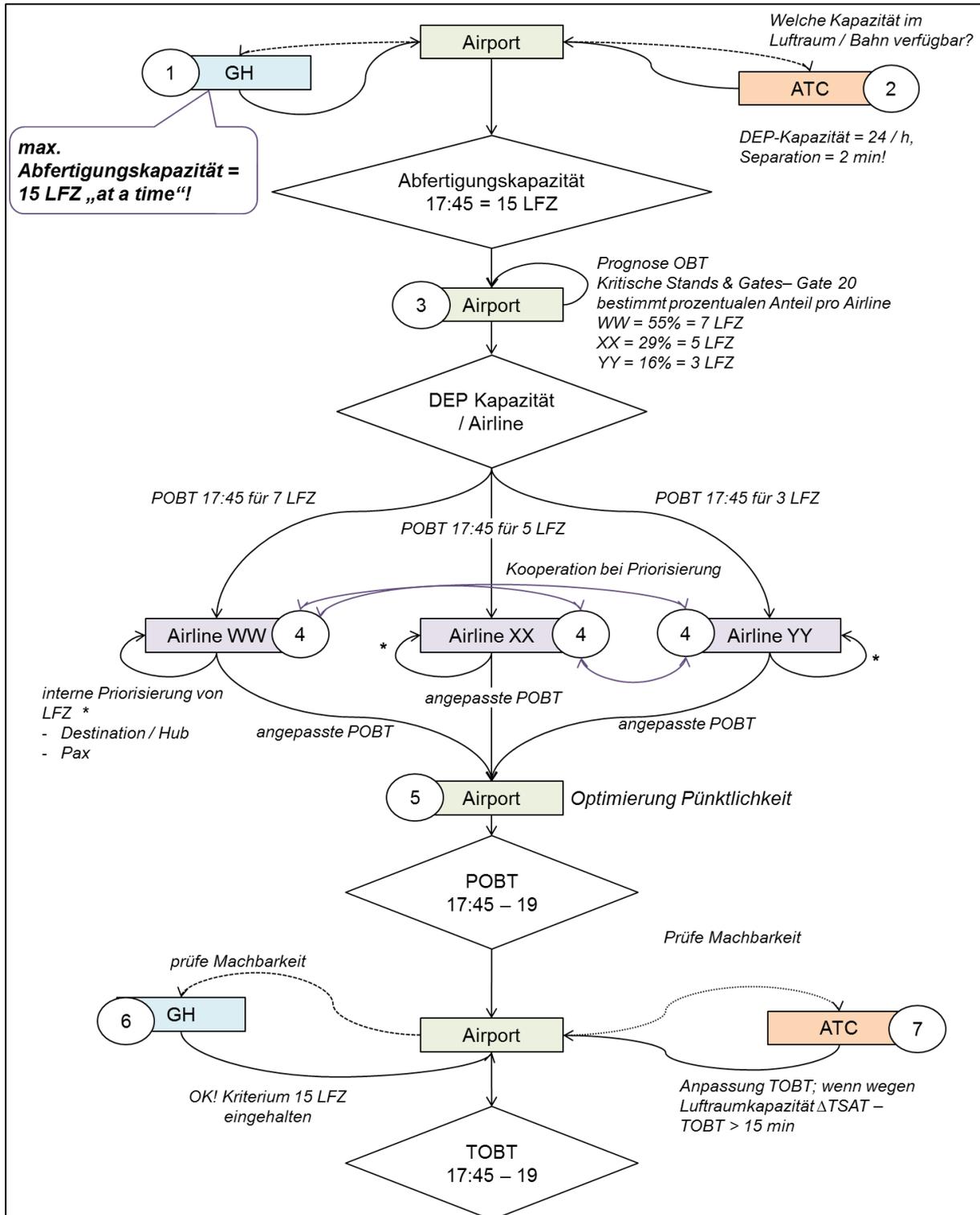


Abbildung 11: Ablauf der Planung der Abflug-Reihenfolge.

### 4.3. Ergebnisse des Stakeholderworkshops

Das Anwendungsbeispiel und das Regelwerk wurde realen Flughafenvertretern beim P-AIR-FORM Abschlussworkshop präsentiert und ihr Feedback dazu ist erfasst worden. Von Interesse war dabei, ob das Vorgehen grundsätzlich nachvollziehbar ist und ob wichtige Punkte nicht berücksichtigt wurden. Außerdem wurde abgefragt, in welchem der drei Bereiche 1) Organisation / Unternehmenskultur, 2) Fehlende Technologie, 3) Fehlende Ressourcen (Expertise, Zeit, Manpower) für Absprachen die größten Schwierigkeiten in der Umsetzung eines solchen Verfahrens gesehen werden.

Generell treffen die Annahmen für das Kooperationskonzept über die aktuelle Situation an den Flughäfen bei Abstimmungen zu. Die Teilnehmer des Workshops bestätigten, dass eine solche koordinierte Ressourcenplanung, bspw. durch Absprache der Stakeholder-Agenten in einem Control Center, ein möglicher Weg ist. Insgesamt wurde eingeschätzt, dass es kaum Situationen gibt, in denen eine Kooperation der Stakeholder keine Verbesserung der Betriebsabläufe mit sich brächte, sondern dass es an mangelnder Bereitschaft der Beteiligten läge, dass dies nicht geschieht.

Die Stakeholder sahen die Unterstützung solcher Absprachen durch Assistenzsysteme als erforderlich an. Dabei sollten vor allem die Auswirkungen visualisiert und die Umplanung erleichtert werden. Hier wurde vermerkt, dass im heutigen Betrieb im Falle einer Störung die Vorlaufzeit für eine Umplanung zu kurz ist. Außerdem müssen die Stakeholder-Vertreter im APOC über eine hohe Expertise verfügen, um bspw. die Situation korrekt einzuschätzen und sinnvolle Maßnahmen abzuleiten. Außerdem müssen die Vertreter mit der notwendigen Entscheidungskompetenz versehen sein. Die aktuell größten Hindernisse für die Umsetzung eines solchen Ansatzes wurden von den Workshop-Teilnehmern in einem fehlenden rechtlichen Rahmen gesehen. Der „Good will“ aller Beteiligten wurde als nicht ausreichend angenommen; es muss festgehalten sein, wer über welche Entscheidungsbefugnisse verfügt. Die gemeinschaftlich getroffenen Entscheidungen müssen verbindlich sein und alle Beteiligten müssen dafür „haften“. Das aufzubauende Vertrauen zwischen den Beteiligten wurde als elementare Basis angesehen. Ein zentraler und neutraler Verantwortlicher für die Organisation der Abstimmungen wurde als Möglichkeit gesehen, allerdings gibt es eine solche Position momentan nicht.

## 5. Operationelles Konzept

### 5.1. Ziele

Im Rahmen des Operationellen Konzeptes sollte in P-AIR-FORM ein Lösungsansatz für ein leistungsbasiertes Flughafenmanagement sowie eine mögliche Umsetzung dieses Ansatzes entwickelt werden. Als Grundlage sollten die Erkenntnisse aus A-CDM und TAM (siehe Kap. 1.1) mit dem generellen Ansatz des Performance Management kombiniert und für ein Flughafensystem mit all seinen beteiligten Stakeholdern adaptiert werden.

Im Detail sollten dabei zunächst die grundlegenden Problemstellungen einer solchen auf Leistungskennzahlen basierten Flughafensteuerung identifiziert und entsprechende Lösungsansätze entworfen werden. Diese sollten neben der generellen Konzeptidee auch eine denkbare Umgebung für den Einsatz von PBAM beschreiben sowie die Art und den Umfang notwendiger Informationen bestimmen. Ergänzend sollte zudem der Funktionsumfang der erforderlichen Manipulationsmöglichkeiten der Akteure untersucht werden.

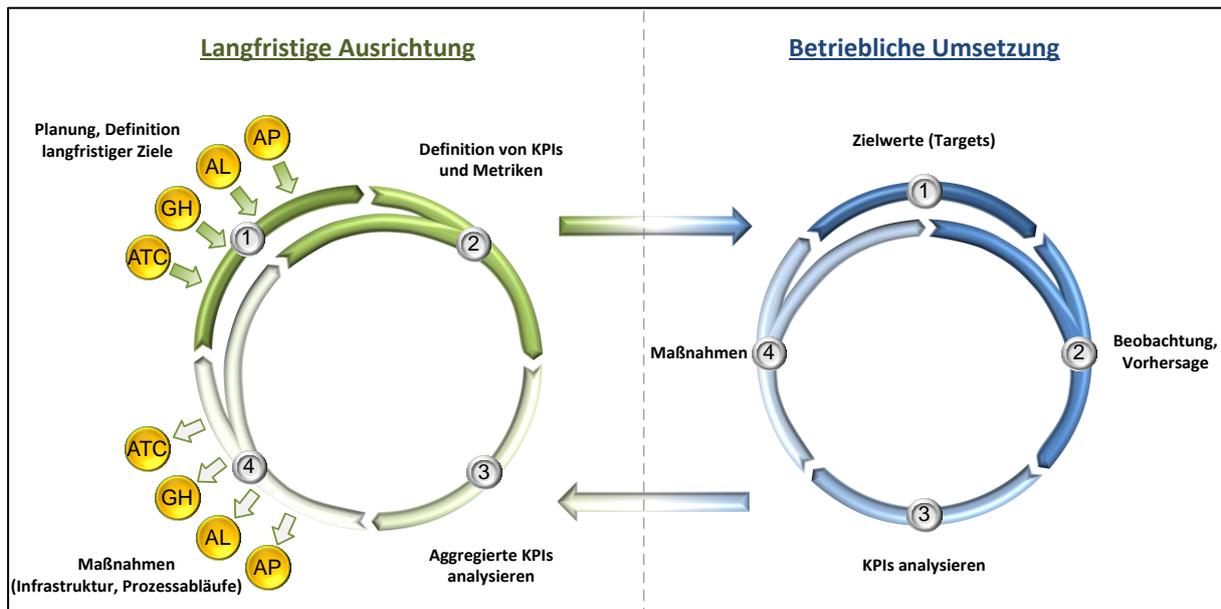
### 5.2. Konzeptidee des Performance Based Airport Management

Als Basis für die Arbeiten an der Konzeptidee des Performance Based Airport Management wurde eine ausführliche Literaturanalyse unternommen bei der zusätzlich auch die Ergebnisse der Hospitationen (siehe Kap. 2) mit eingeflossen sind. Wesentliche Elemente des allgemein in der Wirtschaft angewandten Performance Management Ansatzes konnten so identifiziert und genauer untersucht werden. Für eine mögliche Umsetzung im System Flughafen wurde ein PBAM-Prozesszyklus mit vier essentiellen Schritten abgeleitet [Veröffentlichung\_PBAM]:

1. Planung,
2. Messung,
3. Analyse,
4. Maßnahmen.

In Abbildung 12 ist dieser Zyklus einmal für die langfristige Ausrichtung und einmal für die betriebliche Umsetzung mit taktischem Zeithorizont für das System Flughafen grafisch dargestellt.

Der wesentliche Unterschied zwischen dem System Flughafen und einem klassischen Unternehmen stellt dabei die hohe Anzahl verschiedener Stakeholder am Flughafen dar, z.B. Flughafenbetreiber, Airline, Bodenabfertiger, etc.. Jeder dieser Stakeholder stellt ein eigenständiges Unternehmen mit eigenen Unternehmenszielen dar. Für die Realisierung von PBAM ist die Festlegung gemeinsamer langfristiger Ziele für das System Flughafen folglich eine zwingende Voraussetzung (Schritt 1 in Abbildung 12 links). In den folgenden drei Schritten des langfristigen PBAM-Zyklus werden KPIs für die langfristigen Ziele definiert (Schritt 2), und über einen vorab bestimmten Zeitraum (beispielsweise ein Geschäftsjahr) analysiert (Schritt 3). Bei Abweichungen zu den Sollwerten werden entsprechende Maßnahmen eingeleitet (Schritt 4) bevor der Zyklus je nach Situation direkt mit Schritt 2 oder Schritt 1 neu beginnt.

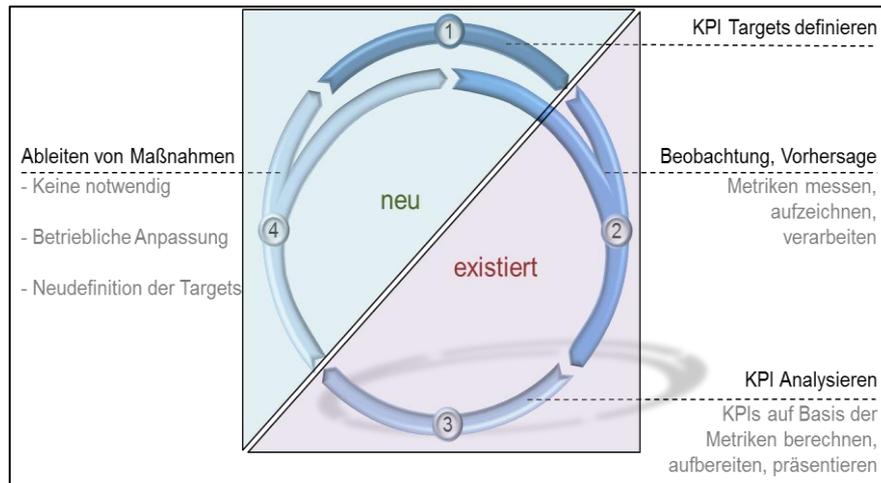


**Abbildung 12: PBAM-Prozesszyklen (langfristig und taktisch) [Veröffentlichung\_Punctuality]**

Der langfristige PBAM-Prozesszyklus stellt eine Voraussetzung für den taktischen PBAM-Prozesszyklus dar, liegt jedoch nicht im Fokus des Projektes P-AIR-FORM. Der Schwerpunkt liegt hier auf der taktischen betrieblichen Steuerung der Flughafenprozesse mit dem Betriebstag als Zeitrahmen. Wie in Abbildung 12 erkennbar ist, ähneln die einzelnen Schritte des taktischen Prozesszyklus jedoch im Grundsatz denen des bereits vorgestellten, langfristigen.

Im ersten Schritt werden für die vorgegeben KPIs die Targetwerte über die verschiedenen Phasen des Betriebstages gemeinsam von allen Stakeholdern festgelegt. Die Werte können dabei über den Tag aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen variieren. Während des Betriebstages werden in Schritt 2 die tatsächlichen Betriebsabläufe durchgehend überwacht und es erfolgt eine Prognose der weiteren Entwicklung. Auf Basis dieser Ergebnisse werden die aktuellen KPIs berechnet und prognostiziert (Schritt 3). Bei signifikanten Abweichungen zu den festgelegten Zielwerten aus Schritt 1 werden entsprechende betriebliche Maßnahmen eingeleitet oder, falls die Zielwerte nicht erreicht werden können, die Targets angepasst (Schritt 4). Danach beginnt der Zyklus von neuem.

Es bleibt festzuhalten, dass Flughäfen auch heute schon verschiedene Metriken messen und aufzeichnen. Ebenso werden diese analysiert und als Indikatoren zu Vergleichszwecken herangezogen. Oftmals beziehen sich diese Parameter jedoch auf längerfristige Zeitbereiche und werden nicht aktiv zur Steuerung des operationellen Tagesbetriebs genutzt (bspw. die Anzahl Flugbewegungen, die Anzahl Passagiere pro Jahr). Die folgende Abbildung verdeutlicht nochmals den grundsätzlichen PBAM-Prozesszyklus und die Verknüpfung bereits bestehender (Datenaufzeichnung und Datenanalyse) mit neuen Zyklusschritten (Zieldefinition und Maßnahmen zur Steuerung).



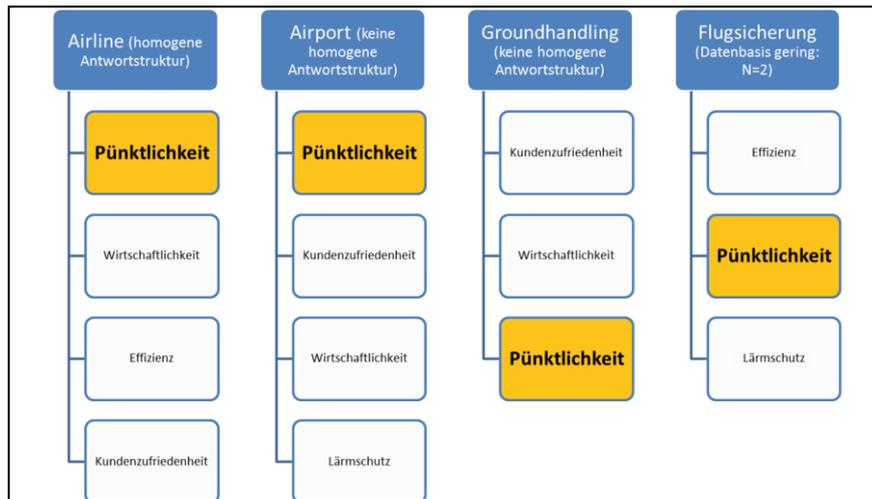
**Abbildung 13: PBAM-Prozesszyklus für den taktischen Betrieb**

Eine detailliertere Beschreibung des Konzeptes und der genauen Umsetzung wurde im Rahmen des Projektes anhand des einzelnen KPIs Pünktlichkeit beispielhaft durchgeführt (siehe Kapitel 5.3).

### 5.3. Performance Based Airport Management am Beispiel Pünktlichkeit

Grundsätzlich sieht das Konzept einer „performance“-basierten Flughafensteuerung vor, ein Set von Performance Indikatoren zu betrachten, die die relevanten Entscheidungsgrundlagen bereitstellen (siehe Kap. 3.3). Dabei treten jedoch komplexe Abhängigkeiten zwischen den gewählten KPIs auf. Zur beispielhaften Beschreibung der operationellen Konzeptidee wurde daher im Rahmen des Projektes ein KPI gewählt. Die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf andere Performance Indikatoren wurden zunächst vernachlässigt.

Sowohl aus den Hospitationen als auch aus anderen Quellen konnte abgeleitet werden, dass Pünktlichkeit einen wesentlichen Stellenwert bei allen Stakeholdern hat. Unabhängig von den Möglichkeiten diesen direkt zu beeinflussen, scheint Pünktlichkeit für viele Stakeholder ein Indikator für die Situation am Flughafen zu beschreiben.



**Abbildung 14: Nennung und Gewichtung relevanter Indikatoren durch Stakeholder (Hospitationen)**

Aufbauend auf dem generellen Ansatz des Performance Based Airport Management (Kapitel 5.2) wurden die Konzeptelemente am Beispiel des KPI Pünktlichkeit beschrieben.

Die Gesamtpünktlichkeit in Prozent wird als Verhältnis der Summen von pünktlichen Arrivals und Departures zu der Summe von Arrivals und Departures, die in einem Zeitbereich  $\Delta t$  stattgefunden haben definiert:

$$P_{Total}(\Delta t) = \frac{\sum (N_{Arrival}(\Delta t) + N_{Departure}(\Delta t))}{\sum (Arrivals(\Delta t) + Departures(\Delta t))} \cdot 100\%$$

Als Kriterium für einen pünktlichen Flug wurde das vielfach verwendete 15-Minuten Kriterium genutzt. Weichen die aktuellen von den geplanten Zeiten um mehr als 15 Minuten vom Schedule ab, gilt ein Flug als unpünktlich. Für die Berechnung werden dabei für Arrivals die InBlock-Zeit und für Departures die OffBlock-Zeit als Zeitstempelreferenz genutzt.

#### Target Definition

In einem ersten Schritt wird definiert, welcher Zielwert für die Pünktlichkeit erreicht werden soll. Ein entsprechender Wert soll dabei für ein bestimmtes Zeitintervall festgelegt werden. In P-AIR-FORM wurde hierfür ein Stundenfenster angenommen, da dieses auch ein typisches Zeitintervall für Kapazitäts- und Demandbetrachtungen darstellt.

Die Festlegung der Werte erfolgt durch die Stakeholder in gemeinsamer Abstimmung und ist Teil des Kooperationskonzeptes (Kapitel 4). Im Rahmen des operationellen Konzeptes wird darauf nicht eingegangen, sondern vorausgesetzt, dass entsprechende Werte vorhanden sind.

Die Zielwerte sollten in übersichtlicher Form dargestellt werden. Die folgende Abbildung wurde im Rahmen von P-AIR-FORM erarbeitet und stellt den Teil der Zielwertfestlegung für die einzelnen Stundenfenster dar.

Pünktlichkeit		05:00:00	
Time	Target	Act/Est	Details
00:00 - 06:00			>
06:00 - 07:00	100	100	>
07:00 - 08:00	100	91	>
08:00 - 09:00	100	92	>
09:00 - 10:00	80	69	>
10:00 - 11:00	100	89	>
11:00 - 12:00	100	100	>
12:00 - 13:00	100	100	>
13:00 - 14:00	100	64	>
14:00 - 15:00	90	79	>
15:00 - 16:00	50	70	>
16:00 - 17:00	50	70	>
17:00 - 18:00	90	92	>
18:00 - 19:00	80	82	>
19:00 - 20:00	80	74	>
20:00 - 21:00	90	94	>
21:00 - 22:00	100	83	>
22:00 - 23:00	100	95	>
23:00 - 00:00			>

**Abbildung 15: Mögliche grafische Anzeige der Targetfestlegung**

Beobachtung und Vorhersage

Nach Festlegung der Zielwerte geht es darum, kontinuierlich zu prüfen, wie sich die tatsächlichen und prognostizierten Werte gegenüber den Zielwerten verhalten. Dies bildet die Grundlage für die sich anschließende Analyse und gegebenenfalls notwendige Steuerungen.

Zur Strukturierung der Beobachtung der Flughafensituation wurden drei Prozessbereiche definiert, Prozesse zugeordnet und mit Meilensteinen versehen. Auf Grundlage des etablierten A-CDM wurden 4 zusätzliche Pünktlichkeitsmeilensteine eingesetzt, um die Prozessbereiche besser beschreiben zu können (siehe Abbildung 16).

Insgesamt ergibt sich damit ein Zeitstempelmodell eines Fluges vom Start am Vorflughafen bis zum Start am betrachteten Flughafen. Für jeden Flug werden sowohl die vorliegenden aktuellen Zeitstempel (bereits aktiver Flüge) als auch die vorhergesagten bzw. geplanten Zeitstempel aufgenommen.

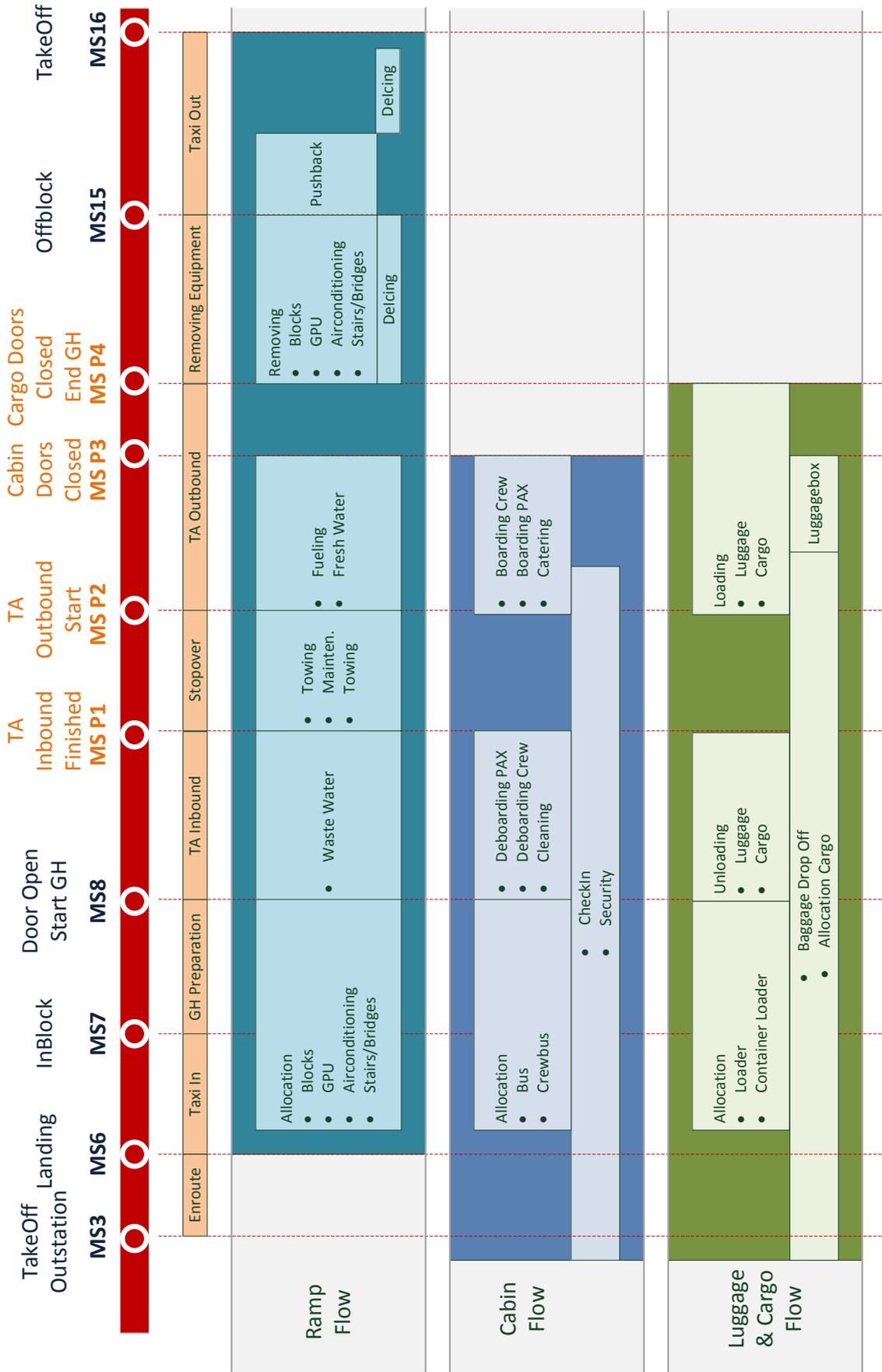


Abbildung 16: Prozessbereiche und Meilensteinansatz zur Überwachung des KPI Pünktlichkeit [Veröffentlichung\_Punctuality]

Die Vorhersage von Zeitstempeln erfolgt durch ein Planungssystem, wobei zunächst Standardprozesszeiten genutzt werden, die im weiteren Verlauf durch systemtechnisch ermittelte Zeitdaten (Actuals und Estimates) ersetzt werden.

KPI analysieren

Aus den Zeitstempeln (aktuell bzw. vom Planungssystem berechnet) werden die aktuellen und zu erwartenden Pünktlichkeitswerte berechnet und strukturiert aufbereitet. Die Abflugpünktlichkeit bezieht sich auf den Meilenstein 15 (A-CDM - Off Block) während die Anflugspünktlichkeit auf Basis des Meilensteins 7 (A-CDM - In Block) ermittelt wird. Beide Werte werden verarbeitet und zur Gesamtpünktlichkeit für die Stunde zusammengefasst.



Pünktlichkeit		09:34:22	
Time	Target	Act/Est	Details
00:00 - 06:00			>
06:00 - 07:00	100	100	>
07:00 - 08:00	100	91	>
08:00 - 09:00	100	92	>
09:00 - 10:00	80	69	>
10:00 - 11:00	100	89	>
11:00 - 12:00	100	100	>
12:00 - 13:00	100	100	>
13:00 - 14:00	100	64	>
14:00 - 15:00	90	79	>
15:00 - 16:00	90	93	>
16:00 - 17:00	90	93	>
17:00 - 18:00	90	92	>
18:00 - 19:00	80	82	>
19:00 - 20:00	80	74	>
20:00 - 21:00	90	94	>
21:00 - 22:00	100	83	>
22:00 - 23:00	100	95	>
23:00 - 00:00			>

**Abbildung 17: Vergleich Targetwerte mit aktuellen bzw. Prognosewerten**

Über ein Farbsystem werden wesentliche Abweichungen zwischen Targetwert und berechnetem Pünktlichkeitswert deutlich gemacht, die dann im Detail untersucht werden können.

Durch die Nutzung des Ansatzes aus A-CDM Meilensteinen und zusätzlich definierten Meilensteinen ist es möglich, die einzelnen Prozessabschnitte hinsichtlich der Einhaltung der angenommenen Prozesszeiten zu betrachten. Die zusätzlich definierten Meilensteine dienen dabei als Indikatoren für wesentliche Schritte in den Prozessabläufen der drei Prozessbereiche, die so bisher noch nicht in A-CDM definiert wurden. Die folgende Abbildung 18 zeigt eine detaillierte Ansicht eines Stundenfensters, bei dem Zielwert und Prognosewert deutlich voneinander abweichen.

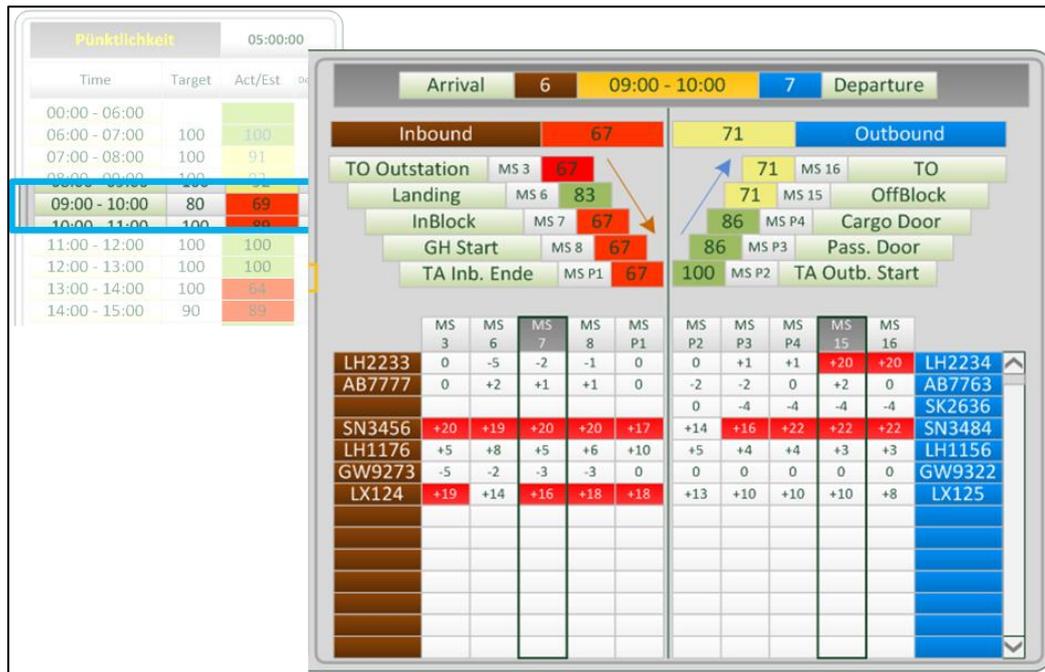


Abbildung 18: Mögliche grafische Anzeige zur Überwachung des KPI Pünktlichkeit

Neben den Werten für Abflug und Anlandspunktlichkeit werden auch die Punktlichkeitswerte an den einzelnen Meilensteinen ausgewiesen, die sich durch Berücksichtigung der vorhergesagten Prozesszeiten ergeben. Diese Punktlichkeitsstützstellen werden ebenfalls im Verhältnis zum Zielwert farblich markiert, womit sich ein Indikator der Prozesse ergibt, die möglicherweise Probleme verursachen. Im Beispiel in Abbildung 18 zeigt sich, dass sich die Punktlichkeit zwischen MS6 (Landing = 83%) und MS 7 (InBlock=67%) reduziert. Dies lässt darauf schließen, dass sich beim Prozess Taxi In (vergleiche Abbildung 16) Abweichungen von den angenommenen Prozesszeiten ergeben und damit einzelne Flüge, die pünktlich waren, das 15 Minuten Kriterium überschreiten.

Die zusätzlich integrierte Darstellung des Delays auf Einzelflugebene bestätigt diesen Effekt, da das Delay für Flug LX124 zwischen MS6 und MS7 von 14 auf 16 Minuten steigt. Analog beschreibt die Veränderung des Punktlichkeitswertes von MSP4 (Cargo Door Closed) zu MS 15 (Off Block) Abweichungen beim Prozess Removing Equipment für den Flug LH2233. Hier gilt es zu prüfen, warum sich das Delay von einer Minute auf 20 Minuten erhöht hat (vergleiche Abbildung 18).

### Maßnahmen

Um geeignete Maßnahmen zur Steuerung zu ergreifen wurde analysiert, welche grundsätzlichen Einflussmöglichkeiten zur Steuerung der Punktlichkeit möglich sind und welcher Stakeholder daran beteiligt bzw. dafür verantwortlich ist.

Folgende Tabelle 4 beschreibt die im Rahmen des Projektes angenommenen Prozessphasen, beteiligte Stakeholder und mögliche Maßnahmenbereiche.

MS	Phase	Beteiligt	Bemerkung
<b>MS3</b>			
	Enroute	ANSP	Feeding, Anflugsequenz
		Airline	Speedprofile, Flugroute, Direct Requests
		ATFCM	Luftraumrestriktionen
		Airport	Bahnnutzungskonzept (Sperrung, Räumung, Maintenance, Inspektionen)
<b>MS6</b>			
	Taxi In	ANSP	Holdings, Rwy Crossings, Taxi Route
		Apron Control	Holdings, Taxi Route
		Airport	Standplatzplanung
<b>MS7</b>			
	Bereitstellung Equipment	Groundhandler	
<b>MS8</b>			
	TA Inbound	Groundhandling	Ressourceneinsatz
		Airline	(Rampagent)
<b>MSP1</b>			
	Wartezeit	Groundhandling	Schlepps
		Airline	Aircraft Changes, Maintenance
		Apron Control	Schleppkoordination mit Rollverkehr
<b>MSP2</b>			
	TA Outbound	Groundhandling	Ressourceneinsatz
		Airline	Crew Planung, Cancellations
		Airport	Security
		Airport/Airline	Boarding
<b>MSP3</b>			
		Groundhandling	Gepäck / Fracht
<b>MSP4</b>			
	Abzug Equipment	Groundhandling	
<b>MS15</b>			
	Taxi Out	Groundhandling	De-Icing
		Apron Control	Routing
<b>MS16</b>			
	TakeOff	ANSP	Sequencing
		Airline	Intersection TakeOff Request
		ATFCM	Slots

**Tabelle 4: Einflussmöglichkeiten der Stakeholder auf den betrieblichen Ablauf und die Pünktlichkeit**

Für den Bereich der Maßnahmen wurden drei Unterscheidungen getroffen, die sich auf das Resultat der Analyse beziehen:

a) Zielwerte und Prognosewerte sind identisch oder liegen innerhalb definierter Grenzen  
In diesem Fall sind keine steuernden Maßnahmen notwendig.

Der beschriebene Kreislauf beginnt von vorn, jedoch ohne Schritt 1 (Festlegung der Zielwerte)

b) Zielwert und Prognosewerte stimmen nicht überein bzw. befinden sich außerhalb definierter Grenzen - (operationelle Anpassungen sind möglich)

Wurde eine Abweichung zwischen dem Zielwert der Pünktlichkeit und dem Vorhersagewert erkannt, kann durch die detaillierte Analyse der „virtuellen“ Meilensteinwerte analysiert werden, in welchen Prozessbereichen Steuerungsmaßnahmen notwendig sein könnten. Die in den jeweiligen Prozessschritten relevanten Stakeholder können prüfen, inwieweit sich Möglichkeiten zur Optimierung der Prozesse realisieren lassen. In einem Abstimmungsprozess wird dann entschieden, ob und wie in die operative Ausführung der Prozesse eingegriffen wird oder ob bestimmte Ressourcen umgeplant werden können. Dieses gemeinsame Entscheidungsverhalten ist Teil des Kooperationskonzeptes und wurde beispielhaft in Kapitel 4.2 beschrieben.

Die geänderten Planungsgrößen werden im Planungssystem hinterlegt. Nach Neuberechnung ergeben sich entsprechend geänderte Meilensteine für die Einzelflüge, die zu neuen Pünktlichkeitswerten führen. In Kapitel 4.2 konnte an einem theoretischen Beispiel gezeigt werden, dass Änderungen im Ressourceneinsatz zu Veränderungen in der Sequenz und damit zu unterschiedlichen Pünktlichkeitswerten geführt hat.

Der beschriebene Kreislauf beginnt von vorn, jedoch ohne Schritt 1 (Festlegung der Zielwerte)

c) Zielwert und Prognosewerte stimmen nicht überein bzw. befinden sich außerhalb definierter Grenzen - (operationelle Anpassungen reichen nicht aus)

Trotz Anpassung operationeller Maßnahmen ermittelt das Planungssystem weiterhin Abweichungen zwischen Zielwert und Vorhersagewert. In diesem Fall müssen die Stakeholder entscheiden, ob sie am Zielwert festhalten und die Abweichungen bewusst hinnehmen, oder ob ein neuer abgestimmter Zielwert festgelegt werden soll.

Ab diesem Punkt beginnt der beschriebene Kreislauf von vorn. Hier muss der gesamte Zyklus mit Festlegung des Zielwertes durchlaufen werden.

## 5.4. Ergebnisse des Stakeholderworkshops

Die generelle Konzeptidee eines PBAM sowie die beispielhafte Umsetzung am KPI Pünktlichkeit wurde auf einem Workshop im Dezember vor Stakeholdern aus allen betroffenen Bereichen vorgestellt (siehe Kap. 1.4). Ziel war sowohl auf übergeordneter Ebene wie auf Detaillevel Feedback und betriebliche Informationen zum Konzept zu erhalten. Als Hilfsmittel wurden dabei vorformulierte Hypothesen, Annahmen und Fragen verwendet.

Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass das Konzept eines Performance basierten Ansatzes für die am Workshop teilgenommenen Flughafen-Stakeholder momentan noch nicht vollständig nachvollziehbar ist und vor allem bisher noch in keiner Form gelebt wird. Das DLR wird hier aber klar als Treiber der Idee gesehen und in dieser Form unterstützt. Auf besonderes Interesse bei den Stakeholdern sind dabei jegliche Arten von Datenanalysen und Prognosen getroffen. Voraussetzung für eine Anwendung im Realbetrieb ist jedoch eine hohe Prognosegüte.

## 6. Verbesserung der Wettervorhersage für eine genauere Verkehrsplanung (Kombination Nowcast und Forecast)

### 6.1. Möglichkeiten und Grenzen der Wettervorhersage hinsichtlich der Anforderungen einer Vorausplanung

Die Qualität (Zuverlässigkeit) bzw. die Genauigkeit einer Wettervorhersage hängt nicht nur vom gewählten Verfahren oder dem Prädikanten (den vorherzusagenden Größen) ab sondern auch ganz erheblich von der Vorhersagezeitspanne (Abstand zwischen Ausgabezeitpunkt der Vorhersage und der Beobachtung). Für bestimmte Bereiche der Vorhersagezeitspanne haben sich mit der Zeit allgemein akzeptierte Begrifflichkeiten etabliert. Neben der Mittel- und Langfristvorhersage (drei bis zehn Tage und mehr) werden folgende Zeitspannen verwendet:

- Nowcast 0 bis 2 Stunden
- Kürzestfrist 2 bis 12 Stunden
- Kurzfrist 12 Stunden bis 3 Tage

Für Problemstellungen im Sinne von P-AIR-FORM wird eine Vorausplanzeit von bis zu fünf bzw. sechs Stunden veranschlagt. Wettervorhersagen im Sinne der zeitgenauen Anforderungen einer P-AIR-FORM Vorausplanung beziehen sich zudem auf den Flughafen und seinen Nahbereich bzw. schwerpunktmäßig auf das S/L-Bahnsystem, also auf eine relativ kleine Fläche. Andererseits können die vorherzusagenden Wetterereignisse selbst sowohl großflächig als auch kleinflächig auftreten:

- Orkane wie z.B. Kyrill mit einer mittleren Jährlichkeit von 10 bis 20 Jahren treten unter Umständen ungewöhnlich großflächig auf, lokal allerdings mit unterschiedlicher Intensität. Die Vorhersagen von Kyrill waren bereits drei Tage im Voraus zutreffend. Derartige Vorhersagen gelten als sehr zuverlässig [St\_2008].
- Zu den lokal begrenzt auftretenden Wettererscheinungen gehören z.B. Hagelstürme, die oftmals weniger als 30 Minuten andauern.

Ein Anwendungsbeispiel für Vorhersagen von Windrichtung als auch -geschwindigkeit ist die Betriebsrichtungsprognose. Grundsätzlich nimmt die Vorhersagequalität mit zunehmendem zeitlichem Prognosehorizont zu. Im Global Forecast System (GFS)-Modell wird zum Beispiel eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit (ca. 90%) für die ersten drei Tage angegeben, mit der die Betriebsrichtungsprognose zutrifft [FFR\_2006]. Allerdings werden bei derartigen Berechnungen auch stabile Wetterlagen berücksichtigt. Grenzen der Windvorhersage liegen dagegen in der zeitgenauen Prognose von temporär auftretenden Windphänomenen wie z.B. Windböen(-geschwindigkeiten) oder Windscherungen.

Die Vorhersage von Nebel- und Hochnebel ist ein in der Meteorologie noch nicht zufriedenstellend gelöstes Problem. Nebel stellt häufig ein kleinräumiges Phänomen dar, das von verschiedenen regional durchaus unterschiedlichen Parametern abhängt. Ein wichtiger Faktor für die Nebelbildung ist neben der Jahreszeit und der damit verbundenen Strahlungsintensität unter anderem auch die Feuchte in Bodennähe. Insgesamt werden elf Faktoren als die wichtigsten zur Bildung und Auflösung von Nebel genannt, unter anderem neben Jahreszeit und Bodenfeuchte auch Wetterlage, Höhenströmung, Bodenwind, Temperatur im Nebelbereich, Strahlungsbilanz und vertikaler Temperaturgradient [Dob\_2009].

Die Vorhersage von Gewittern bezieht sich ebenfalls auf ein räumlich begrenztes Phänomen, das in der Regel eine kurze Lebensdauer besitzt und sich in vielerlei Hinsicht nichtlinear bzw. chaotisch verhält [Hoff\_2008]. Bei schweren Gewittern mit Hagelschlag ist zu

berücksichtigen, dass der Hagel in sehr großen Gewitterwolken mit starken Auf- und Abwinden entsteht. Die typische Hagelsaison in Mitteleuropa erstreckt sich von April bis September eines Jahres mit einer erhöhten Gewitterwahrscheinlichkeit an den Nachmittagen. In seltenen Fällen treten auch Wintergewitter mit Hagel auf. Mit Hilfe neuerer Ansätze durch den Einsatz von Nowcasting-Verfahren lassen sich gefährliche Wetterzustände erkennen und vorhersagen. Ziel dieser Verfahren ist eine Maximierung der Vorwarnzeit und die gleichzeitige Beschränkung des Warngbietes auf einen möglichst kleinen Raum. Das vom DLR Institut für Physik der Atmosphäre entwickelte Gewitter-Nowcasting-Verfahren Cb-TRAM (Cumulonimbus Tracking And Monitoring) beinhaltet eine Detektion und Vorhersage (1 bis 2 Stunden) der aktivsten Gewitterzellen in Abständen von 5 oder 15 Minuten über ganz Europa (FABEC-Bereich). Das Tool wird am Flughafen München eingesetzt, an dem mehr als 80% aller Verspätungen im Sommer auf Gewitterwetter zurückzuführen sind. Für den Prognosehorizont von zwei bis sechs Stunden lassen sich ergänzend Prognosedaten mit Hilfe eines auf „fuzzy logic“ basierenden Ansatzes (Cb-LIKE, Thunderstorm Likelihood) bestimmen, mit dem ein sog. „thunderstorm indicator“ berechnet wird [For\_2011], [Koe\_2013].

Im Fokus der Vorhersagen von Winterwetterbedingungen stehen Niederschlags- und Temperaturprognosen. Dazu gehört nicht nur die Vorhersage von Niederschlagsart und –menge mit möglichst hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung sondern auch die Verknüpfung dieser Vorhersagen z.B. mit Kontaminierungsgraden von Betriebsflächen des Flughafens und Maßnahmen zur Flächenenteisung.

Je nach Wetterereignis und zugrundeliegenden ATM-Regularien ergeben sich insgesamt unterschiedliche Anforderungen an eine Wettervorhersage für eine Vorausplanung. Für den Verkehr auf einer S/L-Bahn werden z.B. Wetterprognosen mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Genauigkeit (z.B. Anfang und Dauer der Störung) vorausgesetzt. Insbesondere die punktgenaue Vorhersage für räumlich begrenzt auftretende Gewitterphänomene wie Hagel als auch deren Intensität stellen eine komplexe Aufgabe dar und unterscheiden sich hierdurch von Prognosen großräumiger Wetterereignisse wie Sturm- oder Orkantiefs.

Die Ziele der meteorologischen Arbeiten im Projekt waren:

- durchgängig hochqualitative und konsistente Vorhersage von jetzt bis zu 6 Stunden und
- an den Anforderungen der prä-taktischen Aufgaben orientierte maßgeschneiderte Produkte

zu liefern. Konkret wurden Nowcast-Verfahren von Winterwetterereignissen am Flughafen entwickelt, Nowcast und Forecast im WxFUSION Expertensystem durch ein Verfahren zur Auswahl der besten Glieder des Vorhersage-Ensembles kombiniert und mit Cb-LIKE ein Vorhersagesystem entwickelt, das einen Gewitterindikator und die Gewittereintrittswahrscheinlichkeit bis zu 6 Stunden im Voraus berechnet.

## 6.2. Winterwetter

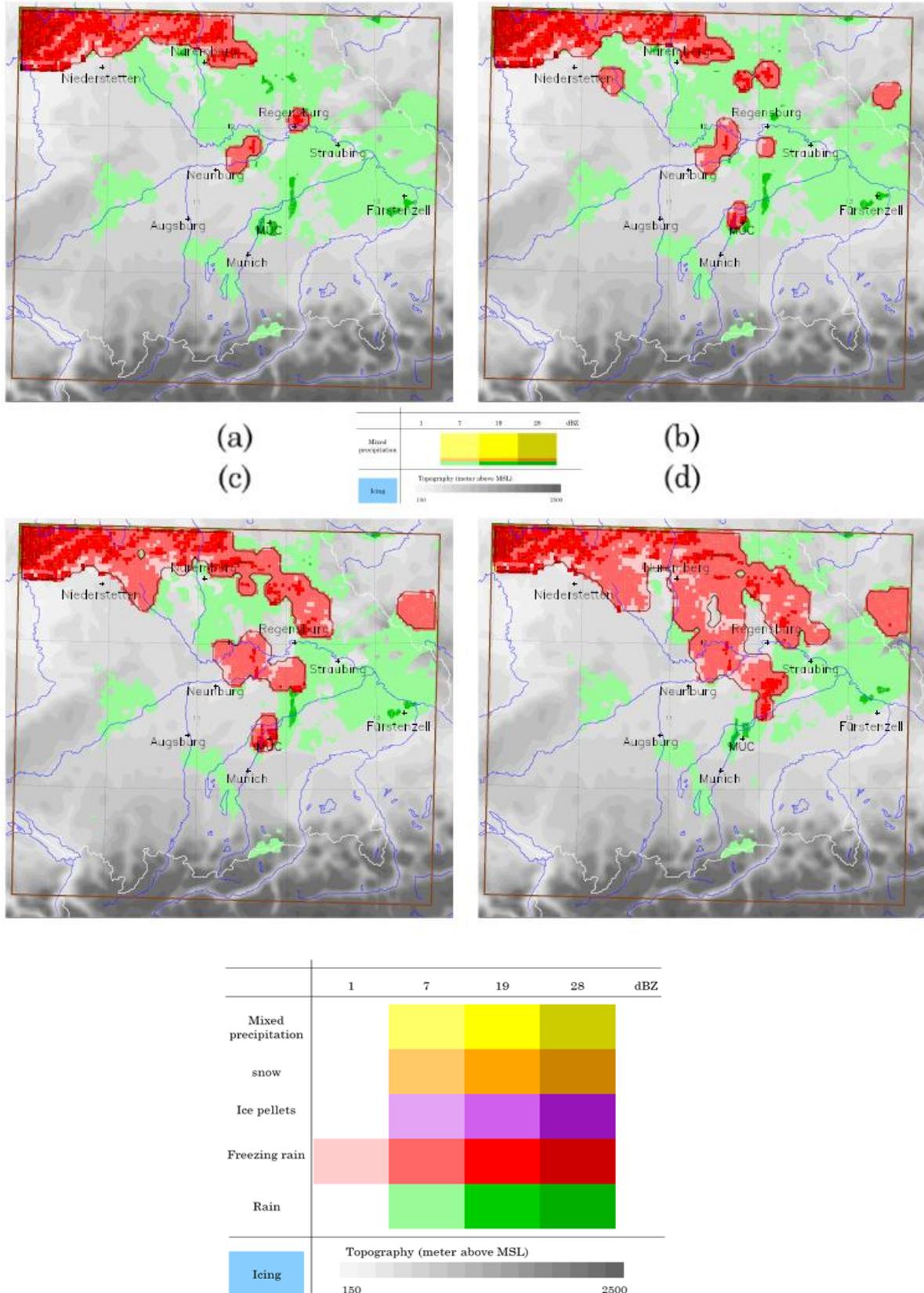
Die Abläufe an einem Flughafen werden stark von winterlichem Wetter wie Schneefall, gefrierendem Regen und Nieselregen, sowie durch niedrige Wolkenuntergrenzen und eingeschränkte Sicht behindert. Daraus resultieren Verspätungen und Flugausfälle. Die Betriebsflächen am Flugplatz müssen gereinigt und Flugzeuge enteist werden. Um die beeinträchtigten Planungs- und Abwicklungsprozesse doch noch unter solchen Bedingungen optimieren zu können, sind für das Flughafenmanagement die Kurzzeitvorhersage (nowcast) von Beginn, Dauer und Art des Niederschlags und der Vereisungssituation auf den Flächen und am Fluggerät von besonderer Wichtigkeit.

Das automatisierte Winterwetter-Nowcast-System WHITE (Winter Hazards In Terminal Environment – Teilentwicklungen in P-AIR-FORM); [Keis\_2014] wurde entwickelt, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Es assimiliert verschiedene in-situ und fernerkundlich gemessene meteorologische Parameter, kombiniert typische Schwellenwerte für verschiedene Winterwetterszenarien mittels Fuzzy Logic und erzeugt dreidimensionale Wetterobjekte, die die kritischen Wettersituationen (also z.B. „gefrierender Regen“ oder „Schneefall“) räumlich darstellen. Indem sowohl die Analyse (der Zustand „jetzt“) als auch die Vorhersagezeiträume von bis zu 2 Stunden ausgegeben werden, können damit Beginn und Ende einer Situation erfasst werden.

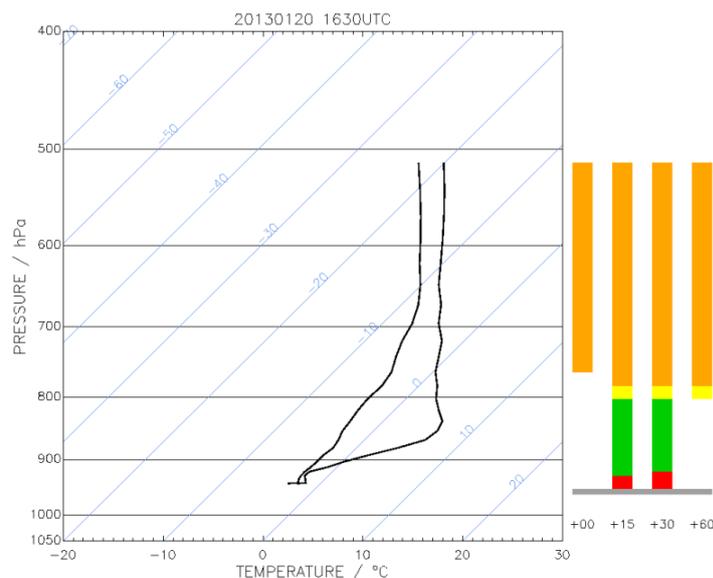
Am Nachmittag des 20. Januar 2013 musste am Flughafen Frankfurt der Betrieb für mehrere Stunden eingestellt werden, weil aufgrund einer starken Vereisungssituation ein Enteisen der Flugzeuge nicht länger möglich war. Auch für den Münchner Flughafen hatte der DWD zwischen 15:30 und 18:00 UTC gefrierenden Regen prognostiziert. Tatsächlich wurde nur um 17:00 UTC für kurze Zeit gefrierender Nieselregen beobachtet, der keine Auswirkung auf den Betriebsablauf hatte.

WHITE war in der Lage, durch Assimilation der neuesten Messdaten diese Situation eine Stunde im Voraus richtig vorherzusagen: In Abbildung 19 ist diese Situation in der Analyse und der Vorhersage für die unterste Modellschicht 2 m über Grund dargestellt. Zur Zeit der Analyse strömte warme Luft aus Südwesten in das Gebiet. Diese Luft glitt über die vorhandene kalte Luft auf, so dass sich eine Warmfront bildete, in der fester Niederschlag schmolz oder verdampfte und dann in die kalte Luft am Boden einfiel und in ihr unterkühlte, siehe dazu die Vertikalprofile und die Vorhersage der Wetterobjekte am Flughafen München in Abbildung 20. Für 16:30 analysierte WHITE Regen über dem Flughafen (also keine kritische Situation), sagte aber für 16:45 und 17:00 gefrierenden Regen voraus, der nach einer Stunde (17:30) wieder in normalen Regen übergehen sollte, so wie es dann auch tatsächlich eintrat.

Ein Vergleich mit Niederschlagsradardaten (grüne Bereiche in Abbildung 19) zeigt außerdem, dass WHITE auch Gebiete ohne Niederschlag richtig vorherzusagen vermag. Nur mit den gemessenen Niederschlagsdaten alleine wäre die Situation nicht richtig bewertet worden. Die in der Abbildung als rote Flächen mit schwarzen Konturen dargestellten Objekte zeigen Kurzzeitvorhersagen, die mit dem dann beobachteten Wetter gut übereinstimmen. Zum Beispiel werden ausgedehnte Gebiete mit gefrierendem Regen über Mittelfranken vorhergesagt. Der Flughafen Nürnberg meldet dann tatsächlich dieses Phänomen um 16:00, 17:00 und 18:00 UTC. Auch in Regensburg fällt gefrierender Regen um 17:00 und 18:00 UTC, während um 16:00 noch kein Niederschlag gemessen wurde.



**Abbildung 19: Darstellung von mit WHITE berechneten Winterwetterobjekten** (schwarz umrandet) in der untersten Modellschicht 2 m über Grund für den 20. Januar 2013 um 16:30 UTC. Grüne Flächen markieren die Niederschlagsgebiete, die vom Wetterradar beobachtet wurden. (a) Situation zur Analysezeit, 16:30, (b) bis (d) nowcast von +15, +30 und +60 Minuten.



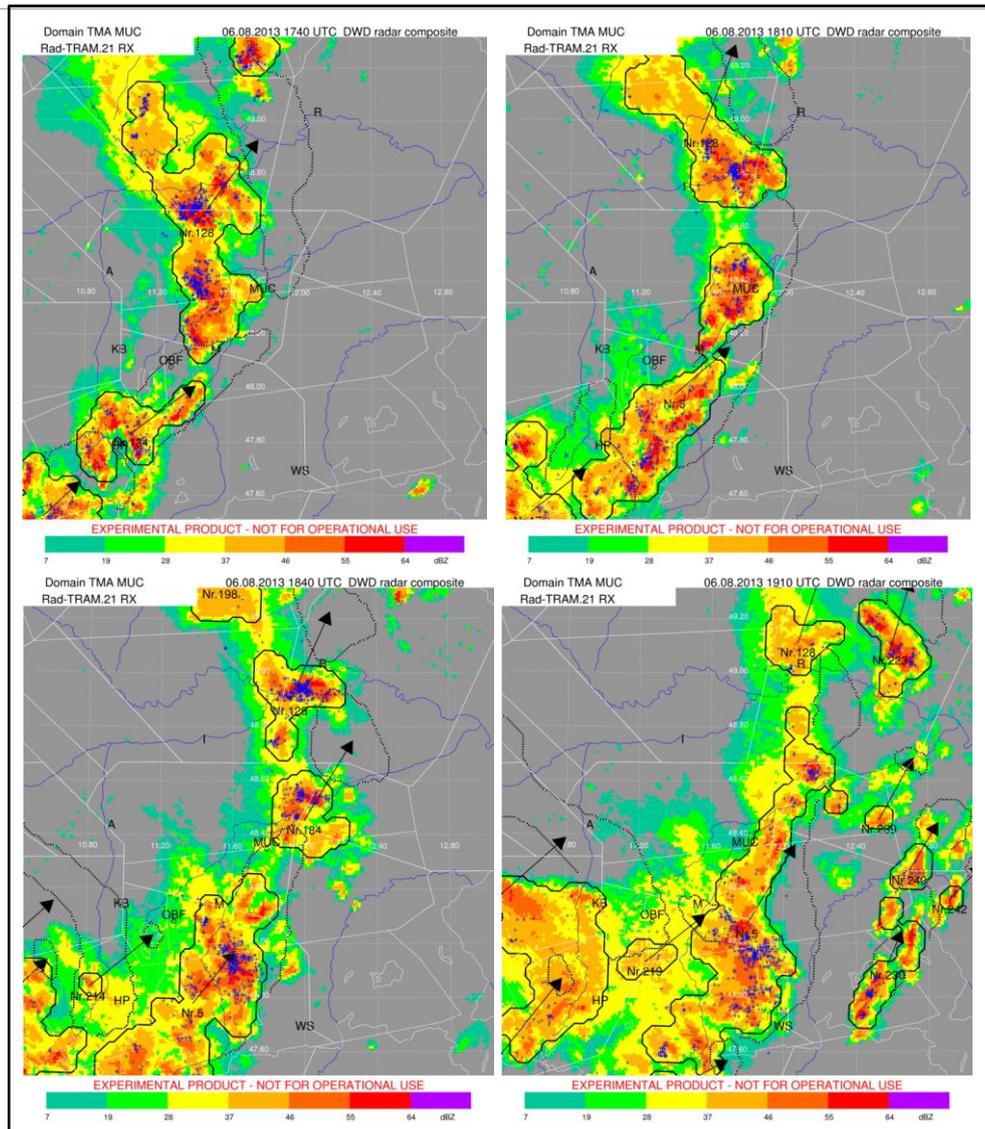
**Abbildung 20: Profile von Temperatur und Feuchte am 20. Januar 2013 um 16:30 UTC am Flughafen München im vereinfachten Skew-T-Diagramm**

Die Farbbalken rechts symbolisieren die zugehörigen vertikalen Wetterobjekte. (Farben wie in Legende der Abbildung 19)

### 6.3. Gewitter

Gewitter beinhalten mit Turbulenz, Vereisung, Hagel, Starkregen, Blitzen und reduzierter Sicht eine Vielzahl von Wetterphänomenen, die der Fliegerei gefährlich werden könnten. Wenn ein Gewitter beispielsweise über einen Flughafen zieht, müssen alle Arbeiten am Boden eingestellt werden. Ggf. müssen auch Flüge umgeleitet, sicher aber verzögert werden. Rechtzeitige, maßgeschneiderte und leichtverständliche meteorologische Informationen über die Gewitterposition und -entwicklung können helfen, solche Situationen zu entschärfen. Gefragt sind Analysen, Kurzzeitvorhersagen und Vorhersagen bis zu mehreren Stunden von Gewittersituationen.

Zur Analyse und Vorhersage von Gewitterzellen bis zu 1 Stunde werden Niederschlagsdaten des Wetterradarnetzwerks des DWD (Deutscher Wetter Dienst) durch den Algorithmus Rad-TRAM ausgewertet [Kober und Tafferner\_2009]. Abbildung 21 stellt analysierte und vorhergesagte Gewitterzellen am 6. März 2013 in der Umgebung des Flughafens München zwischen 17:40 und 19:10 UTC dar. Der Vorgang der Analyse und Vorhersage wird alle 5 Minuten wiederholt, wenn neue Radardaten vorliegen, so dass man auch einen Eindruck von der Verlässlichkeit oder Variabilität der Vorhersage, also letztlich ein Maß für die Vorhersagbarkeit der Situation erhält.



**Abbildung 21: Reflektivitätsdaten (in dBZ) des deutschen Wetterradarnetzwerks (farbkodiert) und Konturen der von Rad-TRAM erkannten Zellen mit Starkniederschlag oder Hagel in der Umgebung des Münchner Flughafens.**

Durchgezogene schwarze Linien markieren die beobachteten Zellen mit Reflektivitäten von  $\geq 37$  dBZ; gepunktete Linien markieren die Zellpositionen in 1 Stunde; Pfeile deuten die Zugrichtung der Gewitterzellen an.

Der Zeithorizont von 1 Stunde für die Vorhersage der Verlagerung und Veränderung der Gewitterzellen (mittels Rad-TRAM) wird mittels Cb-LIKE auf 6 Stunden ausgedehnt. Cb-LIKE [Köhler et al. 2015] nutzt den Fuzzy-Logic-Ansatz, um stündlich verfügbaren Output des COSMO-DE (Operationelles numerisches Wettervorhersagemodell des DWD für Deutschland) -Modells des DWD miteinander zu verknüpfen, nämlich convective available potential energy (CAPE), vertical velocity at 500 hPa pressure level, synthetic radar reflectivity und cloud top temperature (Tabelle 5).

Parameter	x-Bereich	Fuzzy-Input Sets	Überlappung
CAPE	0 bis 2000 J/kg	nied.: 0 bis 600 J/kg mod.: 400 bis 1200 J/kg hoch: 1000 bis 2000 J/kg	400 bis 600 J/kg 1000 bis 1200 J/kg
Omega (500 hPa)	0 bis -140 hPa/h	nied.: 0 bis -40 hPa/h mod.: -20 bis -120 hPa/h hoch: -100 bis -140 hPa/h	-20 bis -40 hPa/h -100 bis -120 hPa/h
Temperatur an Wolkengrenze (IR 10.8)	200 bis 280 K	nied.: 200 bis 230 K mod.: 220 bis 260 K hoch: 250 bis 280 K	220 bis 230 K 250 bis 260 K
Radarreflektivität	0 bis 60 dBZ	nied.: 0 bis 25 dBZ mod.: 15 bis 45 hPa/h hoch: 35 bis 60 hPa/h	15 bis 25 dBZ 35 bis 45 dBZ

**Tabelle 5: vier im Cb-LIKE-Algorithmus verwendete meteorologische Parameter, mit denen Gewitter indiziert werden**

Es sind die Wertebereiche der Parameter, die Bereiche der unscharfen Eingabedaten, sowie die Überlappungen zwischen den linguistischen Grenzen angegeben.

Diese Parameter werden zuerst mit Hilfe sog. fuzzy input sets in unscharfe („fuzzy“) Variablen, ausgedrückt durch Linguismen, transformiert. Dann werden sie mittels „if ... then“ Entscheidungsregeln kombiniert und den fuzzy output sets zugeordnet. Im dritten Schritt wird der Gewitterindikator bestimmt, der Werte zwischen 11,66 und 88,33 annehmen kann. Je größer der Wert, umso mehr deuten die vier Eingangsparameter auf ein Gewitterereignis hin. Dieser Prozess wird an jedem Gitterpunkt des COSMO-DE-Modells, also z.B. für ganz Deutschland durchgeführt, so dass man eine Karte des Gewitterindikators für Deutschland in den nächsten 6 Stunden erhält. Schlussendlich werden mit Hilfe von Maßen für die Vorhersagegüte (hier das false-alarm ratio, FAR), die man vorab während Testkampagnen in den Sommermonaten ermittelt, die Indikatoren in Eintrittswahrscheinlichkeiten für Gewitter übersetzt, siehe Tabelle 6.

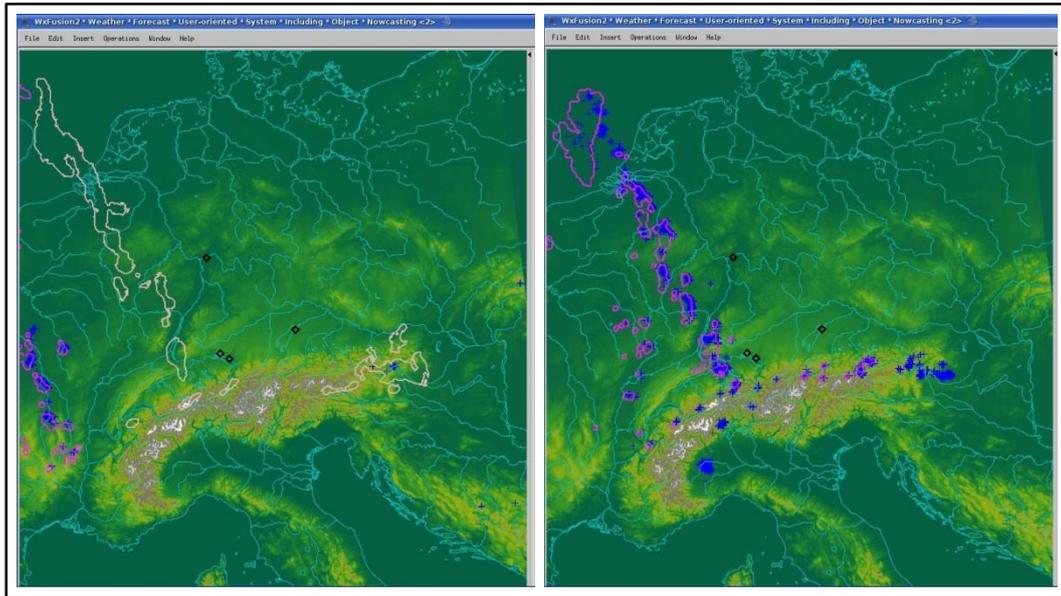
Indikator	Mittleres FAR	Gewitterwahrscheinlichkeit
20	0,47	53 %
30	0,40	60 %
40	0,35	65 %
50	0,21	79 %
60	0,18	82 %
70	0,14	86 %
80	0,10	90 %

**Tabelle 6: Übersetzung des Gewitterindikators in eine Gewittereintrittswahrscheinlichkeit mithilfe des Gütemaßes False-Alarm-Ratio (FAR)**

Der DWD betreibt das COSMO-DE-Modell im sog. Ensemble-Modus, d.h. zu jedem Ausgabezeitpunkt liegen Daten mehrerer COSMO-DE-Läufe vor. Um das Ergebnis zu optimieren, sucht Cb-LIKE deshalb vor dem oben angedeuteten Fuzzy-Logic-Schritt das Mitglied des Ensembles, das die gegenwärtige Beobachtung am besten wiedergibt, d.h. Cb-LIKE trifft eine best-member Auswahl. Dazu werden die aus den synthetischen Radarreflektivitätsfeldern eines jeden COSMO-DE-Laufs mit Rad-TRAM erkannten synthetischen Gewitterzellen mit realen Zellen aus den Beobachtungen aus dem Wetterradarkomposit verglichen. Der Reflektivitätswert 37 dBZ unterscheidet dabei potentiell gefährliche Starkregen/Hagel-Ereignisse von ungefährlichem Regen. Das Beispiel einer 6h Vorhersage des Gewitterindikators ist in Abbildung 22 dargestellt.

In der Meteorologie sucht man nach Möglichkeiten verschiedene Werkzeuge der Vorhersage (z.B. nowcasting, forecasting) für den Nutzer ohne Brüche darzustellen („seamless

prediction“). In diesem Kontext ist es erwähnenswert, dass der Schritt der Auswahl des besten Ensemblemembers die Analyse und die Kurzzeitvorhersage durch Rad-TRAM mit der längerfristigen Vorhersage durch Cb-LIKE verbindet, so dass die meteorologische Information konsistent und ohne Brüche zur Verfügung steht.



**Abbildung 22: Beispiel einer Cb-LIKE Vorhersage.**

Links: 6h Vorhersage des Indikatorwerts von 50 (weiße Konturen) mit beobachteter Gewitteraktivität um 12:00 UTC (blaue Kreuze markieren gemessene Blitze, lila Konturen sind Rad-TRAM-Objekte aus Wetterradarbeobachtungen). Rechts: eingetretene Gewitteraktivität (erkannt durch Rad-TRAM und Blitze) um 18:00 UTC.

Die Nutzung der verbesserten Vorhersage (d.h. der Auftretenswahrscheinlichkeit an einem Ort zu einer bestimmten Zeit) eines aufgezeichneten Gewitters in der Simulation wird im Kap. 9 näher beschrieben.

## 7. Einfluss des Wetters auf eine Vorausplanung des Luftverkehrs

### 7.1. Einführung in die Thematik

Die Auseinandersetzung mit der Thematik „Einfluss des Wetters auf eine Vorausplanung“ umfasst neben dem (wetterbedingten) ATM-Regelwerk ([Dok\_Wetter]) auch Aspekte wie die Betrachtung und Einordnung kritischer meteorologischer Bedingungen, deren Wirkung auf die einzelnen Phasen der Verkehrsabwicklung sowie resultierende Anforderungen an Wettervorhersagen für eine Vorausplanung des Luftverkehrs.

Für das wetterbezogene ATM-Regelwerk lassen sich Informationen aus verschiedenen Quellen zusammentragen:

- „Betriebsanweisungen für den Flugverkehrskontrolldienst BA-FVK“ der Deutschen Flugsicherung, Empfehlungen von internationalen Organisationen wie ICAO oder IATA,
- Flughafenbenutzungsordnungen bzw. Betriebsabsprachen auf lokaler Ebene von Flughäfen,
- Technische Dokumentationen bzw. Empfehlungen von Flugzeugherstellern oder Fluggesellschaften sowie
- Andere Regelwerke wie z.B. Arbeitsschutzbestimmungen auf Flughäfen, die u.a. in Dokumenten der gesetzlichen Unfallversicherung zu finden sind.

Die Angaben können unvollständig sein, z.B. bei der Regelung des Verkehrs in Ausnahmesituationen wie schwerem Gewitter.

Oft besteht noch Unklarheit darüber, unter welchen Bedingungen Vorausplanungen sinnvoll erscheinen. Begründet z.B. der mit dem windbedingten Wechsel gängiger Betriebskonzepte verbundene Kapazitätsverlust eine P-AIR-FORM Anwendung? Oder ist bei einer kreuzenden Bahnkonfiguration die prognostizierte Umstellung z.B. auf ein „single mode“-Konzept (Bahnnutzung: Bahnen werden entweder nur für Landungen oder nur für Starts genutzt) maßgebend für eine derartige Anwendung?

In einem Arbeitspapier der PRU/ATMAP-Gruppe [PRU\_2011] wurden meteorologische Bedingungen festgelegt, in deren Folge die Leistungsfähigkeit an Flughäfen besonders stark eingeschränkt ist. Dazu zählen CAT II, III-Sichtbedingungen, Windgeschwindigkeiten über 30 kt., starke Niederschläge, gefrierende Bedingungen sowie gefährliche Phänomene (wie z.B. Gewitter), denen ein nicht vorhersagbarer Einfluss unterstellt wird. Allerdings zeigt das Beispiel Flughafen Frankfurt, dass schon moderate Änderungen der Windverhältnisse einen starken Einfluss auf Kapazität und Verkehrsabläufe nehmen können. So ist beim Überschreiten der kritischen Rückenwindkomponente der Startbahn West mit ungleich höherem ATM-Aufwand und Steuerungsaufwand zu rechnen als beispielsweise bei einem routinemäßig durchgeführten Betriebsrichtungswechsel aufgrund veränderter Rückenwindlagen.

Nicht unbedeutend ist der Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung und Wettereinfluss. So können bereits moderate Wetterbeeinträchtigungen bei am Kapazitätsmaximum operierenden Flughäfen zu erheblichen Störungen der Verkehrsabläufe führen. Zusätzliche Belastungen können sich bei selten bzw. unerwartet (im Sinne von Zeit und Ausprägung wie z.B. bei Schneefall außerhalb der Wintersaison) auftretenden Wetterereignissen ergeben.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass die einzelnen Flughäfen über unterschiedliche Ausrüstungen und Leistungsfähigkeiten verfügen.

Bei Verkehrsabläufen am S/L-Bahnsystem zeigen sich die sensitivsten Wirkungen auf meteorologische Einflüsse, zu denen insbesondere die Parameter Seitenwind, Sicht sowie Bahnkontaminierung infolge von Niederschlägen gehören. Das entsprechend z.T. flughafenspezifisch ausgestaltete ATM-Regelwerk sieht hier in Abhängigkeit von festgelegten (flugzeugtypabhängigen) Grenzwerten der genannten Parameter ein Spektrum von Maßnahmen vor wie erhöhte Staffellungen, veränderte Bahnnutzungsstrategien bis hin zu einer Bahnschließung. Die letztgenannte Option ist eher ein seltenes Ereignis, da im Einzelfall letztendlich der Pilot die Entscheidung z.B. für die Durchführung einer Landung auf einer kontaminierten Bahn oder für das Umfliegen einer Gewitterzelle trifft. Konkret sind dagegen die Bestimmungen bei Gewitter mit Blitzschlag im Vorfeldbereich. Anhand von Zeit- und Abstandskriterien wird festgelegt, wann Arbeiten im Freien erfolgen können.

Je nach Wetterereignis und zugrundeliegenden ATM-Regularien ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an eine Wettervorhersage für eine Vorausplanung. Für den Verkehr auf einer S/L-Bahn werden z.B. Wetterprognosen mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Genauigkeit (z.B. Anfang und Dauer der Störung) vorausgesetzt. Insbesondere die Forderung nach einer möglichst (punkt-)genauen Vorhersage von räumlich begrenzt auftretenden Gewitterphänomenen wie Gewitter mit Hagelschlag als auch deren Intensität stellen eine komplexe Aufgabe dar und unterscheiden sich hierdurch von Prognosen großräumiger Wetterereignisse wie Sturm- oder Orkantiefs.

## 7.2. Einfluss des Wetters in P-AIR-FORM

Zu den Zielen des DLR-internen Projektes P-AIR-FORM gehört die Effizienzsteigerung im operativen Betrieb eines Flughafens auf der Basis eines prä-taktischen Planungssystems. Ein Aspekt bildet die Wirkung (verbesserter) Wettervorhersagen auf die Planung des Flughafenbetriebs, um rechtzeitig im Störfall entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Gegenstand dieser Erörterung ist ganz allgemein die Bedeutung des Wetters für eine Vorausplanung des Luftverkehrs.

Als Eingangsbeispiel sei auf den häufig in Verbindung mit schweren Gewittern auftretenden schweren Hagelschlag verwiesen. Dieser tritt zwar räumlich sehr begrenzt auf, hat aber in betroffenen Gebieten unter Umständen hohe Schadenssummen durch Beschädigung und Zerstörung von Gebäuden oder Fahrzeugen zur Folge. Durch entsprechende Maßnahmen lassen sich viele der Schäden nicht ganz vermeiden, jedoch aber reduzieren [Hoff\_2008]. Beispielsweise hätten beim Hagelunwetter am Flughafen München von 1984 bei entsprechender Vorwarnzeit die massiven Schäden an Flugzeugen zumindest teilweise durch entsprechende Maßnahmen wie das Abstellen der Maschinen in Hangars verringert werden können.

Eine Voraussetzung für eine effektive Vorausplanung in der Steuerung des Luftverkehrs sind Wetterprognosen mit einer möglichst hohen räumlichen und zeitlichen Genauigkeit, da sich die Wirkungen der meteorologischen Einflüsse auf kleine räumliche Gebiete beschränken können. Ein System zur Vorausplanung der Kapazität benötigt nicht nur eine genaue sondern auch eine frühestmögliche Wettervorhersage mit einem zeitlichen Horizont von bis zu sechs Stunden.

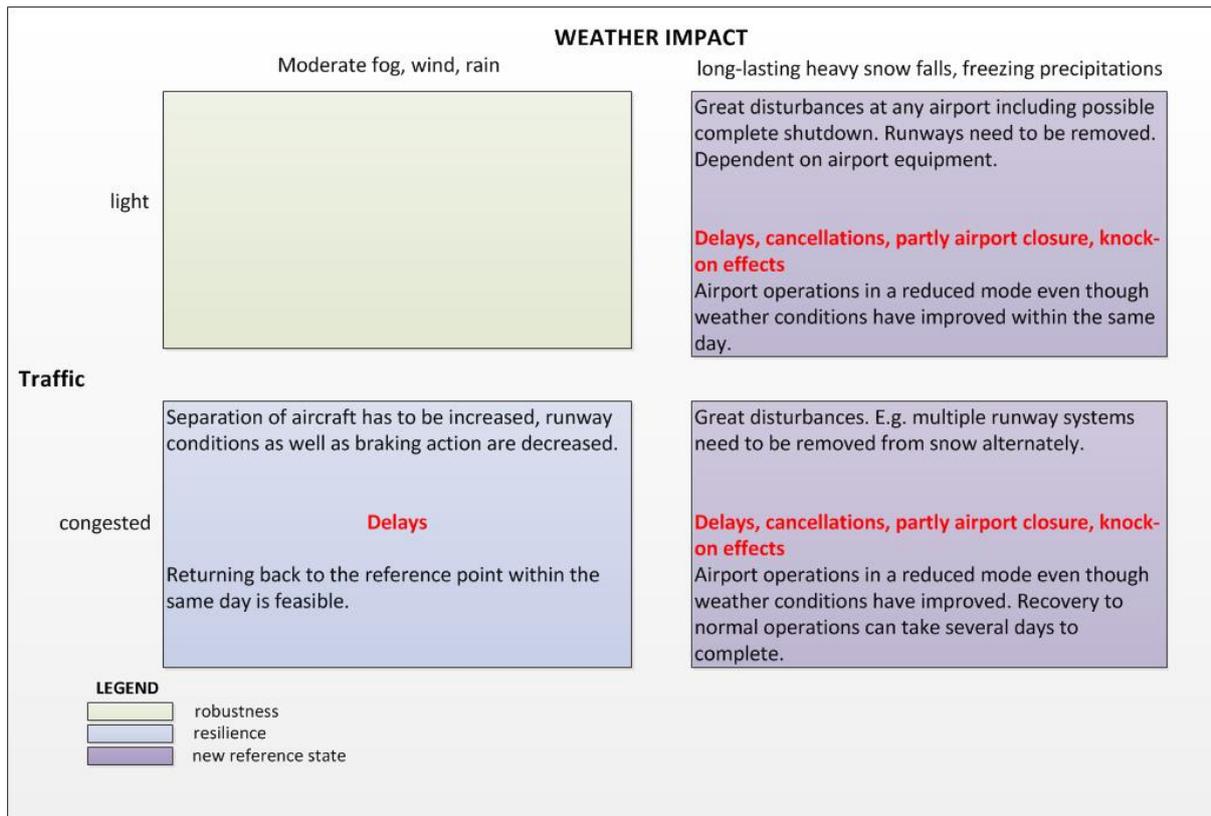
Schon das Beispiel *Flughafen Frankfurt* zeigt, dass alleine beim Überschreiten von Rückenwindtoleranzen mit unterschiedlich aufwendigen Steuerungsmaßnahmen zu rechnen ist (siehe Tabelle 7).

	Allgemeiner Regelbetrieb	(Lokale) Grenzwerte	ATM-Regelwerk bei Grenzwert-Überschreitung
Parallelbahnen	Starts und Landungen gegen den Wind	Aufrechterhaltung der BR25 wg. Lärmschutz bis zu einer Rückenwindkomponente im Mittel von 5 Knoten (§32b LuftVG)	<b>Routinebetrieb:</b> Betriebsrichtungswechsel
Startbahn West (18)	Betrieb nur in einer Richtung	Zulässige Rückenwindkomponente bis zu 15 Knoten	- <b>Abhängigkeit vom Flugzeugtyp,</b> - <b>offerierte Nutzung kann abgelehnt werden,</b> - <b>Umleitung von Abflügen auf Parallelbahnen.</b>

**Tabelle 7: Kritische Rückenwindkomponenten am Flughafen Frankfurt ([Dok\_Wetter])**

Ein weiteres Beispiel für einen kritischen Windeinfluss ist der *Flughafen Hamburg* mit zwei sich kreuzenden Pisten („intersecting runways“). Neben Umgebungseinflüssen wie Sicht und einer Begrenzung der Lärmemissionen in den Tagesrandstunden sind hier die Windverhältnisse bei Durchführung einzelner Betriebskonzepte (z.B. Anflug RWY 23, Abflug RWY 33 bei keinem bzw. geringem Wind) maßgebend. Allerdings unterscheiden sich die drei gängigen Konzepte der Zweibahnnutzung untereinander hinsichtlich ihrer Kapazität. So ergeben sich zwischen der Bedingung mit keinem bzw. wenig Wind und den beiden Bedingungen mit mäßigem Wind aus südlicher bzw. östlicher Richtung Eckwertunterschiede von bis zu acht Bewegungen pro Stunde.

Eine besondere Bedeutung hat der Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung und Wittereinfluss [Sch\_2013]. Abbildung 23 zeigt, dass bei extremen Wittereinflüssen wie z.B. langanhaltenden Schneefällen in jedem Fall unabhängig vom Ausmaß der Verkehrsbelastung (Nutzung der zur Verfügung stehenden Kapazität) mit starken Verkehrsbeeinträchtigungen z.B. durch Bahnsperren infolge von Maßnahmen zur Flächenenteisung zu rechnen ist. Andererseits können moderate Wetterbeeinträchtigungen je nach Verkehrsbelastung des Flughafens zu unterschiedlich starken Störungen der Betriebsabläufe führen.



**Abbildung 23: Verkehrsbelastung und Wettereinfluss [Sch\_2013]**

Im nächsten Kapitel werden Möglichkeiten der Einordnung und Klassifizierung kritischer Wettererscheinungen betrachtet. Abseits der Frage nach einer Abgrenzung zu wetterbedingten Änderungen von Verkehrsabläufen im Routinebetrieb eines Flughafens (z.B. Bahnrichtungswechsel) werden als Beispiel für den Einsatz einer P-AIR-FORM Vorausplanung meteorologische Einflüsse wie „Gewitter über dem Flughafen“ betrachtet. Inhalt des nachfolgenden Kapitels ist der Einfluss kritischer Wettererscheinungen auf die unterschiedlichen Phasen der Verkehrsabwicklung. Am Beispiel von Winterwetter und schweren Gewittern mit ausgeprägten Begleitphänomen (z.B. orkanartigen Böen, Starkniederschlägen) sollen die unterschiedlichen Belastungen in den verschiedenen Phasen der Verkehrsabwicklung aufgezeigt werden. Das Kapitel Wetter und ATM-Regelwerk soll schließlich klären, welche allgemeingültigen bzw. lokalen Regelungen an Flughäfen in spezifischen Wettersituationen Anwendung finden. Im vierten Unterkapitel werden die Möglichkeiten und Grenzen der Wettervorhersage für Anforderungen einer Vorausplanung erörtert. In diesem Zusammenhang wird darauf verwiesen, dass die Güte der Wettervorhersagen nicht nur von der Vorhersagezeitspanne sondern auch von anderen Faktoren wie z.B. auch den vorherzusagenden Wetterereignissen selbst abhängig ist. Auch auf die Möglichkeiten und Entwicklung neuerer Verfahren des Gewitter-Nowcastings wird hingewiesen.

### 7.3. Kritische Wettererscheinungen

Wetterereignisse am Flughafen bzw. in dessen Nahbereich können sich mit unterschiedlichen Konsequenzen störend auf die Abwicklung des Luftverkehrs auswirken, z.B. falls eine Gewitterzelle im Flughafennahbereich An- bzw. Abflougrouten kreuzt oder nicht. Bestimmte Wettersituationen gehören zum Routinebetrieb eines Flughafens und stellen keine größeren Einschränkungen für den Flughafenbetrieb dar. Beispiele sind

- der Betriebsrichtungswechsel aufgrund sich ändernder Windverhältnisse oder
- veränderte Sicht- bzw. Bewölkungsbedingungen beim Übergang von VMC („Visual Meteorological Conditions“) zu IMC („Instrument Meteorological Conditions“): Bei den unter VMC Bedingungen durchführbaren Flügen kann der Pilot nach Sichtflugregeln (VFR) die Verantwortung für die Separation zu anderen Flugzeugen übernehmen, was zu einer höheren Kapazität des Systems führen kann.

Als kritisch werden dagegen Wettereinflüsse außerhalb des Routinebetriebs gesehen, die betriebliche Beeinträchtigungen bis hin zu Bahnsperren zur Folge haben bzw. für einen Flughafen unerwartet oder auch selten auftreten. Dabei ist nicht auszuschließen, dass Flughäfen trotz ähnlicher (Wetter-)Bedingungen eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit z.B. hinsichtlich der gemessenen Verkehrsflüsse oder Verspätungen aufweisen. Selbst ein einzelner Flughafen kann an verschiedenen Tagen bei vergleichbaren Wetterbedingungen durchaus Unterschiede in den Bewertungsparametern aufweisen [PRU\_2011]. Ursache können unterschiedliche Verkehrsbelastungen, Infrastrukturen und Ausrüstungen der Flughäfen sein, mit denen sie auf ungünstige Wetterbedingungen reagieren.

Einen möglichen Ansatz zur Identifizierung „kritischer Wettererscheinungen“ stellen die von der Performance Review Unit (PRU) in Zusammenarbeit mit der ATMAP-Gruppe entwickelten Algorithmen zur Bewertung des Einflusses von Wetter auf die Leistungsfähigkeit von Flughäfen dar. In diesem Ansatz werden folgende Begriffe eingeführt:

- Ein „Wetterphänomen“ bezeichnet ein einzelnes meteorologisches Element, das die Sicherheit des Flugbetriebs beeinflusst.
- „Wetterklasse“ beinhaltet eine Gruppe von Wetterphänomenen, die auf die Leistungsfähigkeit eines Flughafens einwirken.
- Der Schweregrad („severity code“) kennzeichnet den Status einer Wetterklasse vom besten bis zum schlechtesten Wert, während der „Koeffizient“ auch Fälle von möglichen nichtlinearen Verhalten einzelner meteorologischer Phänomene berücksichtigen soll..

„Wetterphänomen“	<b>Definition</b> Meteorologisches Element	<b>Wirkung</b> Sicherheit des Flugbetriebs
„Wetterklasse“	Gruppe von Wetterphänomenen	Leistungsfähigkeit eines Flughafens

Abbildung 24: Begriffe „Wetterphänomen“ bzw. „Wetterklasse“ nach [PRU\_2011]

Insgesamt werden die fünf Wetterklassen „Wolkengrenze und Sicht“, „Wind“, „Niederschläge“, „Gefrierende Bedingungen“ und „Gefährliche Phänomene“ unterschieden. Im Zusammenhang mit gefährlichen Phänomenen (Beispiele: Sandsturm, Tornado, Hagel) wird festgestellt, dass im Allgemeinen eine Konfrontation mit derartigen Phänomenen in der Luftfahrt vermieden wird und in der Regel zu einer Unterbrechung des Flugbetriebs am Flughafen führt..

Tabelle 8 zeigt exemplarisch die Wetterklassenbedingungen mit besonders hohen Koeffizienten in den einzelnen Wetterklassen [PRU\_2011]. In den folgenden Kapiteln werden schwerpunktartig Winter- und Gewitterwetterbedingungen betrachtet. Insbesondere starke Gewitter als komplexe meteorologische Erscheinungen können mit Begleiterscheinungen wie orkanartigen Böen, Turbulenzen, starken Niederschlägen wie Regen oder Hagel verbunden sein und zu Behinderungen bzw. Einschränkungen in allen Phasen der Verkehrsabwicklung eines Flughafens führen.

Wetterklasse	Bedingung	Kommentar
Bewölkung und Sicht	CAT II, CAT III - Sichtverhältnisse	“Low visibility“-Betrieb. Erhöhte ILS-Staffelungsminima. Komplexität in der Verkehrsabwicklung. Einschränkungen auch für Starts unter CAT III.
Wind	Windgeschwindigkeit > 30 kt	Zunehmender Einfluss auf die LFZ-Geschwindigkeit über Grund. Erreichen des Grenzwertes für die Seitenwindkomponente.
Niederschläge	Gefrierende Niederschläge, (starker) Schneefall	Erhebliche Ausrüstung und komplexe Verfahren, um sichere Start- und Landeverfahren zu gewährleisten.
Gefrierende Bedingungen	Z.B. irgendeine Form von Niederschlag bei einer Temperatur $\leq -15^{\circ}\text{C}$	Einschränkende Bedingungen selbst für Flughäfen in Skandinavien
Gefährliche Phänomene	Z.B. Reif/Frostgraupel, Tornado, Staub- bzw. Sandsturm, Vulkanasche, Hagel, Eiskörper, (starkes) Gewitter(wolken).	Sicherheit des Flugzeugbetriebs in Gefahr. Zu meidende Phänomene.

**Tabelle 8: Wetterklassen der PRU/ATMAP-Gruppe mit hohen Koeffizienten [PRU\_2011]**

#### 7.4. Einfluss des Wetters auf die verschiedenen Bereiche der Verkehrsabwicklung

Der Wettereinfluss am Flughafen bzw. in dessen Nahbereich kann sich deutlich von dem im Streckenflug unterscheiden. So ist z.B. Clear Air Turbulence (CAT) eher ein typisches Problem für den Streckenflug. Andere Wettererscheinungen wie z.B. Gewitter sind ein generelles Problem für den Luftverkehr, während sich Nebel vorwiegend auf den Bodenverkehr eines Flughafens auswirkt.

Auch die einzelnen Bereiche der Verkehrsabwicklung am Flughafen wie TMA, Start-/Landebahnsystem, Taxiways, Vorfeld und Abfertigungspositionen können von den einzelnen kritischen Wetterereignissen unterschiedlich stark beeinträchtigt sein. Am Beispiel von Winterwetter und schweren Gewittern mit intensiven Begleitphänomen (z.B. orkanartigen Böen, Starkniederschlägen) lassen sich unterschiedliche Belastungen in den verschiedenen Bereichen wie folgt aufzeigen.

### Luftraum des Flughafen-Nahbereichs (TMA)

So können sich schwere Gewitter und dessen möglichen Begleitphänomene auf mehrere der genannten Bereiche auswirken. Insbesondere für die im Luftraum des Flughafen-Nahbereichs (TMA) im Anflug befindlichen Flugzeuge ergeben sich neben einer Umleitung zu einem Ausweichflughafen weitere Optionen wie der Aufenthalt in Warteschleifen bis zum Ende der Störung, das (großflächige) Umfliegen und auch Überfliegen einer Gewitterwolke, in seltenen Fällen aber auch das Durchfliegen einer Gewitterzelle in Abhängigkeit von deren Intensität (Reflektivität).

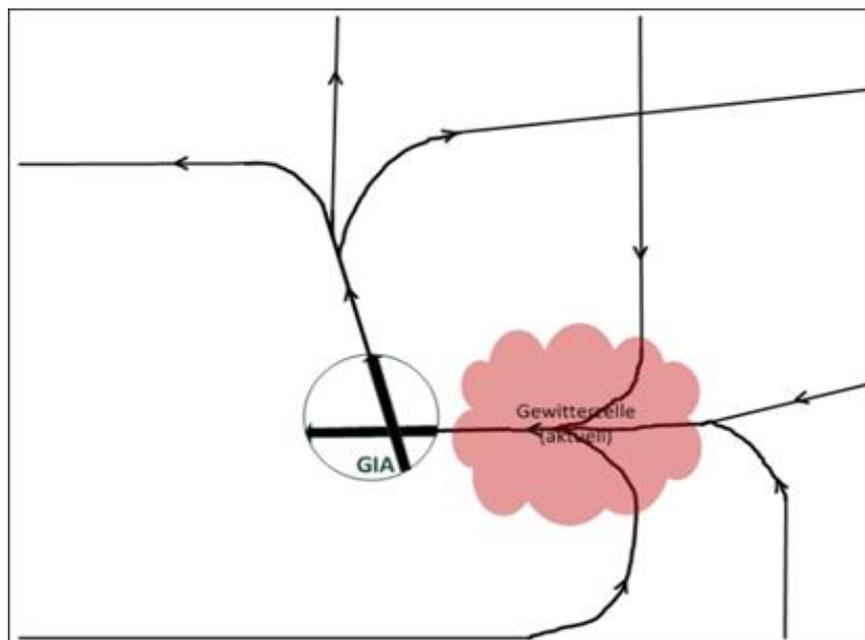


Abbildung 25: Beispiel einer Gewitterzelle auf Anflugroute ([Dok\_Wetter])

Auf der Grundlage eines mit einer Pilotin geführten Interviews konnten folgende Erkenntnisse zum Verhalten von Piloten in Situationen mit Gewitter am Flughafen gewonnen werden [Kee\_2014]:

- Als Entscheidungskriterium für die Anfliegbarkeit eines Flughafens bei Gewitter werden Begleitphänomene wie extreme Winde (Windscherungen bzw. extreme Turbulenzen) und gefährlicher Niederschlag (insbesondere Hagel) genannt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Grenzwerte für Windscherungen abhängig vom Flugzeugtyp sind.
- Blitzschlag wird in der Regel gemieden, aber auch durchaus in Kauf genommen. Ein Gewitter auf den letzten 11 km im Endanflug wird häufig als Abbruchkriterium angesehen.
- Wenn möglich werden Gewitterzellen in der Regel (großflächig) umflogen. Aus Gründen des Treibstoffverbrauchs gilt, dass bis zu zwei Fehlanflüge toleriert werden, danach aber auf einen anderen Flughafen umgeleitet wird.

Piloten können sich unterschiedlich verhalten, orientieren sich häufig aber auch am Verhalten eines vorausfliegenden Piloten. Grundsätzlich liegt die Verantwortung beim Piloten, eine Beeinflussung durch Airlines wird nur indirekt z.B. durch Empfehlungen gesehen.

Weitere Einflussmöglichkeiten sind die Kommunikation zwischen Pilot und Flugsicherung und die Verfügbarkeit von Unterstützungssystemen (z.B. Cb-TRAM am Flughafen München).

Bei frühzeitig erkennbaren schweren bzw. kritischen Wetterereignissen wie Gewitter besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, Flüge zu streichen bzw. diese über Maßnahmen des Network Manager Operations Centre an den Abflugflughäfen zurückzuhalten.

### *Endanflug*

Die im Zusammenhang mit einem Gewitter möglicherweise auftretenden Starkniederschläge können zu einer vorübergehenden Verschlechterung der Sichtverhältnisse führen. In der Folge erhöhen sich zum Beispiel die Staffelungen für den Endanflug. Unter CAT I-IMC Bedingungen im Allwetterflugbetrieb erfolgen dann Landungen in der Regel unter folgenden Bedingungen [DWD\_2004]:

- Entscheidungshöhe („decision height“) von nicht weniger als 200 ft und
- einer Landebahnsichtweite RVR („Runway Visual Range“) von mindestens 550 m bzw. ersatzweise eine Bodensichtweite von 800 m.

Bei Sichtverhältnissen unter den Betriebsstufen CAT II,III tritt eine weitere Erhöhung der Minimalstaffelungsabstände in Kraft.

Für die durch orkanartige Böen während eines Gewitters möglicherweise verursachten Querwinde gelten unter normalen Bedingungen typabhängige Grenzwerte für Starts und Landungen.

### *Betriebsflächen*

Kontaminierungen von Betriebsflächen, insbesondere der S/L-Bahnen, sind häufig eine Folge von starken Niederschlägen z.B. bei Winterwetter. Die eingeschränkte Bodenhaftung und ein reduzierter Widerstand führen zu einer verminderten Bremswirkung des LFZ, die beim Abbremsen von hohen Geschwindigkeiten eine deutlich höhere Bremsdistanz bedingen. Die Folge beim Anflugverkehr sind größere Bahnbelegungszeiten, die die Bahnkapazität deutlich herabsetzen können [Sau\_2013].

Abbildung 26 zeigt exemplarisch aus dem „Flight Crew Training Manual“ eines Airbus 318/319/A320/A321 typische Landestreckenfaktoren für die fünf verschiedenen RWY-Bedingungen „trocken“, „nass“, „kompakter Schnee“, „Wasser und Matsch“ sowie „vereist“ [AIRB\_2005]. Das Beispiel zeigt, dass eine benötigte Landestrecke mit einem Faktor von 1,92 bei „Wasser und Matsch“ kaum bzw. bei vereisten Bahnverhältnissen nicht ausreicht. Die Landestrecke der vereisten Bedingung ist gegenüber der Referenzbedingung „trockene Bahn“ deutlich um das 3,5 fache verlängert .

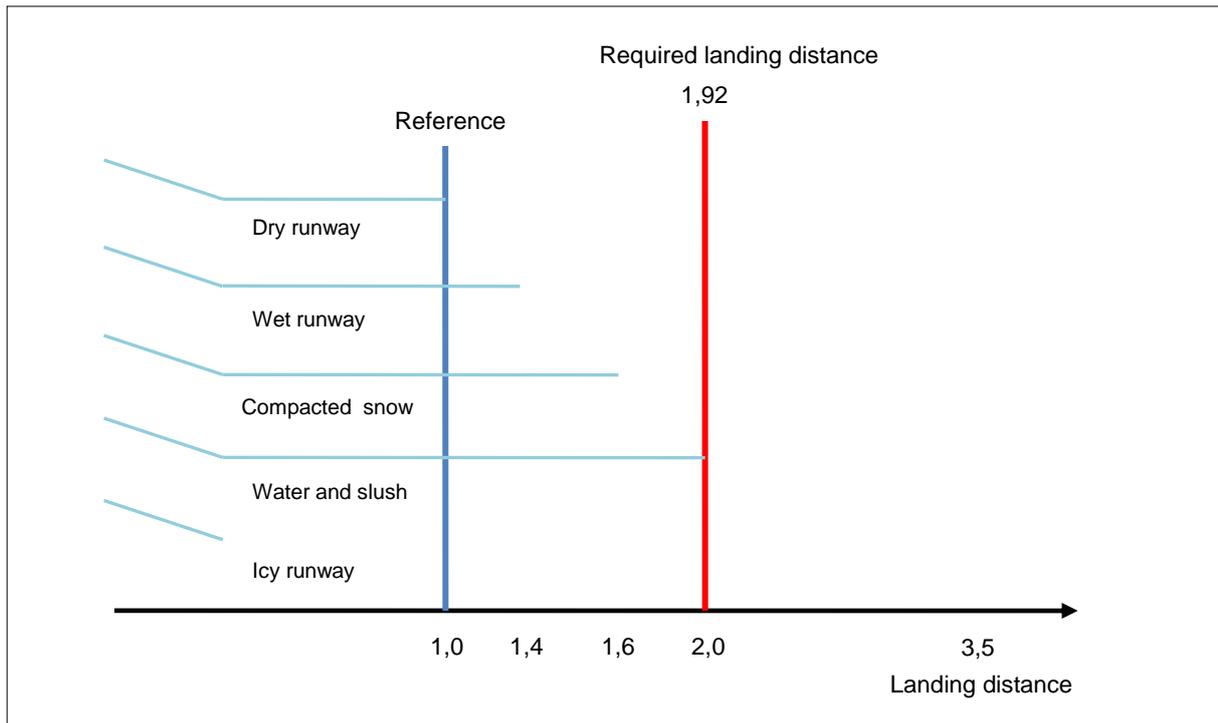


Abbildung 26: Landestreckenfaktoren für fünf verschiedenen RWY-Bedingungen [AIRB\_2005]

### Rollwege

Vereisung bzw. Schneefall führen auch zu Kontaminierungen der Rollwege und beeinflussen das Rollverhalten der LFZ. Bei Belagsbildung ist ein langsames Rollen zu beobachten. Die Wahl der Rollgeschwindigkeit hängt jedoch letztendlich vom Luftfahrzeugführer ab. Im „Flight crew training manual“ wird z.B. eine Rollgeschwindigkeit von maximal 10 Knoten auf kontaminierten Bahnen bei deaktivierten Gleitschutz empfohlen [AIRB\_2005].

### Abfertigungsbereich

Speziell für den Abfertigungsbereich werden z.B. bei Gewitter Warnstufen und spezielle Gewitterprozeduren beschrieben.

Bei Winterwetter an Flughäfen müssen grundsätzlich für zu erwartende Schneefall- und Vereisungsbedingungen bzw. für Luftfahrzeuge mit unterkühltem Treibstoff in den Tragflächen Enteisungsanlagen vorhanden sein. Die Enteisungskapazität muss dabei nach Empfehlungen der ICAO aus dem Jahr 2000 der Abflugrate während der Spitzenstunde entsprechen [Sau\_2013]. Die Dauer einer Enteisung ist von mehreren Faktoren abhängig, unter anderem vom Enteisungsteam und den verfügbaren Enteisungsfahrzeugen sowie von der Konsistenz des Schnees und sonstiger Ablagerungen.

## 7.5. Gewitterszenarien in der Simulation

Da im Rahmen des Projektes P-AIR-FORM Gewitterereignisse in der Simulation berücksichtigt werden, sollen im Folgenden exemplarisch Aspekte für diese Wetterbedingung aus dem ATM-Regelwerk behandelt werden.

Jedes Unternehmen ist entsprechend dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) verpflichtet, für gefahrbringende Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen. Der Arbeitgeber hat

die für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen zu beurteilen und zu ermitteln, welche Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich sind (§ 5 Abs. 1 ArbSchG). Zur Warnung vor Blitzen an Flughäfen werden Abstands- und Zeitkriterien zum Schutz des Personals verwendet, deren Arbeitsplätze sich im Freien (z.B. auf dem Vorfeld) befinden [DGUV\_2011]. Insbesondere bei hoch frequentierten Verkehrsflughäfen kann die Warnung vor Gewitter- und Blitzereignissen allerdings auch zu größeren Ausfallzeiten im Abfertigungsbetrieb führen.

	Abstandskriterien	Zeitkriterien
Gewittervorwarnung	Blitzereignis im Radius von 25 km um den Flughafen	-
Gewitterwarnung	Blitzereignis im Radius von 5 km um den Flughafen	-
Aufhebung der Warnung	Kein Blitzereignis innerhalb der Vorwarnzone von 25 km	30 Minuten kein Blitzereignis

**Tabelle 9: Abstands- und Zeitkriterien in der Blitzdetektion [DGUV\_2011]**

Am Flughafen Wien gelten z.B. folgende Bestimmungen [Spi\_2007]:

- Während der sog. Alertphase befindet sich das Gewitter in 5 bis 8 km Entfernung zum Flughafen: In dieser Zeit wird die Abfertigung auf Positionen eingestellt, die weit entfernt von den Gebäuden liegen.
- Während der Shut-Down-Phase liegt das Gewitter näher als 5 km zum Flughafen: Die Abfertigung wird eingestellt und alle Personen haben umgehend ein Gebäude aufzusuchen.

Für Verkehrsabläufe bei Gewitterwetter lassen sich zusammengefasst z.B. folgende prinzipielle Annahmen treffen:

**Im Luftraum (TMA):**

- Die Durchfliegbarkeit von gewitterträchtigen Zellen kann anhand von Kriterien wie Reflektivität (dBZ), Blitzaktivität etc. geprüft werden.
- Der Aufenthalt im Luftraum enthält Optionen wie das (großzügige) Umfliegen einer Gewitterzelle, das Einkalkulieren von Fehlanflügen, der Aufenthalt in Holdings, das Anfliegen eines Alternate-Flughafens in Abhängigkeit von Parametern wie z.B. der ausfliegbaren Kraftstoffmenge.

**Auf dem Flughafen:**

- Flugzeuge können (theoretisch) jederzeit landen bzw. starten (Entscheidung beim Piloten).
- Nach erfolgter Landung erfolgt während der Dauer des Gewitters keine Abfertigung (kein Andocken, kein Unterlegen der Bremsklötze, keine Gepäckentladung etc.).
- Starts sind möglich, wenn LFZ vor Handling-Stopp bereits selbständig rollt.
- Warten auf Rollwegen bis zur Beendigung des Gewitters.

## 8. Kopplung einer Verkehrsplanung mit der Schnellzeitsimulation (TOP-AirTop)

### 8.1. Ziel und Umfang der Kopplung

Die im DLR genutzten Systeme TOP (Total Operations Planer, prä-taktisches Planungstool) und AirTop (Schnellzeitsimulationssoftware) sollten zur Durchführung von Simulationsläufen gekoppelt werden, um die operationelle Umsetzbarkeit der PBAM-getriebenen Planung des TOP zu prüfen.

Hierfür mussten die zeitlichen Planvorgaben des TOP als Randbedingungen in die Verkehrssimulation des AirTop gebracht, sowie die geänderten und neuen Informationen aus der Simulation zu einer Aktualisierung der Planung herangezogen werden.

Die Kopplung sollte idealerweise automatisiert erfolgen, um einen kompletten Verkehrstag selbständig und unter der Nutzung der Schnellzeitfähigkeit des AirTop zu simulieren.

### 8.2. Grobe Systemarchitektur

3 Systeme sind an der Kopplung beteiligt.

1. TOP inkl. aller seiner Datenbanken und Prozesse.
2. AirTop.
3. Gegebenenfalls ein Kopplungs-Prozess (im Folgenden als KP abgekürzt), der die Steuerung beider Systeme sowie den Datenaustausch übernehmen kann (Abbildung 27).

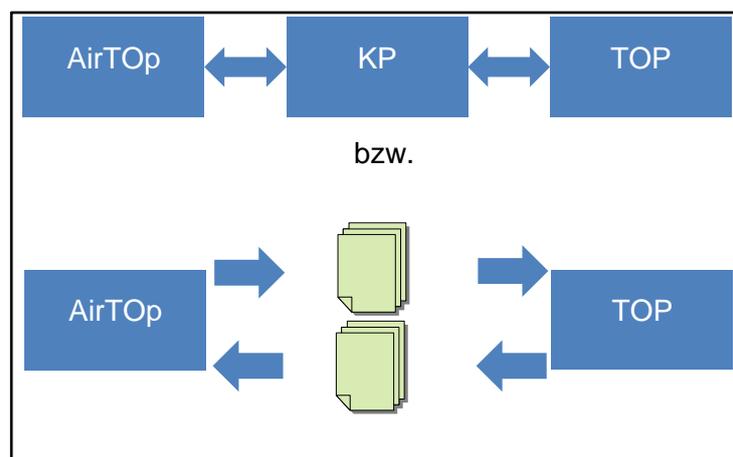


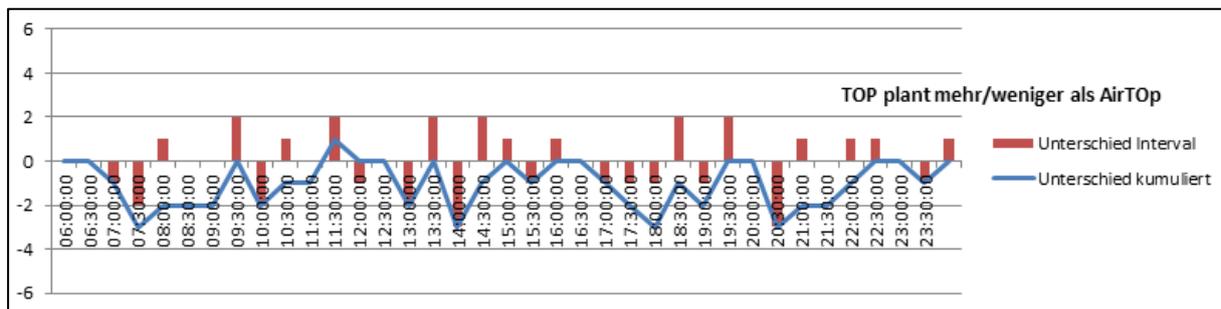
Abbildung 27: Alternative Systemarchitektur

### 8.3. Anforderungen an die Systeme TOP und AirTop durch die Szenarien

In AirTop mussten die Regeln und Verfahren umgesetzt werden, die in den unterschiedlichen Szenarien genutzt werden sollen (Siehe Kap.9). Neben dem grundlegenden infrastrukturellen Aufbau der Szenarien, mussten für die Gewitterszenarien

zusätzliche Regelungen implementiert werden. Dabei ist eine Umleitung zum Alternate, ein Abfertigungsstopp während der Gewitterzeiten sowie ein Fehlanflugverfahren einzubinden (siehe auch Kapitel 9).

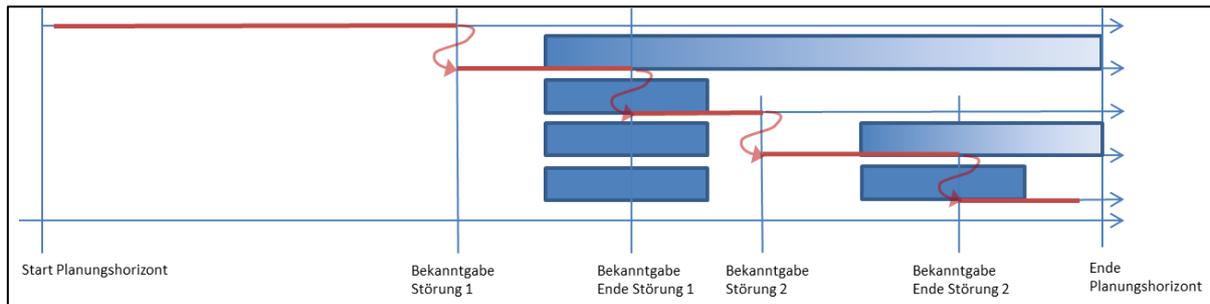
Vor der Kopplung musste sichergestellt werden, dass die Planung durch den TOP auch ausreichend genau durch den AirTOP abgebildet werden kann. Dazu sind zum Beispiel hinterlegte Kapazitäten und Taxizeiten abzustimmen. Betrachtet man die Mengen an Arrivals bzw. Departures, die in einer halben Stunde geplant (durch TOP) bzw. realisiert (durch AirTOP) werden, so sind Unterschiede von 2 LFZ je Intervall und einer über wenige Intervalle hinweg ausgeglichenen Anzahl kumulierter LFZ für eine gute Synchronität beider Systeme ausreichend. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel (für Arrival) dafür.



**Abbildung 28: Synchronität der TOP-Planung und der AirTop-Simulation**

Die TOP-Planzeiten sind von AirTOP als zeitliche Randbedingungen zu verarbeiten. Um die landebahnbezogenen TOP-Planzeiten für die Arrivals berücksichtigen zu können, müssen sie als Ankunftszeit an einem Holding Pattern in der AirTop-Luftraumstruktur zurückgerechnet werden. Für die Departures können die Zeiten direkt für die Bahn als Zeit-Constraint genutzt werden. Die aus der Simulation resultierenden Estimate und Actual Zeiten werden zurück geliefert als aktualisierte Flugplaninformationen an den TOP und fließen als Randbedingung in den folgenden Planungszyklus wieder ein. Sofern Flugzeuge aufgrund der Regeln in der Simulation zu Alternates geleitet werden, musste diese Information auch an den TOP gereicht werden.

Die in den Szenarien bestimmte Beeinflussung des Verkehrs am Flughafen aufgrund von Gewitter wurde in beiden Systemen mit den entsprechenden Vorwarnzeiten (abhängig von der Güte der Wetterprognose) als Sperrung des Start-/Landbahnsystems realisiert. Für die Planung liegen dabei nicht zu jedem Zeitpunkt die vollständigen Informationen (Start- und vor allem Ende des Gewittereinflusses) vor, sodass in diesen Fällen zunächst von einer Notwendigkeit der Bahnsperre für den Rest des Tages ausgegangen wurde. Insofern ändert sich mit einer Wetterprognose gegebenenfalls der Kenntnisstand über die Wettereinflüsse für den Rest des Tages und damit die Planungsgrundlage für den TOP. Die folgende Abbildung 29 zeigt dies skizzenhaft. Hier ist ein „roter Faden“ zu erkennen, der zu bestimmten Zeitpunkten (X-Achse) durch eine neue Information geändert wird (Änderung in Y-Achse).



**Abbildung 29: Änderungen in der Planungsgrundlage**

## 8.4. Umsetzung des Simulationszyklus

Ein Simulationszyklus läuft im Wesentlichen in den folgenden Schritten ab:

1. AirTOP simuliert mit den bekannten Flugplaninformationen bis zu einem bestimmten Zeitpunkt den Verkehr
2. TOP erhält aktuelle und geschätzte Start- und Landezeiten sowie die Information, wenn ein Ausweichflughafen angefliegen werden muss von AirTOP
3. Systemzeit für den TOP wird gesetzt
4. TOP pflegt Informationen in seinen Flugplan ein
5. TOP erzeugt Planzeiten für den Rest des Tages
6. AirTOP erhält neue bzw. aktualisierte Planzeiten
7. AirTOP aktualisiert seine Randbedingungen
8. Wiederholung ab Schritt 1

Der beschriebene Zyklus kann manuell oder automatisch gesteuert ablaufen. In der manuellen Kopplung werden die Daten zwischen TOP und AirTOP über Excel-Tabellen, Datenbankskripte oder ähnliches von Hand ausgetauscht. Auch die Systemzeit sowie das Starten und Stoppen der Simulation zu verschiedenen Zeitpunkten wird manuell durchgeführt. Automatisiert kann dieser Datenaustausch über einen Kopplungsprozess erfolgen. Während der Projektlaufzeit konnte jedoch nur die manuelle Kopplung realisiert werden.

Durch die manuellen Durchführungen ist eine zyklische Planung und Simulation (also ein vollständiger Simulationszyklus) nur mit Aufwand (ca. 0,5 Stunden je Datenaustausch zwischen den beteiligten Systemen) und deswegen auch nur großen Simulations-Zeitsprüngen realisierbar gewesen. Die Zeiten im Szenario, bis zu denen im ersten Schritt des Simulationszyklus simuliert wird, korreliert mit den Zeitpunkten, zu denen sich die Planungsgrundlage für den TOP ändert (siehe Abbildung 29).

Der Datenaustausch zwischen den Systemen erfolgte über einfache Listen mit den entsprechenden Informationen, die für den TOP in SQL-Skripte überführt wurden, um dessen Planungsgrundlage in der Datenbank zu aktualisieren (Schritt 2) bzw. die für den AirTOP zum Teil auf die Punkte in der Luftraumstruktur zurückgerechnet und dann in dessen Datenbank als neues Time Constraint eingetragen wurden (Schritt 6 und 7).

Die Abbildung des Bekanntwerdens der Bahnspernung erfolgt für den TOP durch die Aktualisierung der Datentabelle mit den Kapazitäts- bzw. Bahnnutzungsbedingungen durch ein systemzeitabhängiges Datenbankskript (innerhalb Schritt 2). In AirTOP ist die Bahnspernung als Teil des Szenarios hinterlegt.

Durch das manuelle Setzen der TOP-Systemzeit (ebenfalls Teil eines Datenbankskriptes, Schritt 3) wird nach Übernahme der aktuellen Planungsrundlage eine neue Planung erzeugt (Schritt 4 und 5).

Nachdem die neuen Planzeiten wieder in Time Constraints (Zielzeitvorgaben) für den AirTop überführt wurden, simuliert dieser unter den neuen Parametern den Verkehr bis zum nächsten Zeitpunkt (Schritt 1).

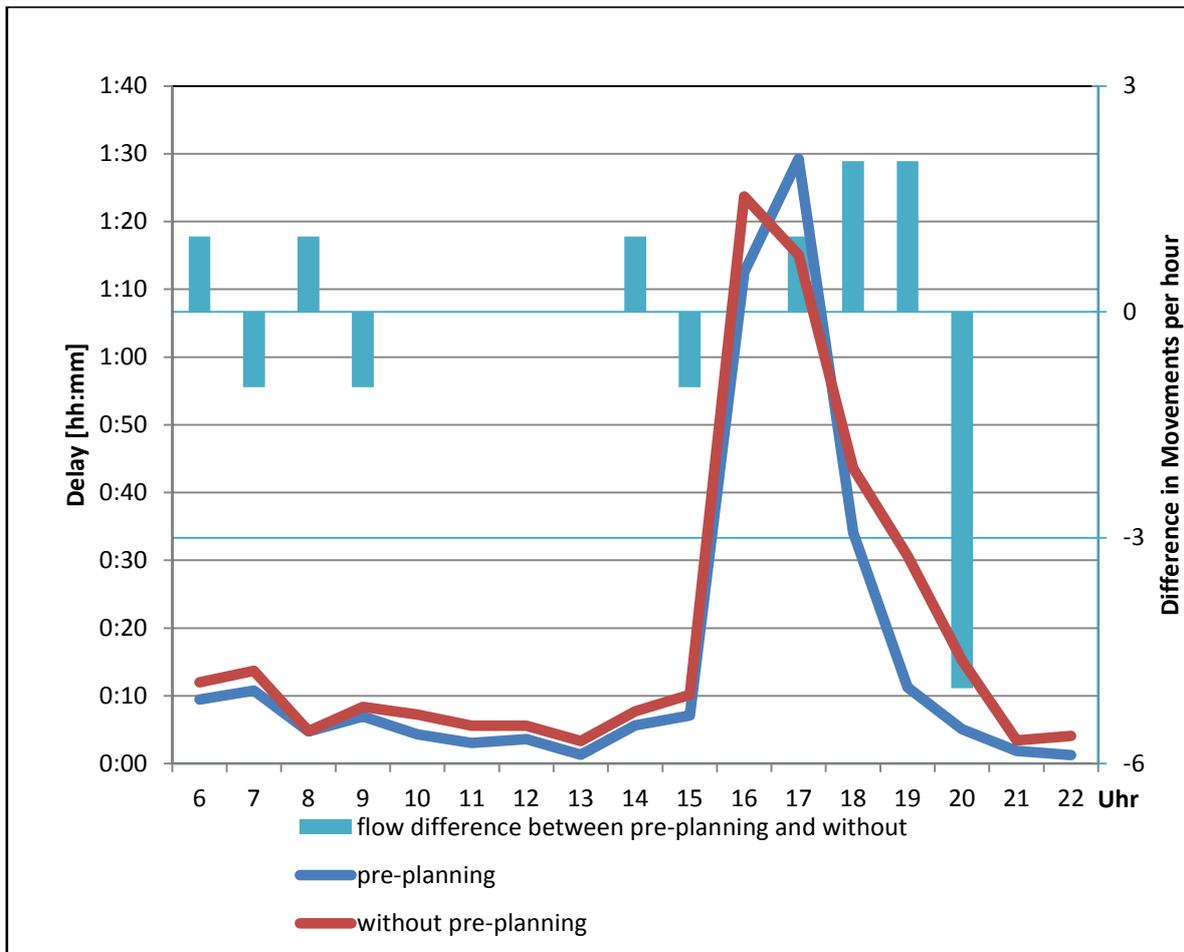
## 8.5. Ergebnisse

Beim Erstellen der Ergebnisse aus der Kopplung wurde zur Vereinfachung von dem in Kap. 9.1 beschriebenen Gewitterszenario 2 abgewichen und nur die erste der beiden Sperrungen betrachtet (16:30-17:30 Uhr). Zum Zeitpunkt des Bekanntwerdens der Sperrung wird weiterhin von einer Dauer von 2 Stunden für die Beeinträchtigung ausgegangen, was 90 Minuten vor dem Ende der Beeinträchtigung (entspricht Vorhersagezeitraum der verbesserten Wetterprognose) auf die Dauer von 1,5 Stunden reduziert wurde.

Bei der Auswertung wurden 2 Aspekte betrachtet, die aus den Projektzielen A und C erwachsen sind (siehe Kap.1.2). Grundlegend für die Messung der Auswirkungen einer Umsetzung (der PBAM-getriebenen) Zielzeit durch eine Simulation ist die realistische Prognose des künftigen Verkehrs durch den TOP; es wurde also eine Güte der Planung ermittelt. Ist die Prognose realistisch, kann geprüft werden, wie gut die Vorgaben/Zielzeiten selbst realisierbar sind.

Die Güte der Planung wurde ermittelt indem TOP und AirTop das Verkehrsszenario unabhängig voneinander planten bzw. simulierten. Es wurden dementsprechend Daten des Gewitterszenarios 2 auch für ein Szenario 2' (verbesserte Wetterprognose ohne TOP) erstellt. Durch die Gegenüberstellung des durchschnittlichen zu erwartenden Delays eines Fluges, der in einer bestimmten Stunde starten bzw. landen sollte (Schedule), konnte gezeigt werden, dass die Vorhersage und der durch die Simulation erzeugte Verkehrsfluss ausreichend gut zusammenpassen. Die gekoppelten Systeme waren damit bereits gut aufeinander abgestimmt. Unterschiede sind in einzelnen Intervallen zu finden, speziell nach der Aufhebung der Sperrung, die daraus resultieren, dass die Festlegung, welcher Flug starten bzw. landen soll, in beiden Systemen auf unterschiedlichen Regeln bzw. Kostenfunktionen basiert. AirTop verschiebt die Flüge hinter die Sperrung und führt den Verkehr nach dem First-Come-First-Served-Prinzip durch. TOP verwendet Kostenfunktionen, die die negativen Auswirkungen auf einzelne Flüge konzentrieren und dadurch andere Flüge weniger „bestraft“. Dadurch kommt es zu unterschiedlichen Sequenzen in Spitzenstunden und durch die Art der Bestimmung des Delays zu unterschiedlichen Tagesganglinien. Weiterhin ist die Menge der in TOP geplanten Flüge teilweise höher, da die Abhängigkeiten an der Bahn durch die gesetzlichen Bestimmungen nur annähernd abgebildet, in AirTop aber stringent eingehalten werden müssen.

Die folgende Abbildung 30 zeigt das Ergebnis für die Departures. Die hellblauen Balken legen dar, dass TOP in der Zeit nach der Sperrung mehr Flüge plant (positive Werte, bezogen auf die rechte Achse). Die blaue Kurve zeigt das durchschnittlich geplante Delay bezogen auf die jeweilige Stunde in denen die Schedules der Flüge liegen. Im Vergleich dazu stellt die rote Kurve das durch AirTop tatsächlich verursachte Delay dar. Die Werte aus beiden Systemen liegen eng beieinander, was für die Güte der Prognose spricht.



**Abbildung 30: Durchschnittliches Departure Delay pro Stunde**

Wie gut die Planzeiten des TOP (durch die Simulation) tatsächlich realisierbar sind, soll der Vergleich des durchschnittlichen Delays gegenüber dem Schedule für alle bisher stattgefundenen Flüge zeigen. Die folgende Abbildung 31 zeigt die Flugereignisse sortiert nach der Landezeit (X-Achse) und die bis zu diesem Event durchschnittliche kumulierte realisierte Verspätung in Minuten. Je kleiner der blaue Anteil an einem Event ist, desto genauer konnte die Zielzeit durch die Simulation realisiert werden. Der rote Anteil resultiert aus der TOP-Planung. Besonders zu Beginn ist hier eine hohe Übereinstimmung zwischen Plan und Umsetzung zu erkennen. Erst durch die Sperrung (und die im Abschnitt zuvor beschriebenen Verfahren in den Systemen) ergeben sich Unterschiede.

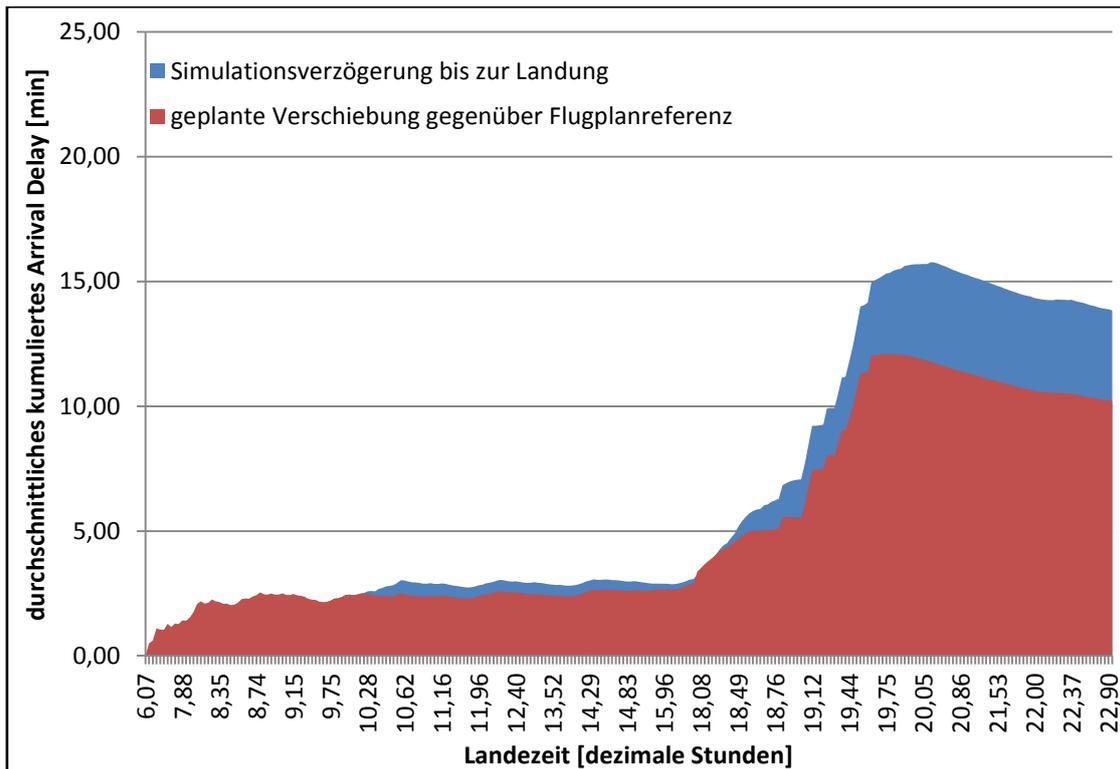


Abbildung 31 Durchschnittliches bisheriges Arrival Delay

In den bisherigen Auswertungen spielen die Effekte durch die manuelle Kopplung eine große Rolle, da dadurch der zyklische Datenaustausch zwischen den Systemen praktisch kaum vorhanden ist. Da TOP-Zielzeiten für einen Zeitpunkt, der relativ weit in der Zukunft liegt und damit auch noch Schwankungen unterliegen kann, nicht sekundengenau herausgibt, sondern in einer 5-Minuten-Rasterung, kommt es wieder zu einer künstlichen Bündelung des Verkehrs. AirTop verursacht dadurch zusätzliches Delay gegenüber den Zielzeiten des TOP. Dies hat Auswirkungen auf die Auswertung der Umsetzbarkeit der Planzeiten. Auch sind die Planzeiten für den AirTop teilweise „sehr alt“, da durch die manuelle Kopplung nicht bspw. in Stundenintervallen durch TOP neu geplant wurde und die Planzeiten übergeben werden konnten. Besonders die simulierten Events vor Bekanntwerden der Sperrung (15:00 Uhr) basieren auf Planzeiten von 04:00 Uhr morgens.

Die vorgestellten Auswertungen sind jeweils bei Arrivals und Departures ähnlich.

## 9. Simulation von Luftverkehr – Schnellzeit-simulationsumgebung (AirTOP)

Im Rahmen einer Konzeptentwicklung ist es wichtig eine Untersuchung der Wirksamkeit auf den beabsichtigten Zweck bzw. eine Leistungsbewertung vorzunehmen. Gerade in den frühen Entwicklungsstadien können mit Hilfe von Schnellzeitsimulationen Stärken und eventuelle Schwachstellen identifiziert und Optimierungen angeregt werden. Im Projekt P-AIR-FORM wurde die Validierung des prä-taktischen Planungstools TOP unter der Verwendung der Schnellzeitsimulationsumgebung AirTOP durchgeführt.

### 9.1. Szenarien

Gemäß des Projektplans von P-AIR-FORM [GUE\_2013] soll unter Verwendung der Schnellzeitsimulation aufgezeigt werden, dass folgende wesentliche Ziele erreicht werden:

- A. Es soll der Nachweis geführt werden, dass Effizienzsteigerungen im operativen Betrieb eines Flughafens auf Basis einer prä-taktischen Planung realisierbar sind;
- B. Es soll nachgewiesen werden, dass verbesserte Wettervorhersagen (Gewitter) in der prä-taktischen Planung des Flughafenbetriebs eine positive Wirkung auf den operativen Betrieb eines Flughafens haben.

Für die Nachweisführung werden verschiedene Szenarien verwendet. Szenarien im Kontext von P-AIR-FORM dienen der Beschreibung möglicher Zukunftssituationen (bezogen auf die simulierte Durchführung von an- und abfliegenden Verkehr an einem Modellflughafen), in denen potentielle Entwicklungen und Interdependenzen, getrieben durch verschiedene externe Faktoren (Wetter und prä-taktische Planung), analysiert werden können. Hierbei wird die Effizienz einer prä-taktischen Planung jeweils mit und ohne Wettereinfluss untersucht (Tabelle 10). Es findet jeweils ein Vergleich zwischen Referenzszenario (heutige Planung ohne TOP) und Anwendungsszenario (prä-taktische Planung mit TOP) statt. Dieser soll einerseits für das Ziel A (Basisszenarien), der allgemeinen Effizienzsteigerung, und Ziel B (Gewitterszenarien), der Effizienzsteigerung auf Basis verbesserter Wettervorhersagen in der prä-taktischen Planung, den Nachweis führen.

Die prä-taktische Planung wird durch das Planungstool TOP verkörpert und stattet AirTOP mit geplanten Start- und Landezeiten für die einzelnen Flüge aus. TOP plant kontinuierlich auf Basis der Flugplaninformationen, Kapazitätswerten und der Formulierung von Stakeholderzielen durch gewichtete Zielfunktionen (z.B. minimales Delay) für einen 24h-(prä-taktischen-) Zeithorizont eine Start-/Landesequenz zur Vorsteuerung des Luftverkehrs an einem Flughafen. Je nach Planungsintervall werden die Planzeiten mehrmals zwischen beiden Systemen ausgetauscht. AirTOP hingegen stellt die Simulationsumgebung mit vorgegebenen Rahmenbedingungen wie Flughafeninfrastruktur, Routen oder auch Separationen. Auf Multiagentenbasis, lassen sich Interaktionen zwischen den Agenten (Flugzeuge) sowie mit ihrer Umgebung (Infrastruktur) nachbilden. Es berücksichtigt nicht nur individuelle Flugzeugperformance, sondern bietet auch die Möglichkeit einzelne Elemente der Infrastruktur anzusprechen und mit verschiedensten Regeln zu belegen.

Szenario	Beschreibung
Ohne Wettereinfluss	
Basisszenario 1	Planung ohne TOP
Basisszenario 2	Planung mit TOP
Gewitter (16:30-18:00 Uhr und 18:45-20:15 Uhr)	
Gewitterszenario 1	Planung ohne TOP (Vorwarnzeit 5 min)
Gewitterszenario 2	Planung mit TOP (Vorwarnzeit 90 min)

**Tabelle 10: Simulationsszenarien**

Basierend auf Wetterdaten des Flughafens München, die vom Institut für Physik der Atmosphäre zur Verfügung gestellt wurden, ist ein Gewittertag ausgewählt worden, der einen charakteristischen Einfluss auf den Luftverkehr hatte. Begleiterscheinungen wie Hagel, Blitzschlag, Starkregen oder auch Turbulenz, wie bereits in Kapitel 7.5 erwähnt, führen zum Umfliegen der Gewitterzelle sowie zur Einstellung der Flugzeugabfertigung. Die entsprechenden Wetterdaten wurden auf die verkehrlichen Gegebenheiten des Flughafens Hamburg projiziert, da hierfür keine Wetterdaten im notwendigen Format verfügbar waren und der Flughafen bereits infrastrukturell in der Simulationsumgebung AirTOP vorhanden war (Erläuterung in Kap. 9.2).

Das in der Simulation zum Einsatz kommende Verkehrsszenario basiert auf einem Flugplan vom 14.10.2013 und ist in allen Szenarien gleich. Der Flugplan stellte unter den vorhandenen Daten den verkehrsreichsten Tag am Hamburger Flughafen dar. Als Untersuchungsgegenstand des Projektes dienen das Jahr 2020 und ein Modell des Hamburger Flughafens. Die Verkehrsnachfrage wurde entsprechend der Verkehrsprognose der Intraplan Consult GmbH um 15% gesteigert, um eine für das Jahr 2020 prognostizierte Verkehrsnachfrage zu erzielen.

Für die Simulation der verschiedenen Szenarien sind unterschiedliche Verfahren und Regeln anzuwenden, die im folgenden Kapitel beschrieben werden.

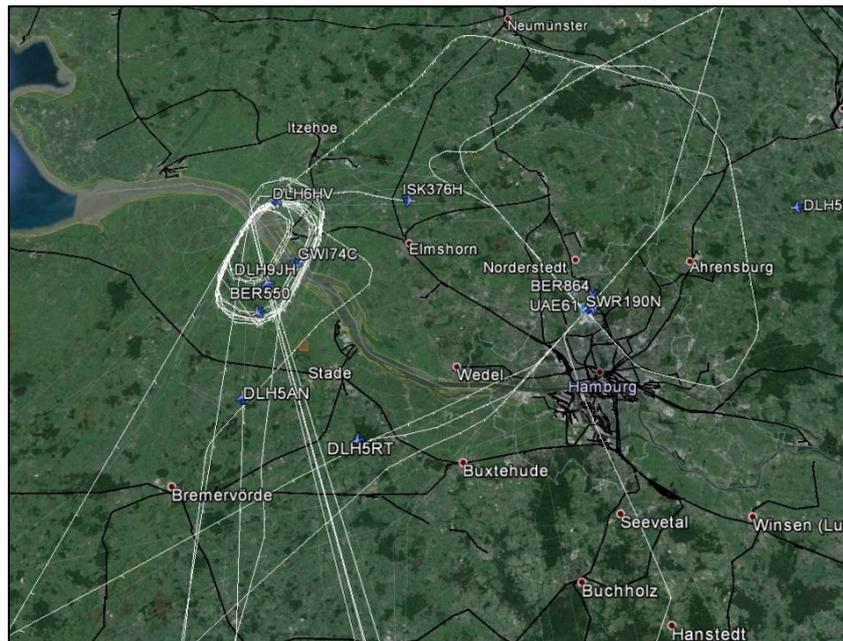
## 9.2. Simulationsaufbau

Beginnend mit dem infrastrukturellen Aufbau des Flughafens Hamburg, wurde zunächst das Bahnsystem und Taxiwaysystem in die Simulationsumgebung implementiert. Dies beinhaltet ebenso die Verortung von Parkpositionen auf dem Flughafen. Weiterhin wurden die heute allgemeingültigen An- und Abflugverfahren, mit entsprechenden Separationsbedingungen eingepflegt und stellen für alle Szenarien die Basis dar. Abbildung 32 zeigt den Flughafennahbereich mit den implementierten Anflugrouten (schwarz), den Vectoring Areas (dient je nach Notwendigkeit der Verlängerung des Flugweges; hellgrau dargestellt), sowie die Abflug- und Fehlanflugrouten (rot).

Anhand von Flugspuraufzeichnungen (flightradar24) und deren Auswertung für den Flughafen Hamburg konnte im Gewitterfall (15.05.13) nachvollzogen werden, welche Holdings genutzt und welche Alternates ggf. angefliegen werden (siehe Abbildung 33). Dies wurde im Simulationsaufbau mit berücksichtigt.

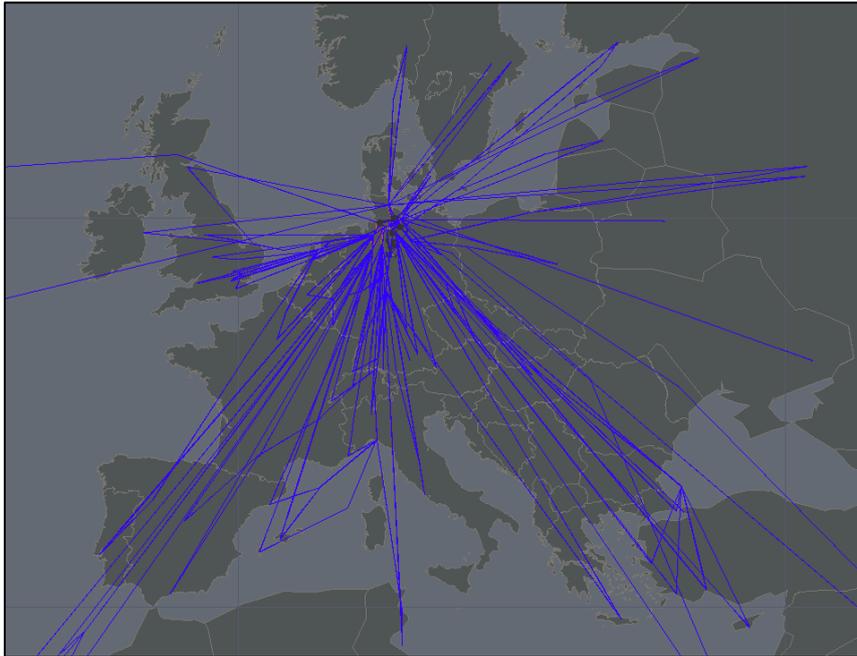


**Abbildung 32: Flughafennahbereich**



**Abbildung 33: Holdings bei HAM im Gewitterfall (Daten: flightradar24, 15.05.13)**

Die sich durch die prä-taktische Planung ergebenden Zielzeiten, können ein Halten der Flugzeuge am Startflughafen oder auch ein Verzögern entlang des Flugweges bewirken und erfordern somit die Abbildung des gesamten Flugweges zwischen Origin und Destination. Dies wurde ebenfalls in allen Szenarien vorgenommen. (blaue Linien in Abbildung 34)

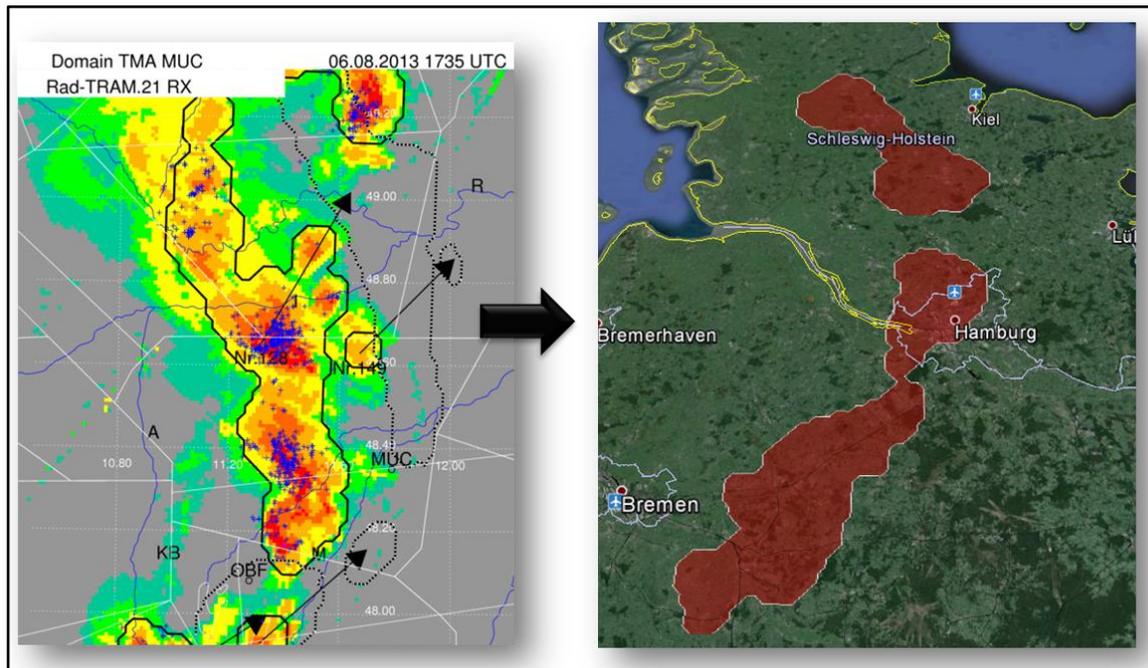


**Abbildung 34: Flugrouten von und nach Hamburg**

Neben dem grundlegenden infrastrukturellen Aufbau der Szenarien, müssen für die Gewitterszenarien zusätzliche Regeln und Verfahren implementiert werden. Abbildung 35 zeigt das Mapping einer vorhergesagten Gewitterfront aus dem Münchener Raum vom 06.08.2013 (Gewittertag in München) auf Hamburg. Die roten Flächen kennzeichnen hierbei die Zonen, in denen aufgrund von Winden und Niederschlagserscheinungen nicht mit an- und abfliegenden Verkehr zu rechnen ist. An besagtem Tag zogen 2 Gewitter direkt hintereinander über den Platz:

- 16:30-17:30 Uhr
- 18:30-19:30 Uhr

In der Zeit, während sich das Gewitter über dem Platz befindet, wurde Regeln, wie eine Umleitung zum Alternate, Abfertigungsstopp, sowie Fehlanflugverfahren vorgesehen. Diese Regeln basieren auf dem Wetter-ATM Regelwerk aus Kapitel 7.5 und beinhalten eine Reduktion der Bahnkapazität auf null und einen kompletten Abfertigungsstopp während des Gewitters. Dies resultiert einerseits aus den auftretenden Blitzerscheinungen sowie der hohen Seitenwindgeschwindigkeiten, die ein Starten und Landen auf dem Flughafen nicht erlauben. Zur Vereinfachung der Szenarien, wurde das Gewitter direkt über den Platz projiziert, ohne ein Umfliegen der Gewitterzelle auf den An- und Abflugrouten zu berücksichtigen. Je nach Güte der Wettervorhersage (Vorwarnzeit) wurden zusätzlich spezielle Regeln und Verfahren benötigt und entsprechend umgesetzt.



**Abbildung 35: Gewitterzelle über dem Platz (MUC auf HAM projiziert)**

In den Szenarien mit Wettereinfluss ist zwischen Planung und Nicht-Planung des TOP zu unterscheiden. In Verbindung mit der TOP Planung existiert eine erhöhte Vorlaufzeit der Wettervorhersagen aufgrund der Annahme das ein Wetterereignis zu 100% eintritt und im Gegensatz dazu im Gewitterszenario 1 immer Ad hoc reagiert wird. Dies führt in Gewitterszenario 2 dazu, dass bereits vor dem Erreichen des Holdings und gleichzeitiger Bahnsperre eine Umleitung zum Alternate veranlasst wird, jedoch nur wenn die Bahn nicht in weniger als 20 min für den Flugbetrieb wieder zugänglich gemacht wird. Dies resultiert aus der Restflugzeit ausgehend vom Holding bis zur Landung. Im Gegensatz dazu verbleiben Flugzeuge im Gewitterszenario 1 (ohne Vorwarnzeit) 45 min im Holding bevor ein Abdrehen zum Alternate durchgeführt wird. Die Verweildauer von 45 min resultiert aus der Annahme, dass keine konkreten Informationen über die erneute Bahnöffnung existieren und die Flugzeuge zusätzlichen Treibstoff an Bord haben, der ein Holding für etwa 45 min ermöglicht. Auswertungen von historischen Flugspuren (Flightradar24) bestätigen diese Annahme.

In allen Gewitterszenarien werden Flugzeuge, die sich bereits im Endanflug befinden, während einer Bahnsperre dazu gezwungen, durchzustarten und sich anschließend in ein Holding einzusortieren.

In beiden Gewitterszenarien werden die Abfertigungsaktivitäten eingestellt, sobald sich das Gewitter über dem Platz befindet. Anhand einer Bedingung für die Freigabe zum Push Back (Noise-In Positionen) bzw. Rollen (Durchrollpositionen) werden die Flugzeuge am Verlassen der Position gehindert. Ein Rollen zur Parkposition nach der Landung wird auch während einer Bahnsperre nicht eingeschränkt.

### 9.3. Ergebnisse Vergleich Gewitterszenario 1 und Gewitterszenario 2

Wie im letzten Kapitel erläutert, ziehen zwei Gewitter nacheinander über den Platz. Im Gewitterszenario 1 wurde davon ausgegangen, dass es nur eine sehr kurze Vorlaufzeit von 10min gab, bevor kein An- und Abflug mehr möglich war und dadurch aller geplanter Arrival (ARR)-Verkehr auch am Flughafen eintrifft. Das führte dazu, dass ab 16:30 Uhr kein Arrival mehr landen konnte und damit in Holdings geleitet werden musste. In Abbildung 36 ist der Moment kurz vor der erneuten Öffnung um 18:00 Uhr festgehalten. Aufgrund der Regel, dass eine Holding-Zeit von 45 min nicht überschritten werden kann, sind bereits diverse Flüge zum Alternate Hannover ausgewichen. Viele weitere Flüge befinden sich im Holding bzw. werden gerade zum Endanflug geführt, damit sie ab 18:00 Uhr („Öffnung“ des Flughafens) wieder landen können.

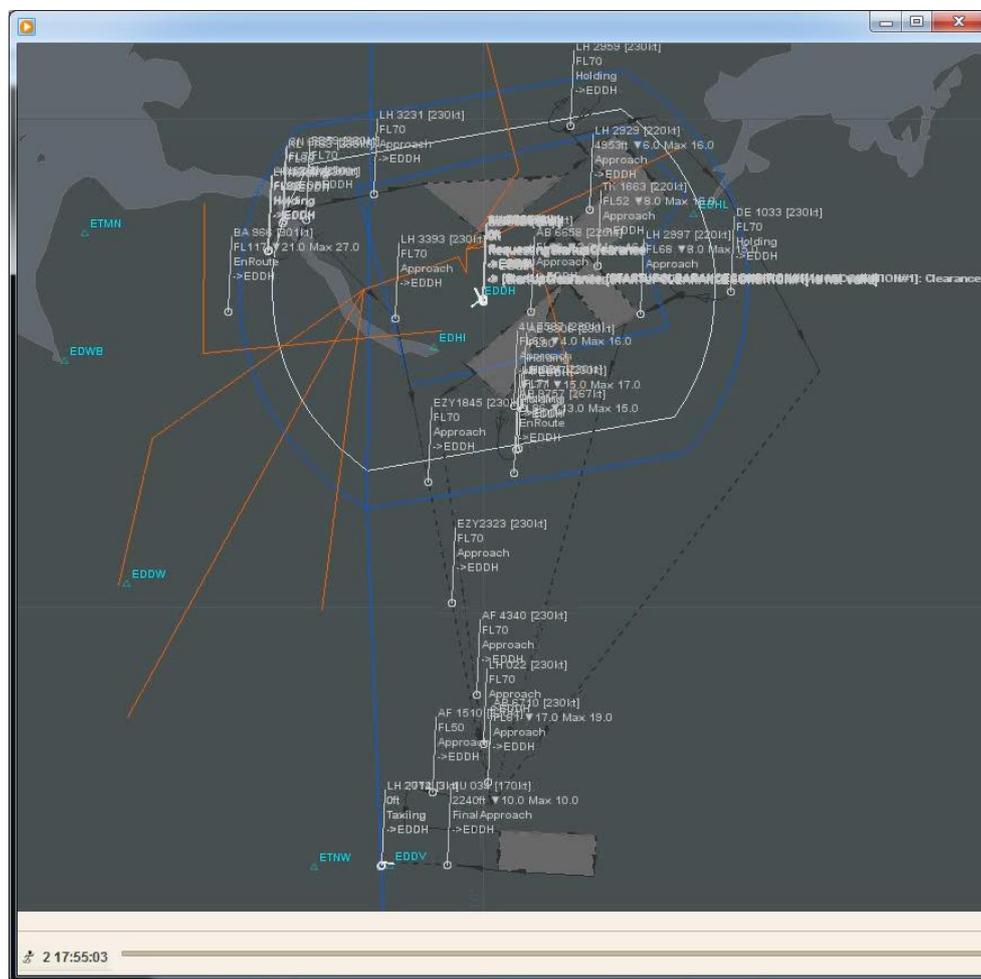
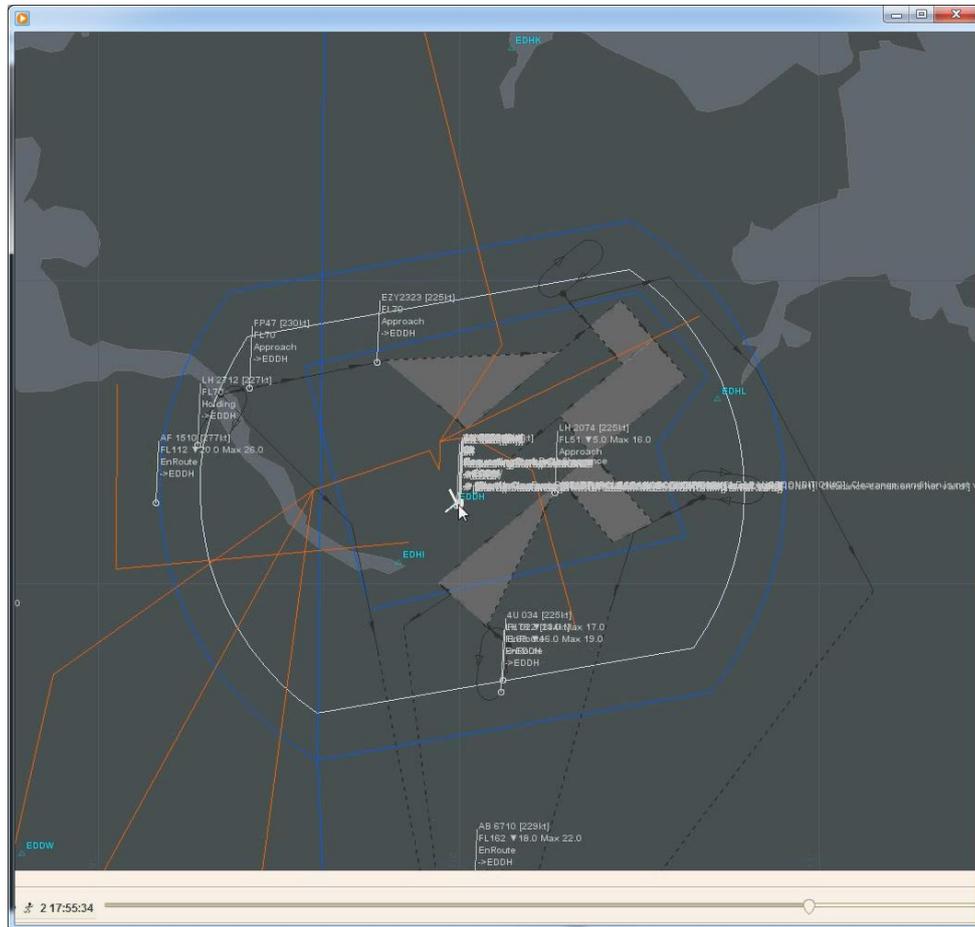


Abbildung 36: Gewitterszenario 1, Momentaufnahme Simulation um 17:55 Uhr

Im Gewitterszenario 2 wurde die erwartete Gewittersituation bereits 90min vorher bekannt gegeben, sodass der TOP die Flugereignisse um die Schließung des Flughafens herum geplant hat. Unter Berücksichtigung dieser Zielzeiten kamen in der Simulation verschiedene Regeln zur Anwendung, wie weiter oben beschrieben (Halten am Startflughafen, sofern das Luftfahrzeug noch nicht gestartet ist; verlangsamen oder beschleunigen im Streckenflug; abdrehen zum Alternate, falls der Arrival länger als 20 min noch im Holding verbringen

müsste etc.).

Wie aus Abbildung 37 ersichtlich wird, sind um 17:55 Uhr in der Simulation dann auch erwartungsgemäß weniger ARR in Flughafennähe zu finden. Einige wenige Flüge waren zur Bekanntgabe des Gewitters bereits in der Luft, sodass sich Holdings und Alternates jedoch nicht ganz vermeiden lassen (starke Abhängigkeit vom Verkehrsszenario).



**Abbildung 37: Gewitterszenario 2, Momentaufnahme Simulation um 17:55 Uhr**

Im Vergleich der beiden Szenarien konnte festgestellt werden, dass:

- die prä-taktische Planung zum Großteil in der Simulation umgesetzt wird (Gewitterszenario 2)
- Holding-Delays abnehmen (ggü. Gewitterszenario 1)
- die Zahl der Flüge zu Alternates abnimmt (ggü. Gewitterszenario 1)

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass bewusst auf die Nennung konkreter Zahlen verzichtet wird. Begründet liegt dies in dem Umstand, dass lediglich diese zwei Szenarien einmal simuliert und verglichen wurden. Es wird jedoch angestrebt die Simulationen weiter fortzuführen, um eine Basis für weitere Auswertungen erstellen zu können.

## 10. Flughafenweite Stakeholder Entscheidungen – Entwicklung eines simulationsfähigen Modells (ARIS)

### 10.1. Motivation

In bisherigen Arbeiten zum Total Airport Management bzw. Performance Based Airport Management stellten die stakeholder-internen Entscheidungsprozesse immer eine Black Box dar. Somit gab es keinerlei Informationen über die Treiber, Ziele und Einschränkungen möglicher Entscheidungen einzelner an einem gemeinsamen Entscheidungsfindungsprozess beteiligter Stakeholder. Es konnten daher auch keine fundierten Aussagen darüber getroffen werden, wie die Stakeholder in bestimmten Situationen mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Entscheidungsalternativen auswählen würden. Daher wurden im Rahmen des Projektes P-AIR-FORM ausgewählte prä-taktische Entscheidungsprozesse der Stakeholder Flughafenbetreiber, Groundhandler, Air Navigation Service Provider (ANSP) und Airline modelliert.

### 10.2. Modellierung

Eine wesentliche Grundlage für die Modellierung der Prozesse stellten die Hospitationen bei den einzelnen Stakeholdern dar (siehe Kap.2). In den Hospitationen wurden sowohl einzelne Prozesse als auch Zielgrößen und Limitierungen der möglichen Entscheidungsalternativen sowie Herausforderungen in der Entscheidungsfindung analysiert.

Zunächst wurden drei Flughafenprozesse ausgewählt, die einen erhöhten Koordinationsaufwand zwischen den beteiligten Stakeholdern erfordern. Diese wurden in Microsoft Office Visio modelliert. Anschließend wurden die stakeholder-internen Prozesse in ARIS (Architektur integrierter Informationssysteme) detaillierter betrachtet.

#### 10.2.1. Nutzung von Visio

Microsoft Office Visio bietet u.a. die Möglichkeit der Prozessmodellierung anhand eines graphischen Modellierungskalküls. Es können sehr schnell Prozesse modelliert werden, da keine Modellierungsregeln hinterlegt sind. Weiterhin sind die Elemente nicht mit Attributen, wie z. B. Kosten, versehen.

Im Rahmen von P-AIR-FORM wurde Visio genutzt, um drei Prozesse mit einem erhöhten Abstimmungsbedarf zwischen den Akteuren überblicksartig zu modellieren. Die Prozesse waren:

- kurzfristige Wartungsarbeiten luftseitige Infrastruktur,
- Departure-Delay eines Fluges,
- Cancellation eines Fluges.

In Abbildung 38 ist der Prozess für die Cancellation eines Fluges abgebildet. Mittig ist der Fluss des Prozesses dargestellt, während seitlich davon die Stakeholder Inputs in den Prozess liefern bzw. Informationen aus dem Prozess erhalten. Der Prozess ist dabei soweit abstrahiert, dass die lokalen Besonderheiten der hospitierten Stakeholder herausgefiltert

sind. Er stellt somit eine Schnittmenge jeweils mehrerer Stakeholdern dar. Es ist zu erkennen, dass bereits in diesem kurzen Prozess zahlreiche Schnittstellen zwischen den Stakeholdern existieren.

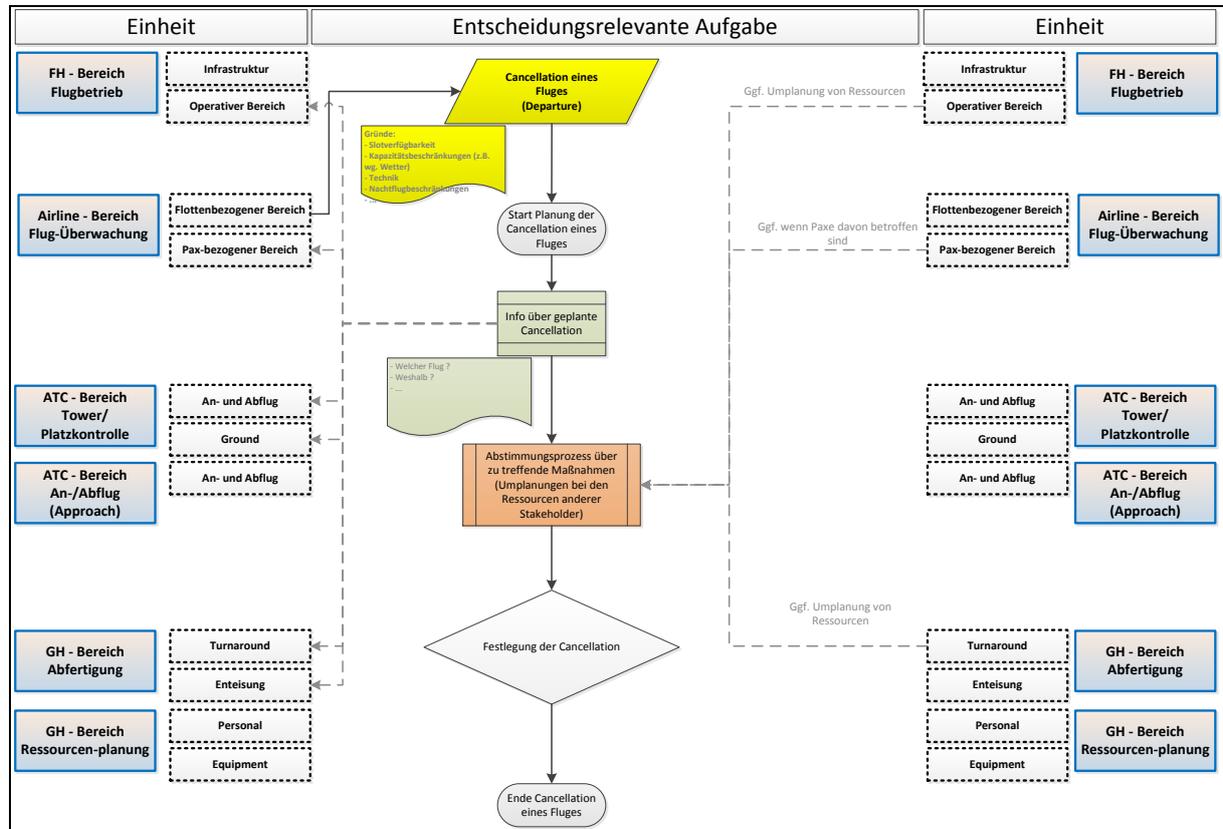


Abbildung 38: Modell der Cancellation eines Fluges in Visio

Um die stakeholder-internen Prozesse, die mit den in Visio modellierten prä-taktischen Beispielen verknüpft sind, detaillierter zu betrachten, wurden diese anschließend in ARIS modelliert.

### 10.2.2. Nutzung der Simulationssoftware ARIS

Das ARIS-Konzept (Architektur integrierter Informationssysteme) ist darauf ausgerichtet, Unternehmen und Anwendungssoftware zu beschreiben. Hierfür werden verschiedene Beschreibungsschichten und –ebenen definiert, welchen bestimmte Elemente zugeordnet sind. Die Methodologie von ARIS wird als Vorgehensmodell zur Darstellung von Geschäftsprozessen verstanden.

„Business Process Design bedeutet für Unternehmen, ihre Geschäftsprozesse sowohl an den eigenen Anforderungen und Bedürfnissen als auch denen des Marktes auszurichten. Dabei umfasst dieser Abschnitt im Kreislauf der kontinuierlichen Verbesserung die Aspekte Design, Analyse und Optimierung. Prozessdesign, also die grafische Darstellung bestehender Abläufe, beantwortet die Frage, welche Aktivitäten in welcher zeitlich-logischen Reihenfolge mit welchen Verantwortlichkeiten durchgeführt werden, welche Leistungen erbracht und welche Software-Systeme dabei eingesetzt werden. Bei der Bewertung der IST-Prozesse werden Schwachstellen in den Abläufen aufgedeckt und

Verbesserungspotenziale erschlossen. Die anschließende Ableitung von Soll- Prozessen basiert auf den Ergebnissen der vorangegangenen Analysen.“ [IDS\_2004]

ARIS bietet die Möglichkeit, einerseits die Prozesse einzelner Stakeholder, andererseits aber auch deren Organisation, Informationssysteme sowie den Informationsaustausch und die Verknüpfungen der Prozesse mehrerer Stakeholder darzustellen und zu analysieren. Durch die Hinterlegung der Modelle in einer Datenbankstruktur und die Möglichkeit einer Versionierung wurde eine parallele Modellierung bei DLR-LY und DLR-FL ermöglicht.

Innerhalb von ARIS existieren unterschiedliche „Sichten“ auf Geschäftsprozesse, die durch das in Abbildung 39 dargestellte „ARIS-Haus“ repräsentiert werden. Die Organisationssicht stellt den Aufbau eines Unternehmens dar, in der Funktionssicht werden u.a. die genutzten Anwendungssysteme beschrieben. Weiterhin existieren die Daten- sowie die Leistungssicht. Als verbindendes Element existiert die Steuerungssicht, die Prozesse darstellt, in denen Elemente aus den vier anderen Sichten verknüpft werden. Im Rahmen von P-AIR-FORM wurden die Organisations-, Funktions- und Steuerungssicht betrachtet.

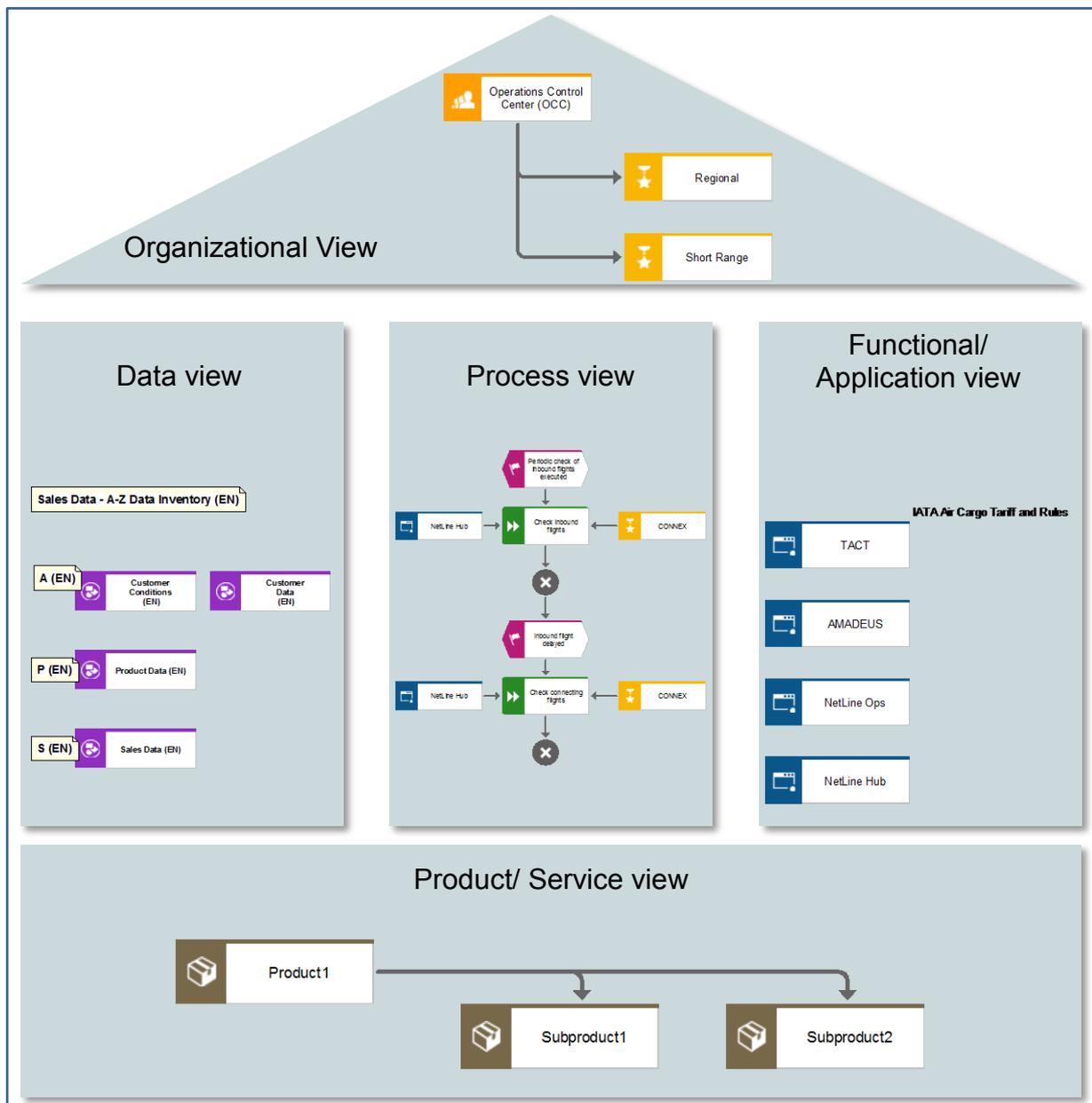


Abbildung 39: ARIS-Haus

Während der Hospitationen wurden u.a. gezielt die prä-taktischen Prozesse der Stakeholder erfragt. Zum Teil wurden die Prozesse durch die Stakeholder beschrieben, zum Teil wurden Sie in Form von Arbeitsplatz- und Prozessbeschreibungen zur Verfügung gestellt und teilweise wurden Prozesse implizit aus den Äußerungen der Hospitierten abgeleitet.

Zur Erhöhung der Anschaulichkeit werden nachfolgend die durchgeführten Arbeiten am Beispiel einer Fluggesellschaft vorgestellt.

### 10.2.3. Organisation

Zum Verständnis der Beziehungen verschiedener Prozessbeteiligter innerhalb der einzelnen Organisationen, zur detaillierten Identifikation der Verantwortlichkeiten und zur genaueren Betrachtung der Kommunikation mit anderen Stakeholdern werden zunächst die Organisationsstrukturen der Stakeholder modelliert. Dazu werden Organigramme verwendet. In Abbildung 40 und Abbildung 41 sind die Organigramme für eine Fluggesellschaft (1. Hierarchieebene) und deren Passage (2. Ebene) dargestellt.

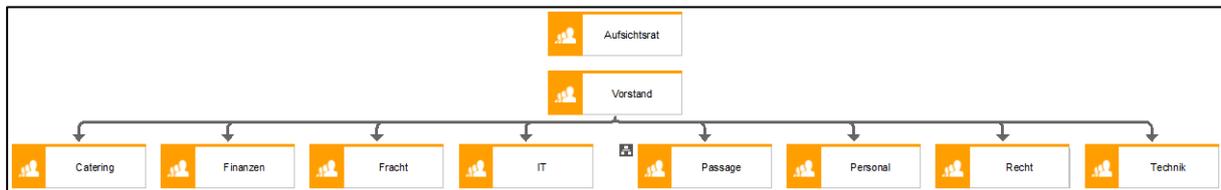


Abbildung 40: Organigramm einer beispielhaften Airline

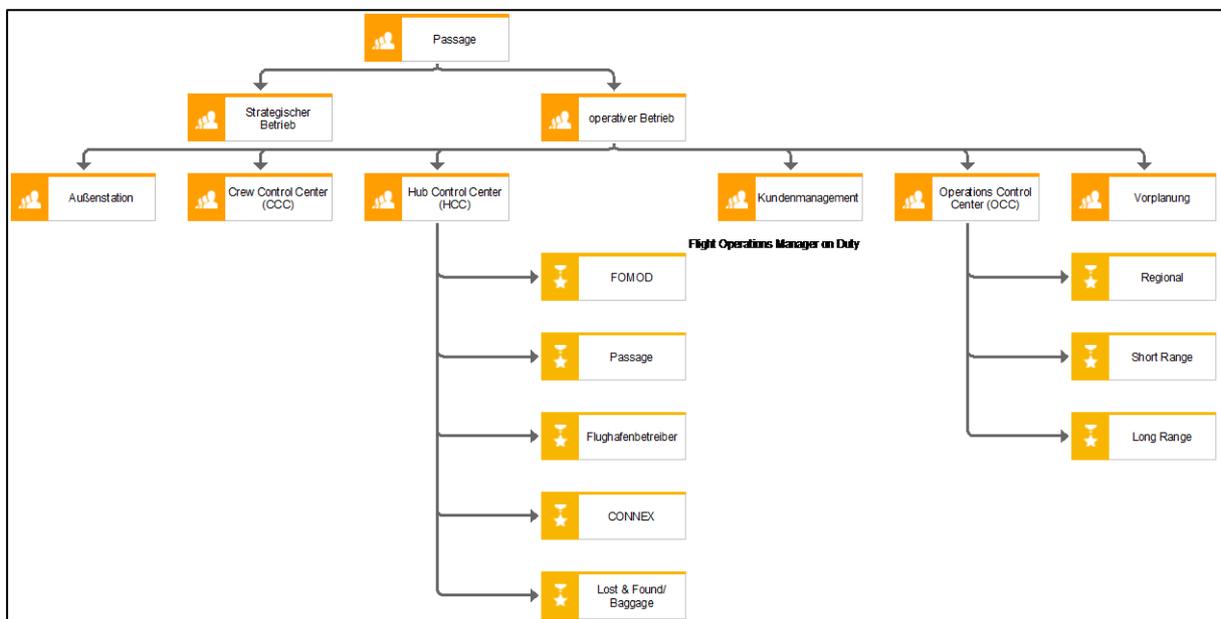


Abbildung 41: Organigramm der Passage einer Airline

Es ist zu sehen, dass bereits bei der Airline acht Stellen in den prä-taktischen Betrieb involviert sind. Dies verdeutlicht die Komplexität der Zusammenarbeit bei der Entscheidungsfindung, die durch den Austausch zwischen verschiedenen Stakeholdern weiter erhöht wird.

### 10.2.4. Ressourcen

Im Rahmen des Projektes P-AIR-FORM wurden im Bereich Ressourcen zunächst die IT-Systeme der Stakeholder modelliert, da über diese die Interaktionen einzelner Stellen innerhalb eines Stakeholders sowie die Interaktionen zwischen unterschiedlichen Stakeholdern stattfinden (Ressourcen werden in ARIS als Hard- & Softwarekomponenten verstanden). Dies erfolgt in Form von Anwendungssystemdiagrammen, wie z. B. in Abbildung 42 exemplarisch für die IT-Systeme eine Fluggesellschaft dargestellt. Durch die übersichtliche Darstellung aller genutzten Systeme kann schnell ein Überblick über mögliche Schnittstellen zwischen den Systemen, aber auch zu den Systemen anderer Stakeholder gewonnen werden. Im Beispiel in Abbildung 42 sind diese Systeme das „mfs:2“, welches zur Flugplanung genutzt wird, „TACT“ für die IATA Luftfracht-Tarife und –Regularien, AMADEUS als Global Distribution System (GDS), die NetLine-Suite von Lufthansa Systems für Hub-Operations sowie Umlaufplanung und Flugüberwachung, „eRM“ und das Telefon zur Kommunikation.

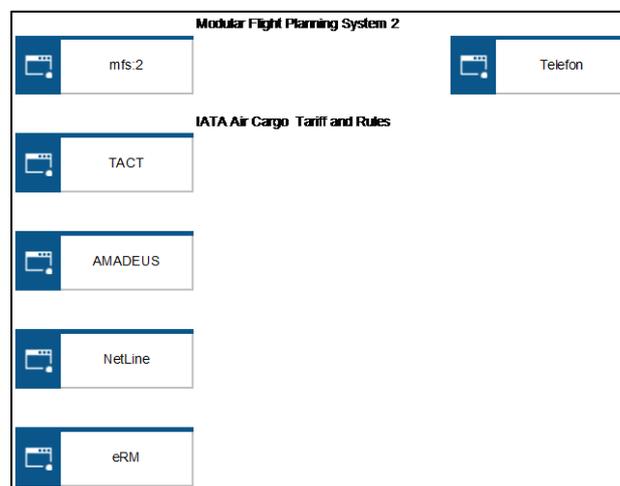


Abbildung 42: Anwendungssystemdiagramm IT-Systeme Airline

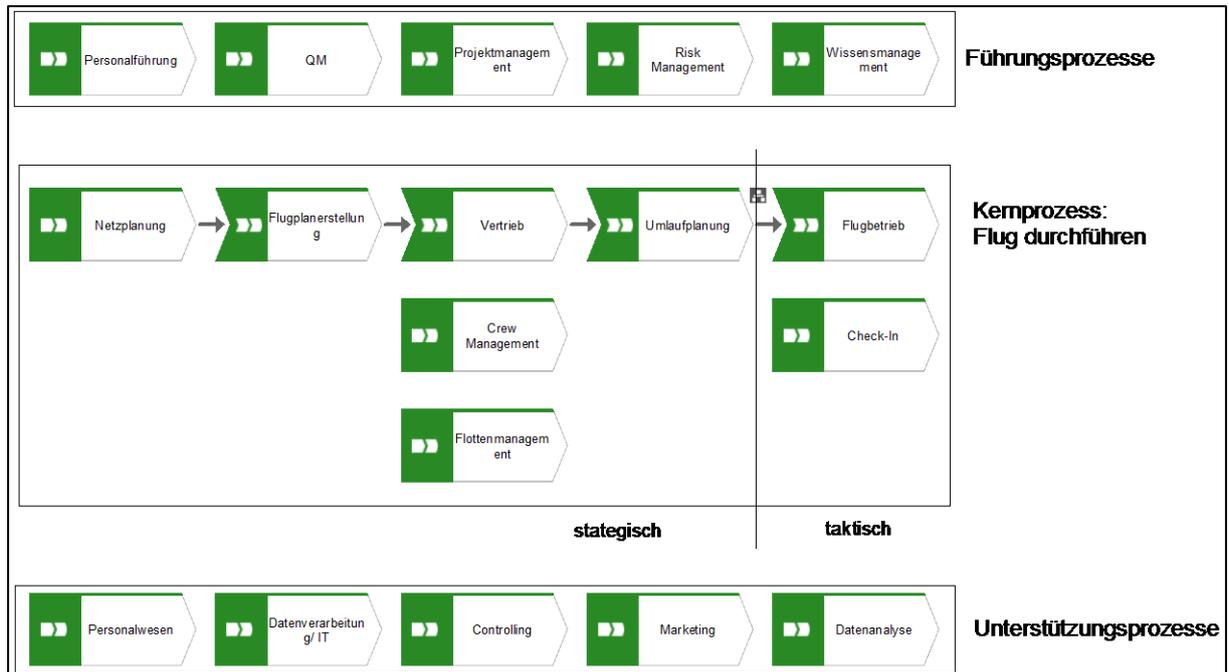
### 10.2.5. Prozesse

Die Prozesse wurden ebenfalls in verschiedenen Hierarchieebenen modelliert. Beginnend mit Wertschöpfungskettendiagrammen in Ebene 1 bis 3 wurde eine immer detailliertere Untergliederung der Organisation hin zu Ereignisgesteuerten Prozessketten in Hierarchieebene 4 erstellt.

Eine Wertschöpfungskette beschreibt die Stufen einer Produktion in einer geordneten Reihung von Tätigkeiten.

Abbildung 43 zeigt die Wertschöpfungskette einer Fluggesellschaft in der ersten Ebene. Zu sehen ist die klassische Unterteilung der Prozesse in Führungs-, Unterstützungs- sowie Kernprozesse. Der Kernprozess einer Airline ist die Durchführung eines Fluges, dieser wird durch Unterstützungsprozesse, wie z.B. das Marketing, unterstützt und durch Führungsprozesse, beispielsweise Risk Management, gesteuert. Im Rahmen des Projektes P-AIR-FORM werden ausschließlich Kernprozesse betrachtet, da die Führungs- und Unterstützungsprozesse keinen direkten Einfluss auf die prä-taktische Entscheidungsfindung haben (lediglich in der vorgelagerten Definition der Entscheidungsprozesse, von

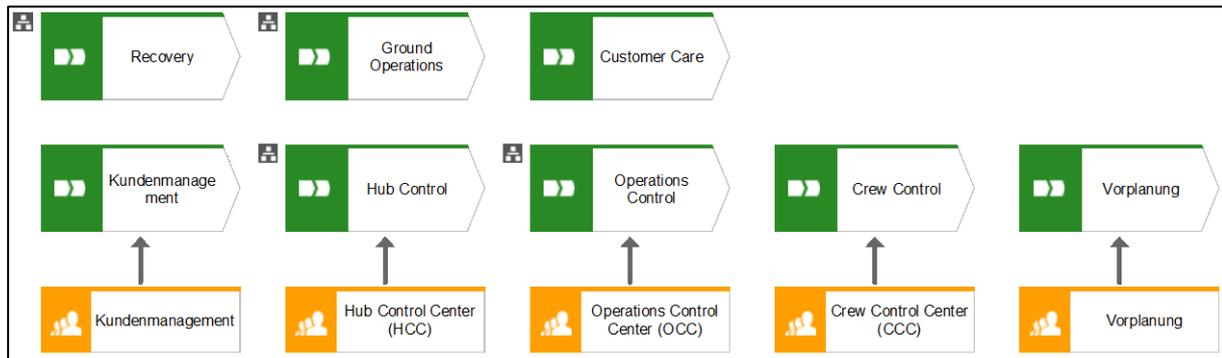
Unternehmenszielen etc.).



**Abbildung 43: Übergeordnete Wertschöpfungskette einer Fluggesellschaft**

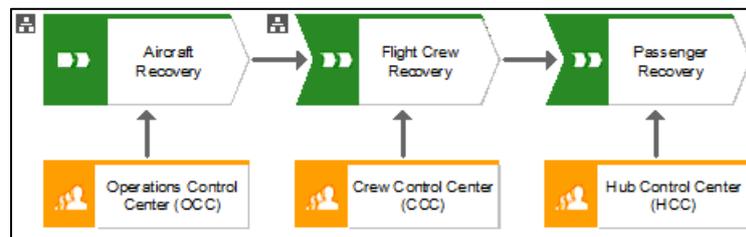
Im Fokus des Projektes P-AIR-FORM standen prä-taktische sowie taktische Prozesse. Daher wurde im Rahmen der Modellierung der Flugbetrieb als prä-taktischer bzw. taktischer Bestandteil des Kernprozesses näher untersucht. Eine Verknüpfung der unterschiedlichen Ebenen der Modellierung erfolgt durch sogenannte Hinterlegungen. In Abbildung 43 ist in der linken oberen Ecke des Prozessschrittes „Flugbetrieb“ ein grau hinterlegtes, stilisiertes Modell abgebildet. Dies weist darauf hin, dass ein untergeordnetes Modell zum Flugbetrieb hinterlegt ist (Abbildung 44).

In Abbildung 44 ist die Wertschöpfungskette des Flugbetriebes dargestellt. Dieser unterteilt sich in verschiedene Aufgabenbereiche, die durch die hospitierten Organisationseinheiten (OE) verantwortet werden. Dazu zählen einerseits Prozesse, die innerhalb einer Organisationseinheit bearbeitet werden, z. B. Hub Control im HCC oder Crew Control im CCC, andererseits aber auch Prozesse, die mehrere OEs direkt betreffen, bspw. Recovery Operations für HCC und OCC.



**Abbildung 44: Wertschöpfungskette des Flugbetriebes (2. Ebene)**

Auch hier zeigt sich wieder, dass bereits bei der Fluggesellschaft mehrere Beteiligte Einfluss auf die prä-taktischen und taktischen Prozesse haben. Daher gibt es sowohl intern als auch extern einen hohen Bedarf an Koordination und zum Teil gegensätzliche Ziele. So ist bspw. dass HCC dafür verantwortlich, dass möglichst viele Passagiere ihren Anschlussflug erreichen. Dies kann bedeuten, dass ein Anschlussflug bei vielen verspäteten Passagieren an einem Hub auf diese wartet. Dadurch ist der Flug unpünktlich, was einerseits die Zielerreichung des OCC senkt, andererseits kann es dadurch auch zu Problemen mit den Crew Duty Times kommen.



**Abbildung 45: Wertschöpfungskette der Recovery Operations (3. Ebene)**

In Abbildung 45 ist die Wertschöpfungskette der 3. Ebene für Recovery Operations, die Reaktion auf Störungen des Flugbetriebes, dargestellt. Sie ist eine Hinterlegung des gleichnamigen Prozessschrittes im Modell des Flugbetriebes in Abbildung 44. Die einzelnen Subprozesse sind dann in der 4. Ebene als Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) modelliert.

Eine Ereignisgesteuerte Prozesskette ist eine grafische Modellierungssprache, um Geschäftsprozesse einer Organisation in zeitlicher Abfolge darzustellen.

Beispielhaft ist die EPK für die Flight Crew bei einem verspäteten Flug in Abbildung 46 aufgezeigt. Der Prozess wird durch das Ereignis „Flug delayed“ ausgelöst. Die Funktion „Auswirkungen auf Crew-Einsatzzeit prüfen“ wird getriggert durch die Stelle „Crew Control Center (CCC)“ ausgeführt. Ist die Funktion abgeschlossen, gibt es, durch eine XOR-Schnittstelle (entweder oder) mit jeweils folgenden Ereignissen gekennzeichnet, die Möglichkeit, dass der Folgeflug innerhalb der Crew Duty-Zeit durchgeführt werden kann oder diese überschritten wird. Daraus resultierend ergeben sich weitere Funktionen, die je nach Entscheidungsstrang unterschiedlich sind. Die EPK endet entweder mit einem Ereignis („Crew über Verspätungen informiert“, „Standby-Crew an Folgeflughafen bereitgestellt“ bzw. „Standby-Crew eingesetzt“) oder durch eine Prozessschnittstelle zu einer weiteren EPK



---

(„Aircraft Recovery Flug delayed“ bzw. „Aircraft Recovery Flug gecancelled“). Die Prozessschnittstelle stellt das Ende einer EPK dar und ist gleichzeitig auslösendes Ereignis der drauffolgenden Ereignisgesteuerten Prozesskette.

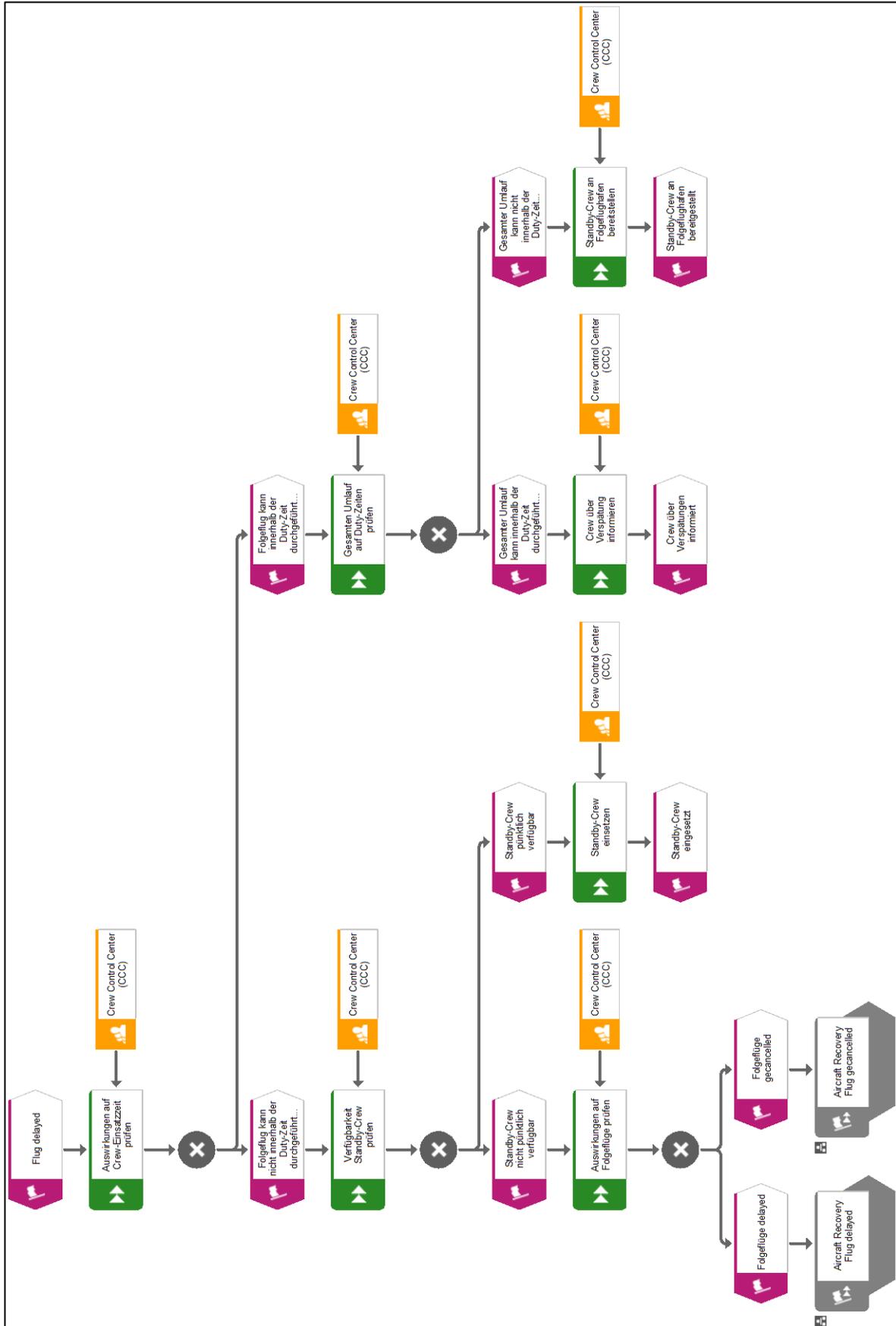


Abbildung 46: EPK Flight Crew Recovery bei verspätetem Flug

In Abbildung 47 ist die Verknüpfung der verschiedenen Ansichten des ARIS-Hauses im Ausschnitt einer ereignisgesteuerten Prozesskette zu erkennen. Die EPK wird durch das Ereignis “Regelmäßige Überprüfung Inbound-Flüge” getriggert. Die CONNEX-Stelle überprüft mittels des IT-Systems NetLine Hub die Inbound-Flüge. Entweder ein Flug ist verspätet oder alle Passagiere können ihre Anschlussflüge innerhalb der Minimum Connecting Time (MCT) erreichen. Je nach Fallunterscheidung wird der Prozess dann unterschiedlich fortgeführt. Die Verbindung von Organisations-, Funktions- und Steuerungssicht wird durch die grün dargestellten Funktionen in der EPK hergestellt.

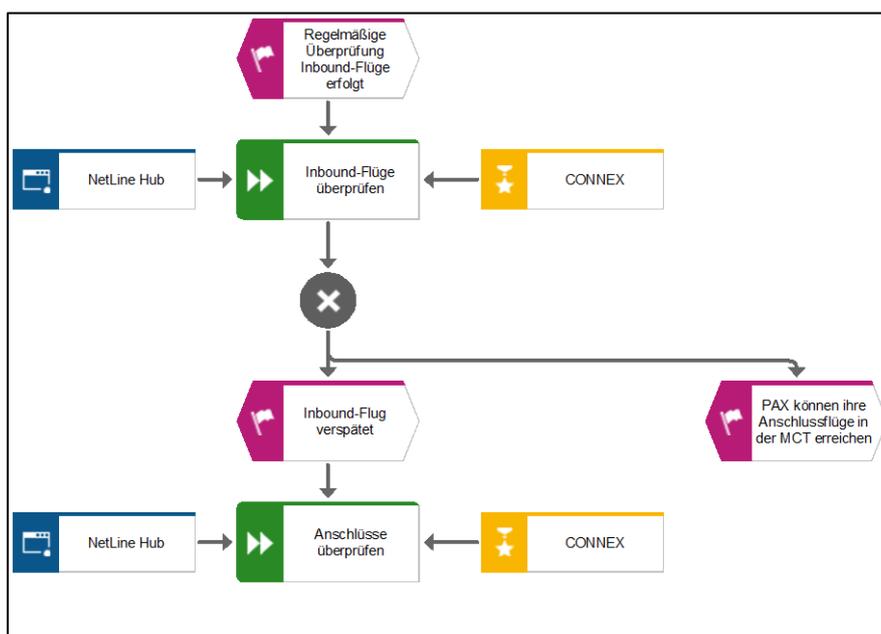


Abbildung 47: Verknüpfung der verschiedenen Ansichten des ARIS-Hauses in einer EPK

### 10.3. Fazit der Modellierung

Durch die Geschäftsprozessmodellierung in ARIS war es innerhalb des Projektes P-AIR-FORM möglich, Handlungsalternativen und Treiber für ausgewählte prä-taktische sowie taktische Entscheidungsprozesse der Stakeholder am Flughafen sowie deren Abhängigkeiten und Kommunikationswege aufzuzeigen. Damit konnte die bisherige Wissenslücke, die eine Modellierung der Prozesse als Black Box erforderlich machte, geschlossen werden. Es ist durch die Modellierung möglich, zu prognostizieren, welche Entscheidungen die Stakeholder in unterschiedlichen Situationen treffen werden. Die somit gewonnenen Erkenntnisse stellen unter anderem eine wichtige Grundlage zur Definition von Kooperationskonzepten im Kontext von Performance Based Airport Management dar.

Durch eine Erweiterung der im Rahmen des Projekts durchgeführten Modellierung auf weitere Prozesse, Stakeholder bzw. auf den strategischen Zeitrahmen wird das Verständnis der Stakeholder-Prozesse innerhalb des DLR zukünftig noch weiter ausgebaut.

## 11. Ausblick

Das Projekt P-AIR-FORM hat wichtige Meilensteine in der Entwicklung eines Performance Based Airport Management erreicht. Sowohl die Konzeptideen, als auch die Ergebnisse aus den Simulationen wurden von Flughafen-Stakeholdern als sehr nützlich und als einen notwendigen ersten Schritt angesehen.

In den Gesprächen mit den Stakeholdern wurde jedoch auch deutlich, dass Grenzen in einer möglichen Umsetzung derzeit gesehen werden und dass sich das DLR in diesem Bereich ggf. weiterentwickeln sollte. So ist eine Umsetzung eines PBAM immer von der Güte und Verlässlichkeit der Vorhersagen und deren Visualisierung abhängig. Auch muss dargestellt werden können, welcher Mehrwert durch eine Einführung eines PBAM an einem Flughafen erbracht werden kann. Darüber hinaus blieben u.a. Fragestellungen in Bezug auf Entscheidungshoheiten, oder zu etablierende politische Rahmenbedingungen offen.

Das DLR wird in einer Vordenkerrolle wahrgenommen und wird sich mit der Thematik weiter auseinandersetzen, um präsentable Prototypen zu erstellen. Im Bereich der Simulationen und des Nachweises des Nutzens eines PBAM sind grundlegende Fragen noch zu erörtern. Hierbei werden auch Anforderungen, Bestrebungen und Entwicklungen auf internationaler Ebene mit berücksichtigt (z.B. SESAR) bzw. eigene Entwicklungen gezielt mit eingebracht. Weitere Prototyp-Entwicklungen können auch zukünftig sowohl in Entwicklungsumgebungen beim DLR, als auch im operationellen Umfeld, wie der ARIF (Airport Research and Innovation Facility) am Hamburger Flughafen, demonstriert werden.

Durch die Modellierung mit ARIS wurden die Kenntnisse über die Treiber und möglichen Entscheidungsoptionen für die an prä-taktischen Prozessen beteiligten Stakeholder an einem Flughafen innerhalb des DLR erweitert. Die gewonnenen Erkenntnisse werden zurzeit in weiteren Projekten bzw. im Rahmen der Drittmittelakquise genutzt.

Durch die Hinterlegung von Attributen, wie z. B. Prozesszeiten, Kosten oder Wahrscheinlichkeiten, können die Modelle zukünftig noch erweitert werden. Dadurch besteht die Option, eine lauffähige Simulation zu erstellen, mit der unterschiedliche Handlungsalternativen in prä-taktischen Prozessen bewertet werden können. ARIS bietet die Möglichkeit, die Auswirkungen der Wahl unterschiedlicher Handlungsalternativen und Änderungen an den Prozessen, beispielsweise durch die Implementierung von PBAM, anhand von KPI zu bewerten.

## 12. Wesentliche im Projekt erarbeitete Dokumente

Die wesentlichen im Projekt erarbeiteten Dokumente werden nachfolgend aufgeführt. Diese sind fast ausnahmslos lediglich DLR-intern verfügbar. Die im Projekt erarbeiteten Veröffentlichungen werden separat im nachfolgenden Kapitel aufgelistet.

[Dok_Hospi]	Hospitationsberichte von verschiedenen Flughäfen
[Dok_Hospi_Auswertung]	P-AIR-FORM Hospitationsbericht, Zusammenfassung und Auswertung
[Dok_Fragebogen]	erstellter Hospitationsfragebogen
[Dok_Workshop]	Protokoll Workshop mit Stakeholdern
[Tabelle_KPI]	Zusammenstellung möglicher relevanter KPIs
[Dok_Wetter]	Wetter-ATM-Regelwerk
[Dok_Koop]	Kooperationskonzept
[Dok_TOP_1]	Beschreibung Planungssystem TOP - Flow Ebene
[Dok_TOP_2]	Beschreibung Planungssystem TOP - Event Ebene
[Dok_Info]	Kurzbeschreibung P-AIR-FORM (extern verfügbar)

### 13. Veröffentlichungen und Abschlussarbeiten

- [Veröffentlichung\_Airline] Seba, Jan (2014): Airline-Geschäftsprozessmodellierung im Kontext von Performance Based Airport Management. Masterarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg.
- [Veröffentlichung\_Modeling] Wenzel, Steffen; Günther, Yves (2015): Modeling of Pre-tactical Airline Decision Processes to enable Performance-Based Airport Management. AGIFORS Airline Operations Study Group Meeting, 04. – 07. Mai 2015, Abu Dhabi.
- [Veröffentlichung\_Operations] Günther, Yves; Pick, Andreas; Kern, Stefan; Lorenz, Sandro; Gerz, Thomas; Keis, Felix; Köhler, Martin (2015): Improved airport operations planning by using tailored forecasts of severe weather, Air Transport and Operations Symposium 2015, 20. – 23. Juli 2015, Delft.
- [Veröffentlichung\_PBAM] Helm, Stefanie; Loth, Steffen; Günther, Yves; Schultz, Michael (2015): Advancing Total Airport Management – An Introduction of Performance Based Management in the Airport Context, ATRS WORLD CONFERENCE (accepted), 2.-5. Juli 2015, Singapur
- [Veröffentlichung\_Punctuality] Loth, Steffen; Helm, Stefanie (2015): Punctuality as KPI for Performance Based Airport Management, 15th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (accepted), 22.–26. Juni 2015, Dallas(TX)
- [Veröffentlichung\_KPIS] Kosanke, Lisa; Schultz, Michael (2015): Key Performance Indicators for Performance-Based Airport Management from the perspective of airport operations, Air Transport and Operations Symposium 2015, 20. – 23. Juli 2015, Delft
- [Veröffentlichung\_GA] Grabner, Leonard; Schultz, Michael (2015): Analysis of general aviation procedures at medium sized airports and their interactions with scheduled commercial flights, Air Transport and Operations Symposium 2015, 20. – 23. Juli 2015, Delft
- [Veröffentlichung\_KPIS\_2] Kosanke, Lisa; Schultz, Michael (2015): Key Performance Indicators for Performance-Based Airport Management from the perspective of airport operations, DLRK 2015, 22. – 24. September 2015, Rostock
- [Veröffentlichung\_GA\_2] Grabner, Leonard; Schultz, Michael (2015): Analysis of general aviation procedures at medium sized airports and their interactions with scheduled commercial flights, DLRK 2015, 22. – 24. September 2015, Rostock
- [Veröffentlichung\_KOOP] Papenfuß, Anne; Carstengerdes, Nils; Günther, Yves (2015): Konzept zur Kooperation in Flughafen-Leitständen, 57. FAS DGLR L6.4 Anthropotechnik, 25.-26.11.2015, Rostock
- [Master\_KPI\_1] Kosanke, Lisa (2015): Ableitung von Key Performance Indikatoren für ein leistungsorientiertes Flughafenmanagement anhand betrieblicher Problemstellungen, Masterarbeit
- [Master\_KPI\_2] Becker, Katharina (2015): Ableitung von Key Performance Indikatoren für ein leistungsorientiertes Flughafenmanagement anhand bestehender Stakeholderbeziehungen, Masterarbeit



---

[Master\_KPI\_3] Hipp, Kristin-Susan (2015): Ableitung von Key Performance Indikatoren für ein leistungsorientiertes Flughafenmanagement anhand wirtschaftlicher Fragestellungen, Masterarbeit

[Bachelor\_GA] Grabner, Leonard (2015): Ableitung des Einflusses der Allgemeinen Luftfahrt auf Key Performance Indikatoren an kommerziell genutzten Flughäfen, Bachelorarbeit

## 14. Literaturquellen

- [AIRB\_2005] AIRBUS A318/A319/A320/A321, Flight crew training manual, Supplementary Information – adverse weather, 04.010, Jul 28/05
- [ATMAP\_2009] ATM Airport Performance (ATMAP) Framework, Measuring Airport Airside and Nearby Airspace Performance, Eurocontrol, 2009 [http://teamsites.dlr.de/fl/P-AIR-FORM/HAP%201/AP%201.2%20Definition%20KPIs/Quellen/Eurocontrol%20PRU/ATMAP/ATMAP\\_Report\\_December\\_2009.pdf](http://teamsites.dlr.de/fl/P-AIR-FORM/HAP%201/AP%201.2%20Definition%20KPIs/Quellen/Eurocontrol%20PRU/ATMAP/ATMAP_Report_December_2009.pdf)
- [BELL\_1995] Bellowini, A., & Vanderhaegen, F. (1995). Communication and Cooperation Analysis in Air Traffic Control. Paper presented at the The 8th International Symposium on Aviation Psychology, Columbus
- [DGUV\_2011] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, DGUV BGI/GUV-I 5144, Gewitter auf dem Vorfeld von Verkehrsflughäfen, Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, Berlin, April 2011
- [Dob\_2009] Dobek, A., Auswertung von Nebel und Hochnebel, sowie Prognose mittels logistischer Regression für den Flughafen Wien-Schwechat, Diplomarbeit, Universität Wien, Mai 2009
- [DWD\_2004] Deutscher Wetterdienst – Regionales Gutachtenbüro, Gutachten G 21.1 Flugklimatologisches Gutachten, Ausbau Flughafen Frankfurt Main, Mainz, 22. Juli 2004
- [EU\_2010] Regulation 691/2010 Commission Regulation No 691/2010, EU, 2010, <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:201:0001:0022:EN:PDF>
- [For\_2011] Forster, C., Innovative Gewitterinformationen für den Luftverkehr: Echtzeit-Demonstration der DLR Gewitter-Produkte am Flughafen München, DLR Institut für Physik der Atmosphäre, DWD Luftfahrt-Kundenforum, 22. September 2011
- [FFR\_2006] Forum Flughafen & Region FFR (GPM, 2006, Dipl.-Meteorol. Th. Hasselbeck) <http://www.forum-flughafen-region.de/monitoring/fluglaerm-monitoring/betriebsrichtungsprognose/>
- [GUE\_2006] Günther, Y.; Inard, A.; et al., Total Airport Management, Operational Concept Document, 2006
- [GUE\_2013] Günther, Y.; Carstengerdes, N.; Gerz, T.; Keller, K.-H.; Knabe, F.; Lütjens, K.; et al., P-AIR-FORM – Projektplan, 2013
- [Hee\_2005] Heese, M. (2005). The Feasibility of a new Air Traffic Control Concept from a Human Factors Perspective. Magistra rerum naturalium, Karl-Franzens-University, Graz
- [Hoc\_2001] Hoc, J.-M. (2001). Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. International Journal of Human-Computer Studies, 2001(54)
- [Hoff\_2008] Hoffmann, J.M., Entwicklung und Anwendung von statistischen Vorhersage-Interpretationsverfahren für Gewitternowcasting und Unwetterwarnungen unter Einbeziehung von Fernerkundungsdaten, Promotionsarbeit, Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin, März 2008
- [IDS\_2004] IDS Scheer Academy, ARIS Training & Consulting,

IDS\_Scheer\_Acadamy\_Catalog.pdf, 2004

[Kee\_2014] Kees, Fliegen unter Gewitterbedingungen, Interview mit Sophie KF, Juni 2014

[Keis\_2014] Keis F. 2014: WHITE – Winter hazards in terminal environment: An automated nowcasting system for Munich Airport. Met Z. 24, No.1, 61-82, doi:10.1127/metz/2014/0651

[Kober und Tafferner\_2009] Kober, K., Tafferner A., 2009: Tracking and nowcasting of convective cells using remote sensing data from radar and satellite, Meteorol. Zeitschrift, 1 (18), 75 - 84. DOI 10.1127/0941-2948/2009/359

[Koe\_2013] Köhler, M.; Tafferner, A., Thunderstorm forecasting by a fuzzy logic combination of model data, 7th Conference of Severe Storms, DLR Oberpfaffenhofen , 3 – 7 June 2013 Helsinki, Finland

[Köhler et al.\_2015] Köhler M., Tafferner A., Gerz T. 2015: Cb-LIKE Cumulonimbus Likelihood: Thunderstorm forecasting with fuzzy logic. To be subm. to Meteorologische Zeitschrift

[MUC\_2007] Flughafen München, Airport CDM, Leaflet, 2007, <http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/cdm/leaflet.pdf>

[MUC\_2012] Flughafen München, Flughafenhandbuch für den Flughafen München gemäß § 45a Luftverkehrszulassungsordnung [LuftVTO] vom 22. Februar 2011 (Abschnitt 4.18 Außergewöhnliche Wetterereignisse), Flughafen München GmbH, Stand 20.02.2012

[PRU\_2011] Performance Review Unit in consultation with the ATMAP MET working group, Algorithm to describe weather conditions at European airports, Technical Note, Final Draft, Version 2.3: March 18th 2011

[Sau\_2013] Sauer, M., Konzeption zur Implementierung von winterlichen Wetterereignissen in Schnellzeitsimulationsmodelle des Luftverkehrs. Institut für Flugführung, IB 112-2013/4, DLR Braunschweig, 2013

[Sch\_2013] Schmitz, R.; Kreuz, M.; Temme, A.; Mühlhausen, T., Impact of Climate Change on Aviation Vulnerability, INAIR Conference Bratislava, 8. November 2013

[Sesar-0607] Air Transport Framework – The Performance Target D2, SESAR, 2006 [http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/DLM-0607-001-02-00a\\_0.pdf](http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/DLM-0607-001-02-00a_0.pdf)

[Spi\_2007] Spies, G.; Günther, Y. , Besuch Flughafen Wien, Praktikumsbericht v. 19.03.2007

[St\_2008] Stuck, J., Ein Jahr nach Kyrill: Analyse und Ausblick über Orkane in Europa, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Versicherungstag 2008, FH Hannover, 29.01.2008.

[Tan\_2006] Tan, J. H. W., & Zizzo, D. J. (2006). Groups, cooperation and conflict in games. The Journal of Socio-Economics, 37(1), 1-17. doi: 10.1016/j.socec.2006.12.023

[ITIL\_2007] ITIL IT Service Management, Glossary of Terms and Definitions, 2007, [http://www.best-management-practice.com/gempdf/itilv3\\_glossary\\_english\\_v1\\_2007.pdf](http://www.best-management-practice.com/gempdf/itilv3_glossary_english_v1_2007.pdf)

## 15. Kontakt

### Weitere Informationen zum Projekt P-AIR-FORM:

**Yves Günther**

P-AIR-FORM Projektleiter

Tel: +49 (0)531-295 2558

E-Mail: [yves.guenther@dlr.de](mailto:yves.guenther@dlr.de)**Dr.-Ing. Michael Schultz**

Abteilungsleiter Luftverkehrssysteme

Tel.: +49 531 2952570

E-Mail: [Michael.Schultz@dlr.de](mailto:Michael.Schultz@dlr.de)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Institut für Flugführung

Lilienthalplatz 7

38108 Braunschweig / Germany

[www.dlr.de/FL](http://www.dlr.de/FL)