**TAKE OFF** – Ausschreibung 2013

# ENDBERICHT

| | | | |
|---|---|---|---|
| **FFG Projektnummer** | 843985 | **eCall Antragsnummer** | 4171066 |
| **Kurztitel** | FUSEMET-APP | **FörderungsnehmerIn** | JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH<br>DIGITAL - Institute for Information and Communication Technologies |
| **Bericht Nr.** | 2 | **Berichtszeitraum** | 1.7.2015-31.3.2017 |
| **Bericht erstellt von** | Harald Ganster, JOANNEM RESEARCH | | |

## 1. Ziele und Ergebnisse

Atmosphärische Zustände, wie Gewitter und alle damit verbundenen Wetterphänomene, haben nach wie vor große Auswirkungen auf eine effiziente, wirtschaftliche und sichere Abwicklung des Flugverkehrs. Ziel von FUSEMET-APP war die Unterstützung der Wetterbeobachter durch Integration robuster, automatisierter Messung wetterrelevanter Aspekte, um zumindest in weniger kapazitätsrelevanten Betriebszeiten einen Flughafen in Bezug auf die Wettersicht autonom betreiben zu können. Konkretes Ziel des Projekts war daher ein Software-System, das die optimale Fusionierung aller zur Verfügung stehenden Messungen und Datenquellen zu einer repräsentativen Beobachtung gewährleistet.

Im aktuellen Berichtszeitraum standen der Abschluss der Modulentwicklungen aus AP4 und AP5 und vor allem deren Integration (AP6) und Validierung (AP7) im Fokus. Das Projekt konnte weitestgehend wie geplant umgesetzt werden, wobei die Integration etwas erhöhten Aufwand verursacht hat. Es ist dennoch gelungen erste Test- und Validierungsläufe, auch aufgrund der genehmigten kostenneutralen Verlängerung, während der Projektlaufzeit durchzuführen. Weitere umfassende Validierungen werden auch in Nachfolge des Projekts durchgeführt.

Als wesentliches Highlight ist die Automatisierung der kamerabasierten Sichtweitenmessung herauszustreichen (Abbildung 1). Hierbei ist es gelungen nicht nur die Verfahren zu optimieren, sondern auch die komplette Integration in den semi-operationellen Betrieb bei Austro Control durchzuführen (Abbildung 2).

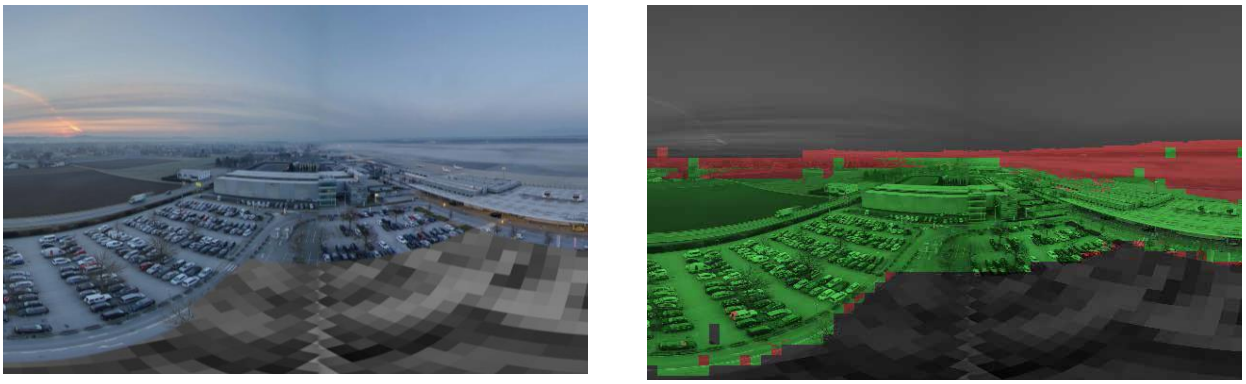

*Abbildung 1: Ausgangsbild der Graz Tower Kamera (links) und Ergebnis der kamerabasierten Sichtweitenmessung (rechts) mit detektierter Nebelbank entlang der Piste.*

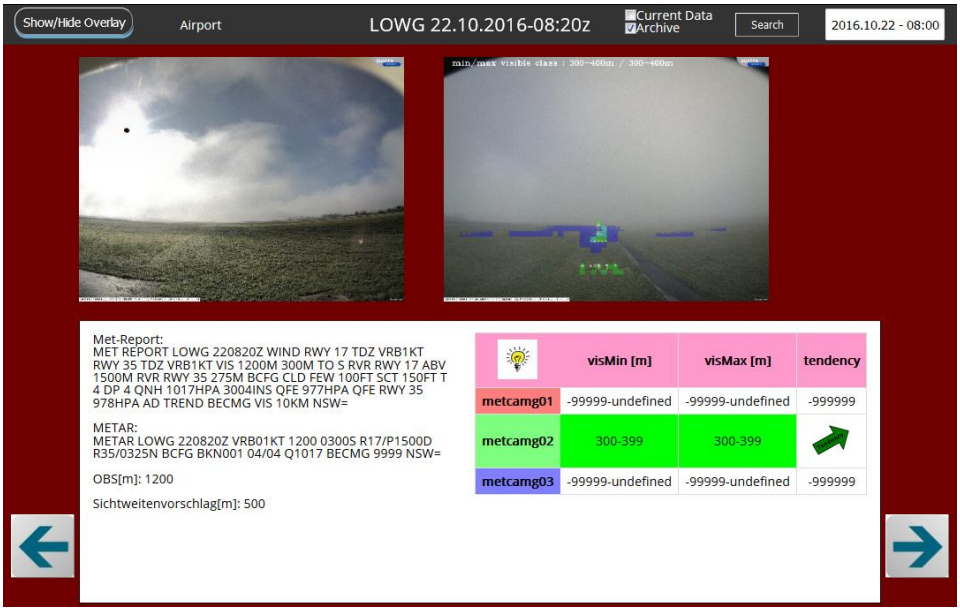


*Abbildung 2: Ausschnitt aus der Webpage innerhalb der ACG-Umgebung zur intuitiven Darstellung der semi-operationellen Sichtweitenmessung.*

Die Ergebnisse aus diesem Teilaspekt führten auch zu konkreten Verwertungsstrategien, die durch eine Präsentation bei der „Meteorological Technology World Expo (MTWE 2016)“ in Madrid unterstützt wurden. Auch der während der Laufzeit des Projekts über einen LoI eingebundene Partner DWD hat bereits Interesse an diesen Ergebnissen bekundet und mehrfache Abstimmungstreffen fanden bereits statt. Die Überführung der kamerabasierten Sichtweitenmessung in ein operationelles System wird eine Hauptaufgabe in direkter Nachfolge zu FUSEMET-APP sein.

Die angesprochene Beteiligung des DWD am Projekt hat sich als sehr positiv dargestellt. Dadurch konnte von Beginn des Projektes die Relevanz der Projektergebnisse hinsichtlich internationaler (europaweiter) Anwendbarkeit berücksichtigt werden. Nachdem alle europäischen Flugwetterdienste mit diesen oder ähnlichen Problemstellungen befasst sind, eröffnet sich somit großes Potential zur Verwertung der Projektergebnisse.

# 2. Arbeitspakete und Meilensteine

## 2.1 Übersichtstabellen

**Tabelle 1: Arbeitspakete**

| AP Nr. | Arbeitspaket Bezeichnung | Fertigstellungsgrad | Basistermin | | Aktuell | | Erreichte Ergebnisse / Abweichungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Anf. | Ende | Anf. | Ende | |
| 1 | Projektmanagement | 100 % | 07/14 | 12/16 | 07/14 | 12/16 | Kostenneutrale Projektverlängerung bis 31.3.2017<br>Deutsche Wetterdienst (DWD) über LoI eingebunden, weitere Kooperationen geplant |
| 2 | ATM/MET-Requirements | 100 % | 07/14 | 12/14 | 07/14 | 11/14 | AP2 wurde bereits im 1. Berichtszeitraum abgeschlossen |
| 3 | Vorbereitung operatives System / Verwertungsaspekte | 100 % | 08/14 | 12/16 | 07/14 | 12/16 | Herstellung der für den Betrieb der entwickelten Softwaremodule notwendigen Umgebungen innerhalb der ACG Systemarchitektur, sowie Performance- und Funktionalitätstests;<br>Bereitstellung großer Mengen geeigneter Trainings- und Validierungsdaten;<br>Konzeptionierung und Erstellung einer Enduser-geeigneten Webseite zur Darstellung der Ergebnisse der Sichtweitenklassifikation.<br>Berücksichtigung der internationalen Verwertungsaspekte über den LoI-Partner DWD. |
| 4 | Optimierung (bestehender Methoden) | 100 % | 09/14 | 03/16 | 09/14 | 10/16 | Erweiterung der Verfahren zur Auto-Sichtweitenmessung (Experimente mit unterschiedlichen Kameras, Objektiven), Fisheye basierte 360°Panorama Stitchings mit HDR Verfahren wurden ausgewertet,<br>Übertragbarkeit von Kamerakalibrationen auf weitere Exemplare des selben Modells wurden evaluiert,<br>Anpassung der WXR-Auffüllung an neue Daten (Korrektur d. Lücken aus dem Prefiltering),<br>Finalisierung der Fusionskonzepte zur CB-Detektion (Bayes-Netze) |
| 5 | Neue Technologien | 90 % | 09/14 | 06/16 | 09/14 | 06/16 | Konzept und Aufbau einer Stereo-Wetterkamera inklusive Testschaltung zur Messung der Synchronizität von DSLR-Paaren. Methoden zur Detektion von Himmelskörper in Nachtaufnahmen. Methoden zur intrinsischen und extrinsischen Kalibration anhand detektierter Sterne. Methoden zur Errechnung Sonnenwinkel aus Schattenlängen anhand Solar Calculator. Auswahl Trainingssets aus relevanten Stereo- und sonstigen Bilddaten. Methoden zur Detektion schneller Bildänderungen über „normalized image difference“ für die Bestimmung von Kameralageänderungen. |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | Integration / Fusionierung | 90 % | 04/15 | 09/16 | 05/15 | 03/17 | Ausgiebige Integrationstests über mehrere Trainingsiterationen zur Optimierung der Performance der Auto-Sicht Routinen;<br>Ableitung geeigneter Sichtklassen und Schwellwerte;<br>Optimierung des Monitors zur Darstellung der Sichtweitenmessung (Webseite) hinsichtlich Usability.<br>Integration der Fusionsmodule über Matlab-Executables und Ergebnisimport in mySQL. |
| 7 | Tests & Validierung | 90% | 06/15 | 12/16 | 09/14 | 03/17 | Adaptierung und Erweiterung der Routinen zur Verifikation der Ergebnisse des Konvektionsmoduls;<br>Validierung der Ergebnisse der neuen Routinen zur WXR-Korrektur anhand von Fallstudien und im real-time Parallel-Testbetrieb;<br>Qualitative und quantitative Auswertung der Ergebnisse der Sichtweiten-Module. |

**Tabelle 2: Meilensteine**

| Meilen-stein Nr. | Meilenstein Bezeichnung | Basis-termin | Akt. Planung | Meilenstein erreicht | Anmerkungen zu Abweichungen |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Requirements-Definition | 12/14 | - | 30.11.14 | Im Herbst 2014 standen etwas mehr Ressourcen seitens ACG/MSV zur Verfügung, daher konnten die finalen Requirements bereits vor dem geplanten Termin fertiggestellt werden. |
| 2 | Integration 1. Iteration | 09/15 | 09/15 | 30.4.2016 | Die Erstintegration der entwickelten Module (Sichtweiten und WXR-Auffüllung) wurde zu Beginn 2016 durchgeführt. Weitere Iterationsschritte zum semi-operationellen Betrieb folgten während des gesamten Jahres 2016. |
| 3 | Abschluss Modulentwicklung | 03/16 | 03/16 | 31.12.2016 | Erstversionen der kompletten Module waren bereits Anfang - Mitte 2016 verfügbar. Während der Integration wurden die Module ausgiebig getestet. Dabei stellte sich heraus, dass Anpassungen und Erweiterungen an Algorithmen und Schnittstellen notwendig waren um die Performance zu optimieren. |
| 4 | Projektende | 12/16 | 12/16 | 31.3.2017 | Eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um 3 Monate wurde genehmigt. |

## 2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

### AP1 – Projektmanagement

Das bereits in Vorprojekten und im letzten Berichtszeitraum eingesetzte Reportingtool (in Excel) zeigte sich für die Erstellung des Zwischenberichts (sowie dem hier vorliegenden Endbericht) und zur Verfolgung des Projektfortschritts als sehr geeignet. Zum Datenaustausch wurden weiterhin zwei Plattformen zur Kommunikation (Dokumenten-Webshare bei JR und Daten-FTP bei AIT) eingesetzt.

Der laufende Projektfortschritt wurde in regelmäßigen (monatlichen) Meetings des Konsortiums, teilweise als Videokonferenz oder Webmeeting, diskutiert:

- Projektmeeting 14.7.2015, Wien,
- GoTo-Meeting 20.8.2015,
- Projektmeeting 16.9.2015, Wien,
- GoTo-Meeting 23.10.2015,
- Projektmeeting 1.12.2015, Graz
- GoTo-Meeting 11.1.2016,
- Projektmeeting 9.2.2016, Wien,
- GoTo-Meeting 3.3.2016,
- Projektmeeting 12.4.2016, Wien,
- Skype-Meeting 10.5.2016,
- **Projektmeeting 31.5.2016 - 1.6.2016, Wien**
- Skype-Meeting 29.6.2016,
- WebEx-Meeting 19.7.2016,
- WebEx-Meeting 1.9.2016,
- Projektmeeting 11.10.2016, Graz,
- Projektmeeting 15.11.2016, Wien,
- WebEx-Meeting 16.12.2016,
- WebEx-Meeting 25.1.2017,
- Projektmeeting 28.2.2017, Wien,
- WebEx-Meeting 27.3.2017.

Am 2-tägigen Projektmeeting (31.5.-1.6.) konnten auch zwei Teilnehmer (Andreas Beck, Eckhard Lanzinger) des mittels LoI in FUSEMET-APP eingebundenen Partner DWD teilnehmen und sowohl über den Projektfortschritt informiert werden als auch ihre Sicht darlegen. Der rege Austausch mit dem DWD führte zu mehreren Gegenbesuchen durch Vertreter von JR und ACG in Deutschland.

Als finales Meeting des FUSEMET-APP-Konsortiums ist geplant einen Workshop nach Projektabschluss (voraussichtlich September 2017) abzuhalten. Hierbei soll der DWD ebenfalls wieder teilnehmen und weitere Kooperationsmöglichkeiten innerhalb des Konsortiums, sowie mit externen Partnern diskutiert werden.

#### AP2 – ATM/MET Requirements

Keine Tätigkeiten im Berichtszeitraum (bereits zum Zwischenbericht abgeschlossen).

#### AP3 – Vorbereitung operatives System / Verwertungsaspekte

In diesem Arbeitspaket wurden diverse Arbeiten zur Vorbereitung des operativen Systems durchgeführt. Es wurde eine Systemarchitektur (Abbildung 3) entworfen welche existierende (d.h. Lösungen aus den Vorgängerprojekten) sowie neue FUSEMET-APP Komponenten berücksichtigt.

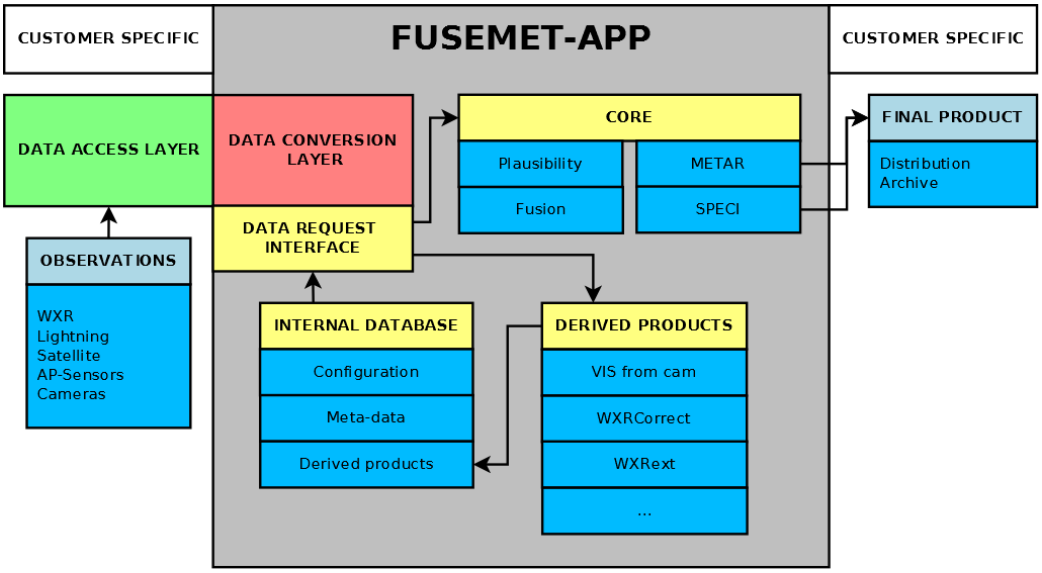


*Abbildung 3: FUSEMET-APP Systemarchitektur.*

Interfaces - um Daten zwischen Python-Skripts und C++-Programmen auszutauschen - wurden entwickelt und getestet (Abbildung 4). Diese Systemarchitektur wurde anhand der Erstellung eines Funktionsdiagramms der Webcamlokalisierung evaluiert (vgl. Abschnitt AP5/Webcam-Lokalisierung).

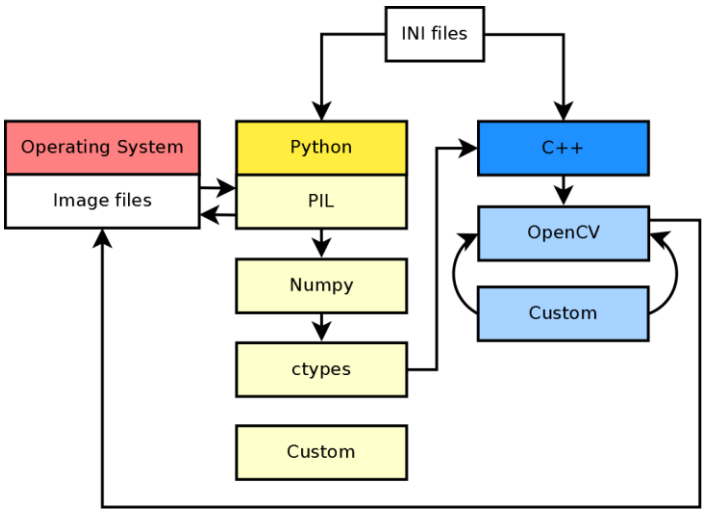


*Abbildung 4: Interface-Diagramm für abgeleitete Produkte ("derived products").*

Tätigkeiten rund um die Vorbereitung eines operativen Testsystems waren in der zweiten Projekthälfte ein dezidierter Schwerpunkt in diesem Arbeitspaket:

- Im Rahmen der Vorbereitung des Systems zur Sichtweitenbestimmung aus Kamerabildern wurde eine Reihe von Tests anhand von Webcambildern des Austro Control Kameranetzwerkes durchgeführt. Hierbei wurden die Bildverarbeitungs-Algorithmen zur Detektion von Nebel und Kamerabewegungen sowohl anhand von Tag- als auch von Nachtbildern (IR-Bilder) auf Funktionalität geprüft (vgl. Abbildung 5).
- Zur Distanzableitung bei der Sichtweitenmessung wurde eine alternative Generierung von Distanzkarten untersucht. Unter Berücksichtigung von Linsenverzerrungseffekten wurden frei verfügbare Geländedaten mit unterschiedlichen Auflösungen in Kombination mit einem

Warpingansatz umfangreich getestet. Die entwickelte Methode zur Zuweisung von Entfernungen zu Pixeln wurde seitens MSV ausführlich mit anderen, deutlich aufwändigeren Ansätzen verglichen und den Partnern JR und AIT zur Demonstration der erwarteten Mindestgenauigkeit und als Möglichkeit zur Erstellung rudimentärer Distanzkarten zur Verfügung gestellt.

- Es wurden die nötigen System- und Softwareumgebungen geschaffen um das Einbinden von ACG-Kameras in das Testsystem zu ermöglichen. Für eine erfolgreiche Integration stellte vor allem auch das Bereitstellen geeigneter Daten zur Entwicklung, zum Testen und zum Training der Algorithmen einen zentralen Punkt dar.
- Für den späteren Testbetrieb und die Bewertung der Ergebnisse durch Flugmeteorologen wurde im Rahmen des Projektes eine Webseite geschaffen, in der sowohl die Ausgangsdaten als auch die Ergebnisse der Sichtweitenbestimmung grafisch ansprechend und endusergeeignet aufbereitet werden können.

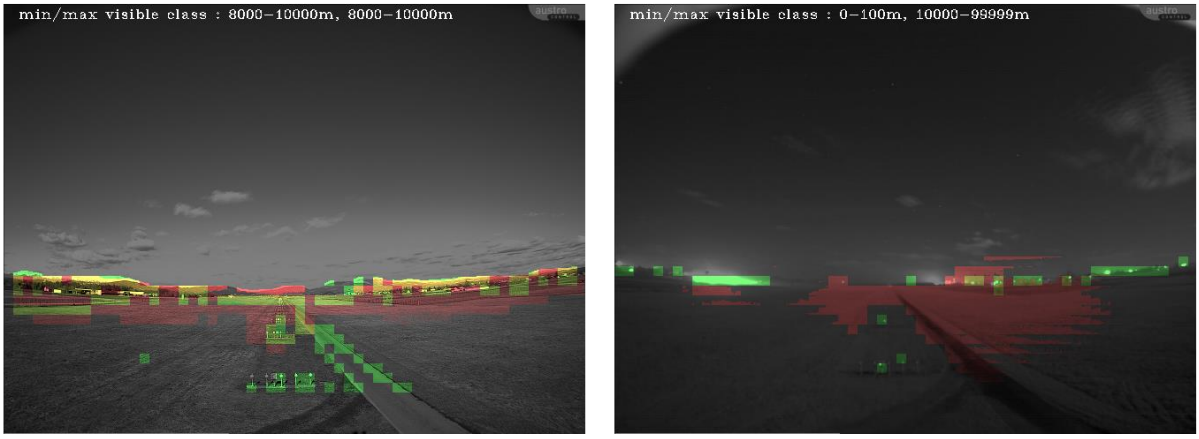


*Abbildung 5: Tagaufnahme mit guter Sicht (links), Nachtaufnahme mit guter Sicht (rechts).*

Zentrale Inhalte der Verwertungs-Fragestellung drehten sich seitens der Projektpartner MSV und ACG um die Definition der Leistung für den Kunden. Die Spezifikation der Dienstleistung/Service/Support sowie der Softwarepakete, -module und Algorithmen galt es mit den Projektpartnern festzulegen und innerhalb der ACG umzusetzen.

Neben den internen Abstimmungen mit den Austro Control Beobachtungsexperten wurden auch Verwertungsaspekte seitens des Deutschen Wetterdienst (DWD) berücksichtigt. Speziell wurden in 2 Workshops die Möglichkeiten von Datenfusion und Plausibilisierung diskutiert. Die direkte Fusionierung von Kameraauswertungen mit den Messungen der Sensoren auf den Flughäfen wurde zwar von beiden Organisationen als zukunftsträchtig bewertet, allerdings wegen der aufwendigen Zertifizierung im Rahmen der Verwertung im gegenständlichen Projekt als nicht umsetzbar gesehen.

**AP4 – Optimierung (bestehender Methoden)**

Ziel dieses Arbeitspakets war die Vorbereitung/Erweiterung der Lösungsansätze aus den Vorgängerprojekten zur Überführung in ein operatives System. Um eine robuste automatisierte Wetterbeobachtung sicherzustellen, war es notwendig die Korrektur der Radardaten zu optimieren, die Sichtweitenmessungen zu verallgemeinern, die Bild- und Sensordaten zu

fusionieren, sowie Ausfallszenarien geeignet handzuhaben. Ansätze aus dem ersten Berichtzeitraum wurden entsprechend weiterverfolgt und fokussiert auf die finale Umsetzbarkeit weiterentwickelt.

Optimierung der Kameramessungen (Autosicht)

Erste Arbeiten zur Optimierung von Methoden der Automatisierung der kamerabasierten Sichtweitenmessung aus den Vorläuferprojekten zu FUSEMET-APP wurden bereits im letzten Bericht dargestellt. Der Fokus hierbei lag in der Analyse des Dark Prior-Verfahrens von He, Sun und Tang[1] und dessen Vergleich zu bereits bestehenden Methoden. Um Bereiche ohne erkennbare Strukturen für eine Sichtweitenbestimmung von vornherein auszuschließen, wurden Bildtraining und Auswertung mit einer Maske versehen, welche Himmelbereiche ausmaskiert. Dasselbe Prinzip kann auf extreme Nahbereiche angewendet werden. Da die ersten Meter vor einer Kamera sehr selten durch Nebel und andere Sichtbehinderungen beeinträchtigt werden und somit die Bildinhalte bei guter sowie bei schlechter Sicht identisch sind kann in diesem Bereich der Trainingsalgorithmus keine relevanten Parameter ableiten. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel der finalen Maske für relevante Bereiche zur Sichtweitenbestimmung einer Innsbrucker Flughafenkamera.

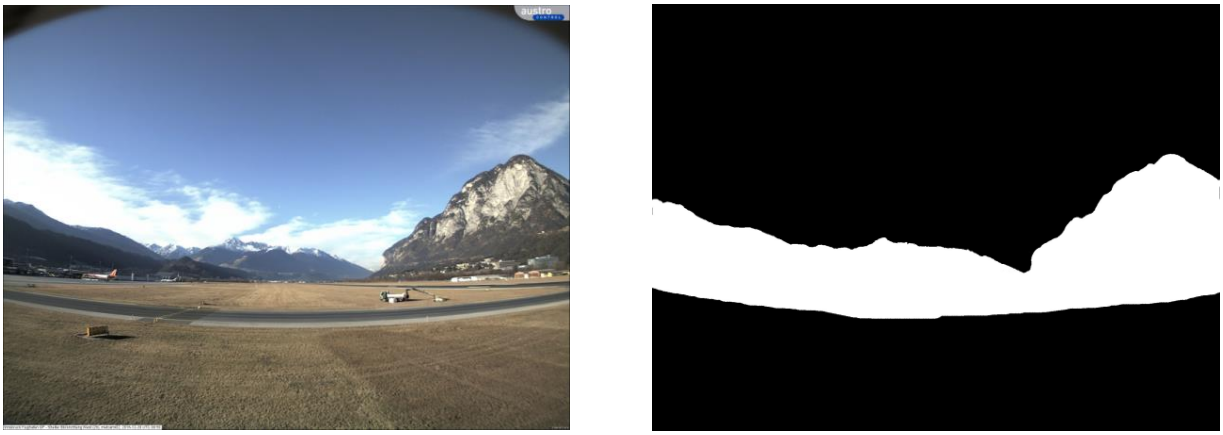

*Abbildung 6: Innsbrucker Flughafenkamera (links) mit Bildmaske der geeigneten Sichtmarken-Regionen (rechts). Der Bildbereich, der den Himmel zeigt, sowie der Bildbereich, der das Gelände bis 50m vor der Kameraposition darstellt, wurden vor Analysestart gefiltert.*

Während im ersten Berichtszeitraum der Fokus darauf lag, anhand einer Kamerastellung verschiedene Algorithmen und die Eignung derer für die Sichtweitenbestimmung zu vergleichen, wurde im zweiten Berichtszeitraum versucht, auch verschiedene Kamerastellungen und Typen miteinander zu vergleichen. In Abbildung 7 wird eine Panoramaaufnahme der HDR-Spiegelreflexpanoramas des Grazer Flughafentowers dargestellt. Durch die hohe Dynamik der Aufnahmen ist es möglich auch in der Nacht eine hohe Qualität bei der Auswertung zu erreichen. Die Montagehöhe dieser Kamera auf dem ca. 40m hohen Tower ermöglicht einen weiteren Vorteil gegenüber der knapp über dem Boden montierten Kameras. Durch den unterschiedlichen Blickwinkel auf das Gelände wird eine höhere Varianz der im Bild repräsentierten Distanzen

[1] K. He, J. Sun and X. Tang, "Guided Image Filtering," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, June 2013.

ermöglicht.

*Abbildung 7: 360° Panorama, zusammengesetzt aus den HDR Aufnahmen zweier Canon Spiegelreflex 6D Kameras mit Fisheyeobjektiven montiert am Grazer Flughafentower.*

Die Auswertung der Sichtbarkeit erfolgt für jeden Bildpatch separat. Das Resultat dafür kann entweder „sichtbar“, „nicht sichtbar“ oder „nicht ausgewertet“ sein (Abbildung 8).

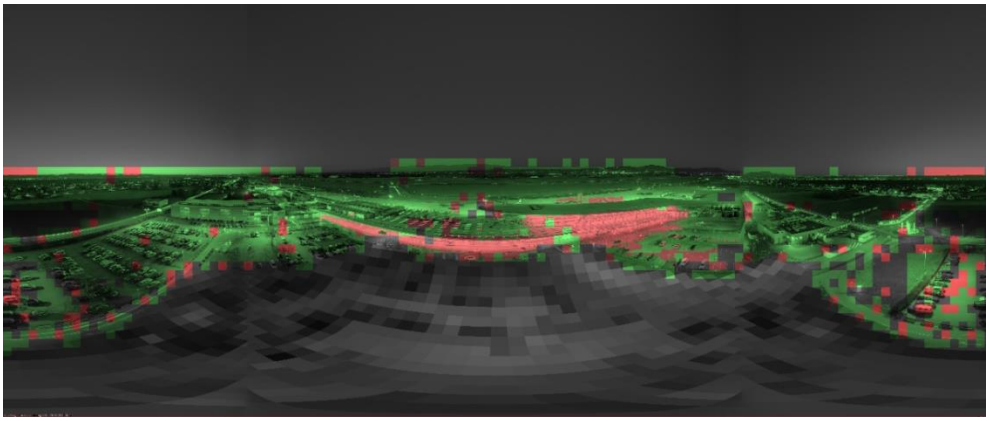

*Abbildung 8: Sichtbarkeitsauswertung des Bildes aus Abbildung 7. Die grün eingefärbten Patches sind als „sichtbar“ ausgewertet, die roten als „nicht sichtbar“.*

In diesem speziellen Fall wird der rote Bereich in der Bildmitte durch die sehr starke Überstrahlung (Beleuchtung der Abflugshalle) nicht richtig erkannt. Die grau gefärbten Bildpatches repräsentieren Bereiche, die vorab ausmaskiert wurden (Himmel und der aus Datenschutzgründen verpixelte Nahbereich). Andererseits sind dies Regionen, die sich durch die automatisierte Qualitätsbewertung als ungeeignet herausgestellt haben.

<u>Optimierung der Distanzauswertung und Distanzkartenberechnung (Autosicht)</u>

In Distanzkarten entspricht jeder Pixel des Kamerabildes einer Distanz zum dargestellten Objekt. Dafür ist sowohl eine Georeferenzierung des Kamerabildes, als auch ein korrektes Modell der Kamera in Hinsicht auf Brennweite, Linsenverzerrung und weiterer kameraspezifischen Parameter nötig. Eine solche Referenzierung wurde bisher mithilfe sogenannter Ground Control Points (GCP) durchgeführt. Lassen sich aber nicht genügend Punkte aufgrund sehr flacher Strukturen finden, ist ein vollständiger Ausgleich aller nötigen Parameter nicht möglich und die Distanzkarte nicht korrekt. Um dem entgegenzuwirken wurden alle kameraspezifischen intrinsischen Parameter der bei ACG eingesetzten Mobotix Kameras in einem dafür speziell eingerichteten Kalibrations-

Labor (Abbildung 9)[2] ermittelt.

*Abbildung 9: Das hochpräzise Kalibrationslabor der technischen Universität Graz.*

Im Labor wurden mit einer Mobotix-Kamera, welche baugleich an den Flughäfen eingesetzt werden, präzise vermessene Kalibrationstargets aus unterschiedlichen Distanzen aufgenommen. Daraus wurden die nötigen intrinsischen Parameter berechnet, wodurch sich die extrinsischen Parameter wie die exakte Position und die genaue Orientierung der Kamera aus deutlich weniger GCPs bestimmen lassen.

Das Beispiel der Flughafenkameras an der Grazer Landebahn (Abbildung 10) verdeutlicht diese Notwendigkeit. Während für die nach Norden blickende Kamera im Süden auch ohne Kalibration ausreichend GCPs zu finden waren, um sowohl die intrinsischen als auch die extrinsischen Parameter auszugleichen und die Georeferenzierung vollständig zu bestimmen, war das für die nach Süden gerichtete Kamera am Nordende der Landebahn nicht möglich.

*Abbildung 10: Grazer Flughafenkameras. Links: Nordende der Piste nach Süden blickend. Rechts: Südende der Piste nach Norden blickend.*

Abbildung 11 zeigt die Auswirkung der genauen Kalibration anhand der Kamera im Norden. Das fehlerhafte Resultat ist in Abbildung 11 (oben) dargestellt, wobei Ausreißer und Tiefenfehler (Darstellung entfernter Distanzen vor nahen Distanzen) klar erkennbar sind. Nach Kalibration war

[2] Hierfür gilt spezieller Dank an das Institut für Geodäsie der TU Graz, welche uns das hochpräzise Labor für diese Messzwecke zur Verfügung gestellt hat.

es möglich mit wenigen GCPs den Ausgleich und somit eine korrekte Georeferenzierung durchzuführen (Abbildung 11, unten). Gebäude und Waldstrukturen werden klar erkennbar und Distanzen korrekt dargestellt.

Über die Distanzkarte und die bewerteten Bildregionen kann nun eine Statistik für die Sichtbarkeit erstellt werden. In der Histogrammdarstellung in Abbildung 12 kann der Beobachter direkt ablesen welche Distanzklassen als gut sichtbar (hohe Prozentsätze) bewertet wurden.

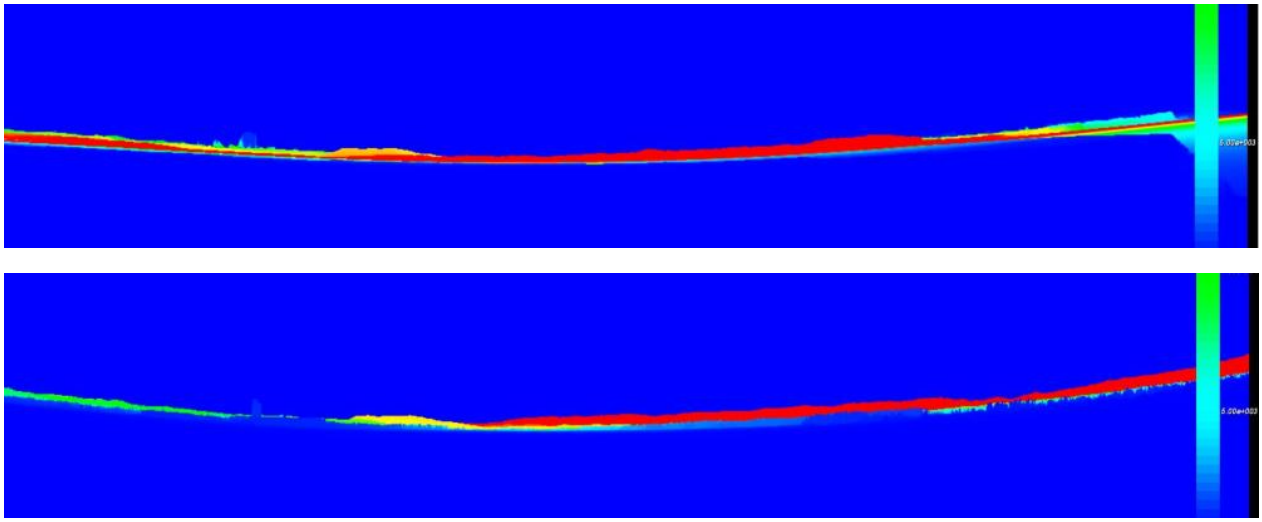

*Abbildung 11: Vergleich der Distanzkarte für einen Standort mit wenig verfügbaren GCPs. Oben: generierte Distanzkarte ohne Kalibration. Unten: Distanzkarte mit Laborkalibration.*

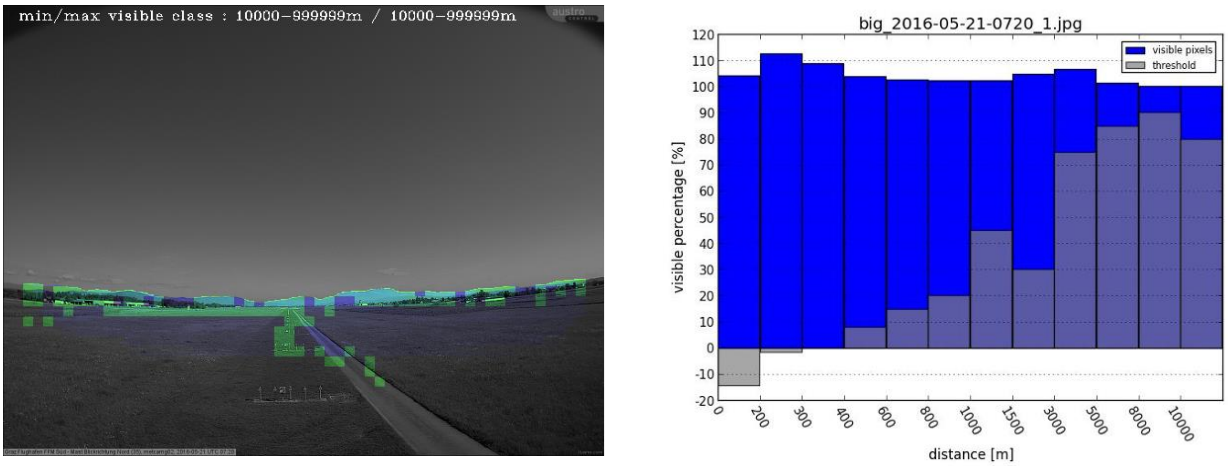


*Abbildung 12: Darstellung der Sichtweitenanalyse. Links: Kamerabild mit relevanten Bildregionen zur Distanzauswertung. Rechts: Histogrammauswertung über Distanzklassen (Im gegebenen Fall ist die Sichtweite >10000m).*

<u>Anflugampel</u>

Neben der klassischen Analyse von Sichtweiten konnte mit der Sichtanfluganalyse eine weitere Anwendung der kamerabasierten Messungen gefunden werden. In das Kamerabild einer vollständig georeferenzierten Kamera werden die 3D Koordinaten eines Anfluges übertragen. Im Bereich dieser Trajektorie wird die Sichtbarkeit ausgewertet, um wertvolle Information zur Freigabe des Sichtanfluges zur Verfügung zu stellen. Abbildung 13 stellt eine solche

Trajektorienauswertung anhand des Anflugs auf den Salzburger Flughafen aus Norden dar. Grüne Bereiche wurden als Regionen mit guter Sicht detektiert, während rote Bereiche Regionen mit schlechten Sichtverhältnissen repräsentieren. Weiße Anteile entsprechen Regionen, welche durch die automatische Analyse nicht bewertbar waren (z.B. Bereiche im Himmel, welche bereits vorab ausmaskiert wurden).

*Abbildung 13: Zwei Beispiele einer Anflugtrajektorie. Links: Sichtbarkeit liegt bei 15%. Rechts: Sichtbarkeit liegt bei 150%.*

Die Ergebnisse können nun als Hilfsmittel herangezogen werden, um zu beurteilen ob ein Sichtanflug möglich ist oder nicht. Durch die Kombination mehrerer Kamerastandortauswertungen zur selben Trajektorie können Verdeckungen und Bereiche, die sich in einer bestimmten Kamera schlecht zur Auswertung eignen kompensiert werden. Nach Festlegung von geeigneten Schwellwerten ist eine automatische oder teilautomatische Beurteilung des Sichtanflugs möglich.

Wetterradar-Korrektur

Im Rahmen einer Umstellung der Systemumgebung seitens ACG wurden die Routinen und Module zur WXR-Korrektur in die neue Umgebung portiert und auf 64bit umgestellt. Im Zuge der Portierung wurden die Stabilität und Qualität der WXR Segmentation verbessert, diverse Bugs behoben sowie die Module zur Auffüllung fehlender WXR-Echos getuned. Durch die Änderung des Erscheinungsbildes des WXR Austria Composite durch eine innerhalb der ACG neu eingeführter Filterung des WXR Signals vor der Bildverarbeitungskette entstanden bis dato noch nicht aufgetretene Erfassungslöcher (vgl. Abbildung 15).

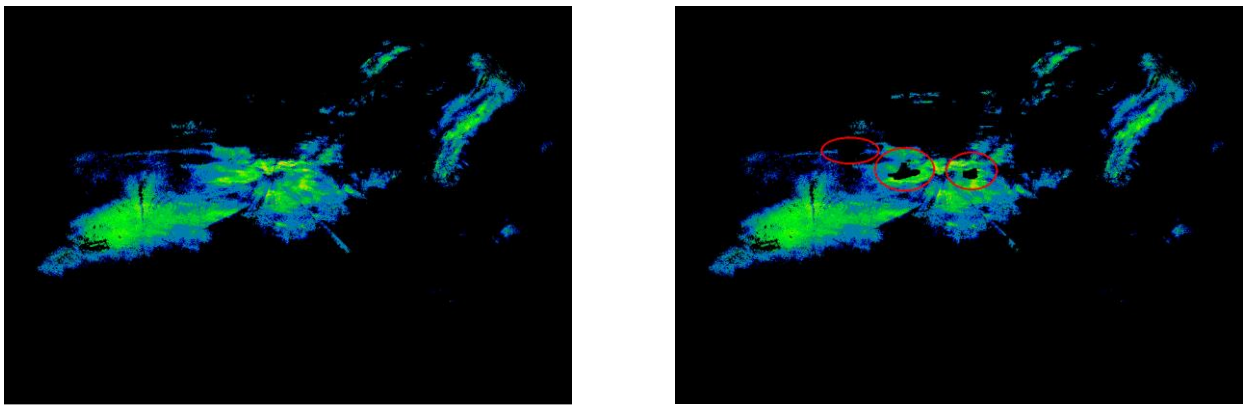

*Abbildung 14: WXR-Bild (links) und Segmentations-Löcher im WXR Austria Composite (rechts) durch fehlerhafte Textursegmentierung aufgrund der Konfigurationsänderung (Filter).*

Zur Korrektur dieser Lücken wurde ein neuer Prozessierungsschritt in der Artefaktdetektion eingefügt. Dieser beurteilt aufgrund toplogischer Eigenschaften, ob eine Lücke plausibel ist oder nicht. Die Textursegmentation wird darauffolgend entsprechend korrigiert (Abbildung 15) und die Lücken können gefüllt werden (Abbildung 16).

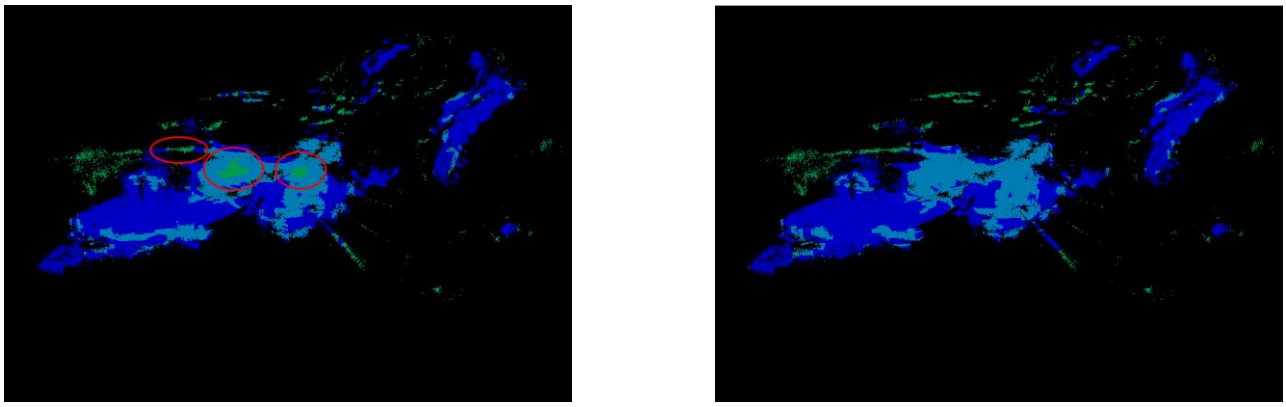

*Abbildung 15: Fehlerhafte Texturklassifikation (links, sowie Segmentationsergebnisse nach der Anpassung der Routinen (rechts).*

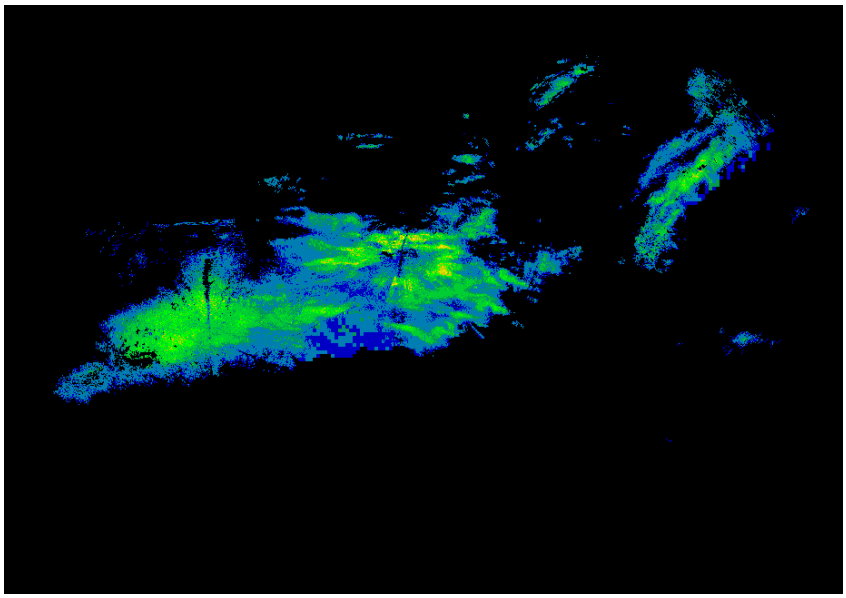

*Abbildung 16: Ergebnis der adaptierten WXR-Korrektur nach Artefaktdetektion und Auffüllung. Lücken wurden sauber entfernt.*

Optimierung der Fusionskonzepte

Für die CB-Detektion wurde beschlossen, das erfolgreiche Konzept der Bayes Netzwerke weiterzuverwenden und es entsprechend der neuen Anforderungen zu erweitern. Zusätzlich wurden auch weitere mögliche Ansätze des maschinellen Lernens erforscht. Aus dieser Anforderung heraus wurde neben den Bayes-Netzwerken der Einsatz einer Support Vector Machine (SVM) genauer untersucht. Um ausgiebige Tests zu ermöglichen, wurden vielfältige Daten aus dem ACG-Routinebetrieb erfasst und in unterschiedlichen Kombinationen als GroundTruth bzw. als Testsets zur Verfügung gestellt (vgl. Abschnitt AP6 - Konvektionsmodul).

Durch Parameteroptimierung der SVM konnten bereits sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Hierbei wurden nicht nur Daten aus dem Konvektionsmodul (vgl. auch Abschnitt zu AP6 –

Integration / Fusionierung) bzw. dem METAR Report untereinander verglichen, sondern auch Querklassifikationen evaluiert. Das heißt, sowohl eine individuelle Klassenperformance als auch eine Kreuzvalidierung wurde durchgeführt (für ein Beispiel siehe Tabelle 2).

*Tabelle 2: Evaluierung der SVM. TCU = turmartige Cumulus, NSW/No = Kein signifikantes Wetter, VCTS = Gewitter in Flughafennähe; TS = Gewitter; CB = Cumulonibus.*

| Training Konvektionsmodul | | | | | | | | Training METAR | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Test Konvektionsmodul | | | | Test METAR | | | | Test Konvektionsmodul | | | | Test METAR | | | |
| | VCTS | TS | NSW | | VCTS | TS | NSW | | VCTS | TS | NSW | | VCTS | TS | NSW |
| VCTS | 14 | 1 | 0 | VCTS | 5 | 3 | 1 | VCTS | 13 | 2 | 1 | VCTS | 7 | 0 | 1 |
| TS | 0 | 13 | 0 | TS | 1 | 5 | 1 | TS | 7 | 6 | 0 | TS | 3 | 4 | 0 |
| NSW | 2 | 1 | 27 | NSW | 1 | 0 | 15 | NSW | 2 | 0 | 27 | NSW | 1 | 1 | 15 |
| | TCU | CB | No | | TCU | CB | No | | TCU | CB | No | | TCU | CB | No |
| TCU | 77 | 6 | 0 | TCU | 29 | 34 | 21 | TCU | 19 | 3 | 42 | TCU | 4 | 6 | 53 |
| CB | 6 | 111 | 3 | CB | 2 | 112 | 6 | CB | 17 | 99 | 10 | CB | 3 | 101 | 22 |
| No | 0 | 1 | 204 | No | 0 | 0 | 204 | No | 3 | 0 | 187 | No | 1 | 2 | 188 |

Die Verwendung des Bayes-Netzwerks hat sich als sehr komplexes Thema herausgestellt. Als wesentlicher Faktor hat sich vor allem die Struktur des gewählten Netzwerkes gezeigt (Anzahl Hidden Nodes, diskrete vs. kontinuierliche Knoten, etc.). Auch eine Initialisierung des Bayes-Netzwerkes mit den Ergebnissen aus der SVM wurde evaluiert.

Letztendlich stehen zwei Lösungen als finale Verfahren für ein (semi-)operatives System zur Verfügung. Auf der einen Seite wurden aus den Trainingsdaten tatsächliche Wahrscheinlichkeiten zwischen den Netzwerksknoten abgeleitet (Abbildung 17). Auf der anderen Seite wurde das Netzwerk um unbesetzte Knoten erweitert (Abbildung 18) die eine Regularisierung der automatisierten Wahrscheinlichkeitsberechnung bewirken. Beide Ansätze bieten eine stabile Lösung bei Vorliegen lückenhafter Informationen.

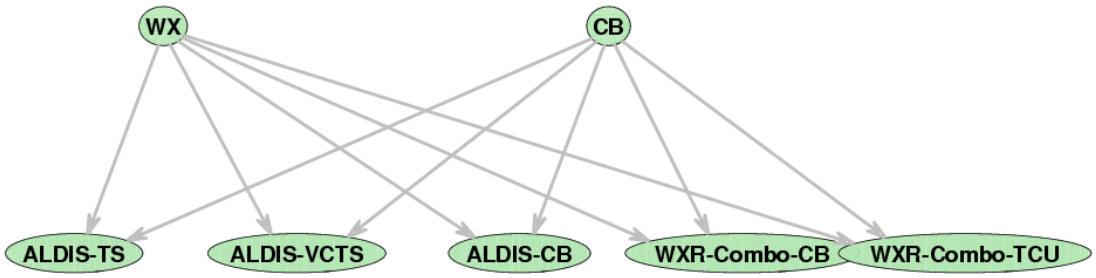


*Abbildung 17: Bayes-Netzwerk für die Berechnung der tatsächlichen Wahrscheinlichkeiten aus den Trainingsdaten.*

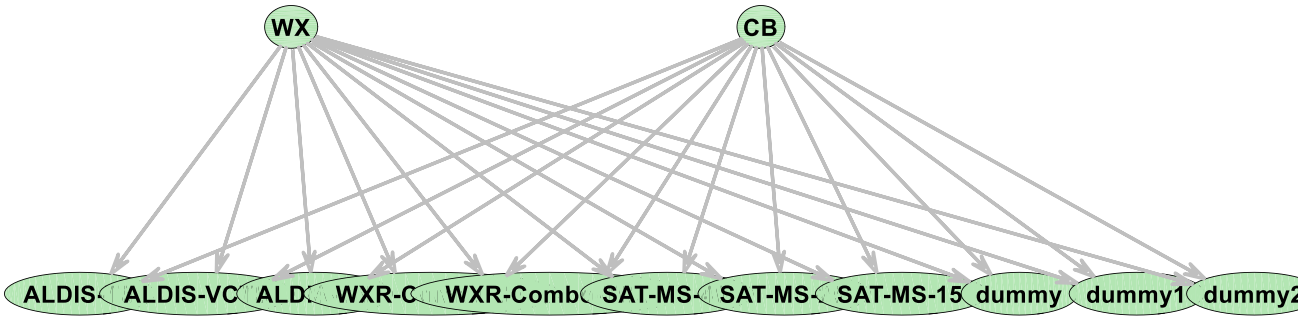


*Abbildung 18: Bayes-Netzwerk mit Verwendung von regularisierenden leeren Knoten.*

Tabelle 3 zeigt deutlich den Effekt der Einführung regularisierender Knoten im Bayes-Netzwerk. Während in der 1. Spalte ohne zusätzliche Knoten das Bayes-Netzwerk keine brauchbaren Resultate liefert, sind Fehlklassifikationen durch Hinzufügen eines oder mehrerer Knoten diese nur mehr vereinzelt wahrnehmbar. Die 3. und 4. Spalte der Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse unter Simulation des Ausfalls einer Datenquelle, wobei der Wetterradar (WXR)-Ausfall nur Effekte in der Kategorie der Gewitterwolke (2. Zeile, Fehlklassifikation zwischen TCU und CB) hat, aber die Unterscheidung Gewitterbewölkung Ja/Nein weiterhin zulässt. Ähnliches ist beim Ausfall des Blitzortungssystems zu bemerken, wo entsprechend die Verortung des Gewitters verloren geht (VCTS, TS). Beide Simulationen zeigen aber, dass die Fusion weiterhin zuverlässige Basisinformationen für eine automatische Gewitterdetektion liefert, während beim klassischen Konvektionsmodul (basierend auf einem Decision-Tree) mit fehlender Information keine Entscheidungen ableitbar sind.

*Tabelle 3: Konfusionsmatrizen zum Vergleich der Klassifikationsergebnisse des kompletten Bayes-Netzwerks ohne zusätzliche Knoten (1.Spalte) und mit regularisierenden Knoten (2. Spalte), sowie der Simulation lückenhafter Informationen (3. und 4. Spalte).*

| Full Data without Additional Nodes | | | | Full Data with Regalurizing Nodes | | | | Missing WXR Information | | | | Missing ALDIS Information | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | VCTS | TS | NSW | | VCTS | TS | NSW | | VCTS | TS | NSW | | VCTS | TS | NSW |
| VCTS | 0 | 57 | 3 | VCTS | 60 | 0 | 0 | VCTS | 60 | 0 | 0 | VCTS | 0 | 12 | 48 |
| TS | 0 | 67 | 0 | TS | 0 | 67 | 0 | TS | 0 | 67 | 0 | TS | 0 | 20 | 47 |
| NSW | 0 | 754 | 1 | NSW | 4 | 0 | 751 | NSW | 1 | 0 | 754 | NSW | 0 | 7 | 748 |
| | TCU | CB | No | | TCU | CB | No | | TCU | CB | No | | TCU | CB | No |
| TCU | 0 | 0 | 261 | TCU | 259 | 2 | 0 | TCU | 0 | 14 | 247 | TCU | 252 | 9 | 0 |
| CB | 4 | 2 | 325 | CB | 9 | 322 | 0 | CB | 0 | 261 | 70 | CB | 36 | 289 | 6 |
| No | 0 | 290 | 0 | No | 5 | 0 | 285 | No | 0 | 0 | 290 | No | 5 | 0 | 285 |

**AP5 – Neue Technologien**

<u>Stereo-Wetterkamera</u>

In diesem Arbeitspaket wurden zwei Spiegelreflexkameras in wetterfesten Gehäusen eingebaut und ein Steuerungsmodul (Triggerschaltung) zur zeitsynchronen Auslösung der Kameras entwickelt. Die Synchronizität der Aufnahmen wurde mit Testaufnahmen bestätigt. Der hyperfokale Abstand der Kameras wurde für eine geeignete Blende errechnet. Die Einstellungen

erlaubte sowohl eine scharfe Abbildung von nahen Objekten (Kalibrationsmuster) als auch von Himmelskörpern. Eine intrinsische Kalibration der Kameras wurde durchgeführt.

Die Kameras wurden im Freien in einem Abstand von etwa 11 Metern zueinander aufgestellt und über mehrere Wochen wurden sowohl tagsüber als auch nachts Testaufnahmen gemacht. Die Testaufnahmen wurden als Datenbasis für die Evaluierung von existierenden Autokalibrationsverfahren herangezogen. In diesen Tests zeigte sich, dass diese Verfahren zur automatischen Kalibration für eine in dieser Weise aufgenommenen Szene nicht geeignet sind. Die Verteilung der markanten Bildpunkte als auch deren Verteilung in der Tiefe stellte sich als nicht ausreichend heraus um die extrinsischen Kalibrationsparameter zuverlässig zu schätzen. Daraufhin wurden die Kameras so positioniert, dass die Wolkendecke von unten aufgenommen wird (siehe Abbildung 19).

*Abbildung 19: Bildpaar der Stereo-Kameras mit Vertikalsicht.*

Die von Wolken erzeugte Bildtextur ist fraktal und zeigt keine scharfen Kanten. Die Bildmatchingverfahren wurden für solchen Bildinhalte optimiert indem die Bildpyramide (die diesen Verfahren zugrunde liegt) um einige Niveaus erweitert wurde (Abbildung 20).

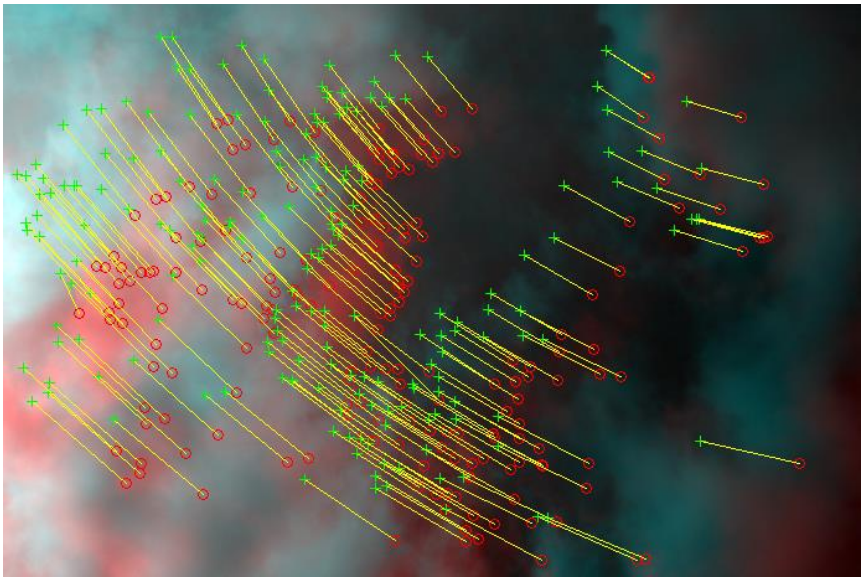

*Abbildung 20: Matchende Bildpunkte im Stereo-Bildpaar (aus Abbildung 19).*

Über in der Nacht sichtbare Sterne wurde versucht die extrinsische Kalibration bezüglich Rotationen zu ermöglichen. Die in Vorgängerprojekten entwickelte Methode zur Detektion von

Sternen wurde dazu erweitert, so dass nun auch die mittlere Helligkeit eines Sternes aus einem Bild geschätzt werden kann. Die detektierten Sterne aus einem Bildpaar wurden über ein Matchingverfahren verglichen, so dass die Rotation zwischen den Kameras geschätzt werden konnte (siehe Abbildung 21).

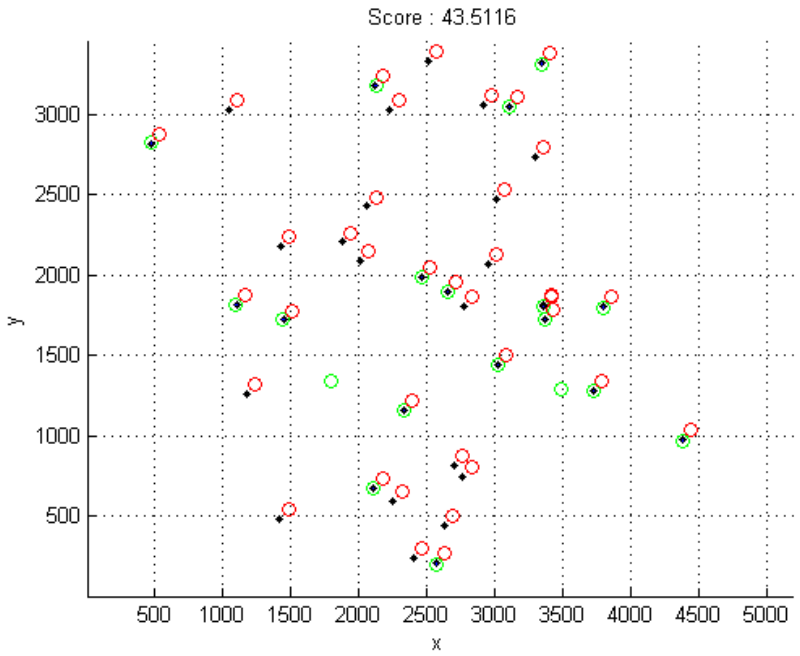


*Abbildung 21: Detektierte Sterne im linken (grün) und rechten (rot) Bild und das Ergebnis nach der Transformation der Bildpunkte (schwarz).*

Letztendlich wurden die Bilder rektifiziert und ein Stereo-Matching der Bildinhalte durchgeführt. Aus zugeordneten Bildpunkten wurde die Disparität gemessen und daraufhin die Verteilung der Wolkenhöhe geschätzt. Durch eine bessere manuelle Ausrichtung der Kameras war es auch ohne extrinsisches Kalibrationsverfahren möglich die Wolkenhöhe zu messen (Abbildung 22).

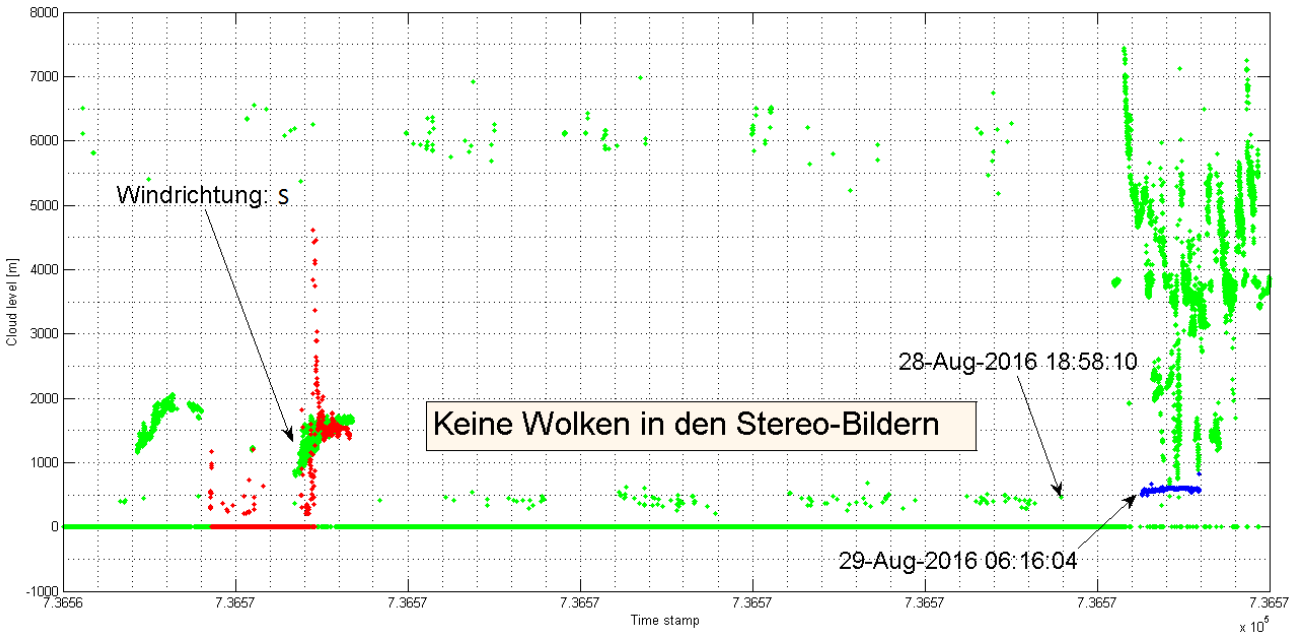


*Abbildung 22: Vergleich der Messwerte des Ceilometers (grün) und der Stereo-Wetterkamera (rot und blau).*

Der Vergleich der Ceilometer- und Stereo-Wetterkameradaten in Abbildung 22 zeigt dass die Ergebnisse der Stereo-Wetterkamera plausibel sind, wobei sich das Ceilometer direkt am Flughafen Wien befand, während die Stereo-Wetterkamera etwa 15 km weiter entfernt aufgebaut wurde[3]. Prinzipiell misst die Stereo-Wetterkamera flächenweise die Höhe der untersten Wolkenschicht. Höhere Schichten werden durch niedrigere Schichten verdeckt und können daher nur stellenweise gemessen werden. Dieses Phänomen ist im Verlauf der Daten (blau in Abbildung 22) gut sichtbar; das vom Ceilometer gemessene 3D-Profil der Wolken wird im stereo-basierten Verfahren nicht erkannt. Lediglich die Höhe der unteren Wolkenschicht wird gemessen.

Der zeitliche Versatz in den Daten (rot) lässt sich durch die räumliche Entfernung der beiden Messgeräte erklären. Da der Wind aus südlicher Richtung kam und die Stereo-Wetterkamera nördlich vom Flughafen aufgestellt wurde, ist die Richtung des Versatzes plausibel. Auch die gemessene Höhen (in rot: ~1500 meter, und in blau: ~800m) stimmen mit den Ceilometer-Daten (grün) überein.

Aus den Daten ist auch ersichtlich dass die räumliche Trennung der Messgeräte die genaue Evaluierung der Qualität der Stereo-Messung erschwert. Im Zeitraum zwischen roten und blauen Datenpunkten lieferte das Ceilometer in regelmäßigen Abständen Messwerte, aber die Stereo-Wetterkamera nicht. Nach ausführlicher Evaluierung der Stereo-Bilder aus diesem Zeitraum, stellte sich heraus, dass in diesen Bildern tatsächlich gar keine Wolken sichtbar waren und somit die Wolkenhöhenmessung der Stereo-Wetterkamera auch hier plausibel ist.

Webcam-Lokalisierung

Der Ausgangspunkt der Webcamlokalisierung ist eine HTML-Seite mit Livebildern einer Webcam. Ziel der Lokalisierung ist es anhand vorhandener Informationen zu bestimmen wo sich diese Webcam befindet („longitude, latitude“). Eine Initialposition der Kamera kann möglicherweise über im HTML verfügbare Namen von naheliegenden Städten, Dörfern oder Landmarks erworben werden. Blickrichtungen werden oftmals in den Bilddaten gespeichert und können daher über OCR bestimmt werden. Die Verbesserung der Positionsbestimmung der Kamera erfolgt iterativ über die Bestimmung von bildbasierten Features, wie die Positionen von Himmelskörpern (Sonne und Sterne), Sonnenwinkel und Tageslänge (Breitengrad). Mittels Sternenkarten und entsprechenden Matchingverfahren konnte der Zusammenhang zwischen Sternen und deren Erscheinung in den Bildern ermittelt werden. Über die Länge von Schatten konnte der Sonnenwinkel bestimmt werden. Der Breitengrad der Position der Kamera wurde errechnet durch Ermittlung der Tageslänge (Detektionen von Sonnenauf- und untergang) und Berücksichtigung der Exposure-Values (aus EXIF-Daten). Eine schematische Darstellung dieser Prozesse ist in Abbildung 23 dargestellt.

[3] Ein Einsatz der Stereo-Wetterkamera direkt am Flughafen war wegen Sicherheitsvorkehrungen und täglich notwendiger Arbeiten an der Stereo-Wetterkamera nicht möglich.

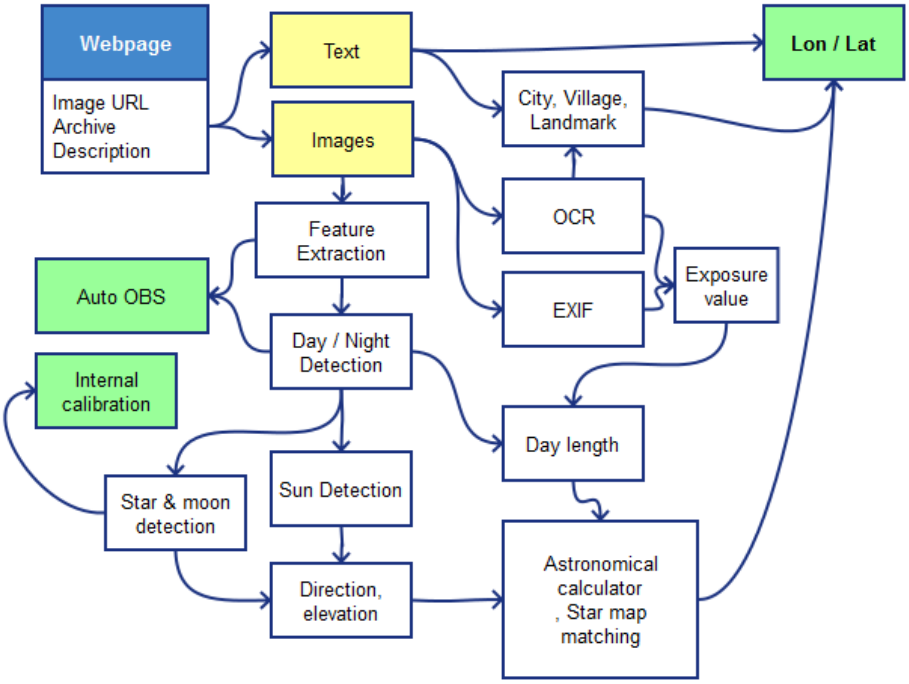


*Abbildung 23: Schema des Informationsflusses der Webcamlokalisierung.*

<u>Kameralageänderungsdetektion „SceneState“</u>

Die Bestimmung von Sichtweiten basiert auf der Annahme, dass sich die Lage der Kamera nicht ändert. In der Praxis kann es bei Reinigung oder Wartung der Kameras zu kleinen Änderungen der Kameralage kommen. Eine leichte Drehung oder Verschiebung der Kamera kann dafür sorgen, dass die Trainingsdaten für die Sichtweitenbestimmung nicht mehr verwendbar sind.

Basierend auf einem umfassenden/repräsentativen Trainingsdatensatz kann unter Verwendung der Gradientenstärke festgestellt werden, ob die Kamera bewegt wurde. D.h. SceneState vergleicht Bildpaare, indem versucht wird einen geometrischen und optischen Zusammenhang der detektierten Bildmerkmale herzustellen. Über diesen Zusammenhang der Bildmerkmalspunkte wurde bestimmt, ob sich die Kamera in der Zeit zwischen der ursprünglichen Aufnahme und der Aufnahme des aktuellen Bildpaares verdreht hat.

Die Feststellung dieses Zusammenhangs wird durch stark veränderliche Bildinhalte, wie z.B. Wolken oder sonstige bewegte Objekte und uhrzeit- und wetterbedingte Lichtverhältnisse erschwert. Unterschiedliche Deskriptoren (u.a. SIFT, SURF, BRISK und ORB) wurden herangezogen, um den Einfluss stark veränderlicher Bildinhalte zu minimieren.

Um die Detektionsrate des Programms weiter zu optimieren, wurde der Bildvergleich nicht nur am aktuellsten Bildpaar vorgenommen, sondern es wurden mehrere vorangehende Bilder herangezogen. Die Uhrzeitabhängigkeit durch Lichtverhältnisse konnte reduziert werden, indem nur Bildpaare die zur gleichen Uhrzeit aufgenommen wurden, verwendet werden. Eine weitere Verbesserung ergab sich indem Nachtaufnahmen gar nicht verwendet werden. Der Bildvergleich mit einem Bildset und ein darauffolgender Voting-Mechanismus ergaben die besten Ergebnisse.

*Abbildung 24: Overlay zweier Bilder nach Kameralageänderung. Die Lageänderung wurde detektiert und eine Transformation wurde abgeleitet. Die Bilder wurden automatisch auf einander registriert, so dass verfügbare Modelldaten für die Sichtweitenbestimmung weiterhin verwendet werden können.*

Aufgrund der aufwändigen Rechenzeiten wurde eine Implementierung in C++ umgesetzt. Im Gesamtablauf bietet die Erkennung einer Abweichung zwischen Training und Testdaten die Möglichkeit automatisiert ein den neuen Gegebenheiten angepasstes Training zu starten und so wieder zuverlässige Sichtweitenbestimmungen zu garantieren (vgl. Abschnitt AP4 - Optimierung der Kameramessungen (Autosicht).

**AP6 – Integration / Fusionierung**

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Umsetzung eines real-time Testbetriebs innerhalb der ACG-Systemumgebung für die Ergebnisse aus AP4 und AP5. Im Detail beinhaltet die Integration umfassende Tätigkeiten in der Codeportierung sowie dem Testen der einzelnen Tools.

<u>Integration der Sichtweitenmessung</u>

Im Rahmen der Integration der entwickelten Module zur Sichtweitenbestimmung aus Kamerabildern wurde das System mit diversen Sets von Daten trainiert. Dies geschah für unterschiedliche ACG-Kameras in mehreren Testiterationen zur Feststellung des Einflusses der Trainingsdaten auf die Performance der Algorithmen und zur Miteinbeziehung von lokalen Standortbesonderheiten (abhängig von Jahreszeit, Sonnenstand, Vegetation, Bodenbelag, Aufstellgeometrie der Kamera sowie Anzahl, Höhe und Verteilung von Sichtmarken).

Nach dem Erreichen einer zufriedenstellenden Performance wurden geeignete Sichtklassen und anhand von Referenzbildern die Schwellwerte zum Feststellen der Sichtbarkeit einer Klasse definiert. Für den Testbetrieb der Sichtweitenbestimmung aus Kamerabildern und die Bewertung der Ergebnisse durch Flugmeteorologen wurde eine Webseite geschaffen, in der sowohl die Ausgangsdaten, Referenzwerte und Flugwettermeldungen als auch die Ergebnisse der Sichtweitenbestimmung grafisch ansprechend und endusergeeignet aufbereitet werden (vgl. Abbildung 25). Die Webpage wurde in mehreren Iterationen hinsichtlich Usability optimiert und dient als innerbetrieblicher Demonstrator und Verifikationswerkzeug.

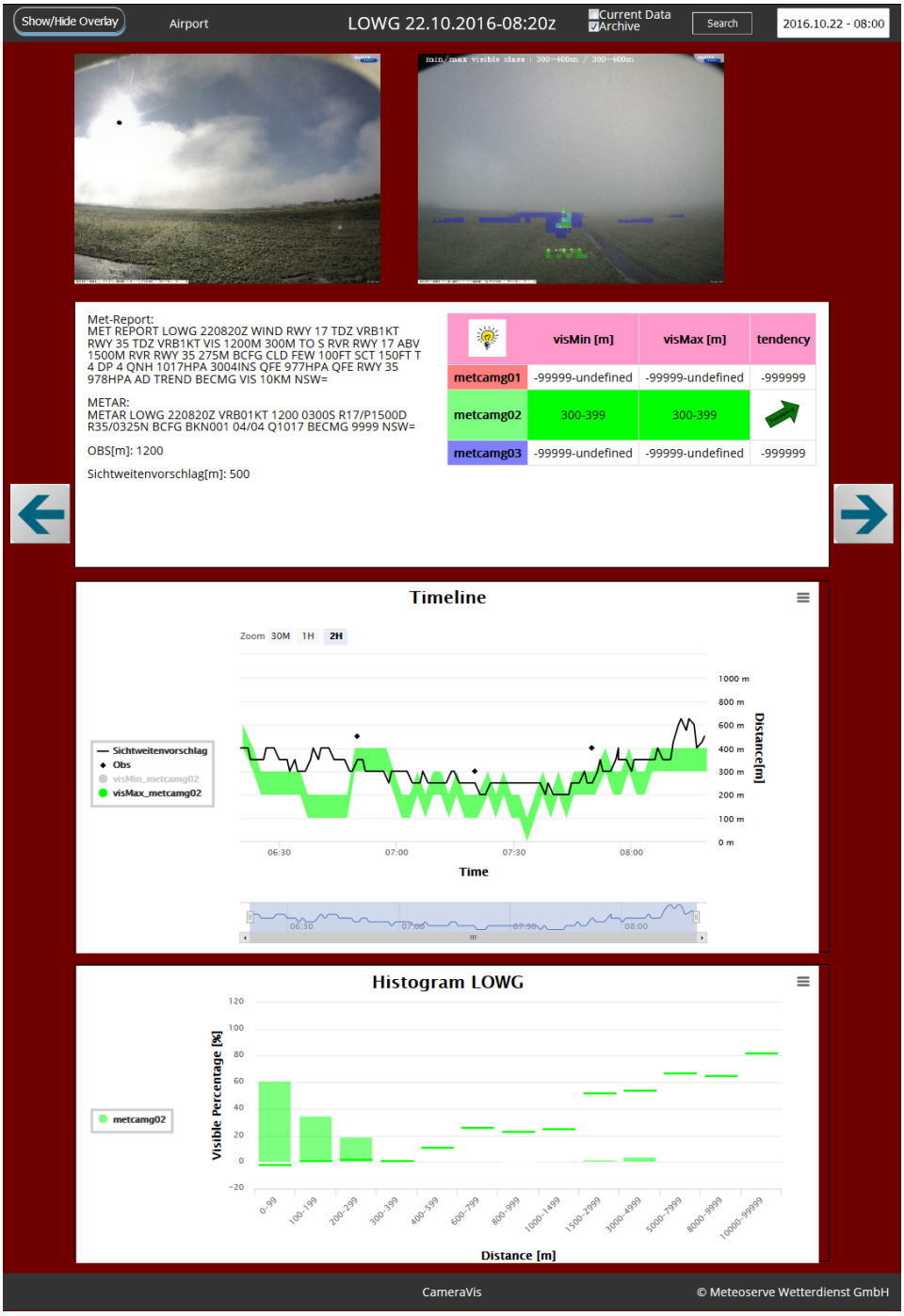


*Abbildung 25: Webpage zur einfachen Analyse der Sichtweitenmessung*

<u>Konvektionsmodul</u>

Die operationelle automatische Konvektionsauswertung für Autometar und Remotemetar verwendet einfache Schwellwertabfragen von Wetterradardaten und Blitzdaten. Daraus werden relevante Informationen über Gewitterwolken (CB), auftürmende Bewölkung (TCU, Vorstufe Gewitterwolke) sowie Gewitter im unmittelbaren Flughafenbereich sowie deren Umgebung und Anflugbereich abgeleitet (Abbildung 26).

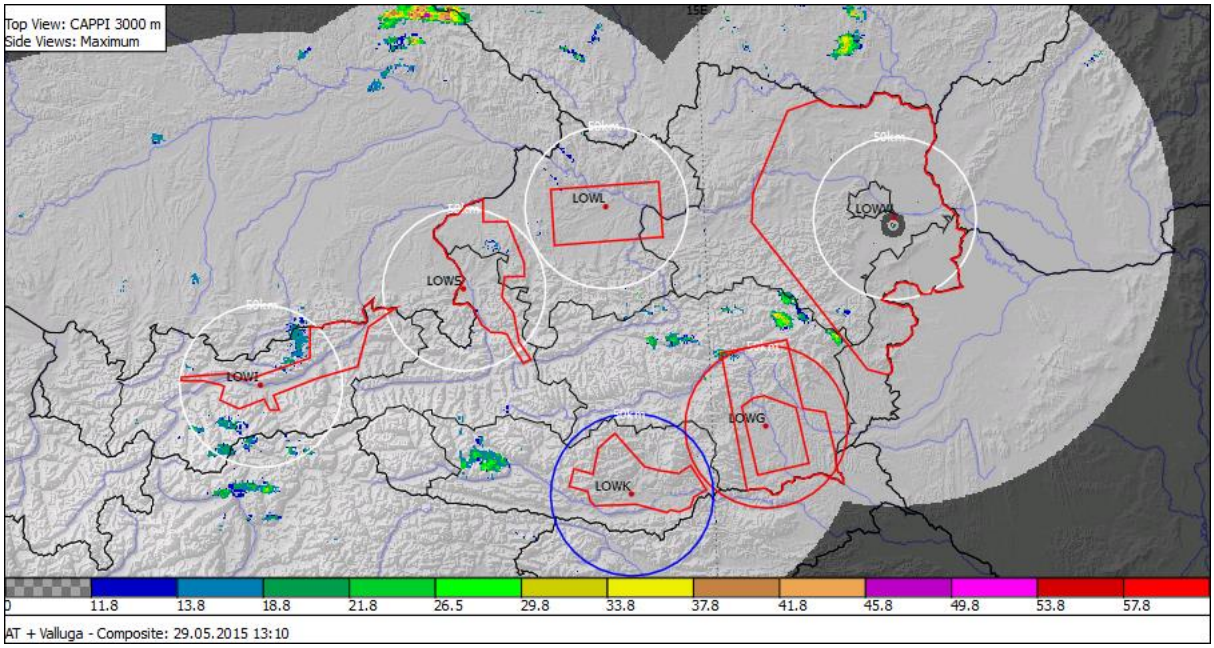


*Abbildung 26: Relevante Anflugbereiche sowie Positionen der 6 internationalen Flughäfen Österreichs.*

Ziel der Konvektionsauswertung in FUSEMET-APP war eine robuste Lösung die sowohl mit fehlenden Eingangsdaten als auch mit Falschinformationen in Daten (Fehlblitze, RLAN-Störungen, Nichterfassung) umgehen kann. Die ACG-Auswertemethoden hierzu wurden im Verlaufe des Projektes geändert und mit folgenden Datensätzen im Projekt getestet[4]:

- Auswertung der WXR3D Daten mittels unabhängiger Betrachtung zweier CAPPI Schichten; Pixel mit Werten über den Reflektivitätsschwellwerten (3-4km>=41.8dBZ; 5-6km>=34.2dBZ) müssen auf beiden Höhen überlappen, um als Konvektion eingestuft zu werden
- Einführung TCU (towering cumulus – Vorstufe Gewitterwolke) mittels WXR3D (3-4km>=34.2dBZ; 5-6km>=26.7dBZ)
- Zwei Mehrfachentladungen anstatt einer für die Ausgabe „Gewitter/Gewitterwolke“
- Eliminierung von Falschblitzen ohne Radarsignal im Umkreis von 15 km
- Einbindung der IR SAT Daten
- Ausgabe der Anzahl der belegten Pixel (1km Auflösung) für Temperaturen <=-15, -25 und -40 °C
- Mehrfache Datenauswertungen für 2016
- Nachberechnungen der Daten aus 2015 inklusive IR Informationen

Dadurch ergab sich eine entsprechend adaptierte Tabelle der verwendeten Schwellwerte und Daten (siehe Abbildung 27).

[4] Eine SAF (Satellitendaten) Einbindung wurde in die operative Testumgebung nicht mehr durchgeführt (aufgrund der mäßigen Erfolge mit den IR SAT Daten und Problemen bei der Datenaufbereitung außerhalb Matlab).

| | | Lightning impact (EUCLID checked by WXR2D > 11.8dBZ, > 4 Pixel within 15 km distance) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AUTOMETAR: KVM algorithm and thresholds | | > 1 flash within 50 km AND ≥ 1 flash | | | | | |
| | | ≤ 3-5nm | ≤ 10km | 10km < ≤ 18km | 18km < ≤ 50km | no lightning * | no data |
| WXR TMA/50km > 4 km² | CAPPI 3-4km: Reflectivity ≥ 41.8dBZ<br>CAPPI 5-6km: Reflectivity ≥ 34.2dBZ | AD warning | TS<br>CB | VCTS<br>CB | //<br>CB | //<br>CB | //<br>CB<br>remark ERR=10 |
| | CAPPI 3-4km: 41.8 dBZ > Reflectivity ≥ 34.2 dBZ<br>CAPPI 5-6km: 34.2 dBZ > Reflectivity ≥ 26.7dBZ | AD warning | TS<br>CB | VCTS<br>CB | //<br>CB | //<br>TCU | //<br>TCU<br>remark ERR=10 |
| | no CAPPI3-4km / CAPPI5-6km thresholds | AD warning | TS<br>CB | VCTS<br>CB | //<br>CB | //<br>// | //<br>//<br>remark ERR=10 |
| | missing WXR in composite (distance ≤ 225 km) | AD warning<br>remark ERR=02 | TS<br>CB<br>remark ERR=02 | VCTS<br>CB<br>remark ERR=02 | //<br>CB<br>remark ERR=02 | remark<br>ERR=02 | remark<br>ERR=12 |
| | no data or >50 % missing data at 1 CAPPI level | AD warning<br>remark ERR=01 | TS<br>CB<br>remark ERR=01 | VCTS<br>CB<br>remark ERR=01 | //<br>CB<br>remark ERR=01 | //<br>//<br>remark ERR=01 | remark<br>ERR=11 |

* <2 flashes within 50 km and plausibility check using WXR

*Abbildung 27: Adaptierte WXR Daten.*

Die Daten und Ergebnisse aus dieser Aufbereitung dienten auch für die Optimierung der Bayes-Netzwerke zur CB-Detektion (vgl. Abschnitt AP4 - Optimierung der Fusionskonzepte). Die Ergebnisse aus der Bayes'schen Fusion wurden wiederum (wie im Vorläuferprojekt FUSEMET) über die bereits erfolgreich getestete Schnittstelle Matlab-Executable und Anbindung an die mySQL-Datenbank ins ACG-System integriert.

**AP7 – Tests & Validierung**

Das Arbeitspaket umfasst sowohl die Analyse der neu zu entwickelnden sowie der optimierten bestehenden Methoden als auch die Verifikation der resultierenden Ergebnisse. Alle Methoden wurden iterativ in den einzelnen Arbeitspaketen getestet und validiert und nach erfolgter Integration mit geeigneten statistischen Verfahren quantitativ ausgewertet.

<u>Konvektionsmodul</u>

In der zweiten Projekthälfte wurden die im ersten Berichtszeitraum geschaffenen, rudimentären Verfahren zur Verifikation der Ergebnisse des Moduls zur kontinuierlichen Erkennung von konvektiven Wettererscheinungen (Konvektionsmodul) adaptiert und erweitert, sodass nun zwischen Cumulonimbus (CB) und der neu hinzugekommenen Kategorie Towering Cumulus (TCU) unterschieden werden kann. Mithilfe der aktualisierten Routinen konnten die Ergebnisse des Konvektionsmoduls an den Standorten der sechs zivilen, österreichischen Flughäfen neu ausgewertet (vgl. Abbildung 28) und zum Tuning der Systeme in den Entwicklungsarbeitspaketen eingesetzt werden. Weiters ermöglicht nun ein neu geschaffenes web-basiertes Userinterface jederzeit das Anstoßen der Verifikationsroutinen außerhalb der Entwicklungsumgebung.

| Scores (Ev) | ≥1 | ≥2 | ≥3 | ≥4 |
|---|---|---|---|---|
| Prob of Event | 0.045 | 0.036 | 0.011 | 0.008 |
| Hit Rate | 0.903 | 0.915 | 0.989 | 0.844 |
| Prop Correct | 0.972 | 0.992 | 0.999 | 0.998 |
| F Alarm Rate | 0.025 | 0.005 | 0.001 | 0.001 |
| F Alarm Ratio | 0.366 | 0.138 | 0.082 | 0.129 |
| BIAS | 1.425 | 1.061 | 1.078 | 0.969 |
| PSS | 0.878 | 0.909 | 0.988 | 0.843 |
| ORSS | 0.995 | 0.999 | 1.0 | 1.0 |
| HSS | 0.731 | 0.883 | 0.951 | 0.856 |
| p(E)\|E=V | 0.634 | 0.862 | 0.918 | 0.871 |
| p(E)\|E≠V | 0.005 | 0.003 | 0.0 | 0.001 |
| KPI | 0.805 | 0.896 | 0.97 | 0.849 |

| Konvektionsmodul \ METAR | NE (0) | TCU (1) | CB (2) | VCTS (3) | TS (4) | Σ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NE (0) | 7643 | 25 | 11 | 0 | 0 | 7679 |
| TCU (1) | 168 | 37 | 14 | 0 | 0 | 219 |
| CB (2) | 25 | 17 | 171 | 1 | 0 | 214 |
| VCTS (3) | 1 | 0 | 5 | 19 | 10 | 35 |
| TS (4) | 0 | 0 | 2 | 6 | 54 | 62 |
| Σ | 7837 | 79 | 203 | 26 | 64 | 8209 |

| Scores (Total) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| HSS | 0.672 | Diagonal | 0.965 | Diagonal ±1 class | 0.995 |
| PSS | 0.812 | FC<OBS | 0.007 | KPI | 0.88 |
| GS | 0.905 | FC>OBS | 0.027 | | |

*Abbildung 28: Exemplarische, 30-minütige Auswertung (METAR vs. Konvektionsmodul).*

WXR-Korrekturen

Sowohl einzelne Zwischenschritte als auch das Gesamtpaket wurden intensiv evaluiert und auf Funktionalität sowie Anwendbarkeit/Usability getestet. Die Adaptionen und Korrekturen im Bereich der Detektion von Artefakten und der Auffüllung von fehlenden Wetterradar- (WXR-) Informationen wurde anhand von ausgewählten Fallstudien und im real-time Parallel-Testbetrieb validiert (vgl. Abbildung 29) Das Forecaster Feedback wurde analysiert und zum Beseitigen von Bugs und Feinjustieren der Systeme genutzt.

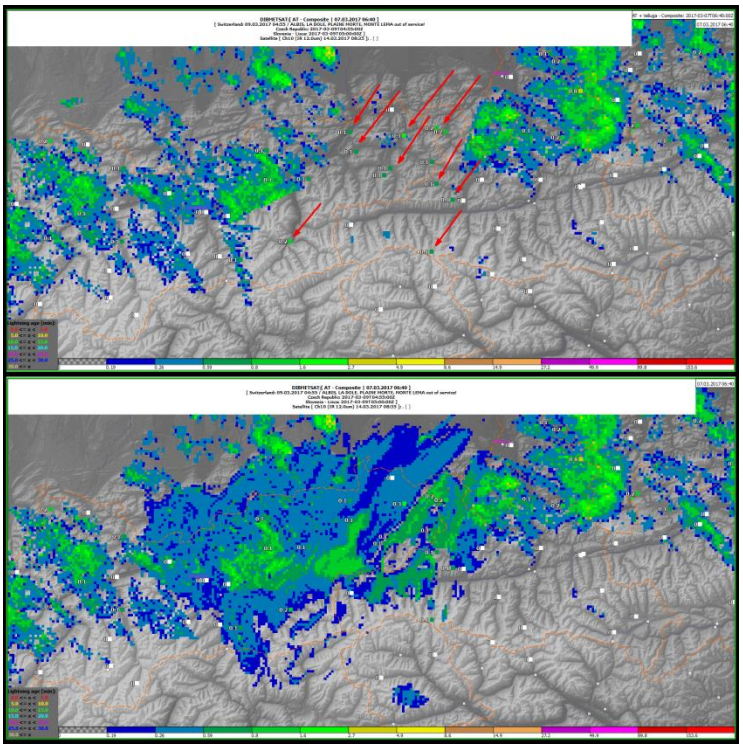

*Abbildung 29: Stationsmeldungen mit relevantem Niederschlag in einem WXR Abschattungsbereich (oben), WXR Austria Composite nach der WXR Korrektur (unten).*

Im Zuge der auftretenden Segmentationslöcher (vgl. auch AP4) wurden seitens Anwendungspartner umfangreiche Datensätze zusammengestellt, um notwendige Codeoptimierungen durch die Entwicklungspartner zu ermöglichen. Letztendlich wurde die finale Routine zur WXR Segmentation (Lochfüllung) in die MET-Umgebung eingebunden.

Sichtweitenbestimmung

Die Validierung der ersten Ergebnisse der Module zur Sichtweitenbestimmung aus Kamerabildern erfolgte im Rahmen der in AP6 durchgeführten Integrations- und Trainingsiterationen anhand ausgewählter Fallbeispiele unterschiedlicher Testszenarien. Die Erkenntnisse über die Abhängigkeit der Performance der Algorithmen von bestimmten Lichtverhältnissen, dem Bodenzustand, bodennaher Feuchte (Schönwetterdunst) sowie der Verteilung der Sichtmarken wurde zur Verbesserung der Trainingsdaten und zum Anpassen der Methoden in die Entwicklungs- und Integrationsarbeitspakete rückgeführt.

Nach dem Erreichen einer zufriedenstellenden Performance wurden die Ergebnisse Forecastern zur Beurteilung vorgelegt. Zu diesem Zweck wurde eine Webseite geschaffen, die die Ergebnisse und andere zur Beurteilung relevante Informationen auf geeignete Weise aufbereitet. Ihr Feedback diente als Grundlage für das Tuning des Systems und das Anpassen der Sichtbarkeits-Schwellwerte an MET Requirements (vgl. Abschnitt AP6 - Integration der Sichtweitenmessung).

Nach einer Reihe von qualitativen Untersuchungen wurden die zur quantitativen Verifikation der Ergebnisse nötigen Skripte und Routinen geschaffen. Eine erste Auswertung erfolgte anhand etablierter, statistischer Verfahren über den Zeitraum des Testbetriebs (vgl. Abbildung 30). Die aus der Auswertung gewonnen Erkenntnisse wurden wiederum für die Kalibrierung der Algorithmen genutzt.

Weitere Kalibrationsschritte erfolgten anhand nachberechneter Projektergebnisse aus Archivdaten und deren Vergleich mit historischen Wetteraufzeichnungen (vgl. Abbildung 31 ).

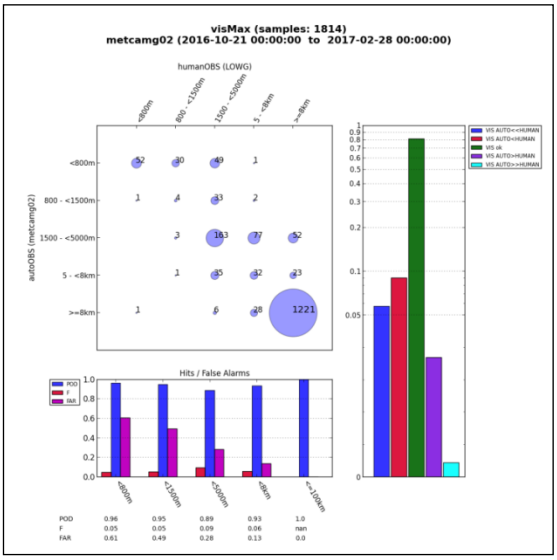


*Abbildung 30: Quantitativer Vergleich der Ergebnisse der Sichtweiten aus der Kamera-Auswertung (autoOBS) mit der Beobachtermeldung (humanOBS).*

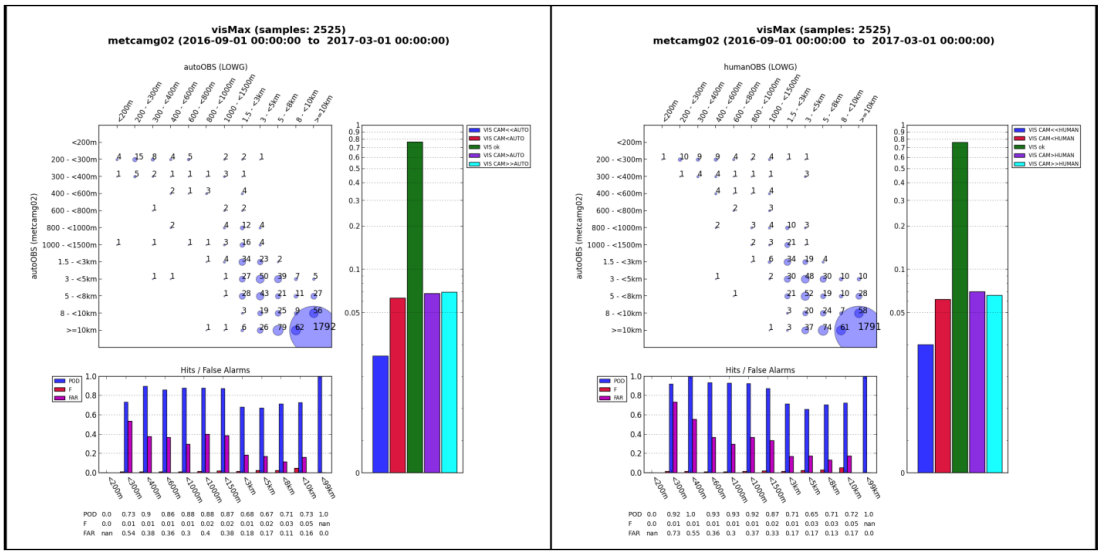


*Abbildung 31: Quantitativer Vergleich nachberechneter Ergebnisse der Sichtweiten aus der Kamera-Auswertung mit automatischer Meldung (links) bzw. mit der Beobachtermeldung (rechts).*

## 3. Projektteam und Kooperation

Das Konsortium wurde im Berichtszeitraum nicht geändert und besteht aus vier Partnern:

- JR: JOANNEUM RESEARCH Forschungsges. m.b.H. - DIGITAL
- AIT Austrian Institute of Technology GmbH
- ACG: Austro Control, Österreichische Gesellschaft für Zivilluftfahrt mit beschränkter Haftung
- MSV: MeteoServe Wetterdienst GmbH

Bei den beiden Forschungsunternehmen AIT und JR standen der Abschluss der Entwicklungsarbeiten im Bereich Optimierung bestehender Methoden (AP4) und der neuen Technologien im Vordergrund (AP5). Die beiden Unternehmenspartner MSV und ACG hatten neben dem finalen Update der Requirements die ständige Kontrolle der Entwicklungsarbeiten hinsichtlich Verwertbarkeit und deren Integration, Test und Evaluierung als Hauptaufgaben. Die Integration der entwickelten Verfahren in eine semioperative Umgebung wurde von allen Konsortiumspartnern wahrgenommen.

Seitens des Projektpartners MSV gab es im Projektverlauf eine Reihe an Änderungen betreffend des Projektteams. So wurden teilweise Projektmitarbeiter verabschiedet, zum Großteil wurden jedoch zusätzliche Experten hinzugefügt. Dies geschah um den gegebenen Erfordernissen noch besser nachkommen zu können.

Begleitet wurde das Projekt während der Gesamtlaufzeit durch den über einen LoI eingebundenen Deutschen Wetterdienst (DWD), womit sichergestellt werden konnte, dass die Verfahren über das österreichische ATM hinaus auch internationale Anwendung finden können. Der Austausch mit dem DWD fand neben gemeinsamen Projektmeetings auch durch regelmäßigen Austausch von Testdaten und Ergebnissen statt.

## 4. nur Endbericht: Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung

Während im 1. Berichtszeitraum (vgl. auch Zwischenbericht) der Fokus auf Publikationstätigkeiten lag, konnten im aktuellen Berichtszeitraum vermehrt Verwertungsaktivitäten in Richtung Operationalisierung der Projektergebnisse gesetzt werden.

Im Projekt konnten folgende Publikationen verzeichnet werden:

- **ÖAGM 2015:** Measuring Visibility using Atmospheric Transmission and Digital Surface Model; Jean-Philippe Andreu, Stefan Mayer, Karlheinz Gutjahr, and Harald Ganster.
- **AUTO METAR Workshop, May 2015, Toulouse:** Camera based aeronautical metorological observation technologies; Rudolf Kaltenboeck, Jean-Philippe Andreu. Gerardus Croonen, Harald Ganster, Karin Hennermann, Markus Kerschbaum, Christoph Nowak, Stefan Mayer, Gregor Löscher, Erich Schmidt, Martin Steinheimer, Martina Uray.
- **37th AMS Weather Radar Conference, Norman, Oklahoma, September 2015:** Toward automatic convective products for aeronautical meteorology; Kaltenboeck, R., Croonen, G., Ganster, H., Gärtner, T., Hennermann, K., Kerschbaum, M., Löscher, G., Mayer, S., Nowak, C., Steinheimer, M., and Uray, M.
- **ÖGM/DMG Fortbildungstag 2016:** Herausforderungen für die radar-basierte automatische Erfassung von konvektiven Ereignissen im Alpenraum im Bereich der Luftfahrt; Dr. Rudolf Kaltenböck.

Im Rahmen der Verwertungsaktivitäten ist auch zu erwähnen, dass im Berichtszeitraum folgende Patenterteilungen seitens Europäischen und Österreichischem Patentamt erfolgt sind:

- EPA 2732308 (29.7.2015): Method for detecting measuring errors or artifacts in weather radar images.
- EPA 2732306 (13.4.2016): Method for completing and correcting digital weather radar images.
- ÖPA 512.103 (5.10.2016): Verfahren zur Detektion von Messfehlern oder Artefakten in Wetterradarbildern.

Ein weiteres österreichisches Patent wurde schon in der letzten Berichtsperiode genehmigt:

- ÖPA 512.102 (15.11.2014): Verfahren zur Vervollständigung und Berichtigung von Digitalen Wetterradarbildern.

Diese Patentaktivitäten wurden bereits in den Vorläuferprojekten DIBMETSAT-3D und FUSEMET gestartet und sind ein wesentlicher Erfolg für FUSEMET-APP im AP4, der Optimierung von Verfahren aus Vorläuferprojekten.

Erwähnenswert im Bereich der Verwertung ist nicht zuletzt die Erstellung eines professionellen TakeOff-Ergebnisvideos das die Projektergebnisse der Vorläuferprojekte aus den letzten Jahren zusammenfasst. Die Präsentation erfolgte im Rahmen des **Aviation Forum Austria am 20.10.16**, wobei auch die Projektpartner teilnehmen konnten.

Das Projektteam konnte durch die Teilnahme an der Messe **„Meteorological Technology World**

**Expo“ (MTWE 2016)** wesentliche Erfahrungen im Bereich der Verwertung von Projektergebnissen (im Speziellen der Sichtweitenmessung) gewinnen. Im Vorfeld dazu wurde von JR und ACG ein schlüssiges Präsentationskonzept erstellt. Dazu gehören u.A. die Aufbereitung einer entsprechenden Demo und diverse Datenblätter zu Projektergebnissen. Die Nachbereitung der Messe mit rund 100 relevanten Kontakten ergaben bereits erste Absichtserklärungen (NDAs, etc.) zu möglichen weiteren Kooperationen.

Während der Messe konnte auch der Kontakt zum Partner DWD intensiviert werden, welcher durch weitere konkreten Gespräche über zukünftige Zusammenarbeit während der Besuche von JR beim DWD in Hamburg (03.02.17-04.02.17) und Offenbach (21.03.17) untermauert wird.

Die Kontakte aus der Präsentation bei der MTWE und die Projektbegleitung durch den DWD bilden die Basis für die unmittelbaren und mittelbaren Nachfolgeaktivitäten zu FUSEMET-APP, welche auf eine Überführung der Projektergebnisse in (semi-) operationelle Systeme abzielen werden.

## 5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

Am Kostenplan wurden keine wesentlichen Änderungen gegenüber dem Antrag durchgeführt. Geringfügige Verschiebungen zwischen Kostenkategorien und Arbeitspaketen sind bei allen Partnern zu vermerken. Dies entspricht aber dem normalen Projektablauf eines mehrjährigen kooperativen Projekts und reflektiert die Anpassung an aktuelle Herausforderungen. Die genehmigte kostenneutrale Verlängerung des Projektzeitraums um 3 Monate bis 31.3.2017 zählt auch hierzu.

Seitens des Projektpartners MSV zeigte sich im Projektverlauf, dass die geplanten Projektmeetings zum Großteil virtuell gehalten werden können. In weiterer Folge wurden nicht die geplanten Reisekosten benötigt. Durch die Einarbeitung neuer Projektmitarbeiter und folglich Sicherstellung der notwendigen Projekt-Ressourcen kam es beim Partner MSV zu einem etwas höheren Aufwand für Tätigkeiten in AP1, die der Stundenaufzeichnung im Finanz-Teil des Berichtes zu entnehmen sind.

## 6. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen

Alle projektspezifischen Auflagen wurden bereits während des 1. Berichtszeitraums erfüllt. Die abrechnungsrelevanten Auflagen sind auch in der beiliegenden Endabrechnung berücksichtigt.

## 7. Meldungspflichtige Ereignisse

Um die Tests und Validierung abschließen zu können, wurde, in Abstimmung mit allen Projektpartnern, um kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um 3 Monate bis zum 31.3.2017 angesucht. Dieser Fristerstreckung wurde mit Schreiben vom 8.11.2016 seitens FFG zugestimmt.