

ENDBERICHT

FFG Projektnummer	850476	eCall Antragsnummer	5573090
Kurztitel	MET4LOWW	FörderungsnehmerIn	Austro Control Universität Salzburg
Bericht Nr.	2	Berichtszeitraum	01.09.2015 – 28.02.2018
Bericht erstellt von	Austro Control, Markus Kerschbaum		

Richtwert für den Umfang: 10-20 Seiten

1. Ziele und Ergebnisse

- Wurden die dem Förderungsvertrag zugrunde liegenden Ziele erreicht? Sind diese Ziele noch aktuell bzw. realistisch? (Achtung: Änderungen von Zielen erfordern eine Genehmigung durch die FFG)
- Vergleichen Sie die Ziele mit den erreichten Ergebnissen.
- Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

MET4LOWW Projektziele

Im Förderungsvertrag wurden die folgenden Ziele formuliert

- 1) Die in AP2 ATM/MET-Requirements formulierten Anforderungen an die Simulation sind umgesetzt. ATC-Verfahren, meteorologische Felder und Wetter-Objekte sind ganzheitlich im NAVSIM Fast Time Simulator integriert
- 2) harmonisierte und strukturierte ATM-Verfahren, die MET-Informationen direkt verarbeiten können
- 3) dafür optimierte deterministische Wetterinformationen zu generieren
- 4) die Potenziale von probabilistischer MET-Information auszuloten

Um diese Ziele zu erreichen, wurde in MET4LOWW das in Abbildung 1 skizzierte Konzept entwickelt.

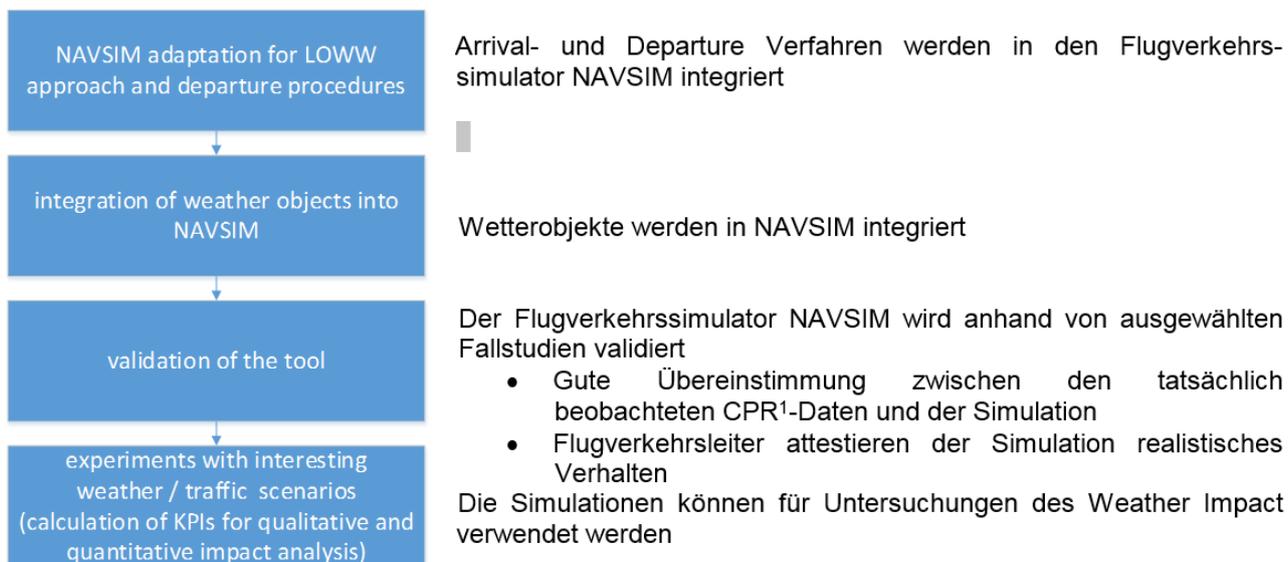


Abbildung 1: MET4LOWW Konzept

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Für die Betrachtung des Weather Impact mit dem validierten Simulator wird das in Abbildung 2 beschriebene Verfahren verwendet, das die wesentlichen Teile des realen Flugverkehrs nachbildet.

- 1) Die gesamte Betrachtung geht immer von einem geplanten Verkehrsszenario aus, das über einen Flugplan abgebildet wird. Das kann entweder realer oder auch künstlich generierter Verkehr sein
- 2) Aus der Wettervorhersage (Nebel, Gewitter, ...) werden dann entsprechende Maßnahmen abgeleitet, zB können Airlines mehr Treibstoff für Holdings mitnehmen, ATM kann Regulierungen einsetzen oder auch andere Maßnahmen setzen.
- 3) Daraus wird dann der zu erwartende Verkehr bestimmt
- 4) Das tatsächlich eingetretene Wetter generiert in der Simulation die entsprechenden Maßnahmen (Spacing im Final Approach, Orientierung der Landebahn, Routing des Verkehrs, ...)
- 5) NAVSIM berechnet aus der Simulation bestimmte Key Performance Indicators (KPIs)
- 6) Aus diesen KPIs wird der Weather Impact analysiert.

Mit diesem Verfahren werden im Projekt MET4LOWW dann Experimente zur qualitativen und quantitativen Untersuchung der unterschiedlichen Verkehrs- und Wetterszenarien gemacht und daraus dann Aussagen zu Weather Impact und möglichen Optimierungen abgeleitet.

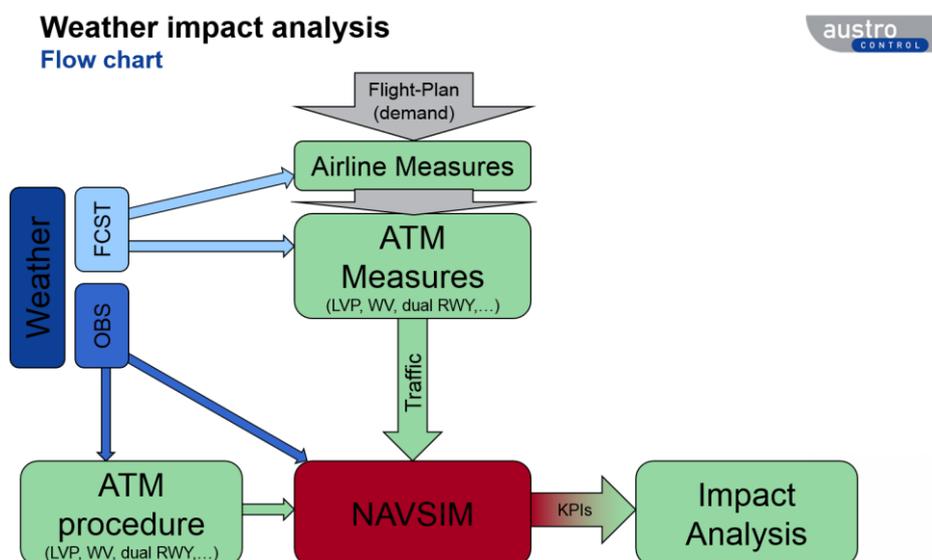


Abbildung 2: Flussdiagramm, der in MET4LOWW verwendeten Analyse des „Weather Impact“

MET4LOWW Projektergebnisse

In der dem Förderungsvertrag zugrunde liegenden Einreichung wurden die folgenden Projektergebnisse geplant:

- 1) In den Fast Time Simulator NAVSIM sind implementiert
 - a. Standard Arrival und Departure Verfahren für An- und Abflug
 - b. Ein optimiertes Verfahren für das Umfliegen von Wetterobjekten (Gewittern)
 - c. Berechnung von ATM Performance Indikatoren (KPIs)
- 2) Aus den Auswirkungen auf die ATM Key Performance Areas optimierte wetterbasierte Verfahren im Arrival und Departure Management
- 3) Validiertes Konzept, wie optimale deterministische Wetterinformation für das Arrival und Departure Management gestaltet sein muss (notwendige Auflösung / Genauigkeit)
- 4) Validiertes Konzept zur optimalen Integration der probabilistischen Wetterinformation in das Arrival und Departure Management

Im Folgenden wird zu den vier Punkten jeweils eine kurze Übersicht über die Projektergebnisse gegeben.

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

NAVSIM-Implementierungen

a) Standard Arrival und Departure Verfahren für An- und Abflug

Klimatologische Untersuchungen sowie die Erfahrung der Flugverkehrsleiter identifizieren die Transitions als die wetterkritischen Bereiche im Arrival/Departure Management, ein wesentlicher Grund dafür ist einfach der stark eingeschränkte zur Verfügung stehende Raum für ausgedehnte Ausweichmanöver bzw für das Puffern von zu viel Verkehr. In MET4LOWW werden die Arrivals ab dem Ende der Standard Arrival Routen (STAR) betrachtet, das bedeutet, dass die in der AIP¹ veröffentlichten Transitions modelliert werden müssen. Am Beispiel der Transition auf Runway 16 (vgl. Abbildung 3) werden die modellierten Arrival-Modi illustriert

- Bei wenig Verkehr wird der „direct mode“ verwendet, dh es wird der kürzeste Weg vom Beginn der Transition zur Runway simuliert
- Wenn der direct mode nicht mehr möglich ist, wird der zusätzliche Verkehr auf der Transition „gepuffert“, dieses Verfahren ermöglicht durch das genau „getimte Interceptieren“ auf den „Final Approach“ ein gesteuertes „Spacing“ im Endanflug
- Bei weiterem Verkehr werden „Holding Patterns“ eröffnet, wo in Warteschleifen gewartet wird, bis ein weiterer Anflug möglich ist

Diese drei Modi ermöglichen es, den anfallenden Verkehr realistisch zu simulieren, was der Screenshot in Abbildung 4 demonstrieren soll.

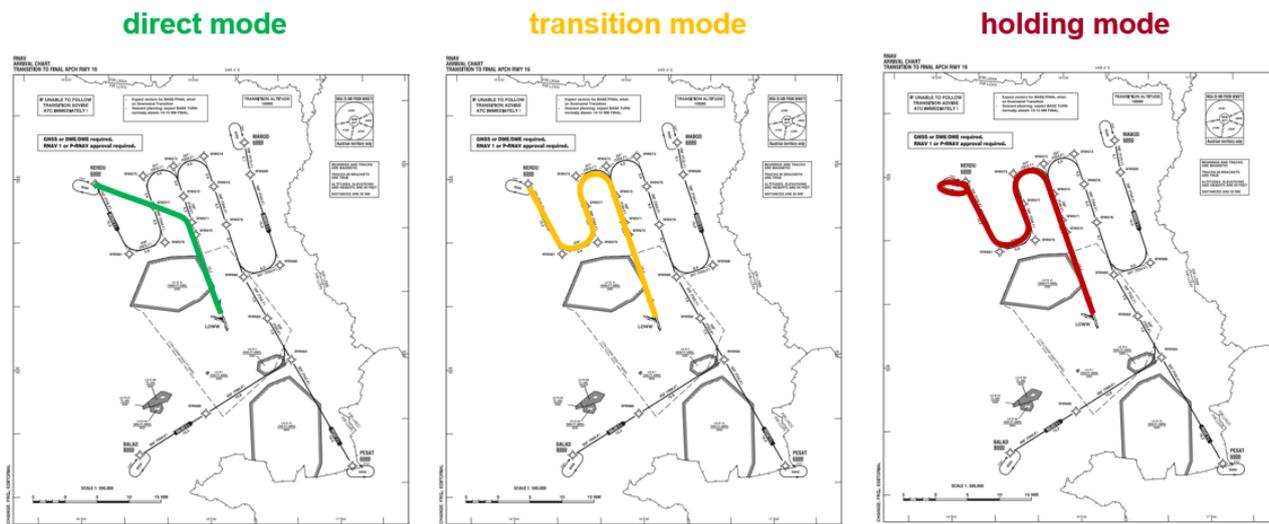


Abbildung 3: Skizze der in NAVSIM implementierten Anflug-Modi für die Runway 16

Konkret wurden in NAVSIM/AMAN folgende Features implementiert

- Stochastische Generierung von Luftfahrzeugen mit einstellbarer Arrival Rate; Entry Waypoints RW34: BALAD, MABOD, NERDU, PESAT
- Spacing bezieht sich immer auf Final Approach (sonst 3 nM within TMA)
- Radar Vectoring ab Entry Waypoint (Vorschlag durch NAVSIM/AMAN)
- Bei geringem Flugverkehr: Spacing entlang der Runway Center Line
- Bei starkem Flugverkehr: Abfliegen der Transition Routen und Eindrehen (AMAN Vorschlag) zum geeigneten Zeitpunkt auf RWY Center Line
- Speziell bei Low Visibility Procedures (Spacing am Final Approach 4 nM bzw. 6 nM): Abfliegen von Holdings (gemäß AIP) an den Waypoints: BALAD, MABOD, NERDU und PESAT
- Holding Time prinzipiell 4 Minuten (1 Min. legs), Holding wird gemäß AMAN-Vorschlag verlassen.
- Striktes Sequencing entsprechend Ankunftszeitpunkt (je Holding)

¹ https://eaip.austrocontrol.at/lo/180427/ad_2_loww.htm

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

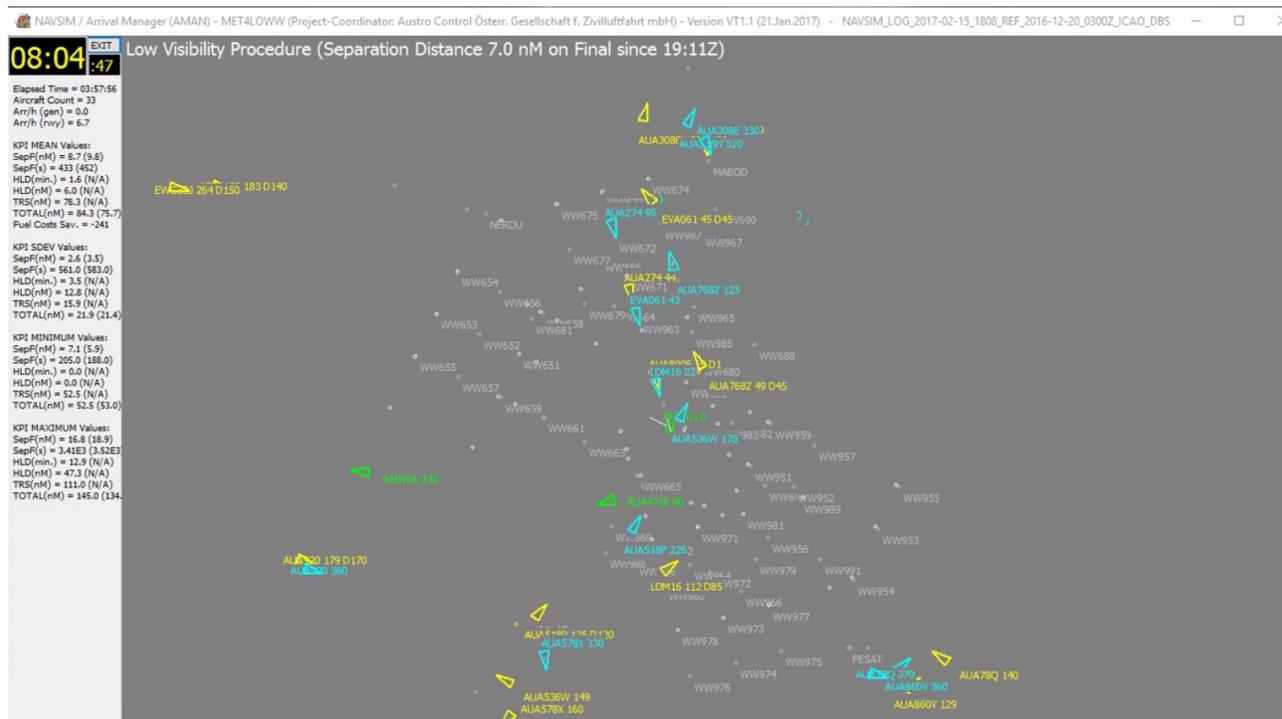


Abbildung 4: Beispiel für die Integration von ATM-Verfahren in NAVSIM anhand eines LVP- Validierungs-szenarios. Gelb eingefärbt sind die tatsächlich geflogenen Arrivals aus den CPR-Daten, blau die simulierten Arrivals, grün die Departures. In diesem Screenshot sind auch die Holding Patterns an den STAR Endpunkten zu erkennen.

Der abfliegende Verkehr (Departures) wird entlang der Standard Instrument Departure Routen (SID) geführt. Dieses Modell beschreibt bereits alle notwendigen Verfahren, in der entsprechenden Validierung konnten die Verkehrsmuster und die dazugehörigen KPIs realistisch nachgebildet werden.

b) Ein optimiertes Verfahren für das Umfliegen von Wetterobjekten (Gewittern)

Abbildung 5 skizziert das in NAVSIM implementierte Modell für das Umfliegen von Wetterobjekten anhand der Haupt-Arrival Route des Flughafen Wiens bei NW-Wind.

- Szenario 1 (links oben) erfordert einen Wechsel der Landebahn, der Endanflug ist durch ein Wetterobjekt (Gewitterzelle) blockiert
- Szenario 2 unterscheidet zwischen drei Möglichkeiten
 - a) Ein Teil des Gegenanflugs (Downwind) ist durch eine Gewitterzelle blockiert, die Transition muss verkürzt werden (rechts oben)
 - b) Ein Teil des Gegenanflugs (Downwind) ist durch eine Gewitterzelle blockiert, kann aber umfliegen werden (links unten), ein Korridor wurde definiert
 - c) Die Gewitterzelle ist zu groß um umfliegen zu werden (rechts unten), der definierte Korridor ist blockiert, es muss auf die andere Transition ausgewichen werden

Dieses Modell beschreibt bereits alle notwendigen Verfahren, in der entsprechenden Validierung konnten die Verkehrsmuster und die dazugehörigen KPIs realistisch nachgebildet werden.

Für die konkrete Umsetzung dieses Verfahrens wurde in NAVSIM/AMAN der folgende Algorithmus implementiert:

- Verhindert eine Gewitterzelle auf der "Downwind"-Transition das vollständige Befliegen der Route, wird zunächst berechnet, ob ein "Short-Final" (Mindestlänge 6 nautische Meilen auf der verlängerten Runway

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Center Line) möglich ist

- Falls dies nicht der Fall ist, wird untersucht ob eine Ausweichroute innerhalb eines Korridors (nach außen 8 nautische Meilen bezogen auf die "Downwind"-Transition, nach innen bis 1 nautische Meile zur Runway Center Line) geflogen werden kann.
- Falls dies nicht der Fall ist, wird versucht den Anflug über die gegenüberliegende "Downwind"-Transition durchzuführen.
- Falls auch dies nicht möglich ist, bzw. die Runway Center Line im Final durch eine Gewitterzelle blockiert ist wird versucht auf eine andere Landebahn (mit geeigneten Windverhältnissen) auszuweichen.
- Falls auch dies nicht möglich ist, wird eine Warteschleife (Holding) bezogen.
- Falls eine Holding-Zeit von 20 Minuten (bzw. eine längere Holdingzeit entsprechend des noch verfügbaren Treibstoffvorrates) überschritten wird (bzw. überschritten werden würde), wird zu einem Alternate Aerodrome ausgewichen (im Simulator generisch umgesetzt).

Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für das Umfliegen einer ausgedehnten Gewitterzelle.

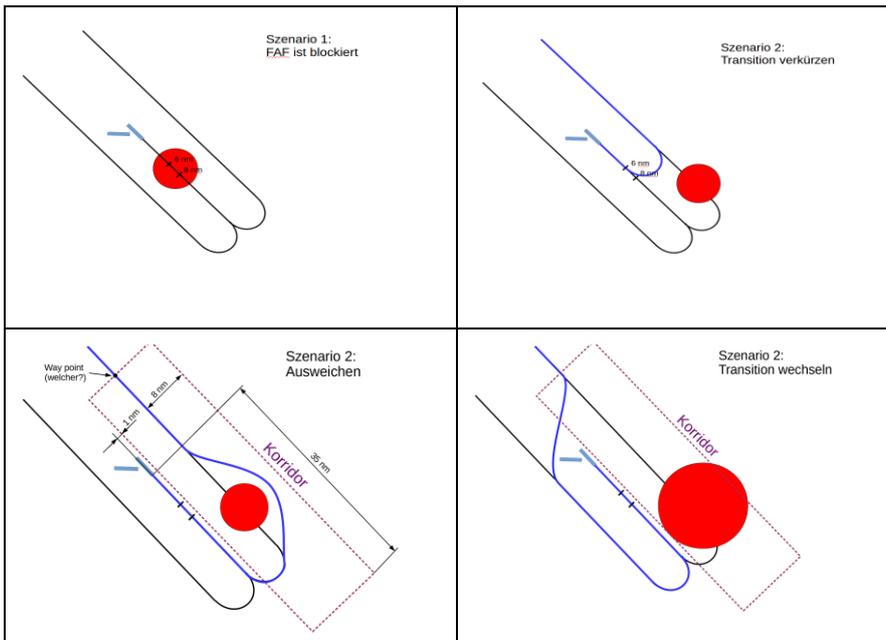


Abbildung 5: Verfahren für das Umfliegen von Wetterobjekten (Gewitterzellen in rot symbolisiert)

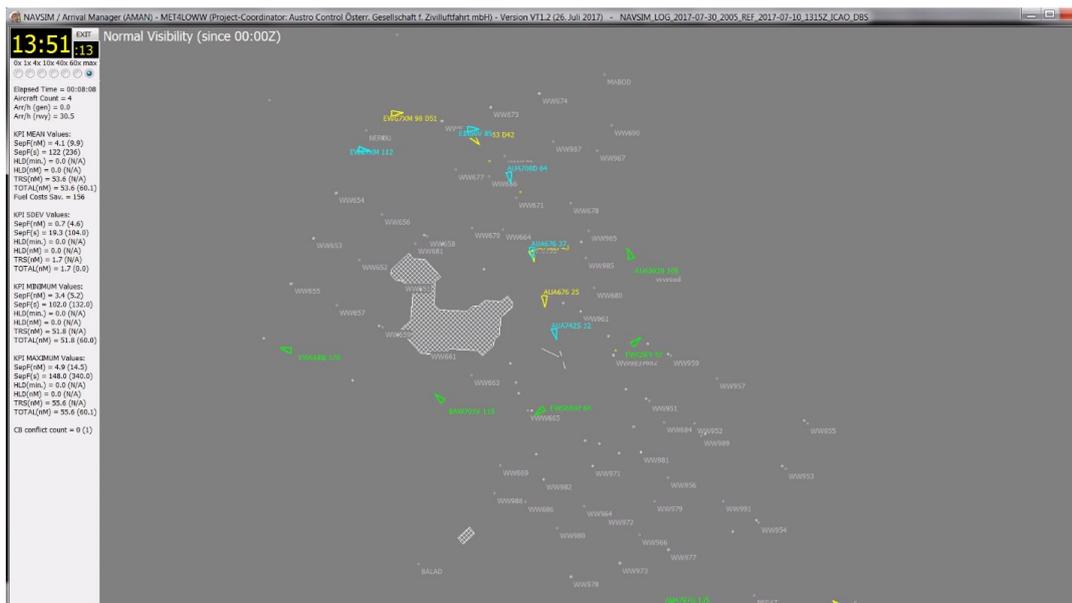


Abbildung 6: Beispiel vom 10. Juli 2017 für das Umfliegen von Wetterobjekten (schraffiert die Gewitterzelle, die umflogen wird)

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

c) Berechnung von ATM Performance Indikatoren (KPIs)

Die qualitative und quantitative Berechnung von KPIs wird anhand des synthetischen Beispiels eines starken Schneefall-Events mit aus der nachfolgenden Pistenräumung resultierender vorübergehender Sperre einer Landebahn (Abbildung 8) demonstriert. In diesem Beispiel werden in 2½ Stunden 75 Flüge erwartet, was in Wien Schwechat in etwa dem Verkehr in einer „Morgenwelle“, also einer der Hauptverkehrszeiten, entspricht. Es wird angenommen, dass aufgrund von starkem Schneefall die Piste geräumt werden und damit für 45 Minuten gesperrt werden muss.

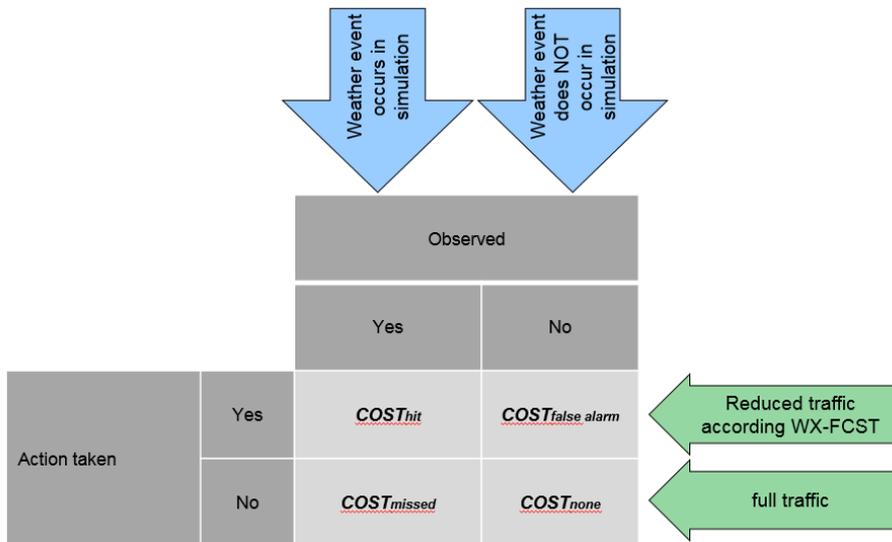


Abbildung 7: Auf den Simulationen basierende Kostenmatrix für die Erstellung der Szenarien

In MET4LOWW wurde für die quantitative Impact-Abschätzung eine Kostenmatrix (siehe Abbildung 7) verwendet, in der das beobachtete Wetter den aus den Vorhersagen abgeleiteten Maßnahmen gegenübergestellt wird (vgl. Abbildung 2). Für die vier möglichen Zustände werden dann vier Simulationen gemacht und dafür die KPIs aus Abbildung 8 berechnet.

Runway closure – synthetic example

KPIs:

2.5 hours
75 flights

	<u>none</u>	<u>false alarm</u>	<u>miss</u>	<u>hit</u>
<u>Diversions</u>	0	0	15	3
<u>Trackmiles / flight [NM]</u>	64.3	70.8	67.8	84.5
<u>Holding time [min]</u>	46	71	239	291
<u>Holding time / flight [min]</u>	0.62	0.95	3.19	3.89
<u>Regulated delay [min]</u>	0	823	0	823
<u>Regulated delay / flight [min]</u>	0	11	0	11
<u>Regulated delay cost [€]</u>	0	19,710	0	19,710
<u>ARR delay cost [€]</u>	0	1,630	10,090	20,060
<u>Diversion cost [€]</u>	0	0	124,500	23,700
<u>Total cost [€]</u>	0	21,340	134,590	63,470
<u>Total cost / flight [€]</u>	0	285	1,795	846

Abbildung 8: Verwendete KPIs² anhand eines synthetischen Beispiels einer vorübergehenden Sperre einer Landebahn wegen Schneeräumung

² Kostenschätzungen basieren auf A. Cook, G. Tanner, *European airline delay cost reference values, updated and extended values*. Version 4.1, <https://www.eurocontrol.int/publications/european-airline-delay-cost-reference-values> (2015) und *Standard Inputs for EUROCONTROL Cost-Benefit Analyses*. Edition Number: 8.0. Edition Date: January 2018

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

In diesem synthetischen Winterwetterfall wird das „None-event“, also der Fall dass der Schneefall korrekterweise nicht vorhergesagt und daher die Schneeräumung auch nicht erforderlich war, als Referenz herangezogen.

Aus Abbildung 8 lassen sich aber drei weitere Szenarien betrachten

- **Hit:** Der Schneefall wurde korrekt vorhergesagt, ATM hat die Arrival-Rate korrekt für 45 Minuten auf Null gesetzt, die Piste musste geräumt werden, die Landebahn war für 45 Minuten nicht benutzbar. Insgesamt gab es bei diesem Winterwetterfall drei Landungen auf Ausweichflughäfen (Diversion), insgesamt 823 Minuten in Warteschleifen, im Vergleich zum Referenzszenario € 63.470,- an Mehrkosten.
- **Miss:** In diesem Fall wurde das Event nicht vorhergesagt, ATM konnte daher auch keine Maßnahmen setzen. Das Resultat dieser Simulation waren 15 Diversions, zusätzlich 239 Minuten im Holding und Mehrkosten von insgesamt € 134.590,- (also das Doppelte von der korrekten Vorhersage bzw. Maßnahmen)
- **False Alarm:** Auch im Fall, dass das Event zwar vorhergesagt, aber dann nicht eingetreten ist, fallen noch immer Delay-Kosten von € 21.340,- an, die durch das verzögerte Abfliegen der Flüge entstehen.

Dieses synthetische Beispiel demonstriert recht anschaulich die Potentiale von genauen Vorhersagen und daraus abgeleiteten Maßnahmen. Auch die drei Diversions im „Hit“-Szenario ließen sich durch größere Treibstoffreserven vermeiden. Aus diesem Beispiel ergäbe sich ein Cost/Loss Ratio von 0.23, das in der Folge bei Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen verwendet werden könnte.

Potentiale optimierter wetterbasierter Verfahren im Arrival und Departure Management

In diesem Abschnitt werden mit der vorgestellten Methodik die Potentiale von neuen Methoden vorgestellt

Distance Based (DBS) vs. Time Based (TBS) Separation³

Derzeit wird auf den meisten internationalen Flughäfen im Endanflug meist noch nach distanzbasierten Methoden gestaffelt, das bedeutet, dass die Flugzeuge am Final Approach bis zum Aufsetzen mindestens 3 nautische Meilen Abstand haben müssen⁴.

Wind conditions:

RWY headwind: ~ 15kt

600ft headwind: ~ 25kt

KPIs:

16 hours
305 flights

	DBS	TBS	DBS no wind
Trackmiles / flight	63.7	58.0	60.2
Holding time [min]	205	52	105
Holding time / flight [min]	0.68	0.17	0.34
ARR delay [min]	625	186	0
ARR delay / flight [min]	2.0	0.6	0
ARR delay cost [€]	44,330	13,480	0
ARR delay cost / flight [€]	145.3	44.2	0
Mean spacing at touchdown [NM]	4.1	3.9	4.3
Lateral efficiency []	1.197	1.070	1.117

Abbildung 9: Potential von Time Based Separation (TBS) gegenüber Distance based Separation (DBS)

³ SESAR 06.08.01 D05 - Operational Service and Environment Definition (OSED) for Time Based Separation for Arrivals (TBS)

⁴ Dieser Abstand kann bei guten Umweltbedingungen und entsprechenden Verfahren zum Teil auch unterschritten werden

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Bei Starkwind hat das aber durch die geringere Geschwindigkeit der Luftfahrzeuge über Grund einen reduzierten Durchsatz und damit eine verminderte Kapazität zur Folge. Aus diesem Grund soll an verkehrsreichen Flughäfen zur zeitbasierten Staffelung (Time Based Separation) übergegangen werden⁵, dadurch soll dieser Kapazitätsverlust minimiert werden. Das Beispiel in Abbildung 9 illustriert anhand eines realen Wetterszenarios das Potential von Time Based Separation in Wien Schwechat. Bei einem durchaus nicht unüblichen Headwind von 15kt am Boden und 25kt in 600ft kann man die Kapazitätsverluste auf etwa 1/3 reduzieren. Der Flughafen Wien gilt in der Luftfahrt-Welt als „windy Airport“, was auch die Windstatistik belegt, somit ergibt sich durch diese TBS-Verfahren einiges an Einsparungspotential.

Potential von Wirbelschleppenvorhersagen

Die gemäß den ICAO-Vorschriften erforderliche Wirbelschleppen-Staffelung wirkt bei gemischtem Verkehr wie in Wien-Schwechat durchaus kapazitätsvermindernd, daher trachtet man nach der Optimierung dieser Staffelungsvorgaben (zB RECAT-EU⁶). Im Rahmen von MET4LOWW wurde das Potential des WSBVS, ein vom DLR neu entwickeltes Verfahren zur Wirbelschleppenbeobachtung und -vorhersage, evaluiert. Abbildung 10 zeigt ein Beispiel des Effekts einer erhöhten Crosswind-Komponente auf den Wirbelschleppentransport und die damit einhergehende kürzere mögliche Staffelung (30.11.2017, ab ca. 13 Uhr). Als größter Potentialträger einer Optimierung wurde die Staffelung hinter Flugzeugen der Gewichtsklasse HEAVY (z.B. Airbus A-310) erkannt, für die die ICAO-Vorschrift derzeit besonders große Abstände vorsieht.

Observed (Mode-S) vs. computed (DLR-WSV) aircraft separations
LOWW RWY 34 2017-11-30 00:00:00 - 2017-11-30 23:59:00

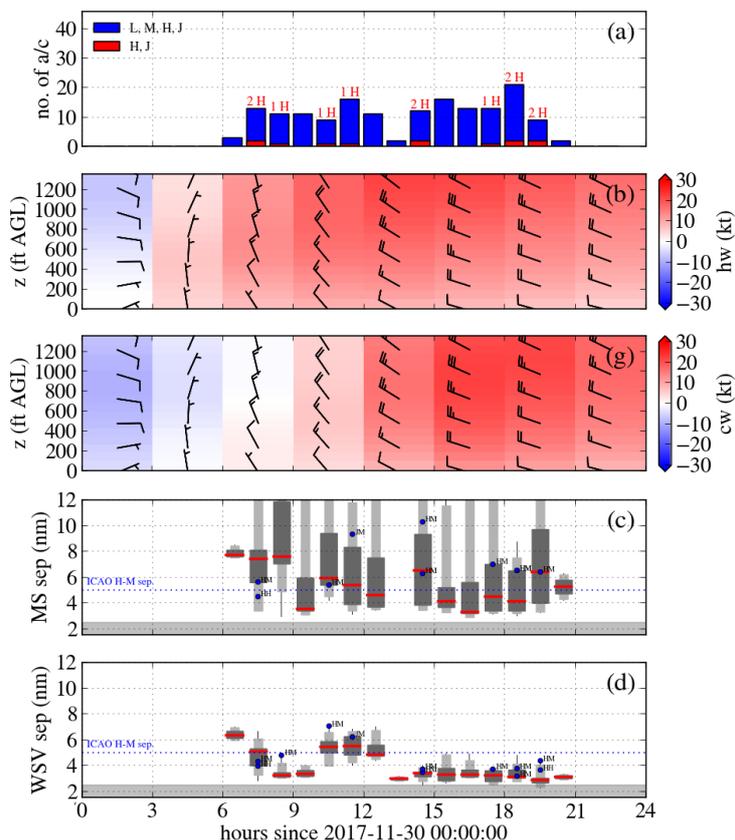


Abbildung 10: Potential des vom DLR entwickelten und im Rahmen von MET4LOWW untersuchten Wirbelschleppenbeobachtungs- und Vorhersagesystems WSBVS. Die oberste Achse zeigt die Anzahl der landenden Flugzeuge auf Piste 34 am 30.11.2017. Die zweite und dritte Achse zeigen die Headwind- und Crosswind-Komponente des Winds. Die zwei untersten Achsen zeigen die tatsächliche durchgeführte Staffelung und die vom WSBVS vorgeschlagene Staffelung (mit blauen Markern Flugzeugpaarungen mit führendem Flugzeug der Klasse HEAVY (H)).

⁵ In London Heathrow wurde schon ein TBS-Verfahren erfolgreich implementiert

⁶ <http://www.eurocontrol.int/articles/recat-eu>

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Potential von optimierten Low Visibility Procedures (LVP)

Anhand des Vergleichs von zwei LVP-Szenarien (Abbildung 11) lassen sich auch die verschiedenen Maßnahmen bei Nebel genauer untersuchen. Prinzipiell muss bei schlechten Sichten der Abstand zwischen Luftfahrzeugen am Final Approach erhöht werden. Bei der höchsten LVP-Stufe (LVP-Cat3, dh bei RVR-Werten kleiner als 350m) muss das Spacing gar auf 6nm erhöht werden, was Arrival Rates von 18 Flügen pro Stunde ergibt und somit die verfügbaren Kapazitäten in Wien Schwechat mehr als halbiert.

– Short period (1.5h) of LVP during morning peak

– Long period (13h) of LVP during daytime

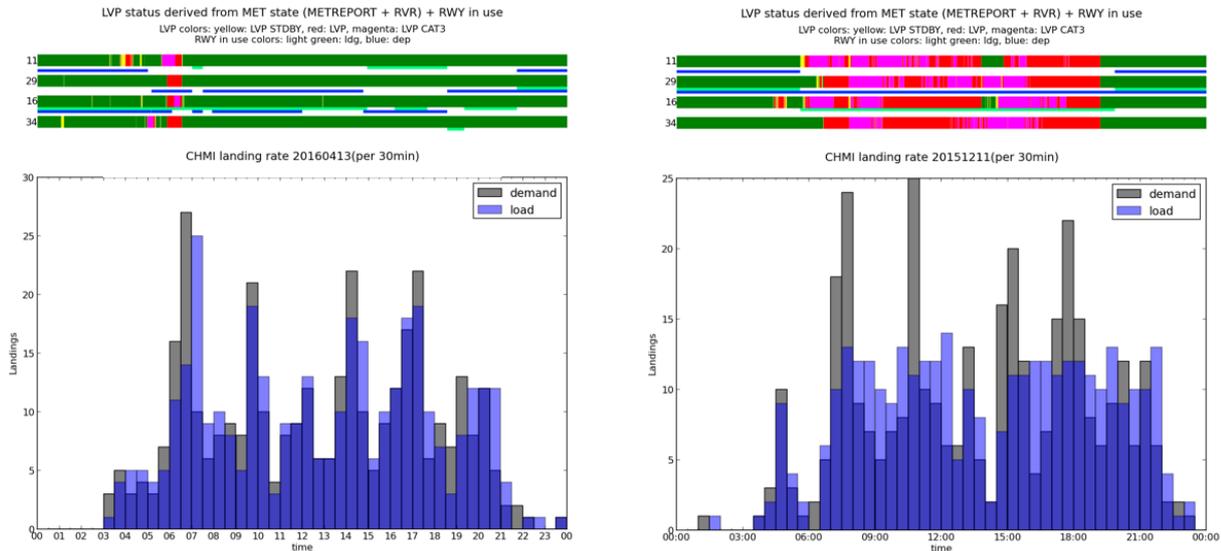


Abbildung 11: Ein kurzes (links) und ein langes (rechts) LVP-Event. Die Balken im oberen Teil der Abbildung beschreiben die LVP-Zustände, grün steht für ausreichende Sichten, pink für LVP-Cat3, dh RVR-Werte unter 350m. Beim kurzen Event (links unten) wird der anfallende Verkehr (Traffic Load) in der Morgenwelle etwas nach hinten verschoben, während beim langen Event (rechts unten) eine eher ausgeglichene Arrival Rate entsteht.

Short event:

1.5 hours
103 flights

	n	f	m	h
Trackmiles / flight	60.1	59.5	59.8	58.8
Holding time [min]	8	10	6	4
Holding time / flight [min]	0.08	0.10	0.06	0.04
Delay [min]	0	175	215	187
Delay / flight [min]	0	1.7	2.1	1.8
ATCO phrases	1069	1074	1069	1065

Long event:

13 hours
314 flights

	n	f	m	h
Trackmiles / flight	62.4	60.8	69.2	65.4
Holding time [min]	52	18	327	94
Holding time / flight [min]	0.17	0.06	1.04	0.30
Delay [min]	0	899	3744	5594
Delay / flight [min]	0	2.9	11.9	17.9
ATCO phrases	3159	3076	3515	3236

Abbildung 12: Qualitatives⁷ Potential von LVP-Vorhersagen.

⁷ Für quantitative Aussagen müssen die genauen Kosten der Airlines (inklusive „Knock-On“ Kosten) betrachtet werden, was aufgrund der recht komplexen Kostenstruktur von Airlines in diesem Projekt nicht betrachtet wurde.

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Die entsprechenden KPIs in Abbildung 12 liefern hierzu kein eindeutiges Bild und sind oft gegenläufig, was darauf hindeutet, dass eine Balance zwischen den einzelnen Key Performance Areas gefunden werden muss. Eine Reduktion der Workload ist naturgemäß nicht unbedingt die erste Priorität einer Airline, während Delay-Minuten kommerziell die Airlines treffen und eine Flugsicherung nur indirekt betroffen ist. Die Auswertungen lassen aber den Schluss zu, dass es bei kurzen Events sinnvoller ist, nicht zu regulieren und eventuell sogar ein „Missed Event“ zu riskieren, während bei langen Nebelperioden eine Reduktion der Arrival Rate sinnvoll ist.

Potentiale bei konvektiven Ereignissen im Arrival und Departure Management

Bei konvektiven Ereignissen stehen die Safety Themen deutlich im Vordergrund, dh beim Auftreten von Gewittern kommt es zwangsläufig zu Störungen im ATM-System, die Problemstellung verschiebt sich in diesen Fällen mehr in Richtung „Minimierung des Impacts“, ökonomische Themen treten eher in den Hintergrund.

Ein recht eindeutiges Potential hat sich aber bei den „Recovery“-Verfahren ergeben, dh das Wiederaufnehmen des Normalbetriebs kann optimiert werden. Anhand des Gewitter-Events vom 10. Juli 2017 wurden drei verschiedene Recovery-Szenarien untersucht:

- 1) Optimales Recovery: Sofort nach „Freiwerden der Transition und des Endanflugs werden die Arrivals wieder aufgenommen, die Flugzeuge verlassen das Holding bereits aufgrund einer Vorhersage. Nur während des Gewitters am Flughafen gab es für 13 Minuten keine Landungen.
- 2) Recovery wie in der Fallstudie beobachtet, wobei eine Treibstoffreserve für maximal 20 Minuten Holding angenommen wurde. Keine Landungen für insgesamt knapp über 40 Minuten
- 3) Recovery wie in der Fallstudie beobachtet, wobei eine Treibstoffreserve für maximal 50 Minuten Holding angenommen wurde. Keine Landungen für insgesamt knapp über 40 Minuten

Die Auswertungen zeigen ein recht beeindruckendes Potential. In diesen 30 Minuten können nur durch optimiertes Recovery mehr als € 20.000,- an Delay-Kosten gespart werden (siehe Abbildung 13). Konkret wird aufgrund dieser Erkenntnis in der Austro Control bereits an den entsprechenden Vorhersagen gearbeitet.

	Optimal recovery	Recovery as OBS (20 min max HLD-Time)	Recovery as OBS (50 min max HLD-Time)
Flights	23	23	23
Diversions	0	3	0
Trackmiles / flight [NM]	69.3	115.0	157.5
Lateral efficiency	1.28	2.46	2.99
Holding time [min]	0	189	370
Holding time / flight [min]	0	8.22	16.11
ARR delay cost [€]	0	9,980	21,890
Diversion cost [€]	0	26,700	0
Total excess cost [€]	0	36,680	21,890

Abbildung 13: Durch optimierte Recovery-Verfahren können mehr als € 20.000,- an Delay-Kosten gespart werden.

Departure Management

Die Ergebnisse des Arrival Managements lassen sich weitgehend auch auf das Departure Management übertragen. Wobei die ATM Maßnahmen, um auf Kapazitätseinschränkungen zu reagieren, die Verzögerung von Abflügen ist. Diese Maßnahmen sind einfacher und mit weniger Vorlaufzeit umzusetzen, als die Reduktion des ankommenden Verkehrs, was eine effizientere Reaktion auf sich ändernde Wetterlagen zulässt. Auch hier kann wie beim Arrival Management eine Verbesserung der „Recovery“-Verfahren zu einer Kostenreduktion beitragen, in dem sichergestellt wird, dass die Flüge zur optimalen Zeit abflugfertig sind, es also zu keinen Wartezeiten bei laufenden Triebwerken kommt, bzw. zu keinen unnötigen Verspätungen durch zu spätes Verlassen des Gates, obwohl ein Abflug schon möglich wäre.

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Als ein weiteres Potential wurde eine Verbesserung bzw. Erweiterung der Vorhersageprodukte für die Airline Dispatcher identifiziert. Durch zusätzliche Vorhersageinformation bezüglich Verwendbarkeit von Standard Instrument Departure Routen (SID) kann die Flugplanung der Wettersituation angepasst werden. Die Verwendung von vom Wetter nicht betroffenen SIDs trägt wesentlich zu einer Reduzierung der Workload, sowohl im Cockpit als auch bei ATM bei. Überdies können so auch unnötige Umwege und damit Kosten durch ungeplantes Umfliegen von Gewittern vermieden werden.

Die Beeinträchtigung ausgewählter SIDs durch Gewitter wurde in Abbildung 14 für einen Zeitraum von 3 Jahren untersucht. Aufgrund der geringen Korridorbreite entlang der SIDs können schon niedrige Bedeckungsgrade (~10%) zu einer Blockade der SID führen. Für die ausgewählten SIDs ergeben sich für den Zeitraum von drei Jahren in Summe jeweils etwa 70 – 90 h an Blockadezeit.

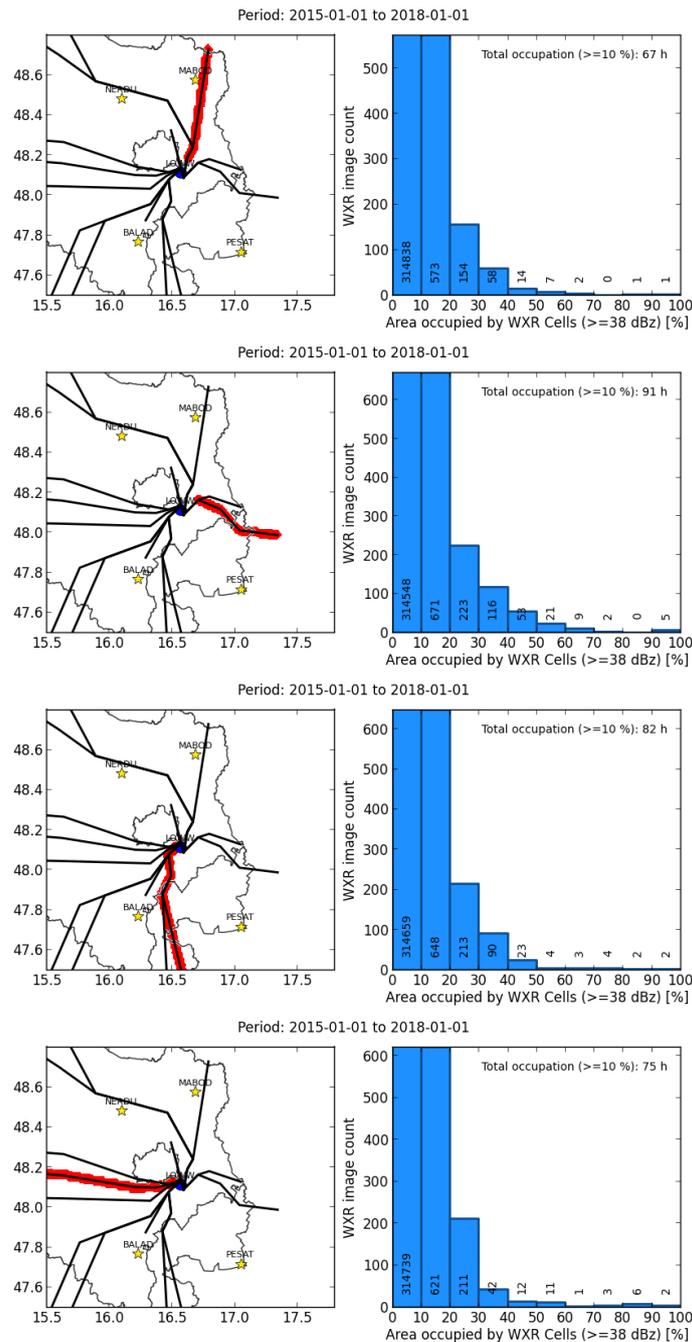


Abbildung 14: Untersuchung zur Beeinträchtigung von 4 ausgewählten SID Routen (schwarz) durch Gewitterzellen über einen Zeitraum von drei Jahren. Die Histogramme auf der rechten Seite geben an, wie oft die Fläche des Korridors entlang der ausgewählten SID (rot) zu wieviel Prozent durch Gewitter belegt war.

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Integration von probabilistischen Wetterinformationen in das Arrival und Departure Management

In MET4LOWW wurde auch das mögliche Potential von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen untersucht. Mit einfachen Mitteln der räumlichen Mittelung und Verwendung zeitversetzter Vorhersageläufe wurden auf Grundlage der deterministischen TITAN-Radarextrapolationen probabilistische Vorhersagen erstellt.

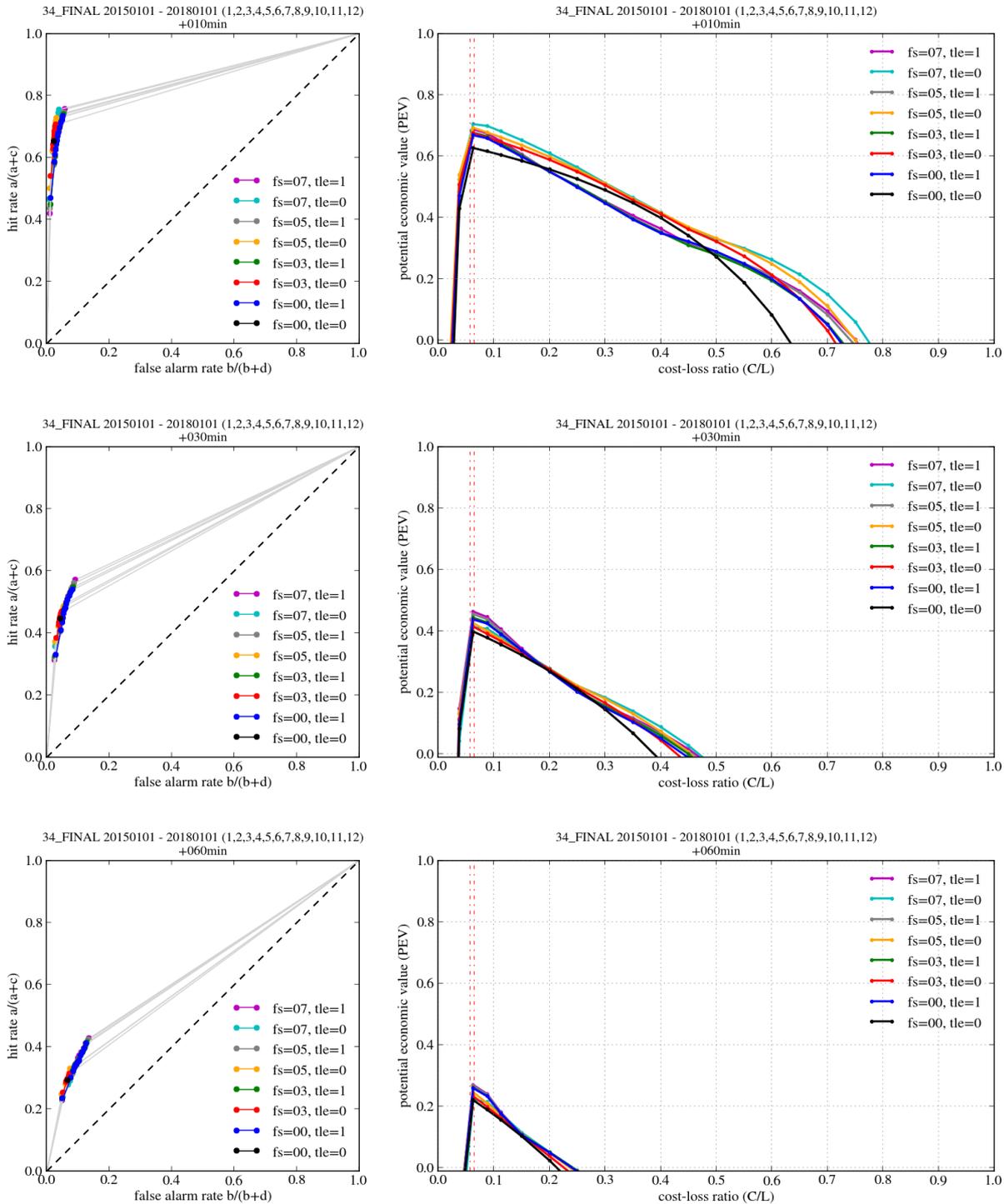


Abbildung 15: ROC-Kurven und Potential Economic Value der deterministischen und verschiedener probabilistischer Gewitterzellenvorhersagen für das Wetterereignis „≥10% des Endanflugs auf Piste 34 mit Gewitterzellen belegt“ und für Vorhersageschritte +10, +30, +60 min. Die dicke schwarze Linie entspricht der deterministischen Vorhersage, dicke farbige Linien entsprechen der optimalen PEV-Kurve der jeweiligen probabilistischen Vorhersagen.

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Die Vorhersagen wurden unter Verwendung spezieller Verifikationsmaße für die Güte von binären Vorhersagen (Wetterereignis tritt ein / tritt nicht ein) bewertet, und zwar der Relative Operating Characteristic (ROC)-Kurven und des Potential Economic Value (PEV). ROC-Kurven erlauben es, die Rate an richtig vorhergesagten Wetterereignissen (hit rate, y-Achse) mit der Rate an fälschlich vorhergesagten Wetterereignissen (false alarm rate, x-Achse) zu vergleichen. Hit rate und false alarm rate fließen auch in die PEV-Analyse ein, in der die Güte der Vorhersage relativ zur Vorhersage laut klimatologischen Häufigkeit des Ereignisses (PEV = 0) und der perfekten Vorhersage (PEV = 1) aufgetragen wird.⁸

Eine Bewertung des PEV für ein spezifisch gewähltes Wetterereignis – Belegung eines Endanflugbereiches zu $\geq 10\%$ mit Gewitterzellen – ergab einen begrenzten aber sichtbaren Mehrwert der probabilistischen Vorhersage gegenüber der deterministischen (vgl. Abbildung 15) Gewitterzellenvorhersage. Auch für den Fall der LVP-Vorhersage zeigt sich dieser Gewinn (vgl. Abbildung 16). In beiden Fällen hängt der tatsächliche Mehrwert, der PEV-Analyse entsprechend, vom Cost-Loss-Verhältnis des Anwenders ab. Eine messbare Verbesserung der probabilistischen Vorhersagen gegenüber des PEV der deterministischen Prognose kann insbesondere in den Bereichen niedriger und hoher Cost-Loss-Verhältnisse erzielt werden.

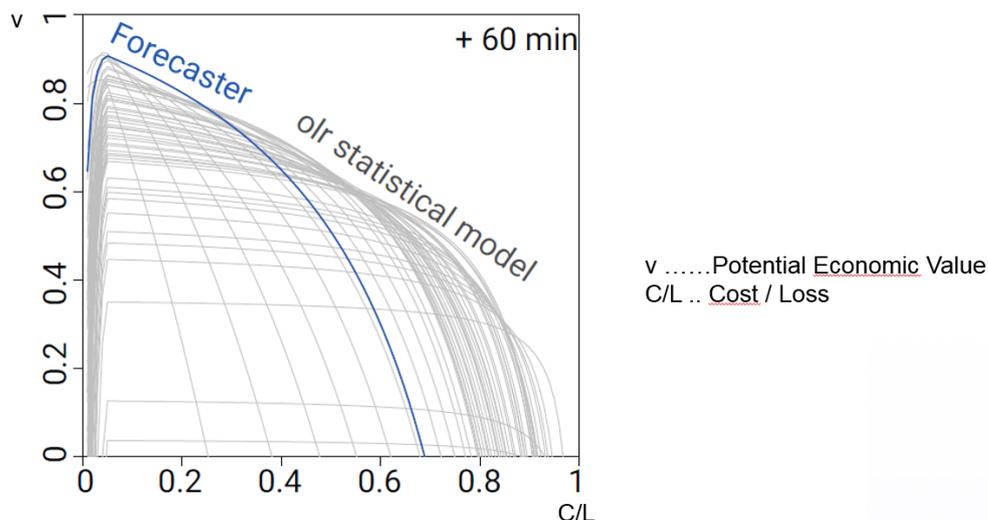


Abbildung 16: Potential Economic Value (PEV) für eine 60 Minuten LVP-Vorhersage⁹.

Abbildung 15 und Abbildung 16 illustrieren bereits deutlich das Potential von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen gegenüber der rein deterministischen Betrachtung von Vorhersagen. Für ein tiefergehendes Konzept zur optimalen Integration von probabilistischer Wetterinformation in das Arrival und Departure Management konnten in diesem Projekt nur Annahmen aus der Literatur zu den entstehenden Cost/Loss Ratios getroffen werden^{10,11}. Für ein robustes Konzept und dessen Validierung sind aber zusätzlich auch detaillierte Zahlen von den Stakeholdern wie Airlines und Flughafen erforderlich, die in dem Projekt nicht geplant waren. Das Projektteam hat daher gemeinsam mit der Flugplanungsfirma Flightkeys beim Take Off-Call 2017 eine Sondierung eingereicht, in der diese Thematik eingehender untersucht werden soll.

⁸ Jolliffe, Ian T., and Stephenson, David B., (Eds.) 2012: Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd

⁹ Ergebnisse für statistische Vorhersagen aus dem Bridge-Projekt LowVisCapFX

¹⁰ A. Cook, G. Tanner, *European airline delay cost reference values, updated and extended values*. Version 4.1, <https://www.eurocontrol.int/publications/european-airline-delay-cost-reference-values> (2015).

¹¹ *Standard Inputs for EUROCONTROL Cost-Benefit Analyses*. Edition Number: 8.0. Edition Date: January 018

2. Arbeitspakete und Meilensteine

2.1 Übersichtstabellen

- Erläuterung:
 Die Tabellen sind analog zum Förderungsansuchen aufgebaut
 Basistermin: Termin laut Förderungsansuchen bzw. laut Vertrag gültigem Projektplan
 Akt. Planung: Termin laut zum Zeitpunkt der Berichtslegung gültiger Planung.

Tabelle 1: Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigtellung	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anf	Ende	Anf	Ende	
1	Projektmanagement	100%	09/15	08/17	09/15	02/18	<ul style="list-style-type: none"> • DLR-Institut für Physik der Atmosphäre erfolgreich eingebunden • Kooperationsgespräche mit LuFo-Projekt MET4ATM → Zusammenarbeit bei der Simulation von konvektivem Wetter • Zwischenbericht erstellt • Endbericht erstellt
2	ATM/MET-Requirements	100%	09/15	11/15	09/15	03/16	<ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung der grundlegenden Anforderungen aus ATM und MET auf die Möglichkeiten der Fast Time Simulation. • Rohplanung der Validierungs-Exercises • Requirements wurden als lebendes Dokument formuliert, kleine Adaptierungen wurden auch in der 2. Projektphase eingepflegt.
3	Simulator Adaptierungen	100%	10/15	01/17	10/15	12/17	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptierung des Fast Time Simulators gemäß den ATM/MET-Requirements • Wind und LVP in die Simulationen integriert • DBS/TBS in Simulationen integriert • „Vectoring“ um CB-Zellen implementiert (CBavoid-Algorithmus) • Departures in Simulationen integriert
4	ATM/MET Potenziale für reduziertes Spacing on Final Approach	100%	04/16	12/16	05/16	12/17	<ul style="list-style-type: none"> • Verfahren für reduziertes Spacing am Final Approach validiert • LVP implementiert, Studien durchgeführt • Time Based Separation implementiert - Studien durchgeführt • DLR-WSBVS integriert – Auswertungen durchgeführt • Potential von Wahrscheinlichkeitsansätzen evaluiert
5	ATM/MET Potenziale für Arrival Management	100%	08/16	04/17	09/16	12/17	<ul style="list-style-type: none"> • Verfahren für Arrival Management bei „severe weather“ validiert • Potential von Wahrscheinlichkeitsansätzen evaluiert • Konkrete Verbesserungspotentiale bei „Recovery“-Situationen identifiziert

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

6	ATM/MET Potentiale für Departure Management	100%	01/17	06/17	09/17	01/18	<ul style="list-style-type: none"> Departure Verfahren bei „severe weather“ im Arrival Management integriert
7	Konzeptvalidierung mittels Human in/over the Loop Simulation	100%	05/16	06/17	05/16	01/18	<ul style="list-style-type: none"> Workshops mit bewerteten Validierungs-Exercises erfolgreich durchgeführt
8	Dissemination & Exploitation	100%	07/17	08/17	07/17	02/18	<ul style="list-style-type: none"> Präsentation der Ergebnisse bei nationalen und internationalen Workshops und Konferenzen Roadmap für interne und externe Verwertung der Projektergebnisse erstellt Sondierung für ein Folgeprojekt beim TakOff-Call 2017 eingereicht (PROB4LOWW)

Tabelle 2: Meilensteine

Meilenstein Nr.	Meilenstein	Basis-termin	Meilenstein erreicht am	Anmerkungen zu Abweichungen
1	Final Requirements	12/2015	03/2016	Die Diskussionen haben sich etwas ausführlicher gestaltet.
2	An- und Abflugverfahren (Standard-Wettereinfluss)	05/2016	06/2016	Die Integration von Wind-Profilen hat sich als etwas aufwändiger erwiesen, dafür wurde das unterschiedliche Spacing am Final Approach bei LVP gleich mitberücksichtigt.
3	An- und Abflugverfahren (Adverse / Severe Weather)	08/2016	12/2017	Es hat sich im Projektverlauf als effizienter erwiesen, die „adverse/severe weather“ Verfahren gemeinsam mit dem wetter-basierten Arrival- und Departure Management zu validieren,
4	Spacing am Final Approach	12/2016	06/2016	Wurde bei der Validierung der An-/Abflugverfahren gleich mit validiert (siehe MS2)
5	wetterbasiertes Arrival Management	04/2017	12/2017	Im Rahmen der Untersuchungen der AP3, 4 und 5 haben sich interessante neue Aspekte und Verbesserungspotentiale bei der Integration von probabilistischen Vorhersagemethoden in das ATM-System ergeben, daher wurde das Projekt auch kostenneutral verlängert. Damit haben sich auch die Meilensteine nach hinten verschoben.
6	wetterbasiertes Departure Management	06/2017	12/2017	Es hat sich als zweckmäßig herausgestellt, das Departure Management gleich in AP5 Arrival Management mit zu betrachten
7	Abschluss- / Präsentationsworkshop	08/2017	04/2018	Der Abschluss-/Präsentationsworkshop wurde erst nach dem offiziellen Projektende durchgeführt.

2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

- Beschreiben Sie die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten, strukturiert nach den Arbeitspaketen.
- Konnten die Arbeitsschritte und –pakete gemäß Plan erarbeitet werden? Gab es wesentliche Abweichungen?
- Die Beschreibung beinhaltet ebenso eine allfällige Änderung der angewandten Methodik (Achtung: Änderungen an der Methodik und wesentliche Änderungen im Arbeitsplan erfordern eine Genehmigung durch die FFG!).

In diesem Abschnitt werden anhand der Arbeitspaketbeschreibungen aus der Einreichung die erreichten Ergebnisse beschrieben. Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf die Erkenntnisse aus dem 2.Projektteil gelegt.

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

AP1 Projektmanagement

Kommunikation / Informationsfluss:

Zur Ablage von Projektergebnissen, Protokollen und anderen Dokumenten wurde ein gemeinsamer SharePoint Projektordner angelegt, auf den alle Projektteilnehmer Zugriff haben. Zusätzlich wurde von USBG für Datenaustausch und-archiv ein FTP-Server eingerichtet.

Meetings:

Für die prinzipiellen Abstimmungen haben sich persönliche Meetings etwa im Monatsabstand als sinnvoll herausgestellt, für diese Meetings wurden Zusammenfassungen erstellt und am Projektlaufwerk abgelegt. Zusätzlich wurden für kurzfristige Abstimmungen Web-Meetings abgehalten.

Dokumentation der Projektergebnisse:

Alle Projektergebnisse wurden am Projektlaufwerk abgelegt, dabei wurde die Struktur der Arbeitspakete verwendet.

Koordination mit dem deutschen LUFO-Projekt MET4ATM:

Am 25. April 2016 fand ein erstes Abstimmungsmeeting mit den Kollegen des LuFo-Projekts MET4ATM statt (MeteoSolutions, SELEX). Der Informationsaustausch läuft auch nach dem Projektabschluss weiter, so haben Vertreter des LUFO-Konsortiums an der MET4LOWW Projektpräsentation teilgenommen, im Rahmen eines TBO-Met Workshops wurden in Salzburg die LUFO-Ergebnisse diskutiert.

D1.3 Projektabschlussbericht

Der vorliegende Endbericht wurde aufgrund der kostenneutralen Verlängerung des Projekts um ein halbes Jahr nach hinten verschoben.

AP2 ATM / MET-Requirements

State of the Art:

Analyse der von der Anflugkontrolle Wien verwendeten Vorschriften und Verfahren, daraus wurden dann die Möglichkeiten zur Simulation diskutiert und damit auch das Verständnis der jeweiligen Expertisen vertieft. Die Gegenüberstellung der Key Performance Areas / Indicators von ICAO und CANSO ergänzt die Analyse des aktuellen „State of the Art“.

Requirements:

Die prinzipiellen Anforderungen an die Simulation aus MET- und ATM-Sicht wurden in einem Dokument zusammengefasst. Aus den KPAs/KPIs wurden die für die Analyse der MET-Potenziale relevanten Areas/Parameter ausgewählt (→ Dokumente ATM-MET Requirements v1.0.pdf und KPA-KPI v1.0.pdf). Das Projektteam hat aber beschlossen, die Requirements als lebendes Dokument zu betrachten und mit den gewonnenen Erkenntnissen aus den Arbeitspaketen 3-6 zu modifizieren.

Test- und Validierungsszenarien:

Der Validierungsansatz wurde im Dokument Validierung v1.0.pdf formuliert. Für jeden Projektschritt wurden geeignete Fallstudien (insbesondere Wetterszenarien) erstellt.

D2.2 ATM/MET Requirements:

Die Diskussionen im Projektkonsortium waren recht tiefgehend, zudem wurden etliche reale Szenarien analysiert. Dadurch hat sich die Fertigstellung des Basis-Dokument D2.2 ATM/MET Requirements v1.0.pdf etwas verzögert. Der Meilenstein MS1 konnte im März 2016 erreicht werden. Nach Meinung des Projektteams sind die ausführlichen Diskussionen aber den nachfolgenden Arbeitspaketen zugutegekommen.

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

AP3 Simulator Adaptierungen

Zusammenstellen eines kohärenten Entwicklungsdatensatzes (Radar, Flugplan, Wetter)

In MET4LOWW-Entwicklungsdatensatz sind Eingangsdaten für die umfangreichen Simulationsszenarien abgelegt (→D3.1: Kohärenter Entwicklungsdatensatz):

- Drei Möglichkeiten der Generierung / Berücksichtigung von Flugplan und Track Daten:
 - Stochastische Generierung von Flugzeugobjekten an den Einflug-Waypoints
 - Correlated Position Report (CPR) Daten, d.h. reale Flugwege an Referenztagen in der Vergangenheit wurden eingelesen, visualisiert und analysiert
 - Entry List Daten
- Bereitstellung, Adaptierung und Verarbeitung von Runway-in-use Daten
- Bereitstellung, Adaptierung und Verarbeitung von Wind-, LVP- und Wetterradardaten

ATM-Verfahren im Simulator implementieren

In NAVSIM/AMAN wurden die Arrival Modi aus Abbildung 3 implementiert (Details siehe Abschnitt NAVSIM-Implementierungen). Die Implementierungen wurden in den Deliverables dokumentiert.

- D3.2: Dokumentiertes Fast Time Simulator System NAVSIM (Software, Verfahrensbeschreibung) für Standard-Verfahren
- D3.3: Dokumentiertes Fast Time Simulator System NAVSIM für die Simulation von Wetterobjekten (Software, Verfahrensbeschreibung)

MET-Informationen in den Simulator integrieren

Die MET-Informationen wurden in 2 Phasen in den Simulator integriert.

- 1) Standard-Informationen (Wind-Felder, Flughafen-Vorhersagen)
In sämtlichen Szenarien wurden von ACG bereitgestellte "AROME" Winddaten (Zeitintervall 1 Stunde) verwendet. Diese Winddaten liegen (einheitlich) für die gesamte TMA Wien vor und enthalten jeweils Windrichtung und Windgeschwindigkeit mit einer vertikalen Auflösung von 100 Meter Schritten.
- 2) Adverse / Severe Weather (Wetterobjekte z.B. Gewitter)
Um die einzelnen Gewitterzellen effizient zu umfliegen wurde ein Algorithmus basierend auf Vorgaben von ACG (Abbildung 5) in NAVSIM/AMAN implementiert.

KPI-Berechnungen

Um das jeweils simulierte Szenarium bestmöglich untersuchen und analysieren zu können wurden "Key Parameter Indicators" (KPIs) definiert und umgesetzt. (Details siehe Abschnitt Berechnung von ATM Performance Indikatoren)

Test- und Trainingsumgebung

Am Institut für Computerwissenschaften der Universität Salzburg wurde eine Test- und Trainingsumgebung aufgebaut bzw. bestehende Funktionalitäten erweitert, mit folgenden Merkmalen:

- NAVSIM/TG (Traffic Simulator) simuliert den an- und abfliegenden Flugverkehr
- NAVSIM/ATC stellt den simulierten Flugverkehr auf einem (generischen) Fluglotsen-Arbeitsplatz (Radarschirm mit Hilfsfunktionen (z.B. DMAN/AMAN Visualisierung) u. elektronisches Flight Strip Tool) dar
- Steuereingaben / Instruktionen des Fluglotsen an den Piloten über Spracherkennung
- "Readback" des Piloten bzw. Piloten Anfragen (Requests) über Text-To-Speech

Durch entsprechende Exercises kann das im Rahmen des MET4LOWW Projektes untersuchte MET-Potential weiter validiert und in der Zukunft noch entsprechend verbessert bzw. verfeinert werden

→ D3.4: Test- und Trainingsumgebung am Institut für Computerwissenschaften der Universität Salzburg

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

AP4 ATM/MET Potenziale für reduziertes Spacing am Final Approach

Analyse der für den Final Approach relevanten meteorologischen Parameter:

Anhand von Fast Time Simulationen von ausgewählten Verkehrs- und Wetterszenarien wurden robuste wetterbasierte ATM-Verfahren für das Spacing am Final Approach anhand der KPI-Auswertungen untersucht, aus den Bewertungen wurden die Potentiale für optimierte Verfahren abgeleitet

- Low Visibility Procedures
- Time Based Separation
- Wirbelschleppenstaffelung

Das Dokument „D4.1 optimierte Met-Info Final Approach“ fasst die Ergebnisse dieser Betrachtungen zusammen

Vorhersagbarkeit & Potenzial von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen

Grundlage für diese Potenzialanalysen waren statistisch / klimatologischen Auswertungen, die in dem Dokument „D MET4LOWW Klimatologie TMA“ zusammengefasst wurden (dieses Dokument wurde als Querschnittsdokument für die Arbeitspakete 4,5 und 6 konzipiert)

Im Dokument „D MET4LOWW_Bericht_Gewitter_Wahrscheinlichkeitsvorhersage_Mehrwert“ wurde das Potential von Ensemble Vorhersagen untersucht (ebenfalls wieder als Querschnittsdokument).

Die Ergebnisse aus dem Bridge-Projekt LowVisCapFX wurden herangezogen, um in den LVP-Verfahren die Potentiale von probabilistischen abzuschätzen.

AP5 ATM/MET Potenziale für Arrival Management

Statistisch / klimatologische Analyse von Severe Weather Ereignissen im Arrival Bereich

Grundlage für diese Potenzialanalysen waren statistisch / klimatologischen Auswertungen, die in dem Dokument „D MET4LOWW Klimatologie TMA“ zusammengefasst wurden (dieses Dokument wurde als Querschnittsdokument für die Arbeitspakete 4 und 5 konzipiert)

Fast Time Simulationen von ausgewählten Verkehrs- und Wetterszenarien

Anhand von Fast Time Simulationen von ausgewählten Verkehrs- und Wetterszenarien wurden robuste wetterbasierte Arrival-Verfahren der KPI-Auswertungen untersucht, aus den Bewertungen wurden die Potentiale für optimierte Verfahren abgeleitet. Hier wurden hauptsächlich Gewitterszenarien untersucht, bei allen anderen Wettereinflüssen wie Starkwind, Turbulenz oder Vereisung können die vorgesehenen Standardverfahren (SID/STAR/Transition/Instrument Approach) unverändert Anwendung finden.

Das Dokument „D5.1 optimierte Met-Info Arrival Management“ fasst die Ergebnisse dieser Betrachtungen zusammen

Task 5.3: Vergleich von Ausweichstrategien

Die Strategien für das Umfliegen von konvektiven Zellen aus Abbildung 5 wurden im Fast Time Simulator implementiert und anhand von mehreren Gewitterereignissen validiert.

Anwendung der in AP4 entwickelten Cost/Loss-Modelle, Untersuchung der Potenziale von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen.

Grundlage für diese Potenzialanalysen waren statistisch / klimatologischen Auswertungen, die in dem Dokument „D MET4LOWW Klimatologie TMA“ zusammengefasst wurden (dieses Dokument wurde als Querschnittsdokument für die Arbeitspakete 4,5 und 6 konzipiert)

Im Dokument „D MET4LOWW_Bericht_Gewitter_Wahrscheinlichkeitsvorhersage_Mehrwert“ wurde das Potential von Ensemble Vorhersagen untersucht (ebenfalls wieder als Querschnittsdokument).

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

AP6 ATM/MET Potenziale für Departure Management

Beschreibung der Inhalte:

Statistisch / klimatologische Analyse von Severe Weather Ereignissen auf den Abflugrouten (SIDs)

Analog zu den Auswertungen im Arrival management wurden auch für die Abflugrouten (SID) klimatologische Auswertungen erstellt

Fast Time Simulation von ausgewählten Verkehrs- und Wetterszenarien,

Für die Untersuchungen wurden die in AP5 verwendeten Fallstudien verwendet, das Hauptaugenmerk wurde auf die gegenseitige Beeinflussung von an- und abfliegenden Luftfahrzeugen gelegt.

Task 6.3: Vergleich von Ausweichstrategien (Vectoring vs. Routenänderungen)

Während Fluglotsen für die laterale Flugwegsteuerung vorwiegend (named and unnamed) Waypoints verwenden, basiert die 4D-Trajektorienberechnung von NAVSIM/AMAN vorwiegend auf der Kursberechnung mittels Radar Vectoring. Im Falle der Integrierung in Decision Support Tools könnte auch NAVSIM/AMAN auf vorwiegend Waypoint basierte Routenführung umgestellt werden, womit allerdings auch eine geringfügige Verschlechterung der Performance der KPI-Werte einhergehen würde.

AP7 Konzeptvalidierung mittels Human in/over the Loop Simulation

Validation Plan

Abbildung 17 illustriert das Grundkonzept für unsere Validierungen.

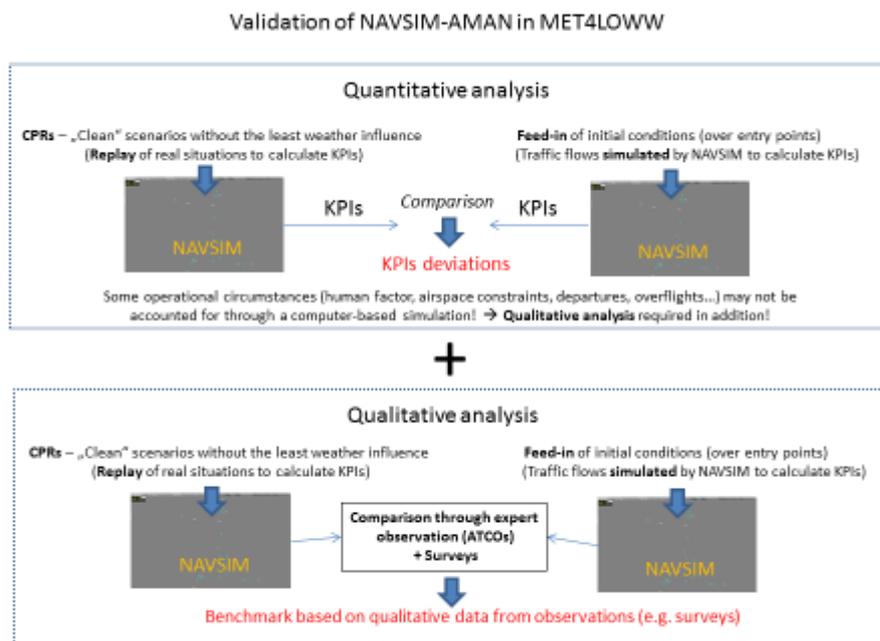


Abbildung 17: Validierungskonzept

Anhand des Validierungskonzepts wurden dann die untersuchten Fallstudien bewertet.

Durchführung der Validierung

Die Validierungen wurden von den im Projekt teilnehmenden ATM- und MET-Experten der Austro Control anhand von human-over-the-loop Exercises durchgeführt, wobei primär die folgenden Fragen beantwortet werden sollten (siehe auch Abbildung 17):

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

- Arbeitet der NAVSIM Simulator bereits mit so hoher Realitätsnähe, sodass er für weitere umfangreiche MET Untersuchungen verwendet werden kann, um Szenarien (Human Aspects) zu untersuchen und MET-Potentiale abzuleiten?
- Lassen sich durch einen Vergleich der KPIs der untersuchten Szenarien MET-Potentiale ableiten?

Der Validierungsprozess hat sich im Projektverlauf weiterentwickelt. Zu Beginn haben wir noch einen expliziten Validierungs-Workshop abgehalten, durch die ständige Weiterentwicklung der Algorithmen und Methoden war es dann zweckmäßiger, die neu hinzugekommenen Funktionalitäten in den Projektmeetings zu validieren und im Meetingprotokoll zu dokumentieren. Dieser agile Ansatz ermöglichte die Umsetzung von neuen Ideen auch nach den im Projektplan vorgesehenen Tasks.

Am Ende jeder Validierung wurde die endgültige Realisierung der Validierungsaufgabe als Animation am Projektablaufwerk abgelegt. Die Erkenntnisse der jeweiligen Validierungsaufgaben wurden in den Meeting-Protokollen dokumentiert.

- D7.1: Validierung „An- und Abflugverfahren (Standard-Wettereinfluss)“ (D7.1 Standard OPS)
- D7.2: Validierung „An- und Abflugverfahren (severe weather)“ (D7.2 severe WX OPS)
- D7.3: Validierung „Spacing am Final Approach“ (D7.3 Spacing FNA)
- D7.4: Validierung „wetterbasiertes Arrival Management“ (D7.4 WX ARR)
- D7.5: Validierung „wetterbasiertes Departure Management“ (D7.5 WX DEP)

AP8 Dissemination & Exploitation

Verbreitungsaufgaben

Die Disseminationaktivitäten wurden in D8.3 Verwertungsplan beschrieben

Interne und externe Verwertungsaufgaben

Im Deliverable „D8.2 Roadmap zur Umsetzung“ wurden mögliche Umsetzungsschritte zur internen und externen Verwertung beschrieben

Abschluss- / Präsentationsworkshop für die relevanten Stakeholder

Am 11.04.2018 wurde am Flughafen Wien eine Präsentation des MET4LOWW-Projekts abgehalten, in dem die Projektergebnisse mit nationalen und internationalen Experten diskutiert wurden.

2.3 Änderungen im weiteren Projektverlauf

n.a.

3. Projektteam und Kooperation

- Gibt es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne Schlüsselmitarbeiter und Dritteileister)?
- Bei Konsortialprojekten: Beschreiben Sie die Zusammenarbeit im Konsortium.
- Gehen Sie auf Änderungen in der Arbeitsaufteilung ein. Gibt es Auswirkungen auf die Kosten- / Finanzierungsstruktur und die Zielsetzung?

Nachdem die in der Einreichung vorgesehene Jaqueline Chindea sich beruflich anderweitig orientiert hat, wurden bei der Austro Control Dr.Lukas Strauss und Dr.Johannes Sachsperger in das Projektteam integriert. Lukas Strauss hat vor allem Aufgaben im AP4 und AP5 übernommen, Johannes Sachsperger war zuständig für die Algorithmen zum Konvektions-Nowcasting und klimatologisch, statistische Auswertungen für AP5 und AP6.

Bei USBG wurde Mag. Fritz Strobl ab Juni 2016 in das Projekt integriert und hat vorwiegend die Aufbereitung der umfangreichen Simulationsdaten übernommen.

Die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern gestaltete sich sehr interessant und abwechslungsreich, vor allem der interdisziplinäre Austausch zwischen den verschiedenen Experten und Kompetenzen haben das Projekt stark „befruchtet“

Nachdem sich die Simulationen von konvektiven Ereignissen als deutlich aufwendiger als ursprünglich geplant, herausgestellt haben, wurden € 30.000,- an Förderungen von der ACG zu USBG umgeschichtet. An der restlichen Finanzierungsstruktur hat sich dadurch nichts geändert.

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

4. nur Endbericht: Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung

- Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- und / bzw. Weiterverbreitungsaktivitäten. Ist eine Verwertung möglich?
- Listen Sie Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten sowie etwaige Patentmeldungen, die aus dem Projekt entstanden sind, auf.
- Welche weiterführenden F&E-Aktivitäten sind geplant

Für das Projekt MET4LOWW ergeben sich im Wesentlichen zwei Verwertungsschienen

- 1) Interne Verwertung: Nachdem alle Projektstudien auf die An- und Abflugverfahren von Wien Schwechat ausgelegt sind, ergeben sich hier einmal die wichtigsten Verwertungsaspekte
- 2) Externe Verwertung: Der Flugverkehrssimulator NAVSIM wurde so generisch wie möglich entwickelt. Während des letzten Projektabschnitts wurden auch schon Tests für den Flughafen Frankfurt gemacht.

Hintergrund für all diese Verwertungsaktivitäten ist ein "open innovation" Ansatz, der das Übertragen der Methoden und Erkenntnisse auf andere Projekte, aber auch die Integration von neuen Methoden und Algorithmen von anderen Projekten ermöglicht.

Ein wichtiger Beitrag zur Verbreitung der Projektergebnisse Vorträge bei Workshops, Konferenzen und Tagungen. Konkret wurde das Projekt bzw Teilergebnisse schon bei folgenden Veranstaltungen präsentiert

- Nowcasting Workshop in Hongkong
- INAIR Wien
- MET-ATM Workshop in Sevilla
- World ATM Congress Madrid
- MET-ATM Workshop in Salzburg
- Simulationsworkshop Dublin
- Ergebnisworkshop Wien

In den Proceedings zu diesen Workshops wurden die Ergebnisse auch publiziert.

Zusammenarbeit mit anderen Projekten

- Bereits in der MET4LOWW Einreichung wurde auf eine Abstimmung mit deutschen LuFo-Projekt MET4ATM verwiesen. In diesem Projekt werden hauptsächlich en-route Aspekte untersucht, aus den Abstimmungen mit den deutschen Kollegen lassen sich ergänzende Erkenntnisse gewinnen.
- Die oben bereits erwähnte sich anbahnende Zusammenarbeit mit dem Flughafen Frankfurt läßt speziell bei den Kapazitätsthemen weitere Erkenntnisse erwarten
- Austro Control und Universität Salzburg sind auch Mitglieder im EUNADICS-AV Konsortium. In diesem H2020 Projekt werden Phänomene im Bereich der Ausbreitungsrechnungen (zB Vulkanasche) untersucht, die MET4LOWW-Methodik im Bereich KPA / KPI sollte bei diesen „rare events“ gut anwendbar sein. Die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse lassen auch wieder einen Rückfluss in den TMA-Bereich erwarten.

Das Projektkonsortium hat erweitert durch die Firma Flightkeys beim TakeOff Call 2017 die Sondierung „PROB4LOWW - Probabilistische MET-Informationen für die Kapazitätsoptimierung im Arrival- und Departure-Management“ eingereicht.

5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

- Die Abrechnung ist als eigene Datei im Excel-Format hochzuladen. Die Verwendung der im eCall zur Verfügung gestellten Vorlage ist verpflichtend. Beachten Sie den Kostenleitfaden: www.ffg.at/kostenleitfaden bzw. Ausschreibungsdokumente
- Abweichungen vom Kostenplan sind an dieser Stelle zu beschreiben und zu begründen.
- Ist mit Änderungen am Kostenplan bis zum Projektende zu rechnen? Wenn ja, erläutern Sie diese. (Achtung: Größere Änderungen sind genehmigungspflichtig)

Die Validierung der MET-Potentiale wurde auf den von USBG bereitgestellten Rechnern in Wien durch die ACG durchgeführt. Dadurch konnte der Aufwand für die Adaptierung der ATM/ATC/MET-Simulationsumgebung auf die Hälfte reduziert werden. In der aktuellen Abrechnung wurden die F&E-Infrastrukturkosten des gesamten Projekts berücksichtigt (der in der Prüfung der Zwischenabrechnung geforderte Nachweis wurde der Abrechnung beigelegt).

Die Entwicklung von Algorithmen im Arrival- und Departure Management, sowie deren Umsetzung und

TAKE OFF – Ausschreibung 2014

Validierung waren für die USBG deutlich personalintensiver als erwartet, daher wurden € 30.000,- an Förderungen von der ACG zu USBG umgeschichtet. Außerdem mussten dafür auch noch € 20.000,- von den F&E Infratrstrukturkosten zu den Personalkosten umgeschichtet (siehe auch beiliegendes Formular zur Kostenumschichtung zwischen Partnern). An der Gesamtförderung hat sich durch diese Umschichtungen nichts geändert.

Insgesamt haben sich die Projektkosten um € 30.427,- reduziert.

6. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen

- Gehen Sie auf projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen (laut §6 des Förderungsvertrags) ein, sofern diese im Förderungs- bzw. Werkvertrag vereinbart wurden.

keine

7. Meldungspflichtige Ereignisse

Gibt es besondere Ereignisse rund um das geförderte Projekt, die der FFG mitzuteilen sind (siehe auch Richtlinien – Anhang zu 5.3., 5.3.5), z.B.

- Änderungen der rechtlichen und wirtschaftlichen Einflussmöglichkeiten beim Förderungsnehmer
- Insolvenzverfahren
- Ereignissen, die die Durchführung der geförderten Leistung verzögern oder unmöglich machen
- Weitere Förderungen für dieses Projekt

keine