

ENDBERICHT

FFG Projektnummer	838987	eCall Antragsnummer	3321253
Kurztitel	AAA4ATM	FörderungsnehmerIn	JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH DIGITAL - Institute for Information and Communication Technologies
Bericht Nr.	2	Berichtszeitraum	1.4.2014-31.12.2015
Bericht erstellt von	Harald Ganster		

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.

Ziel von AAA4ATM ist ein Analyse- / Vorhersagesystem, das ausgehend von der aktuellen Verteilung der verkehrsbehindernden konvektiven Wettererscheinungen auf bis zu 6 Stunden den zukünftigen verfügbaren Luftraum bestimmen kann. Diese Problemstellung wurde mit Methoden der Bildverarbeitung in einem mehrstufigen Verfahren gelöst, die unterschiedliche räumliche und zeitliche Skalen berücksichtigen (Tabelle 1), wobei nahe dem aktuellen Zeitpunkt höher aufgelöste Daten mit einem höher gewichteten Anteil an gemessenem Niederschlag verwendet werden. Im Zeitraum bis zu 2 Stunden wird die Überführung auf entsprechenden Modelldaten erzielt und danach rein auf Modellbasis eine Prognose erstellt.

Prognosezeitpunkt (t + x)	Zeitschritte	Geometrische Auflösung
0 - 30 Minuten	5 Minuten	1 km
30 – 120 Minuten	10 Minuten	5 km
2 – 6 Stunden	60 Minuten	15 km

Tabelle 1: Überblick über räumliche und zeitliche Skalen für den Prognosezeitraum bis zu 6 Stunden.

Der Berichtszeitraum umfasste den Abschluss der Modulentwicklung (Objekterkennung, Tracking, Blending), sowie deren Integration und Validierung in einem (semi)operativen Workflow. Über einen Waring-Ansatz mit Matching-Komponenten konnte die automatische Kombination der Extrapolation der aktuellen Wetterlage mit vorhandenen Wettermodellen erzielt werden (Abbildung 1).

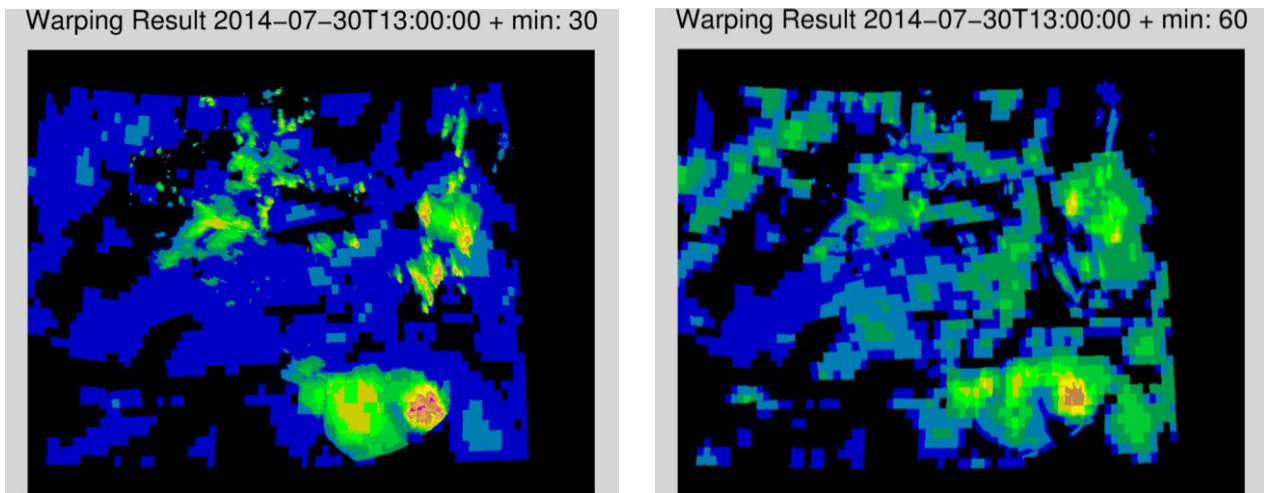


Abbildung 1: Blendingergebnis von Wetterradar und Modell zu den Zeitpunkten t+30min (links) und t+60min (rechts).

Ein wesentlicher Aufgabenbereich war auch die benutzerfreundliche Visualisierung der extrahierten Informationen für Meteorologen und Lotsen. Über eine Ampeldarstellung basierend auf den österreichischen ACC Sektoren und Flight-Levels konnte eine sehr intuitive Darstellung des verfügbaren Luftraums für den Prognosezeitraum umgesetzt werden (Abbildung 2), welche sowohl den aktuellen Zeitpunkt, wie auch historische Meldungen und Prognose berücksichtigt.

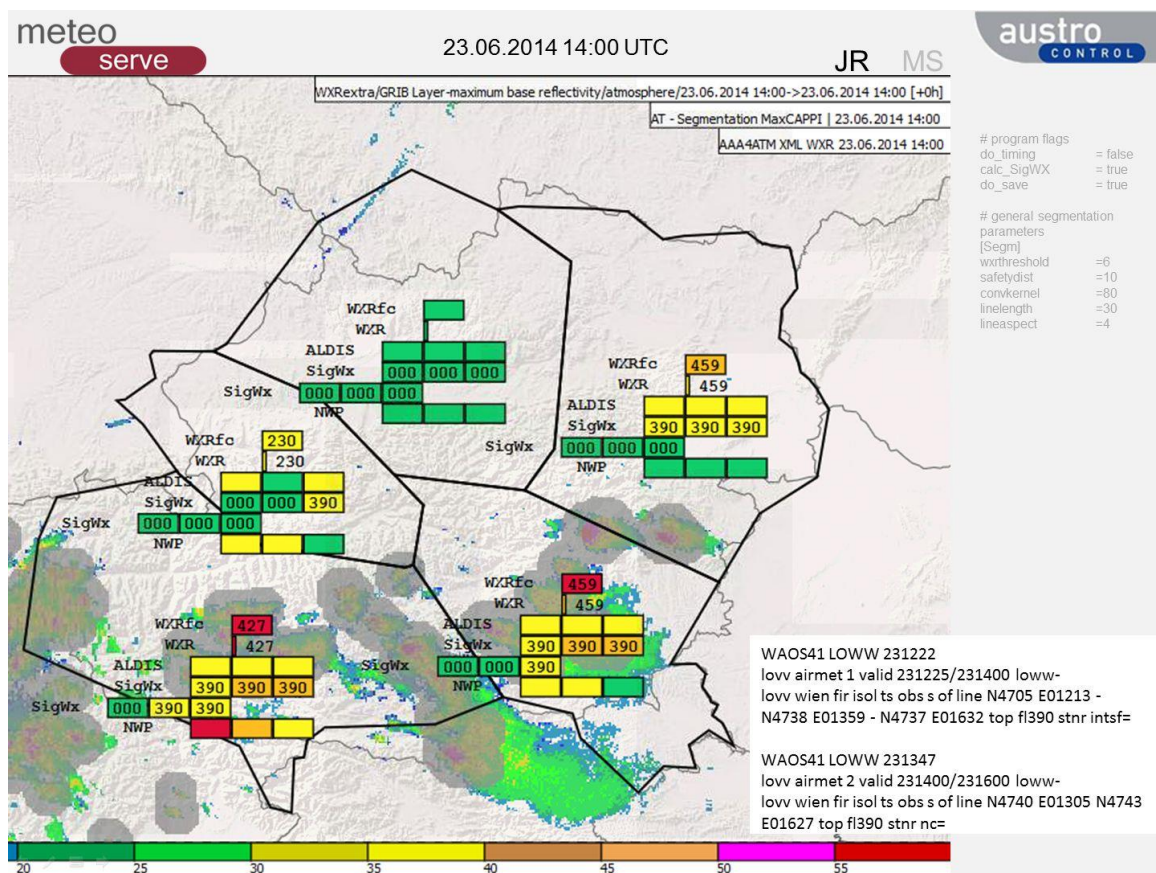


Abbildung 2: Ampel-Darstellung der Luftraumklassifikation in Visual Weather in Kombination mit Wetterradardaten und überlagerten störenden Gewitterstrukturen (Schattierung).

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 2: Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigstellung sgrad	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anf.	Ende	Anf.	Ende	
1	PROJEKT-MANAGEMENT		M1	M30	M1	M33	Dissemination (Publikationen) und Exploitation Aktivitäten (DWD-Kontakte)
2	ATM REQUIREMENTS		M1	M6	M1	M8	Definition der Schnittstellen, Produkte und Services, Abstimmung der Anforderungen aus ATM. Final Update zu ATM / MET Requirements. Festlegung IT-Infrastruktur.
3	DATENGRUNDLAGEN		M2	M18	M2	M22	Set von vom Forecaster modifizierten Modellniederschlagsfeldern zur Verwendung in AP6; Sammlung und Vorbereitung von Use Cases; Lese-, Schreib- und Konvertierungsfunktionen zur Visualisierung von historischen Fallbeispielen in VW; Anpassung der Testbedingungen aufgrund der Änderung der Definition des operationellen sigWX Bulletins.
4	OBJEKTERKENNUNG		M3	M21	M4	M22	Detektion und Lokalisierung von Gewitterstrukturen (Clustering, Segmentation) in Bezug zu ACC Sektoren und Flight-Levels.
5	3D-TRACKING / EXTRAPOLATION		M3	M21	M3	M33	Methoden zur Bestimmung von Flowfeldern basierend auf 3D-Tracking und Optical Flow. Extrapolation 2D-Informationen. Optimierung der Interpolation bezüglich Massenerhaltung. Auswertung der Zugbahnstatistik aus 3D-Tracking.
6	BLENDING MODELL ZU BILDDATEN		M10	M27	M7	M31	Bewertung der Modellgüte (Niederschlagsfelder) in Bezug zur aktuellen Wetterlage (WXR-Summen) mit FSS. Stützstellenbasiertes Warping (mit Auto-Matching) zum Morphing von Modell und WXR. Evaluierung an unterschiedlich aufgelösten (zeitlich/räumlich) Modelldaten.
7	INTEGRATION / VISUALISIERUNG		M16	M30	M7	M33	Festlegung Systemarchitektur. Integration der in AP4, AP5 und AP6 entwickelten Methoden in CentOS/Python/MySQL Umgebung. Visualisierung der Sektorendurchlässigkeit in Visual Weather.
8	EVALUATION / VERIFIKATION		M12	M30	M15	M33	Routinen zur Erstellung von Kontingenztabellen und zur Berechnung diverser Skill Scores und KPIs sowie zur Evaluierung versch. Niederschlagsfelder mittels FSS.

Tabelle 3: Meilensteine

Meilenstein Nr.	Meilenstein Bezeichnung	Basis-termin	Akt. Planung	Meilenstein erreicht am	Anmerkungen zu Abweichungen
MS1	Requirements-Definition	M6	M8	M8	Requirements definiert, wurden über die Projektlaufzeit angepasst.
MS2	Start Integration	M15	M15	M15	Integration/Visualisierung mit adaptierter Objekterkennung und definierten Schnittstellen termingerecht gestartet.
MS3	Abschluss Algorithmen	M21	M21	M31	Mehraufwand und Verzögerungen bei AP5 Tracking und AP6 Blending führten zu einem verspäteten Abschluss der Algorithmenentwicklungen.
MS4	Projektende	M30	M30	M33	Genehmigte Projektverlängerung um drei Monate

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!).

Die wesentliche Änderung gegenüber dem Antrag betraf die kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um drei Monate. Dies wurde notwendig durch Verzögerungen und Mehraufwand in den Arbeitspaketen AP5 (3D-Tracking/Extrapolation) und AP6 (Blending Modell zu Bilddaten). Durch die genehmigte Verlängerung war es möglich die geplante Integration und Verifikation in entsprechendem Umfang durchzuführen und somit den Projektplan weitgehend umzusetzen. Kleinere Adaptierungen gab es in den AP4 (Objekterkennung), wo anstelle des geplanten Clusterings ein allgemein gültiges Segmentationsverfahren eingesetzt wurde. Entsprechend wurden auch im AP3 (Datengrundlagen) erweiterte Ground-Truth-Daten und Use-Cases für diese Adaption aufbereitet und AP3 gleichzeitig mit AP4 abgeschlossen.

AP1 Projektmanagement

Die beiden Plattformen zur projektinternen Kommunikation (Dokumenten-Webshare bei JR und Daten-ftp bei AIT) haben sich auch im Berichtszeitraum für das laufende Projektmanagement bewährt. Der Zwischenbericht wurde effizient mit dem eingeführten Excel-Reportingtool umgesetzt. Für den laufenden Projektaustausch wurden wiederum Arbeitstreffen mit aktuellen Ergebnissen und Planung der folgenden inhaltlichen Schritte grob im Monatsabstand durchgeführt (teilweise als Videokonferenz oder Webmeeting):

- GoTo-Meeting am 10.4.2014,
- Projektmeeting 6.5.2014, Graz,
- GoTo-Meeting 10.6.2014,
- Projektmeeting 9.7.2014, Gols,
- GoTo-Meeting 26.08.2014,
- Projektmeeting 2.10.2014, Wien,
- Videokonferenz 19.11.2014,
- GoTo-Meeting 12.12.2014,
- Videokonferenz 28.1.2015,
- Projektmeeting 4.3.2015, Wien,

- Videokonferenz 15.4.2015,
- Projektmeeting 7.5.2015, Graz,
- Projektmeeting 3.6.2015, Wien,
- Projektmeeting 14.7.2015, Wien,
- GoTo-Meeting 20.8.2015,
- Projektmeeting 16.9.2015, Wien,
- Projektmeeting 1.12.2015, Graz.

Als wesentliche Progress-Meetings sind hierbei die Treffen vom 9.7.14 in Gols, Burgenland, und 3.6.15 in Wien herauszustreichen, welche als 2-tägige Workshops gemeinsam mit dem Projekt FUSEMET-APP und dem über Lol in FUSEMET-APP eingebundenen Partner DWD abgewickelt wurden.

Im Umfeld der Dissemination und Exploitation-Aktivitäten wurden auch Treffen mit unterschiedlichen Stakeholdern abgehalten:

- Meeting mit NAVSIM¹-Gruppe: dabei wurden mögliche Schnittstellen zur Fast Time Simulation diskutiert.
- OPERA Meeting, Arouca (PT): Die AAA4ATM-Ergebnisse wurden der EUMETNET im Rahmen des OPERA Programms² präsentiert.
- Dissemination Deutscher Wetterdienst (DWD): Der DWD zeigt Interesse an möglichen Services für die Überflugskontrolle.
- Eurocontrol Weather Resilience Forum, Brüssel (BE) und Besuch K.K.Hon (Hong Kong Observatory): Austausch der Erfahrungen zum Thema Kapazitätsvorhersagen.
- Treffen Unis Salzburg/Hannover: Das Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMUK) von Hannover hat mit DIVMET³ einen Algorithmus entwickelt, der die AAA4ATM-Ergebnisse als Input verwenden könnte.

Wissenschaftliche Erfolge (vgl. auch Abschnitt 1) durch Präsentationen an wichtigen Workshops und Konferenzen konnten in den Bereichen Bildverarbeitung (ÖAGM 2014, 2015) und Meteorologie (WWOSC 2014, ERAD 2014, AMS Conference on Radar Meteorology 2013, 2015) verzeichnet werden. Die Präsentationen reichten hier von Teilergebnissen bis zur integrierten Bewertung des Luftraums für ATM.

AP2 ATM Requirements

In mehreren Workshops wurden Analyse und Beschreibung des “state of the art” sowie der „best practices“ im Bereich ATM, MET, Visualisierung, HMI und Bildverarbeitungsmethoden diskutiert. Die ATM-Anwendungen, Verfahren und deren Hintergründe wurden für die Kollegen der MET und der Bildverarbeitung erläutert, die dahinter stehenden Konzepte und Modelle (z.B. Zellerkennung in Radar- und Satellitenbildern) wurden näher beschrieben und auf die Umsetzbarkeit mit Methoden der Bildverarbeitung geprüft. Im Gegenzug wurden die Methoden und Möglichkeiten von MET und Bildverarbeitung für die ATM-Kollegen aufbereitet. Die Ergebnisse wurden im Dokument D2.1 „State of the Art“ niedergeschrieben.

¹ The air traffic simulation model NAVSIM

² OPERA: Operational Programme for the Exchange of Weather Radar Information

³ DIVMET - Modellierung von Flugroutenänderungen auf Grund von Gewittern

Durch diesen interdisziplinären Ansatz konnte recht effizient ein gemeinsames Verständnis für die Anforderungen aus dem Bereich ATM und MET an dieses Projekt entwickelt werden. Der erste Entwurf dieser Requirements wurde im Kick Off Workshop diskutiert und als Präsentation D2.2 "Entwurf ATM / MET Requirements" abgelegt, in der finalen Version wurden dann auch noch einmal die einzelnen Arbeitspakete kritisch diskutiert und endgültig festgelegt. Das Dokument D2.3 "ATM / MET Requirements – final update" beschreibt die im Projekt AAA4ATM geplanten Inhalte und Ziele.

Die für die Umsetzung der vereinbarten Projektziele notwendige Infrastruktur (Hardware, Software und Schnittstellen) wurden mit den IT-Kollegen diskutiert, bei dieser Abstimmung wurde festgelegt, dass in diesem Projekt als meteorologisches HMI (human machine interface) die Software „Visual Weather“ von IBLsoft und für ATM-Visualisierungen Web-Lösungen verwendet werden.

AP3 Datengrundlagen

Im Berichtszeitraum wurde durch eine Änderung in der Definition der Sektoren und der Unterteilung der vertikalen Schichten des operativ zum Einsatz kommenden Significant Weather (sigWX) Bulletin eine Aktualisierung der betreffenden Requirements und der bereits im Testbetrieb befindlichen, ersten Klassifikationsroutinen, sowie eine erneute Berechnung bereits erstellter und untersuchter Fallbeispiele nötig.

Die Sammlung von Use Cases wurde laufend um relevante und markante Fälle der Gewittersaison 2014 erweitert und für eine Weiterverarbeitung als Fallstudien analog zu SIGMET⁴ und AIRMET⁵ Kategorien annotiert. Aufgrund der in den Meetings diskutierten Ansätze wurden laufend WXR Daten für entsprechende Fallstudien gesucht, aus dem Archiv extrahiert und im vereinbarten Datenformat bereitgestellt. Es wurden die nötigen Lese-, Schreib- und Konvertierungsfunktionen geschaffen um eine Visualisierung der historischen Fälle und die Ergebnisse der Klassifikationsroutinen in Visual Weather zu ermöglichen (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4).

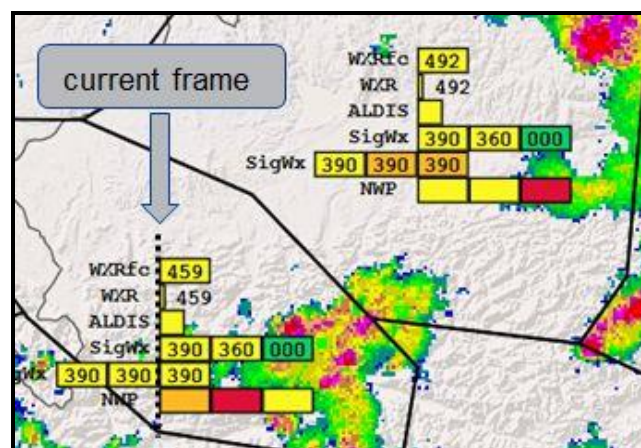


Abbildung 3: Darstellung historischer Fallbeispiele und Klassifikationsergebnisse in Visual Weather.

⁴ SIGMET: Significant Meteorological Information

⁵ AIRMET: Airmen's Meteorological Information

Für die Tätigkeiten rund um das Zusammenführen von Daten und Modell und das Matching von Strukturen und Objekten in Beobachtungs- und Modelldaten in AP6 wurde mit Hilfe des Visual Weather Field Modifikation Tools ein modifiziertes Set an historischen Niederschlags-Modellfeldern erstellt, welches die Forecaster Vorgehensweise widerspiegelt.

Außerdem wurden Tests zur Konvektionsbewertung durchgeführt, um - anstatt der innerhalb der ACG verwendeten Maximumprojektion der Radarreflektivität - die vor allem in den USA und von Eurocontrol favorisierten Größen VIL (vertikal integrierter Flüssigwassergehalt) sowie ETOP (Obergrenzen der Radarreflektivitäten) zu untersuchen.

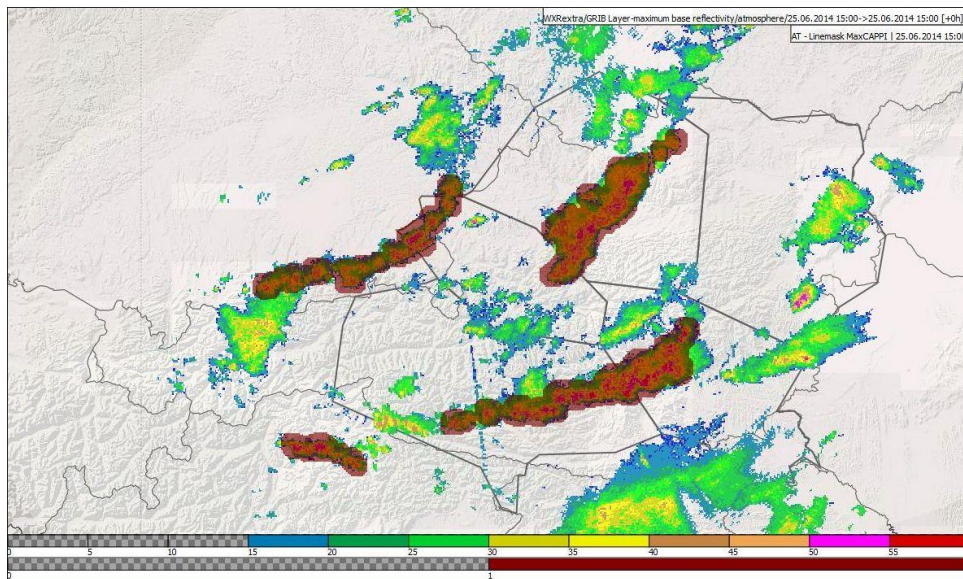


Abbildung 4: Visualisierung der Liniendetektion im Visual Weather.

AP4 Objekterkennung

Das Ziel des Arbeitspakets ist die Identifikation relevanter den Luftraum störender Gewitterstrukturen. Nach Festlegung der meteorologisch relevanten Strukturen (Multizellen-Cluster, Multizellen-Linie, mesoskalige konvektive Systeme) und Erstanalysen in der 1. Projekthälfte wurden im Berichtszeitraum auf Basis einer Segmentierung (mittels Watershed oder Schwellwerten) und Ableitung beschreibender Merkmale von Gewitterzellen (z.B. Position, Orientierung, Intensität, Cell Top) Clusteranalysen mittels „k-means Algorithmus“ durchgeführt. Es zeigte sich, dass eine Gewichtung der Merkmale, speziell mit höherem Gewicht für die Position, die besten Resultate im Clustering liefert. Der Clustering-Vergleich in Abbildung 5 zeigt die Überlegenheit des gewichteten Verfahrens (rechts). Die identifizierten Zellzentren im Norden wurden zu einer korrekten Linienstruktur und die Zellzentren in der Bildmitte zu einer Multizelle zusammengefasst.

Das hierbei eingesetzte Verfahren hat allerdings den Nachteil, dass eine Anzahl zu detektierender Cluster vorgegeben werden muss. In Folge wurden daher verbesserte Clustering-Verfahren, wie Spectral Clustering [1], [2] und Affinity Propagation [3], eingesetzt (Abbildung 6). Spectral Clustering erzielt mittels einer Dimensionsreduzierung des Merkmalsraumes durch Eigenwertverfahren eine Verbesserung, verwendet aber weiterhin eine fixe Anzahl an Clustern. Bei Affinity Propagation ist die Anzahl der Cluster nicht vorgegeben, diese werden über ein baumartiges auf Ähnlichkeiten beruhendes Verfahren ermittelt.

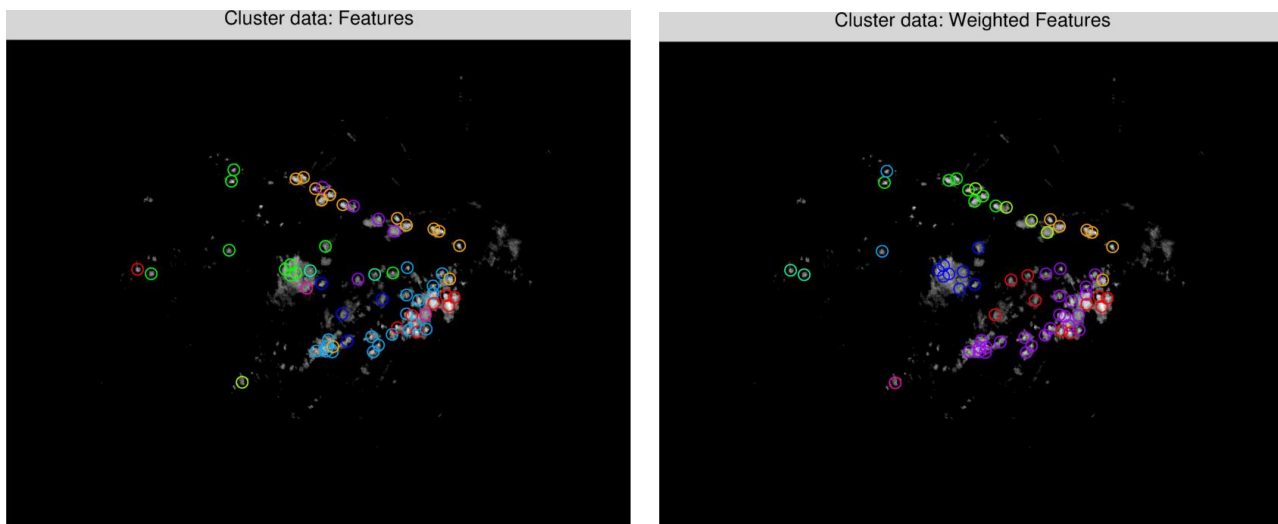


Abbildung 5: Gegenüberstellung merkmalsbasiertes Clustering (rechts: mit Gewichtung).

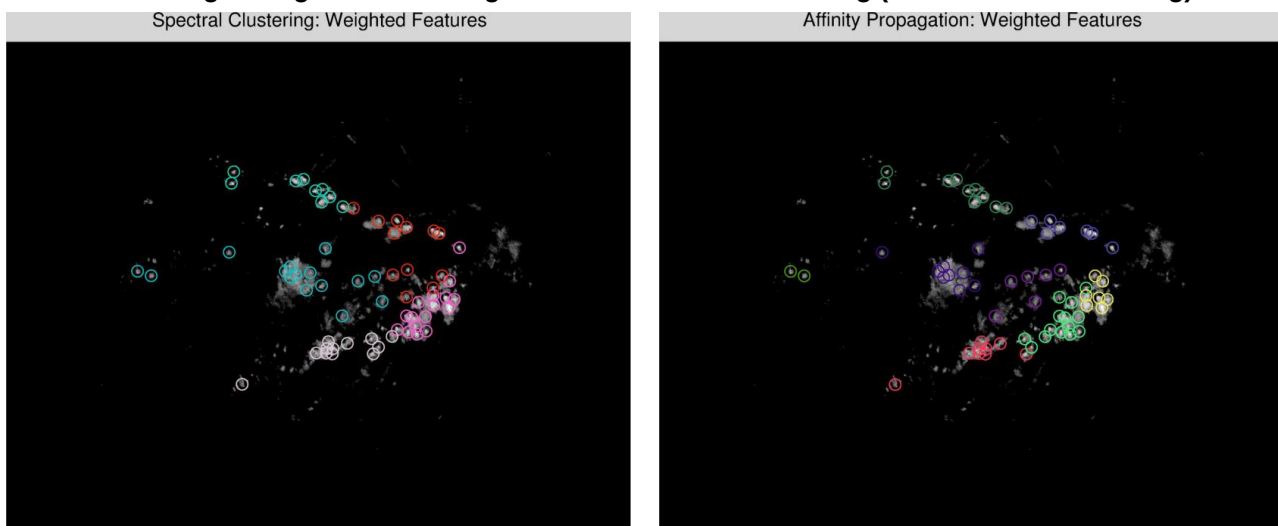


Abbildung 6: Clusteranalyse mittels Spectral Clustering und Affinity Propagation.

Zur Evaluierung der Clustering-Ergebnisse wurde als Ground-Truth eine manuelle Klassifizierung von Clustern und Linien für den Testdatensatz und deren Vergleich zu offiziell verbreiteten SIGMET Warnungsmeldungen analysiert (Abbildung 7).

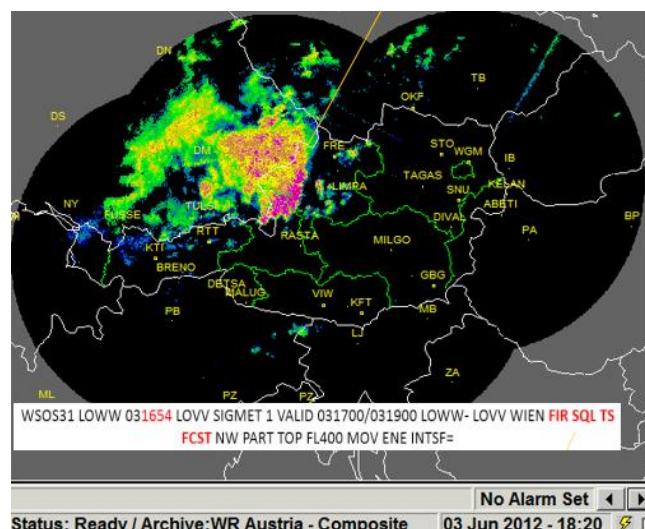


Abbildung 7: Beispiel einer Sigmet Warnung mit zugehörigen Wetterradarbild.

Weiters wurden schwierigere Beispiele von eingebetteter Gewittertätigkeit ausselektiert. Die Evaluierung der Clustering-Verfahren stellte sich allerdings als sehr komplex und schwierig heraus, da sich aus realen Daten nur schwer eindeutig zuordenbare Ground-Truth zu Strukturkategorien (Linien, konvektive Systeme, etc.) ableiten lässt (vgl. Abbildung 8).

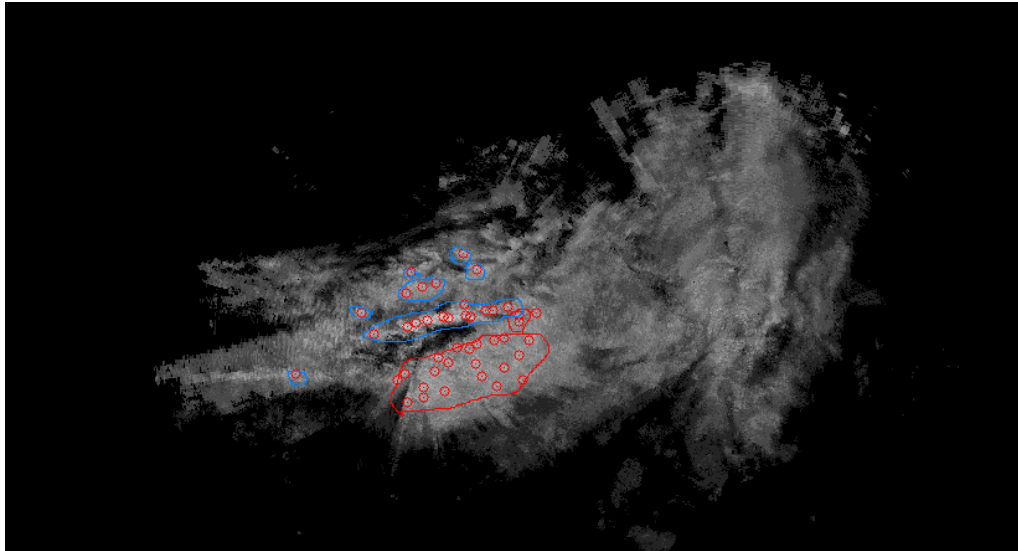


Abbildung 8: Ground-Truth mit linienartigen (blaue Umrandung) und clusterartigen (rote Umrandung) Zellverbänden.

Daraufhin wurde eine Analyse des Luftverkehrs an ausgewählten Tagen mit starker Konvektion auf Basis von FlugüberwachungsradarDaten durchgeführt. Diese zeigt deutlich das Ausweichverhalten von Luftfahrzeugen in Bezug zu Gewitterstrukturen (**Abbildung 9**).

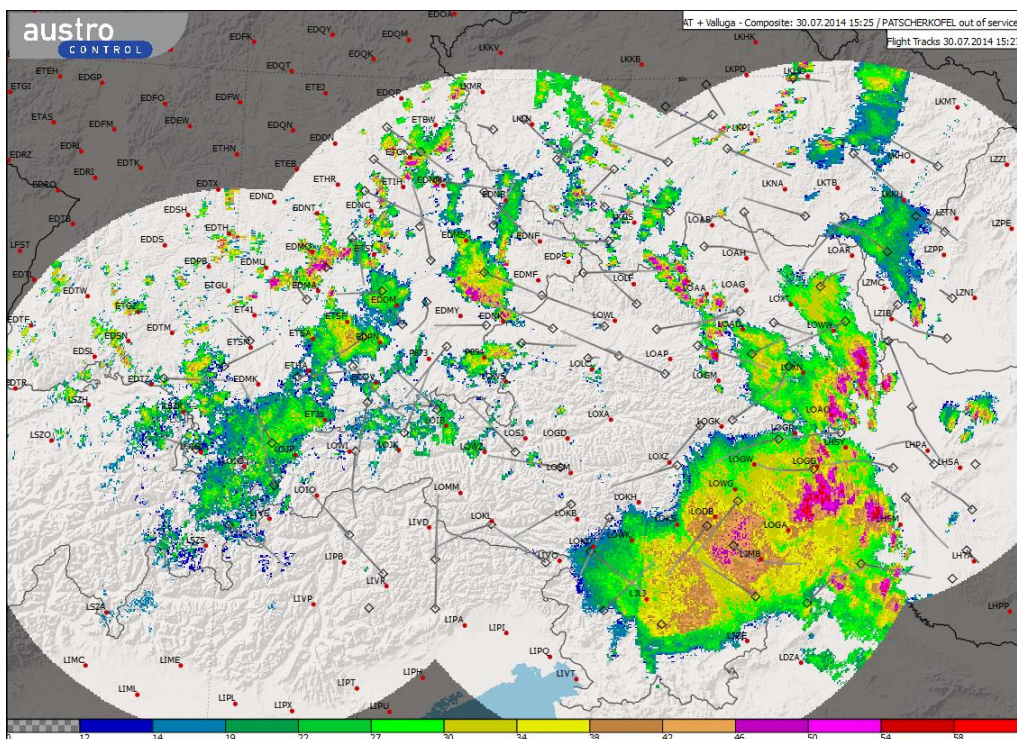


Abbildung 9: Wetterradarbild mit überlagerten Luftfahrzeugpositionen (Diamanten). Die grauen Linien zeigen die Flugtrajektorie über die vorangegangenen 5 Minuten.

Die Betrachtung der Flugzeugtrajektorien in Kombination mit 3D Wetterradarinformation lieferte die Häufigkeiten mit denen Luftfahrzeuge durch Gebiete mit spezifischer Radarreflektivität fliegen (Abbildung 10) und führte in weiterer Folge zur Festlegung des Segmentationsschwellwerts bei 35dBZ im Wetterradar, welcher auch als Blitztrigger in der Flughafenumgebung im ATM dient (Abbildung 11).

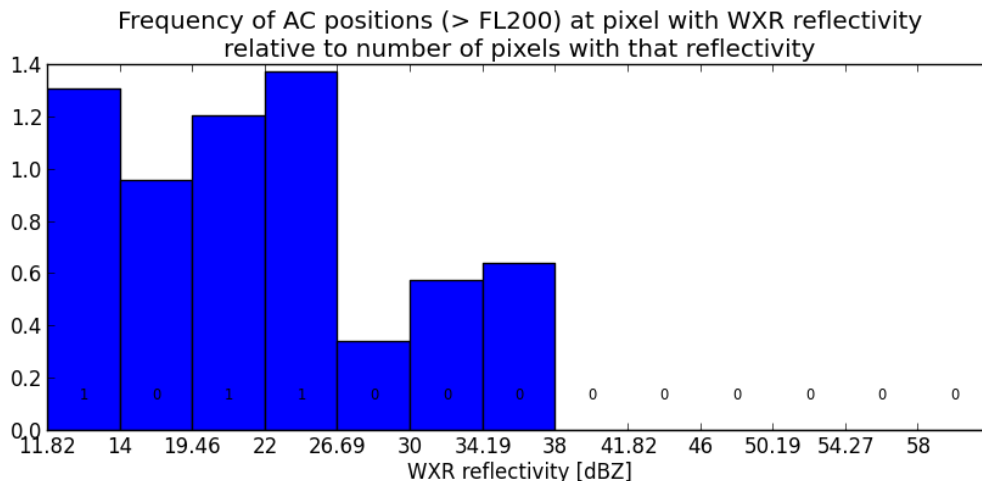


Abbildung 10: Relative Häufigkeit von Luftfahrzeugpositionen oberhalb von FL200 an Pixeln mit bestimmter Radarreflektivität.

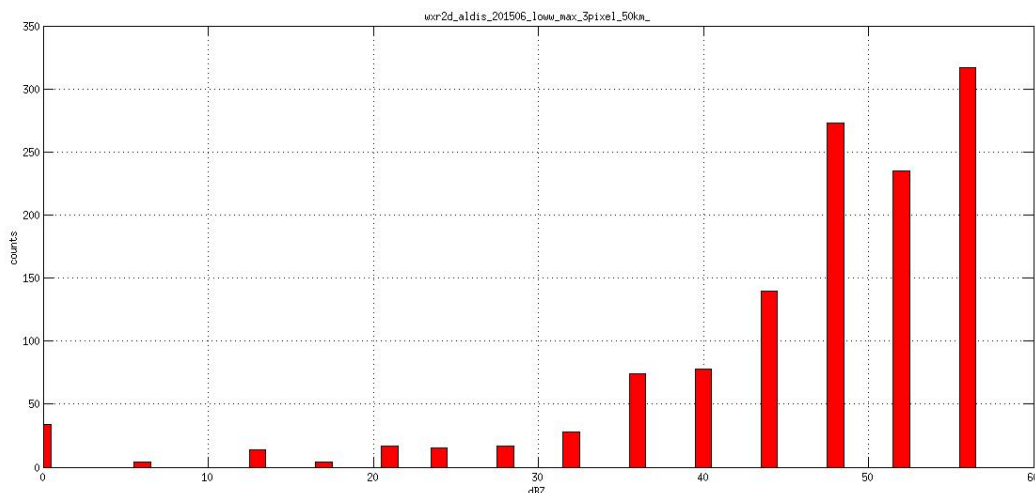


Abbildung 11: Blitzhäufigkeit in Abhängigkeit der Radarreflektivität (+/-3km) innerhalb 50km Umkreis von LOWW für Juni 2015 zur Bestimmung relevanter Schwellwerte für Gewitterobjekte.

Im Konsortium wurde daraufhin festgelegt, dass die Identifikation der Einzelzellen und Kombination zu Verbänden durch einfachere, rein auf Segmentation beruhende Verfahren ersetzt werden sollen. Dies auch unter der Vorgabe, dass eine Einzelbetrachtung von Zell(verbänden) für den österreichischen Luftraum weniger relevant ist als eine Identifikation der Störelemente in den österreichischen ACC⁶-Sektoren (vgl. Tabelle 4 und Abbildung 12), da alleine die Gesamtbewertung des Sektors Auskunft über seine Verfügbarkeit gibt.

⁶ Area Control Centre - Überflugskontrollstelle

Kategorien: ■ Grün: Keine signifikanten Zellen ■ Gelb: Isolated TS, < 50% der Fläche ■ Orange: >50%-75% der Fläche (auch wenn nur kurzzeitig 50% überschritten werden) ■ Rot: > 75% der Fläche oder Linie	Benötigte Parameter (BV) ■ Grün, Gelb, Orange, Rot: Fläche (Segmentation), CellTop (Watershed Cells) ■ Rot: zusätzlich Squall Line Exzentrizität (5:1)
--	--

Tabelle 4: Sektorparameter: Kritische Wetterereignisse und zugehöriger Sektorstatus (links), Bildverarbeitungsparameter zur Detektion des Sektorzustands (rechts).

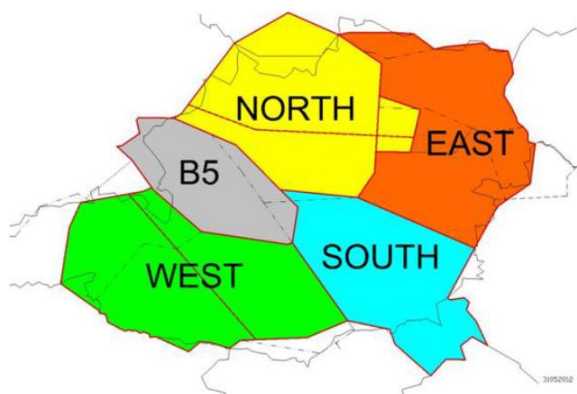


Abbildung 12: ACC-Sektoren mit Bezeichnung.

TOP2 5	FL 385 – UNL
TOP1 4	FL 365 – 385
HIGH 3	FL 345 – 365
UPPER 2	FL 305 – 345
LOWER 1	FL 125 – 305 (B5) FL 165 – 305 (other) FL 245 – 305 (E)

Tabelle 5: Definition der SigWX Levels.

Zur Statusidentifikation wurde nun ein Ansatz über eine Basissegmentierung der Zellobjekte, sowie weiteren morphologischen Mergings von segmentierten Objekten in einem Abstand < 5km (entspricht Flugstraße, Safety-Distance) umgesetzt (Abbildung 13). Neben der Betrachtungsweise über Sektoren kommt hier auch noch zusätzlich eine Analyse von Höhenschichten (Fluglevels, SigWX Levels, vgl. Tabelle 4) hinzu, sodass schlussendlich eine 3D-Bewertung des österreichischen Luftraums vorliegt. Dies wird auch durch die gewählte Ampel-Darstellung in AP7 Integration / Visualisierung reflektiert.

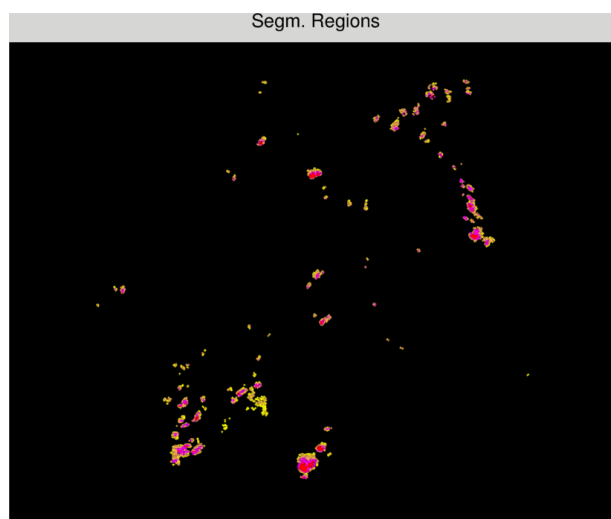
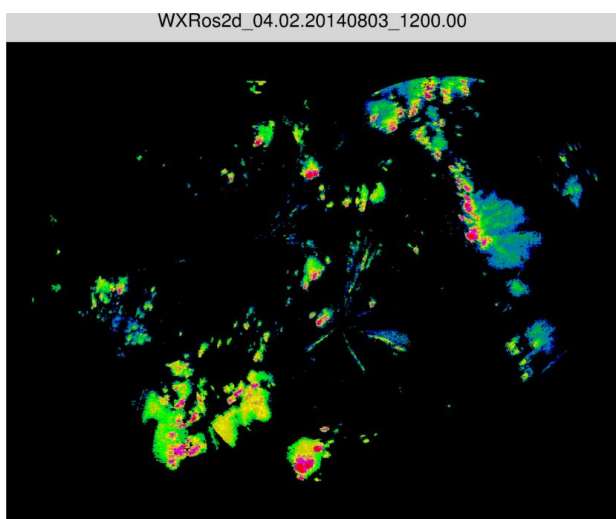


Abbildung 13: Wetterradarbild (links) und zugehörige Basissegmentation relevanter meteorologischer Objekte (rechts).

Abbildung 14 illustriert in einer Maskendarstellung der verbundenen Gewitterobjekte die Unterschiede des Mergings der 2D-Wetterradardaten direkt und über eine Projektion der Masken aus den SigWX-Levels. Eine Analyse des tatsächlich stattgefundenen Flugverkehrs, im speziellen gewitterbedingte Ausweichmanöver der Flugzeuge, zum Beispielzeitpunkt zeigt deutlich dass beim reinen 2D-Merging zu viele Sektorbereiche gesperrt würden (Abbildung 15).

Die Flugzeugtrajektorien an der östlichen Gewitterfront geben Hinweise darauf, dass einzelne SigWX-Levels verfügbar waren und somit Flugverkehr auch im Bereich dieser Gewitterzellen möglich war. Die Variante mit Merging innerhalb der SigWX-Levels und anschließender Projektion (Abbildung 14, rechts) wurde daher für den Workflow zum verfügbaren Luftraum weiterverwendet.

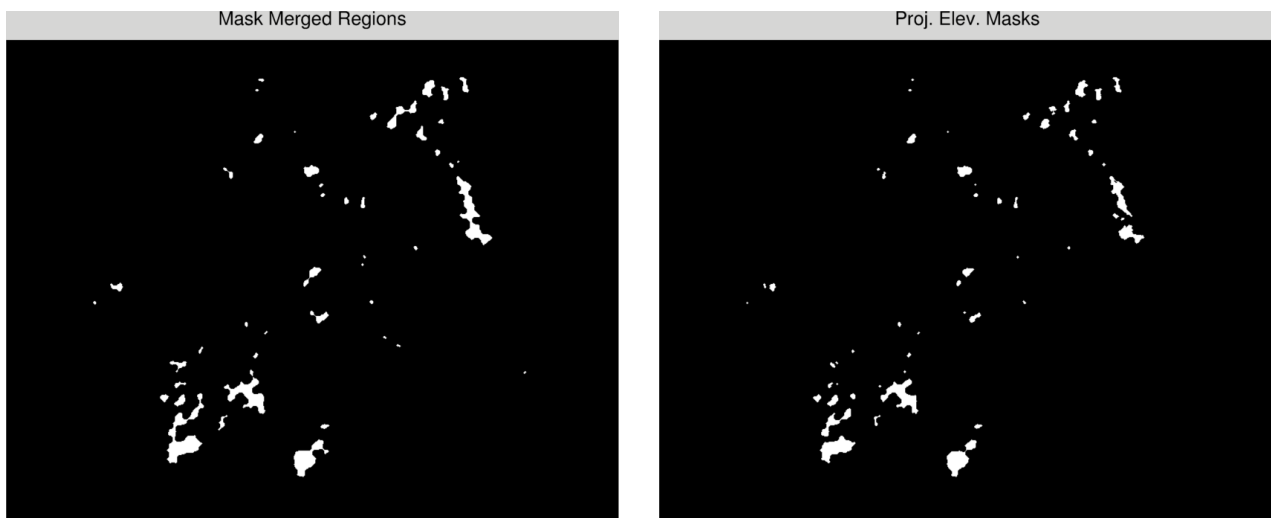


Abbildung 14: Maskendarstellung nach Merging der detektierten Objekte über 2D-Ansatz (links) und unter Betrachtung der SigWX-Levels (rechts).

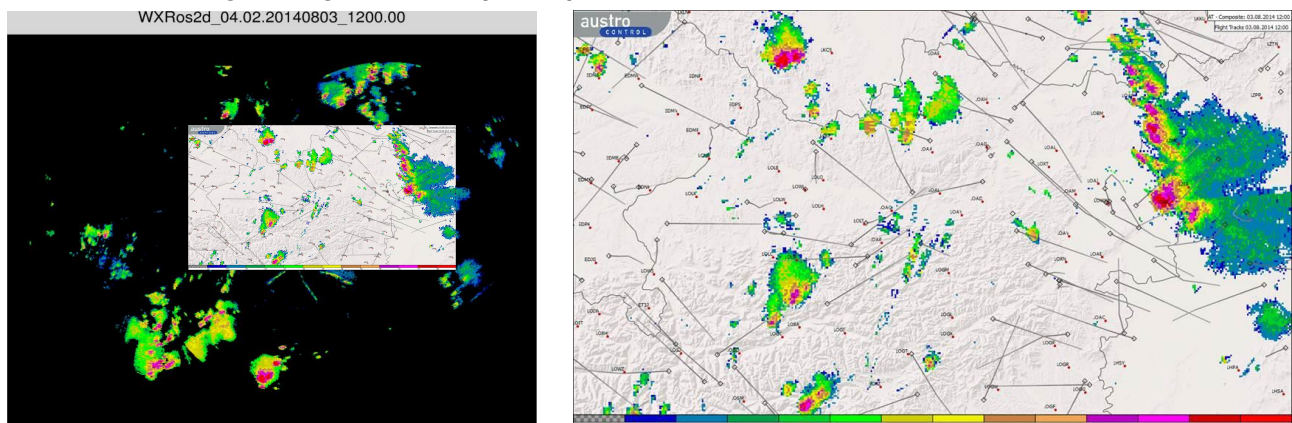


Abbildung 15: Trajektorien des Flugverkehrs: an der östlichen Gewitterfront sind Flugzeuge im Zellbereich erkennbar.

Referenzen:

- [1] Ulrike von Luxburg, "A Tutorial on Spectral Clustering", *Statistics and Computing* 17 (4), 2007
- [2] Shi, J. and Malik, J. Normalized cuts and image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22 (8), 888 – 905, 2000.
- [3] B. J. Frey and D. Dueck. *Clustering by Passing Messages Between Data Points*. *Science*, 315:972–977, February 2007.

AP5 3D-Tracking / Extrapolation

Das Ziel des Arbeitspakets ist die Entwicklung von Methoden zum zuverlässigen Tracking und zur Positionsvorhersage der für das „Available Airspace“ relevanten Strukturen, Merkmale und Objekte für einen Zeitraum von bis zu zwei Stunden. Das Ergebnis der Verfolgung und Vorhersage besteht aus extrapolierten WXR-Daten die zur Bewertung des „Available Airspace“ zur Verfügung stehen.

Tracking und Vorhersage

Die Daten für die Entwicklung von Tracking- und Extrapolationsverfahren wurden von Meteorologen vorsortiert. Geeignete konvektive Datensätze wurden getrennt abgelegt und mit automatischen 3D-Segmentierungsverfahren vorsegmentiert. Eine Statistik der detektierten Objekte wurde erstellt und daraus wurden für das Tracking relevante Parameter wie minimales Objektvolumen und Objektgeschwindigkeiten abgeleitet. 53% der detektierten konvektiven Objekte besaß ein für das Tracking notwendiges Minimalvolumen von 5 km³ oder größer.

Die Detektion der konvektiven Objekte erfolgte in zwei Segmentierungsschritten. Zuerst wurde ein globaler Schwellwert von 35 dB angewendet. Danach wurden die so entstandenen 3D-Regionen einzeln mit einem adaptiven, lokalen Schwellwert, der aus dem Maximalwert der Intensität abgeleitet wurde, nochmals segmentiert. Mit dieser Methode konnten alle relevanten konvektiven Objekte in den Volumendaten detektiert werden.

Die segmentierten konvektiven Objekte wurden dann einer Feature-Extraktion unterzogen. Eigenschaften wie Volumen, Position, Schwerpunkt, mittlerer Reflexionswert, Standardabweichung der Reflexionswerte, Objektlage (Schräge), Hauptrichtung, Objektwinkel (Schräge), Seitenverhältnis, Höhe der Tops, und maximale Objektrefektivität wurden errechnet und für die Verfolgung der Objekte abgelegt. Die Objektschwerpunkte wurden als Startpunkte für das Tracking angewendet. Für jedes detektierte und beschriebene konvektive Objekt wurde im Volumen des nächsten Zeitschritts ein dazugehöriges Objekt gesucht. Objekteigenschaften wie Position, Volumen und Geschwindigkeit wurden dabei berücksichtigt. Die Merkmale der erfolgreich wiedergefundenen Objekte wurden aneinander gereiht, so dass per Objekt ein zeitlicher Verlauf der Merkmale entstand. Aus den Zugbahnen der Objekte wurden pro Objekt zukünftige Objektpositionen linear extrapoliert (Abbildung 16). Als alternative Startpunkte für das Trackingverfahren wurden auch abgeleitete Watershed Maxima angewendet. Die Trackingergebnisse basierend auf diesen Maxima haben sich nicht wesentlich vom ersten Segmentierungsverfahren unterschieden. Beide Verfahren detektieren in etwa die gleichen konvektiven Ereignisse.

In einem weiteren Trackingansatz wurden aus den 3D-Wetterradardaten durch Glättung und „Marching-Cubes [4]“ Isosurfaces abgeleitet (vgl. Abbildung 17) und ein Trackingverfahren basierend auf dem Matching dieser Isosurfaces in aufeinanderfolgenden Radardatensätzen untersucht (Abbildung 18). Diese Methode stellte sich als rechnerisch sehr aufwendig heraus und lieferte kaum Mehrwert im Vergleich zum objektbasierten Trackingverfahren. Das objektbasierte Tracking hat auch den Vorteil, durch Merging- und Splitting-Verfahren gegenüber Formänderungen weniger empfindlich als Isosurface-basierte Methoden zu sein.

Als zusätzliche Trackingverfahren wurden auch COTREC [5] und RADTram [6] getestet, wobei keine wesentliche Verbesserungen festgestellt wurden.

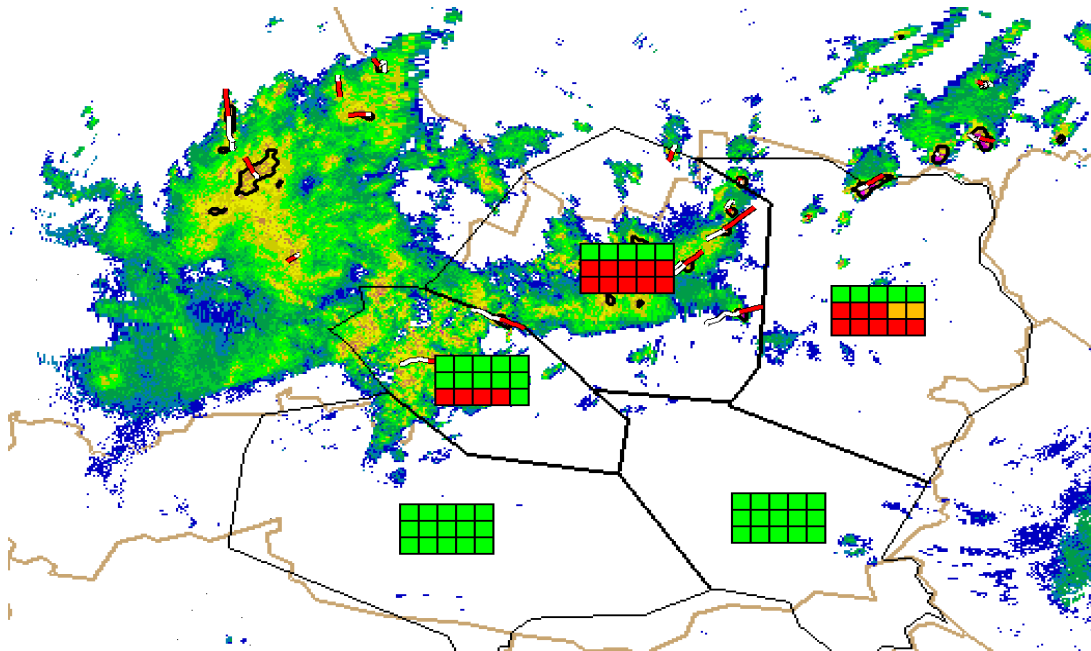


Abbildung 16: Tracking und Visualisierung. Die Tracks (weiße Linien) und deren Extrapolation (rot) werden verwendet um zukünftige Sektorinhalte (schwarz) vorher zu sagen. Die Indikatoren zeigen die jeweilige Einstufung des „Available Airspace“ für die Sektorinhalte (grün, orange, rot) für die nächsten sechs Stunden (horizontal) für drei Höhenabschnitte (vertikal).

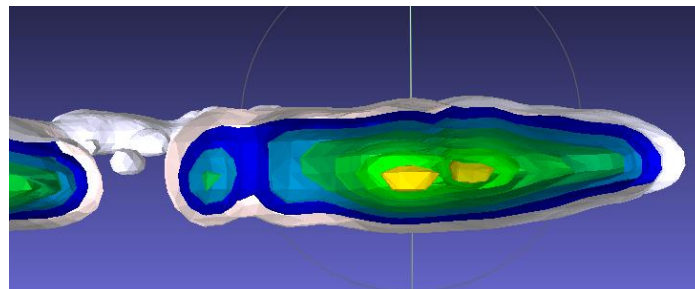


Abbildung 17: 3D-Darstellung von abgeleiteten Isosurfaces, welche die Struktur und Aufbau einer konvektiven Zelle deutlich zeigen.

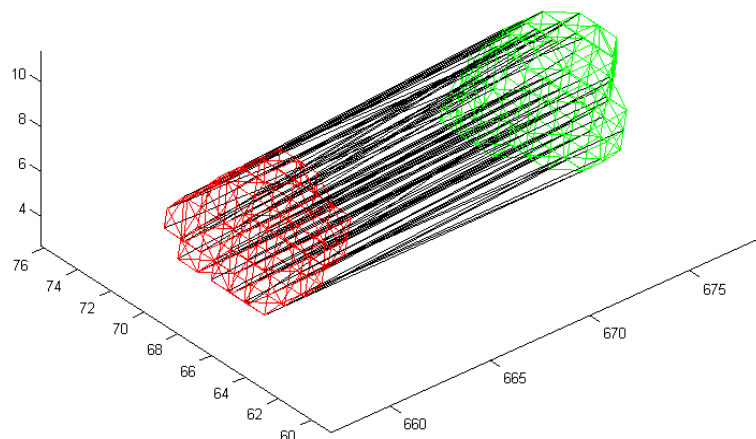


Abbildung 18: Matching-Ergebnis des Isosurface-Trackings. Das initial detektierte Objekt (rot) wurde im nächsten Zeitschritt wieder gefunden (grün). Die gefundene Korrespondenzen zwischen den Isosurfaces der beiden Objekte werden durch schwarze Linien dargestellt.

Extrapolation der Bildinhalte

Eine trackingbasierte Extrapolation wurde anhand der verfolgten Objekte erstellt (Abbildung 16). Dazu wurde ein lineares Modell für die Verschiebung jedes Objektes erstellt indem die Verschiebungsvektoren der letzten fünf Zeitschritte gemittelt wurden. Das Modell wurde daraufhin angewendet um die Position des Objektes zum gewünschten Zeitpunkt vorherzusagen. Aus den vorhergesagten Objektpositionen und abgelegten Objektbeschreibungen konnte zu den festgelegten Zeitpunkten ein 3D-Wetterradarvolumen erstellt werden.

In einem weiteren Schritt wurden zweidimensionale Optical-Flow-Felder (OF) der maxCAPPI-Projektionen errechnet und abgelegt. Die Optical-Flow-Felder beschreiben die lokalen voxel-basierten atmosphärischen Bewegungen unabhängig von detektierten Objekten und können für eine Extrapolation der Wetterradardaten angewendet werden (Abbildung 19). In Tests wurden so errechnete Extrapolationen mit gemessenen WXR-Feldern numerisch verglichen. Die Parameter der Optical-Flow Methode wurden so gewählt, dass die Extrapolationen den tatsächlichen WXR-Feldern zum relevanten Zeitpunkt bestmöglich entsprachen. Eine Evaluierung der Resultate zeigte, dass das Extrapolationsverfahren bezüglich Massenerhaltung und Textur der Daten noch optimiert werden konnte. Durch geeignete Interpolationsmethoden konnte die Qualität der Textur erheblich verbessert werden und ein Abschwächen der Intensitäten vermieden werden.

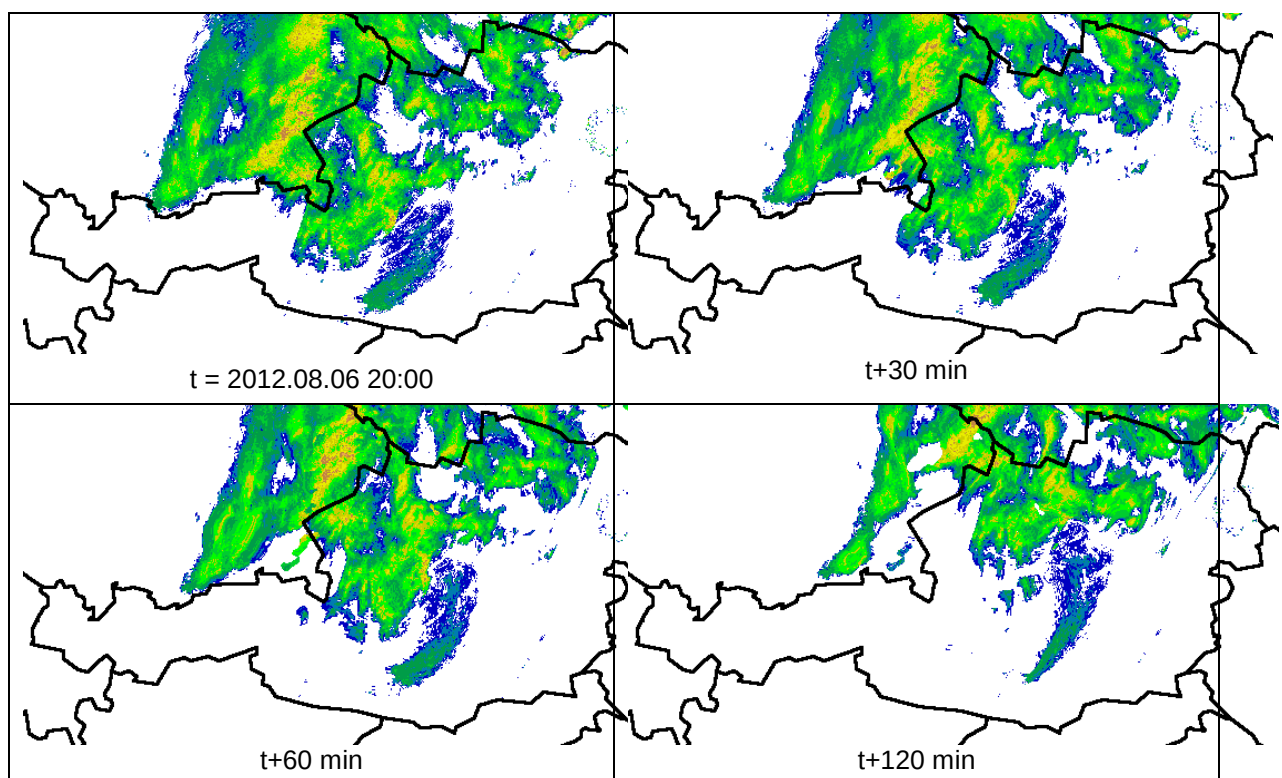


Abbildung 19: Resultate des OF-basierten Extrapolationsverfahrens. Aus dem Bild ($t=0$, links oben) werden anhand des Flow-Feldes die extrapolierte Bilddaten in 5 Minuten Schritten errechnet für einen Zeitraum bis 2 Stunden in die Zukunft.

In Folge wurden die Extrapolationsfelder aus den Tracking- und Optical-Flow-Verfahren anhand einer Gewichtungsfunktion fusioniert. Ein Vergleichstest der drei Extrapolationsergebnisse („Tracking“, „Optical Flow“ und „fusioniert“) ergab, dass die fusionierten Ergebnisse nur geringfügig besser waren als die Optical-Flow Ergebnisse. Die trackingbasierte Extrapolation

schneidet numerisch am schlechtesten ab, da nur die Reflektivitäten der detektierten Objekte in die Vorhersage einfließen. Niedrigere, großflächige Reflexionswerte werden daher in der Extrapolation nicht berücksichtigt.

Charakteristische Bewegungsmuster wurden aus den Tracks sowie Flow-Feldern abgeleitet. Hierzu wurde das „SevereConvection“ Dataset angewendet. Die Tracks wurden dazu dem Wetterradarcomposite überlagert (Abbildung 20, oben). Aus den Flow-Feldern wurde der Mittelwert ermittelt (Abbildung 20, unten). Darauffolgend wurde eine Statistik der Start- und Endpunkte der Zugbahnen abgeleitet. Die Start- und Endpunkte wurden dazu in getrennten Bildern akkumuliert (Abbildung 21 und Abbildung 22). Beide Methoden zeigen eine Hauptrichtung der konvektiven Strömungen von West bis Südwest.

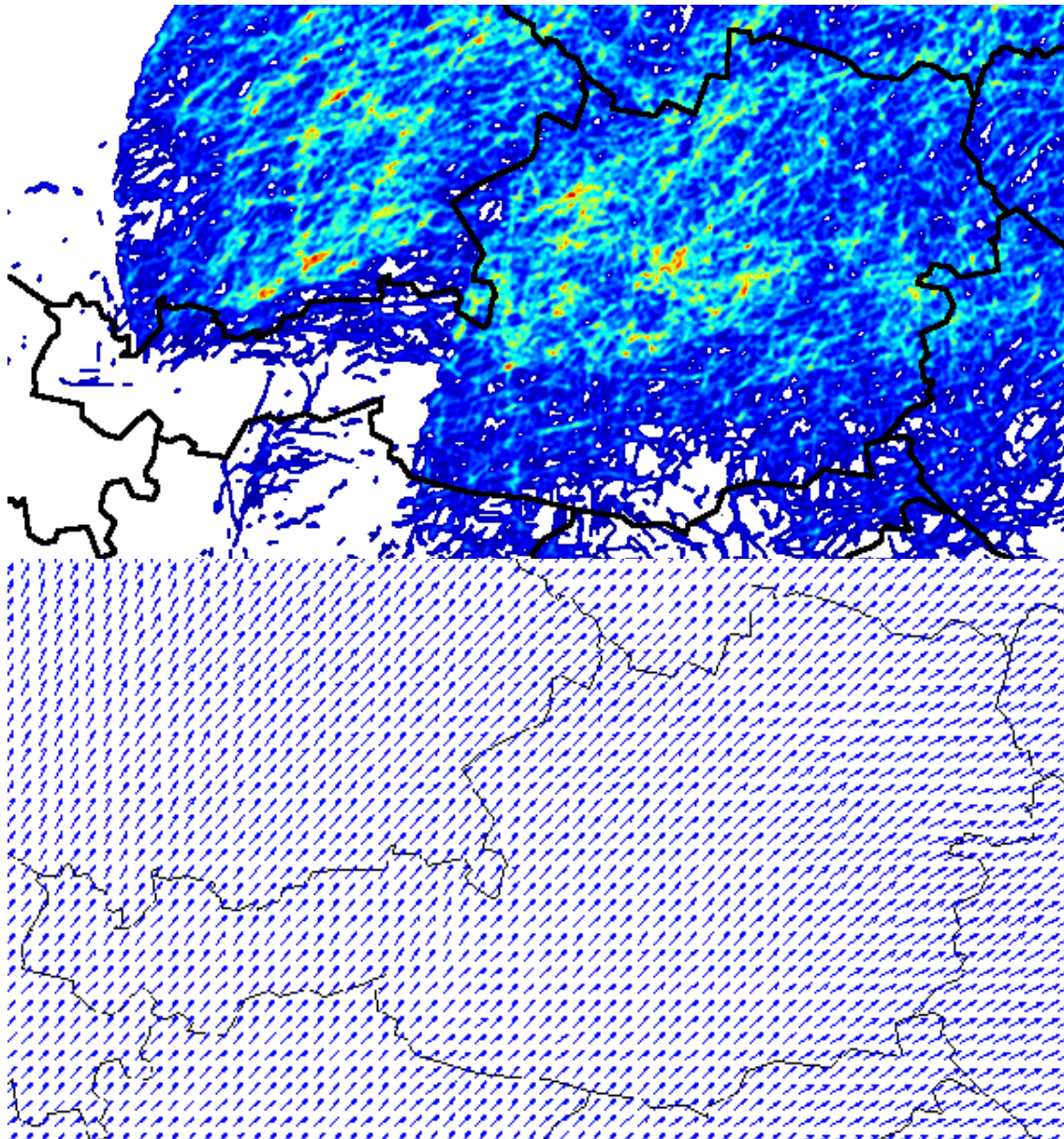


Abbildung 20: Überlagerung der Zugbahnen (oben) und Mittelwert des Flow-Feldes (unten) für die Periode 01.06.2012-31.08.2014 im 5-Minutenintervall.

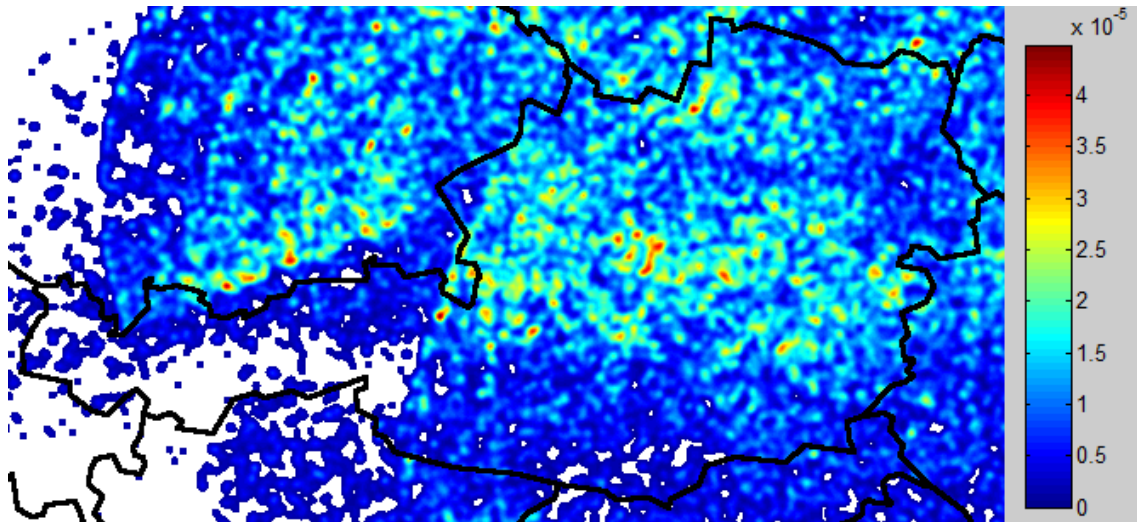


Abbildung 21: Dichteverteilung von Startpunkten der Zugbahnen (3D-Tracking) für die Periode 01.06.2012-31.08.2014 im 5-Minutenintervall. Die Farben geben die absoluten Werte der Häufigkeit von erfassten Trackpositionen an.

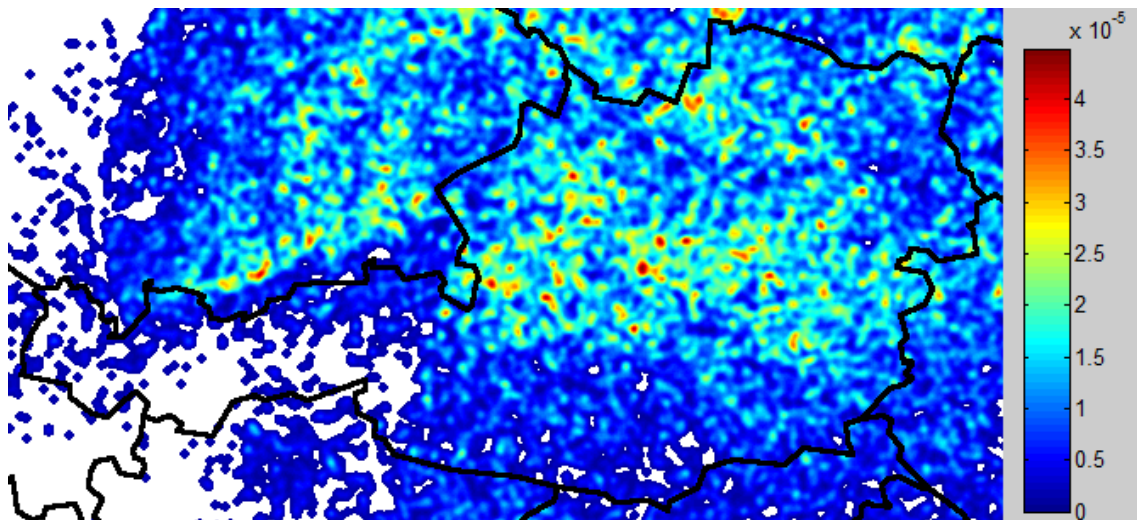


Abbildung 22: Wie vorige Abbildung, aber Dichteverteilung von Endpunkten der Zugbahnen.

Referenzen:

[4] Lorensen, William and Harvey E. Cline. *Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm*. *Computer Graphics (SIGGRAPH 87 Proceedings)* 21(4), p. 163-170, July 1987.

<http://www.cs.duke.edu/education/courses/fall01/cps124/resources/p163-lorensen.pdf>

[5] Mecklenburg, S., Jurczyk, A., Szturc, J., and Osrodka, K. *Quantitative Precipitation Forecasts (QPF) Based on Radar Data for Hydrological Models COST Action 717: Use of radar observations in hydrological and NWP models*, 2002.

[6] Kober, K. and A. Tafferner: *Tracking and nowcasting of convective cells using remote sensing data from radar and satellite*. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 18, No. 18, 075-084, 2009.

AP6 Blending Modell zu Bilddaten

Einen Schwerpunkt der 2. Projekthälfte bildete das Merging von aktueller Wetterlage (z.B. Wetterradar) mit verfügbaren Wettermodellen unterschiedlicher Scales. In der Kurz- bis Mittelfristplanung des verfügbaren Luftraums sollen somit zu jedem Prognosezeitpunkt die optimalen Daten vorliegen; startend mit dem Wetterradarbild des aktuellen Zeitpunkts bis hin zu

einer Prognose von 6 Std, die rein auf Modelldaten basiert (Abbildung 23). Im Falle der groben Diskrepanz von Modell und aktueller Lage wird ein Schritt der Forecaster Intervention durchgeführt und somit das Modell bereits im 1. Schritt entsprechend korrigiert.

t(')	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	120	180	240
dt	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	15	15	30	60	60
dx	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2,5	2,5	2,5	5	5	10	15	15
	WXR					Extrapolation					Blending					Modell					
																0,125°					

Abbildung 23: Prognosezeitpunkt (t) mit Extrapolationszeitschritten (dt) in Minuten und zugrundeliegenden Informationsquellen mit geometrischer Auflösung (dx) in Kilometer.

Um die Übereinstimmung von Beobachtungsdaten (Satellit und Wetterradar) und Modelldaten objektiv zu ermöglichen war es notwendig alle Daten in einer einheitlichen Kartenprojektion und auf einem einheitlichen Kartenausschnitt bereitzustellen (vgl. Abbildung 24). Dafür wurden einerseits die Daten in konvertierter Form abgelegt und unter den Projektpartnern verteilt als auch Routinen zum Ändern der Projektion entwickelt, die diese Aufgabe in der operationellen Verwendung on-the-fly ermöglichen.

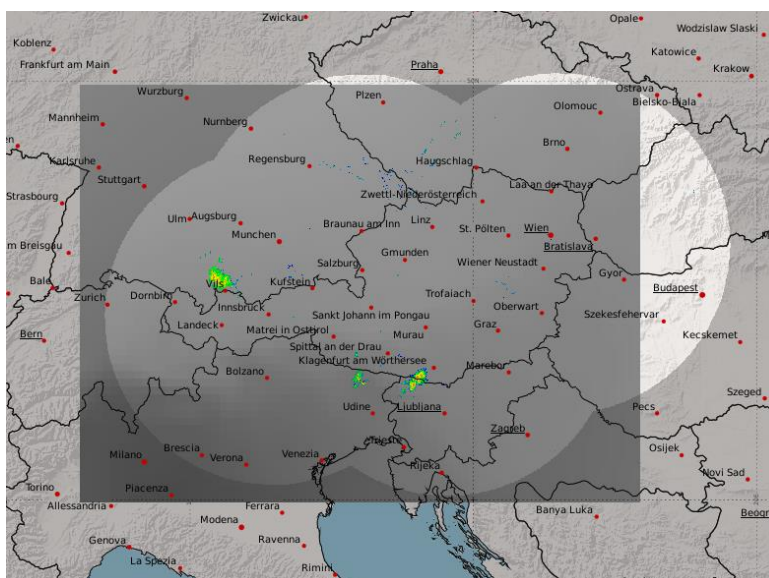


Abbildung 24: Modellabdeckung (dunkelgrau) im Vergleich zur Wetterradarerfassung (weiße Kreisbereiche).

Neben unterschiedlicher Kartenprojektion und geographischer Abdeckung unterscheiden sich die Datenquellen auch in ihrer räumlichen Auflösung. Wetterradarabdeckung steht mit 1km Auflösung zur Verfügung. Bei den Modellen standen zwei Varianten, eine mit rund 16km und eine mit rund 2.8km, zur Verfügung. Um die Übereinstimmung objektiv zu ermöglichen war es auch notwendig die Daten auf eine vergleichbare räumliche Auflösung zu bringen. Dabei war wichtig die Niederschlagsmasse beim Konvertieren zu anderen Auflösungen beizubehalten.

Da die Daten auch zeitlich unterschiedlich aufgelöst sind (Modell liefert Stundensummen der Regenrate, Wetterradar steht alle 5 Minuten zur Verfügung), war es auch notwendig die Daten in der zeitlichen Auflösung in äquivalente Form zu bringen. Dafür wurden Routinen zur Bildung von Stundensummen entwickelt.

Nach diesen Vorverarbeitungsschritten zeigte sich, dass ein einfaches Morphing (zeitliches Überblenden) von WXR-Summen zu Modelldaten (vgl. Abbildung 25 - Abbildung 27) nicht

ausreichend ist, da die aktuelle Wetterlage meist (oft auch stark) von den Prognosemodellen abweicht.

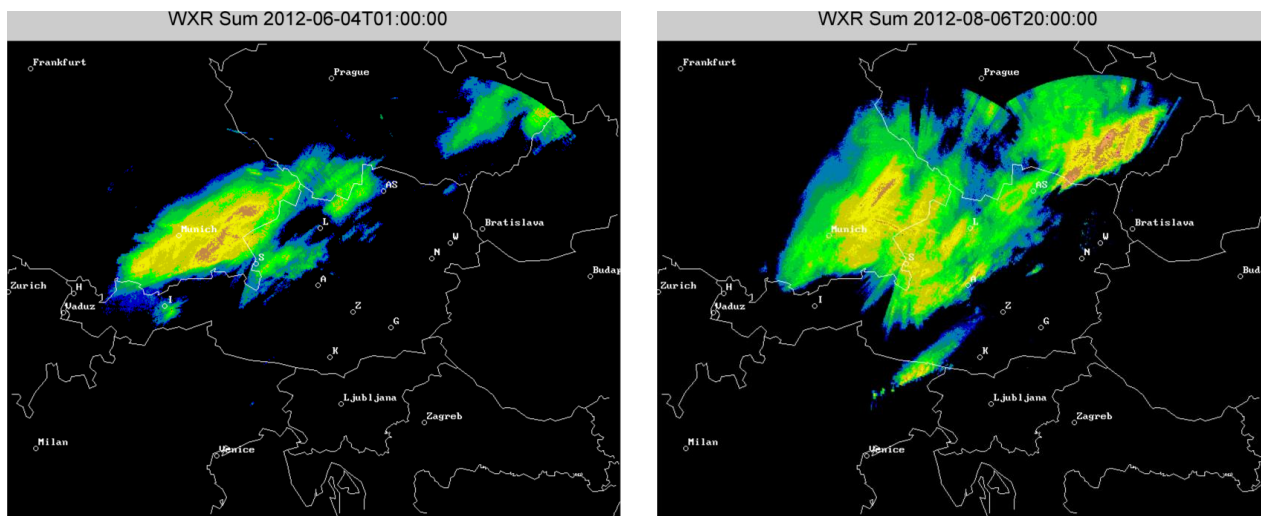


Abbildung 25: Morphing – WXR-Summen für 2 Beispielsituationen.

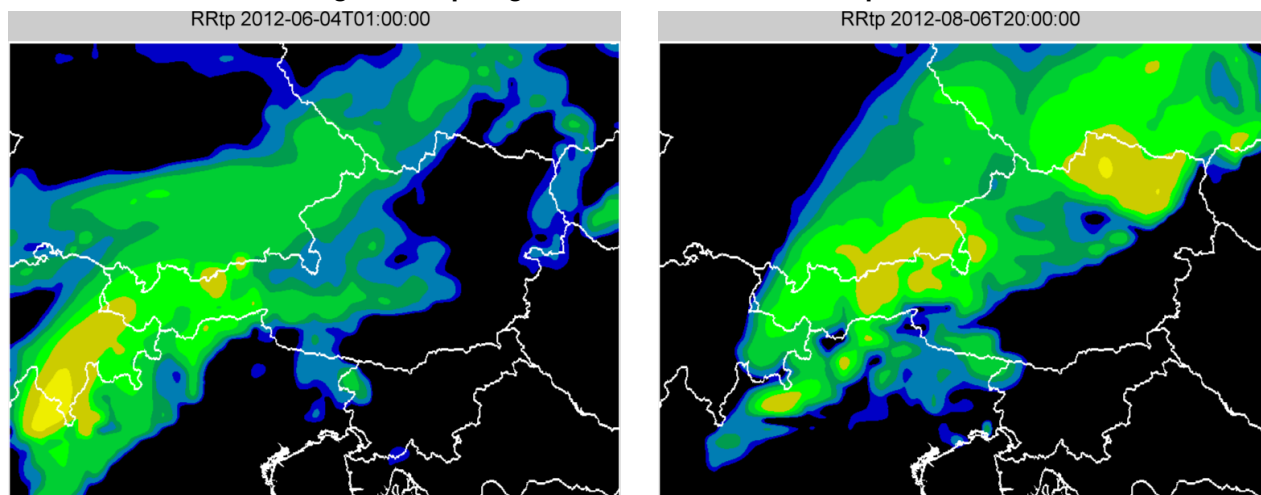


Abbildung 26: Morphing – Modelldaten der 2 Beispielsituationen.

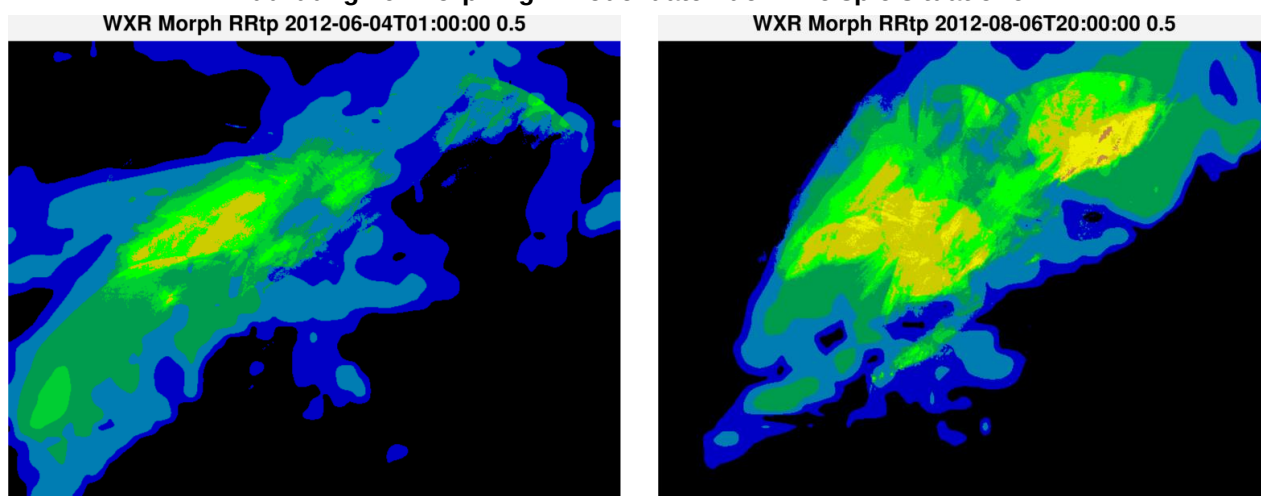


Abbildung 27: Morphing – Ergebnis mit 50% Modellanteil. Bei guter Übereinstimmung von Wetterlage und Modell (rechts) bleiben relevante Wettererscheinungen erhalten (rote Bereiche, vgl. auch Abbildung 25).

Das Beispiel in der rechten Darstellung zeigt aber auch, dass bei grober Entsprechung von Modell und aktueller Wetterlage die Kombination sehr gute Resultate für den Prognosezeitraum liefern kann. Ziel war es daher, ein weitgehend automatisiertes Verfahren zu entwickeln, welches Modell und aktuelle WXR-Summe über einen Transformationsschritt in Übereinstimmung bringt und danach die Kombination der Daten ermöglicht. Hierzu wurden zunächst Stützstellen für die Transformation an meteorologisch relevanten Punkten (i.e. stärkste Niederschlagszellen) manuell gewählt und anschließend WXR-Summe sowie Modell-Rainrate auf dieselben Punkte „gewarpt“ ([7], [8]). Das Ergebnis für das Beispiel aus Abbildung 25 (links) ist in Abbildung 28 dargestellt.

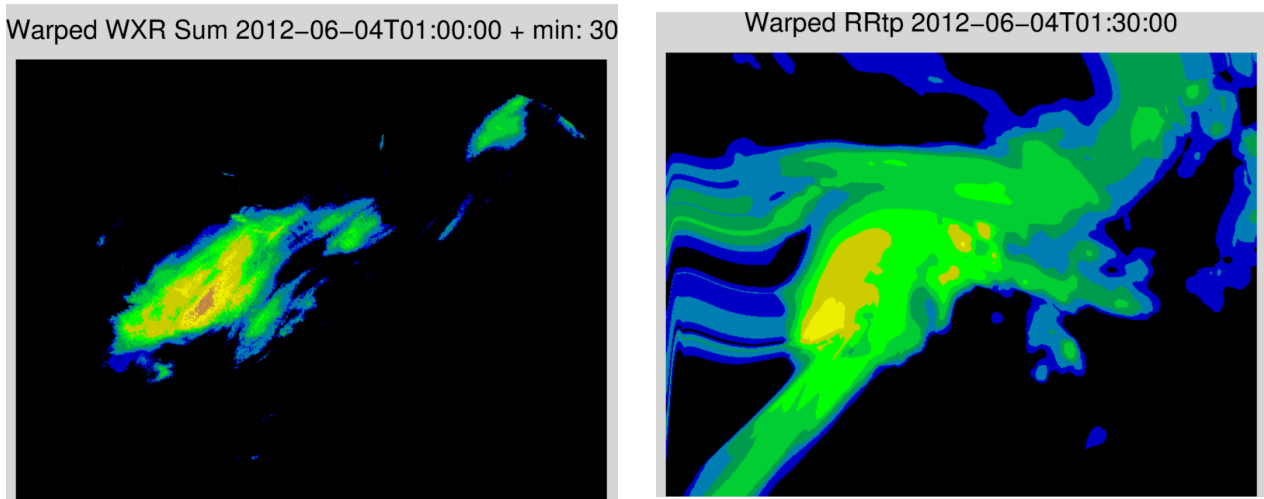


Abbildung 28: Warping von WXR (links) und Modell (rechts).

Es zeigen sich deutlich die Verzerrungen durch die nichtlineare Warping-Funktion, aber auch die nun sehr gute Übereinstimmung meteorologisch relevanter Bereiche (gelbe, rote Regionen), welche im finalen Warping-Ergebnis in Abbildung 29 kombiniert wurden.

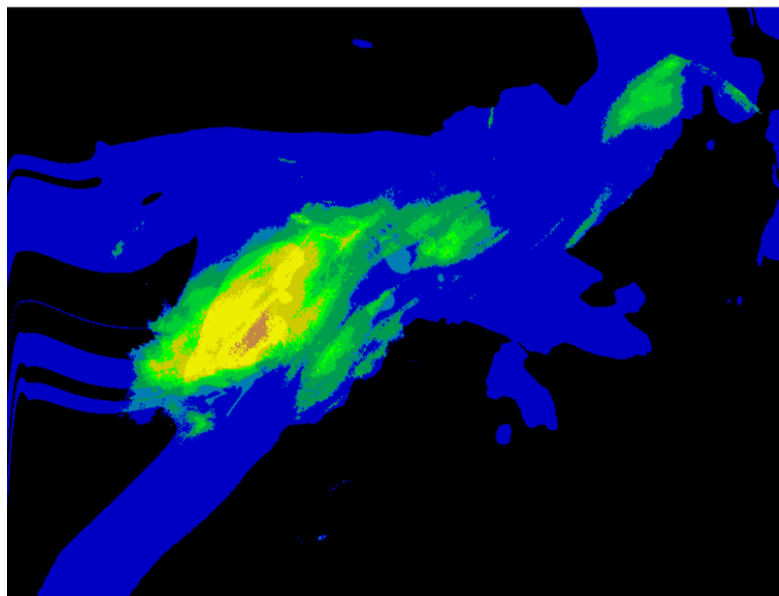


Abbildung 29: Ergebnis nach Warping und Überblendung mit 25% Modellanteil und 75% über Wetterradar gemessener Niederschlag.

Wie eingangs erwähnt, standen Modelldaten in unterschiedlichen Auflösungen zur Verfügung. Erwartungsgemäß zeigte sich, dass die Strukturen des höher aufgelösten Modells (2.8km) besser

mit den Strukturen des aktuellen Wetterradarbildes übereinstimmen als jene im niedriger aufgelösten (Abbildung 30). Dementsprechend konnte auch beim Warping ein besseres Kombinationsergebnis erzielt werden (Abbildung 31).

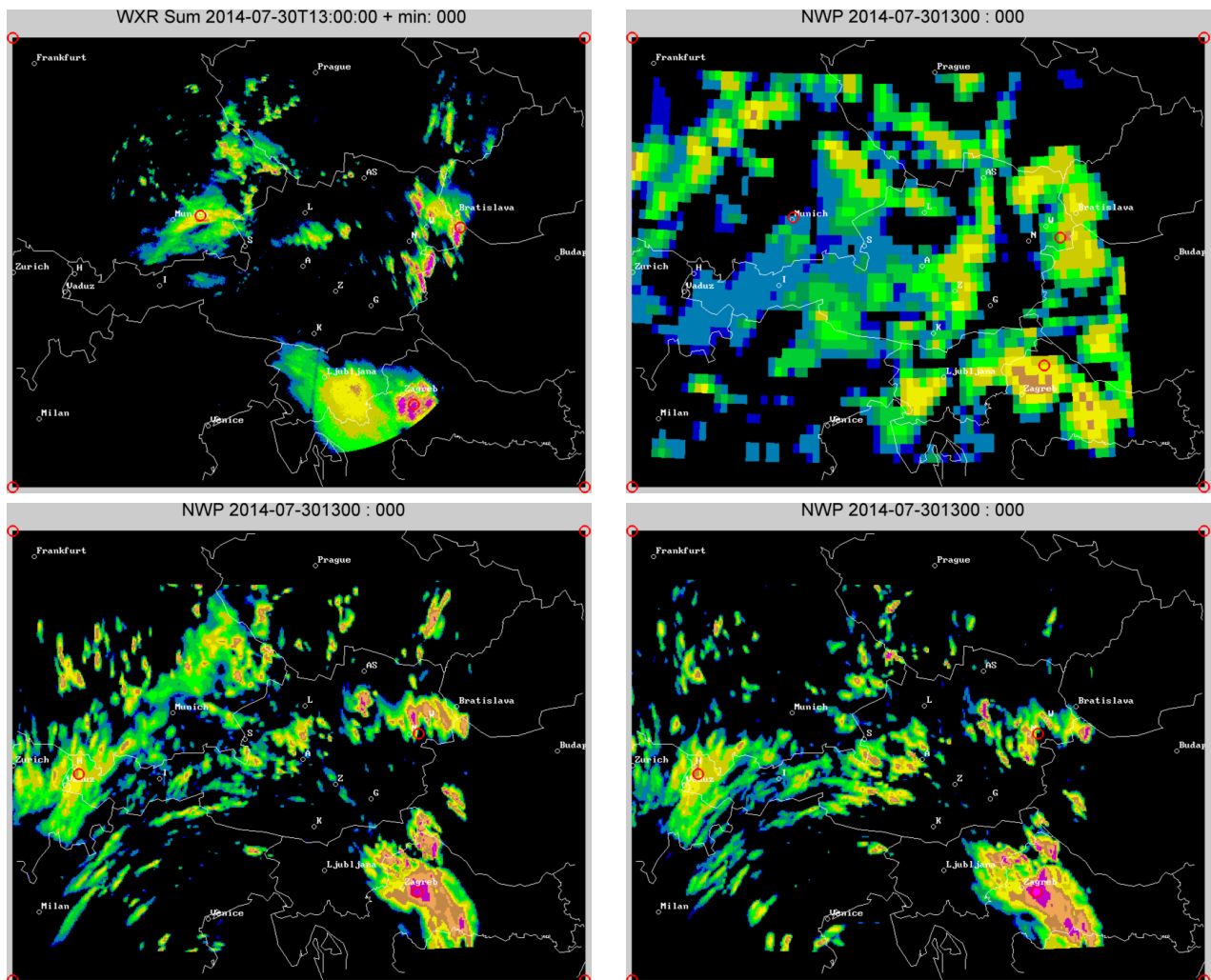


Abbildung 30: Vergleich von WXR-Stundensumme (links oben) mit entsprechenden Summen aus Standard-Modell (IFS, rechts oben) und mit zwei Runs (Run 09, Run 12) des zeitlich-räumlich höher aufgelösten AROME-Modells (unten). Rote Kreismarkierung reflektieren Stützstellen im Warping.

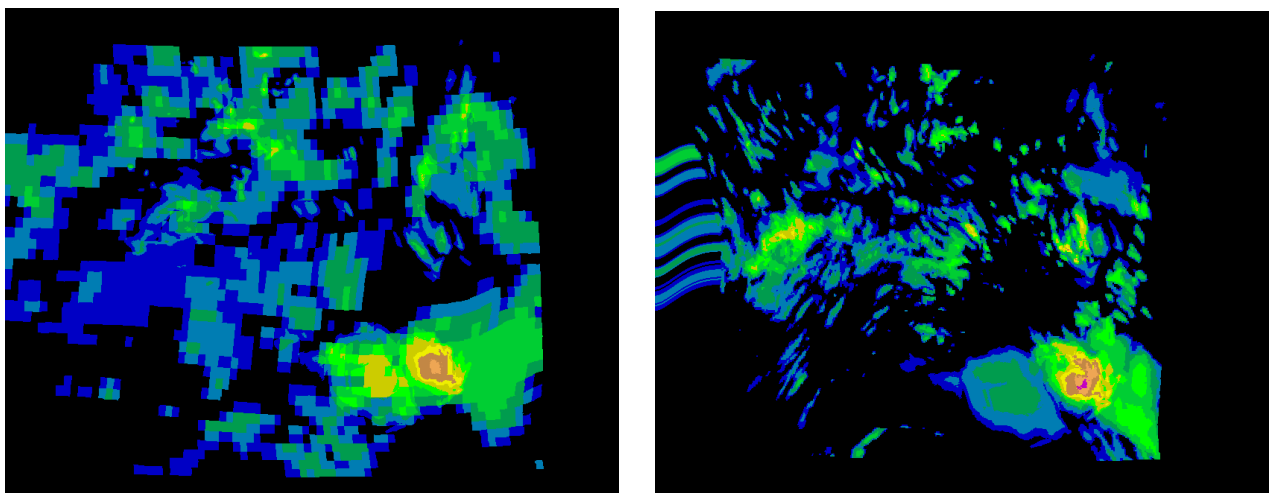


Abbildung 31: Warpingergebnisse für unterschiedliche Modelldaten mit 50% Modell und 50% WXR-Anteil; IFS (links), AROME Run 12 (rechts).

Abbildung 31 zeigt auch die gute Erhaltung der intensiven Niederschlagszellen (markante rote Regionen) im Warping mit dem höheraufgelösten Modell. Diese Zellen sind wiederum hauptverantwortlich für die Einschränkung des Luftraums. Somit ist für einen operativen Betrieb ein zeitlich möglichst nahes und gut entsprechendes Modell erwünscht.

In einer eingehenden Studie wurde die Eignung von Fuzzy-Verification Methods mit dem Fractional Skill Score (FSS, [9]) zur Bewertung der Übereinstimmung von Wetterradardaten und Modelldaten überprüft und getestet. Zu diesem Zweck wurden die Niederschlagsfelder des zur Verwendung kommenden, numerischen Wettermodells im WXR Austria Composite Ausschnitt in drei orographisch sinnvolle Regionen unterteilt und jeweils manuell auf ihre Güte überprüft und bewertet. Dieses Ground-Truth-Set an unterschiedlich performanten Modelldaten dient als Vergleichsbasis zur Eichung des FSS, welcher als Gütemaß Verwendung in der Bewertung der Übereinstimmung von Daten und Modell im Echtzeit-Betrieb findet. Abbildung 32 illustriert diese Qualitätsbewertung anhand eines Beispiels mit guter Übereinstimmung in der Ost- und Nord-Region, wobei der Scale ein Maß für die geometrische Ausdehnung des Vergleichsbereichs darstellt. Die Kurven repräsentieren Schwellwerte für die Wetterradar-Niederschlagsklassen, wobei höhere Thresholds stärkere Gewitterzellen bedeuten. Aufgrund dieser Bewertung ist es möglich, vorab zu entscheiden ob eine Modellgüte ausreicht oder der Schritt der Forecaster Intervention (s.u.) durchgeführt werden muss, um eine geeignete Modellqualität für das Warping zu erhalten.

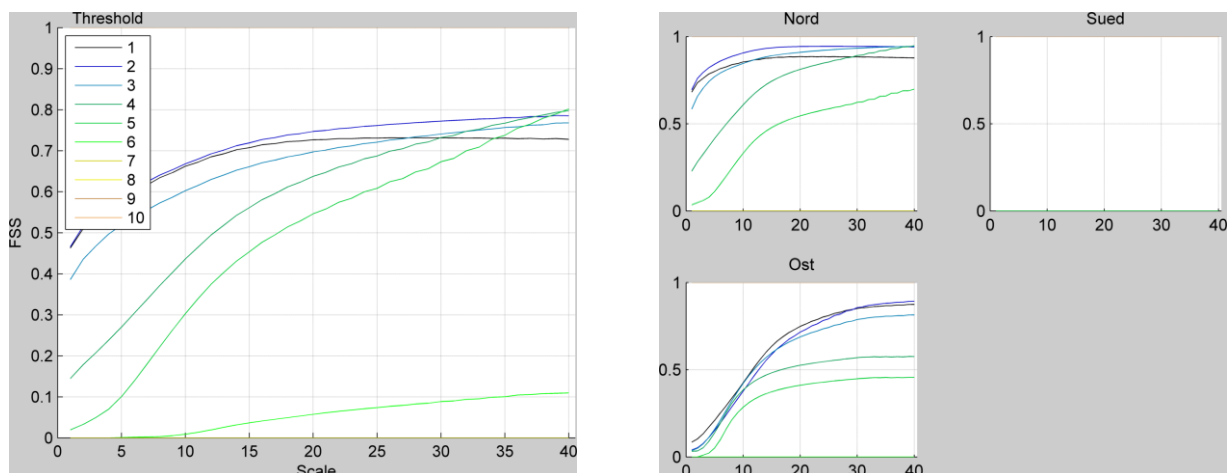


Abbildung 32: FSS-Bewertung von Modellniederschlag und WXR-Summe für den Gesamtbereich Österreich (links) und drei definierten Regionen (rechts).

Den finalen Schritt der Automatisierung in diesem Arbeitspaket bildet die automatische Auswahl von geeigneten Stützstellen für die Warping-Transformation. Dies wurde über ein Matching-Verfahren basierend auf meteorologischen Charakteristiken umgesetzt. Da in Bezug zu Gewitteraktivität nur höhere Intensitäten im WXR-Bild relevant sind wurde eine Segmentierung von WXR-Bild und Modellniederschlagsbild an der Schwelle von 35dBz vorgenommen. Dadurch können einzelne Gewitterobjekte identifiziert (Maske), sowie beschreibenden Merkmale extrahiert werden. Wichtige Merkmale sind Position (X,Y), Größe, Form, aber auch Maximalintensitäten des WXR innerhalb des maskierten Gewitterobjekts. Über SIFT-matching ([10]) erfolgt schließlich die Zuordnung von passenden Gewitterobjekten, wobei über ein abgeleitetes Konfidenzmaß jeweils eine vordefinierte Anzahl (3-5) der besten Matches weiterverfolgt werden (Abbildung 33).

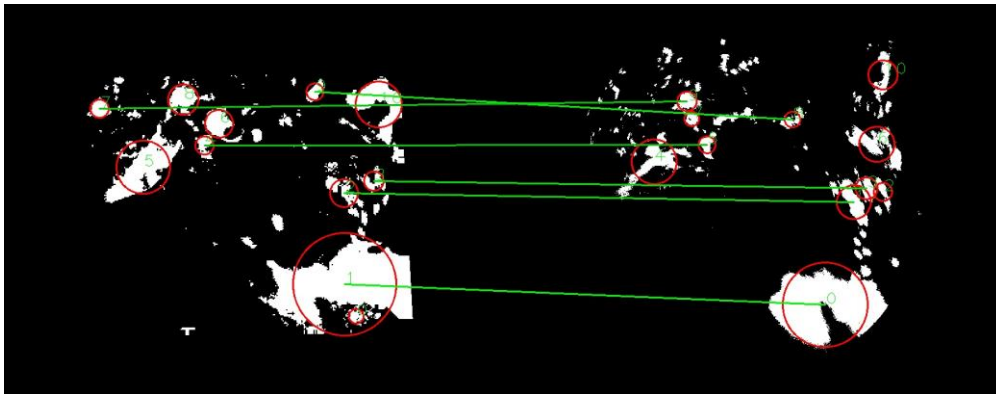


Abbildung 33: Matchingergebnis von WXR-Bild (rechts) und Modellniederschlag (links). Nach Segmentierung in binäre Masken erfolgt eine automatische Zuordnung auf Basis meteorologisch relevanter Parameter.

Die Schwerpunkte (entsprechen Position X,Y) der Gewitterobjekte bilden die automatisch gefundenen Stützstellen für das Warping. Abbildung 34 und Abbildung 35 zeigen beispielhaft zwei Ergebnisse der automatischen Stützstellengenerierung für die unterschiedlichen Modellgüten. Die roten Kreise markieren die Stützstellen für das nachfolgende Warping. Abbildung 36 illustriert das finale automatische Warpingergebnis für zwei Zeitpunkte im Prognosezeitraum.

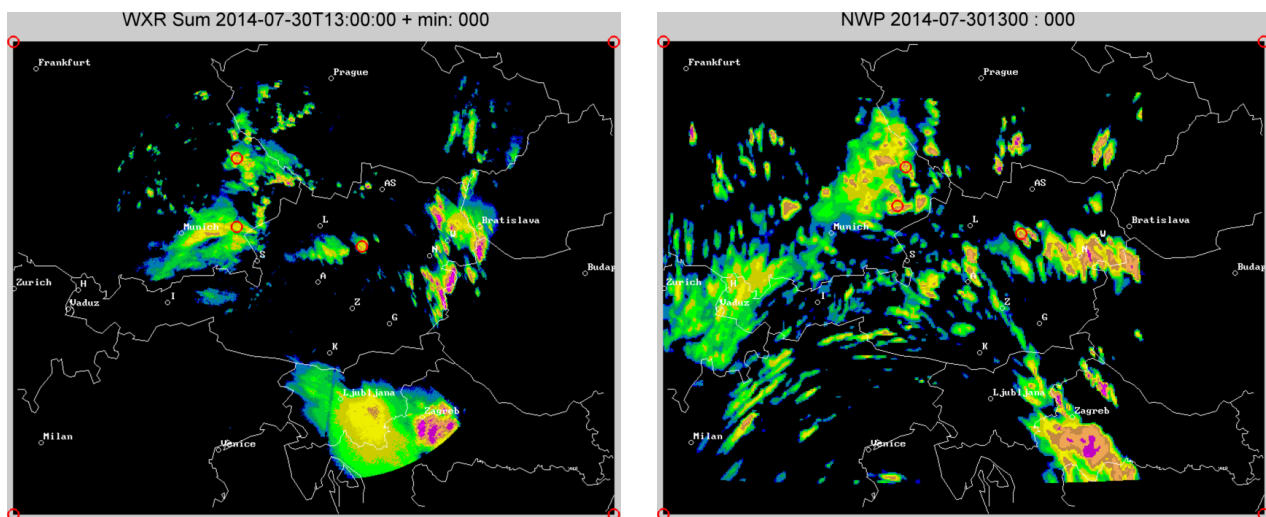


Abbildung 34: Matchingergebnis von WXR-Bild und hochaufgelöstem AROME-Modellniederschlag.

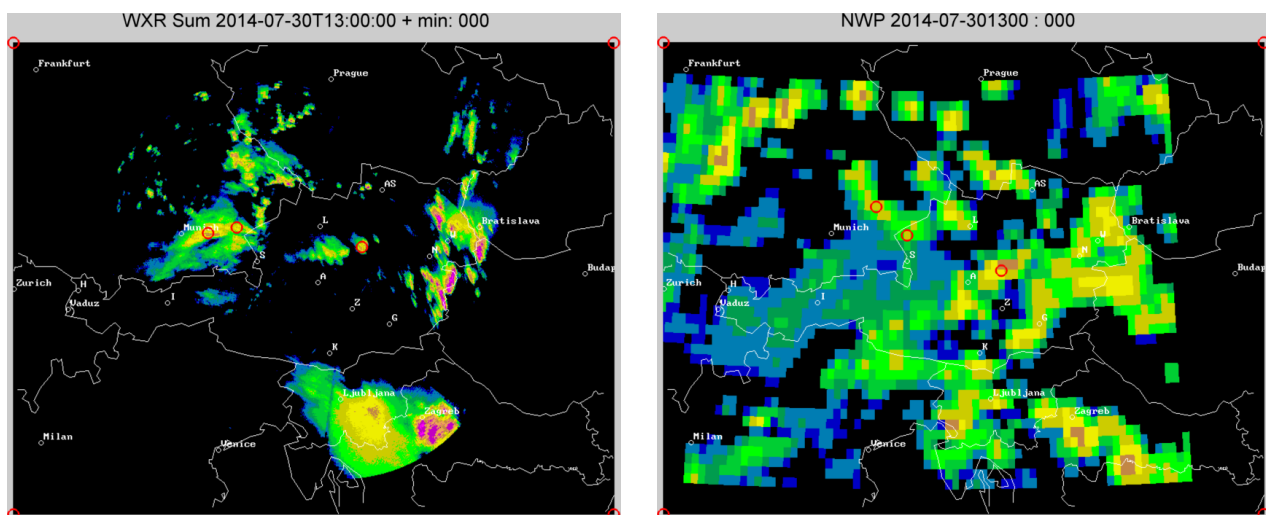


Abbildung 35: Matchingergebnis von WXR-Bild und Standardmodell IFS.

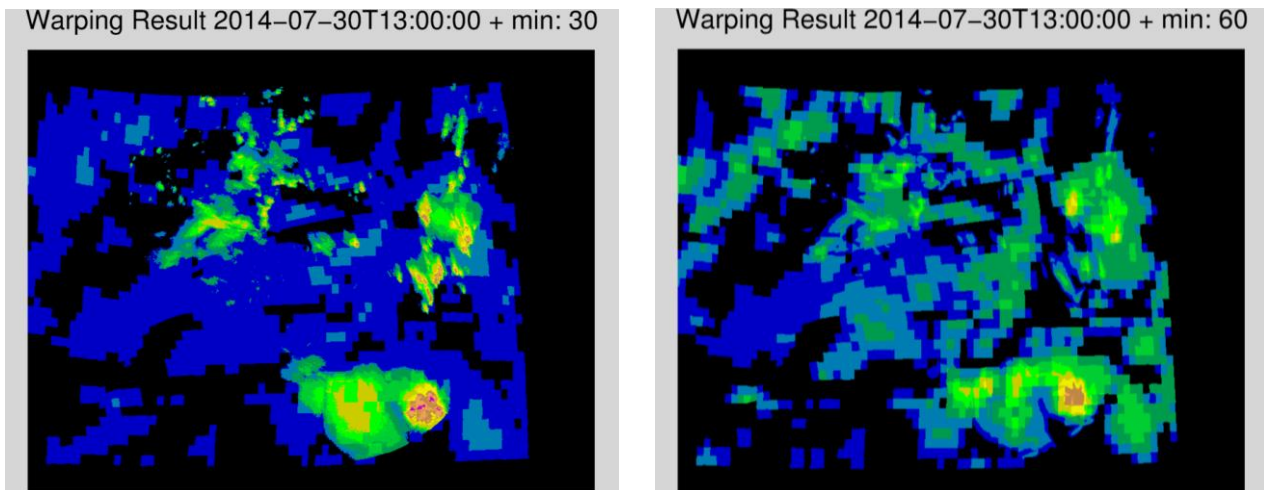


Abbildung 36: Warpingergebnis mit automatisch extrahierten Stützstellen (vgl. auch Abbildung 31) mit 25% (links) und 50% Modellanteil (rechts).

Forecaster Intervention

Die Idee der Forecaster Intervention ist, dass der Meteorologe seine Erfahrung, Fachwissen und die menschliche Adaptionfähigkeit in unbekannten, komplexen Situationen in die Vorhersage einbringen kann, um die automatischen Systeme zu unterstützen. Der erste Schritt war die technischen Möglichkeiten im von der Austro Control verwendeten Visualisierungs- und Produktionssystem Visual Weather abzuklären und basierend darauf die Bearbeitungs- und Eingriffsmöglichkeiten zu definieren und für die technische Umsetzung zu spezifizieren. Ein weiterer wichtiger Punkt war es Consistency Restoration Rules (kurz CRR) zu definieren und in weiterer Folge in der Forecaster Intervention umzusetzen. CRR sind Regeln und Prozeduren die sicherstellen, dass nach Bearbeitung eines Feldes alle damit verknüpften Felder widerspruchsfrei gehalten werden.

Die Ergebnisse aus dem Blending werden mit Hilfe eines eigens entwickelten Merging-Tools in die Field-Modification integriert (Abbildung 37). Dabei wird der vorhandene Modellniederschlag mit dem Blendingergebnis ersetzt und im Hintergrund sorgen die oben erwähnten CRRs dafür, dass die Niederschlagsart (-form) anhand der Schneefallgrenze, der 2-Meter Temperatur und den Labilitätsbedingungen angepasst werden (Abbildung 38). Somit kann zwischen festem und flüssigem, sowie konvektivem und stratiformem Niederschlag unterschieden werden. Die Analyse der 2-Meter Temperatur wird über das LAPS⁷ bereitgestellt und ebenfalls in die Field-Modification (Forecaster Intervention) für die nächsten Stunden „gemerged“. LAPS wurde hierfür auf den Systemen der Austro Control kompiliert und in einem ersten Schritt mit ECMWF Modelldaten und Bodenbeobachtungen getestet, sowie in einem weiteren Schritt operationell eingerichtet und den Meteorologen zur Verfügung gestellt.

⁷ LAPS (Local Analysis and Prediction System) der NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

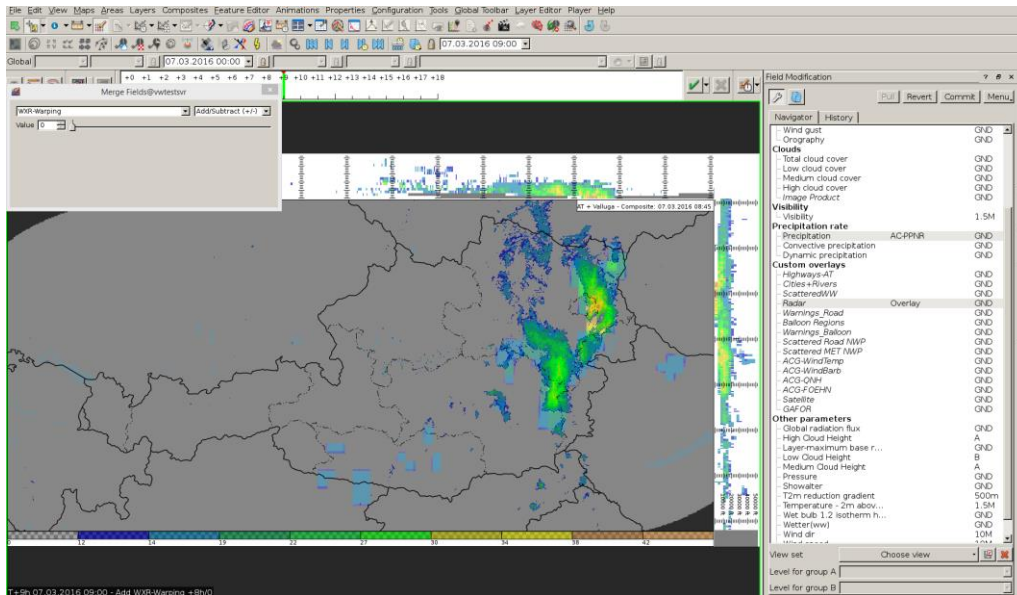


Abbildung 37: Warping (Blending) von Stundensummen in die Field Modification (Forecaster Intervention) mit hinterlegtem Radarbild.

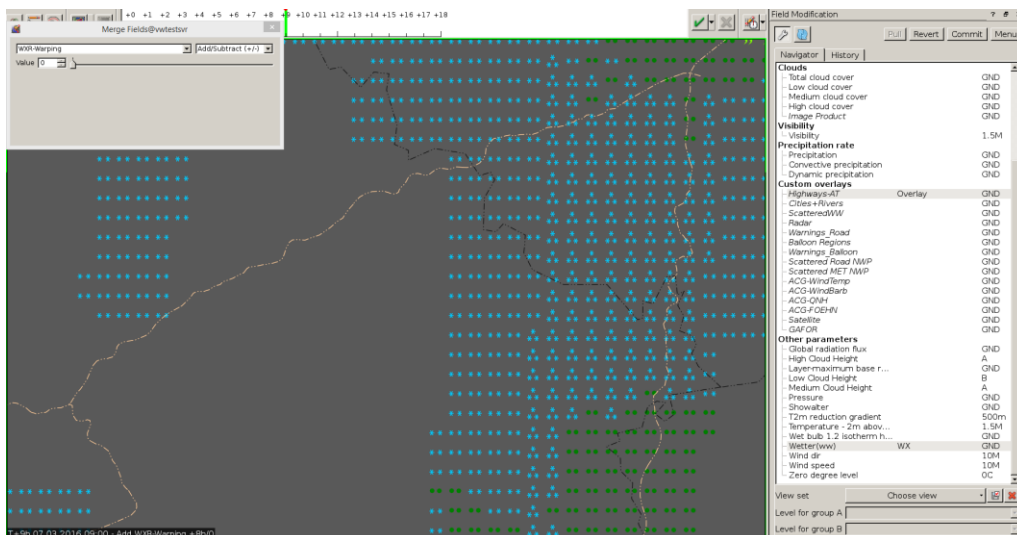


Abbildung 38: Warping (Blending) von Stundensummen. Auswirkungen der Consistency Rules auf die Niederschlagsform: Grün – Regen, Blau Schnee

Für die Forecaster Intervention wurden zusätzlich zu den Merging-Tools (für die Integration des Blending-Niederschlags, LAPS), verschiedene Tools zur Modifizierung der Felder erstellt, welche es dem Meteorologen erlauben, abgestimmt auf den Parameter und die Wetterverhältnisse, seine Erfahrung optimal einzubringen. Einerseits kann eine Auswahl des zu bearbeitenden Gebietes über einen Polygonzug passieren (Enhance/Reduce Area - ERA) oder über das Setzen einer Linie und das Markieren des Ausbreitungsgebietes der Änderung (Enhance/Reduce Line – ERL). Während man in beiden Tools die Möglichkeit zur Parameteränderung über die Operatoren „Add/Subtract“, „Set“ und „Multiply“ findet, werden Änderung im ERL-Tool mittels Natural-Neighbour Interpolation von der Linie ausgehend bis zum Polygonrand ausgebreitet, im ERA-Tool hingegen innerhalb des gesamten Polygons mit dem gleichen Inkrement, bzw. ohne Interpolation.

Zusätzlich hat der Meteorologe die Möglichkeit, sich verschiedene Produkte als Overlay anzeigen zu lassen und diese für eine endgültige Produkterstellung auch extern abzulegen (Abbildung 39).

Sollte die Wettersituation äußerst komplex sein, besteht auch die Möglichkeit, der gemeinsamen Forecaster Intervention (Collaborative Editing). Hierbei können mehrere Meteorologen gleichzeitig nach Absprache Felder bearbeiten (Abbildung 40).

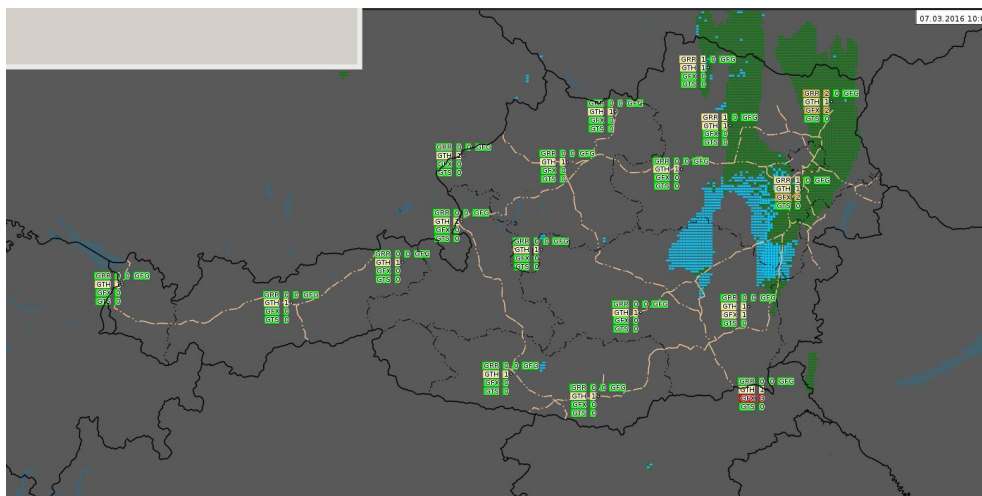


Abbildung 39: Warnungen als Overlay und Warping Niederschlag

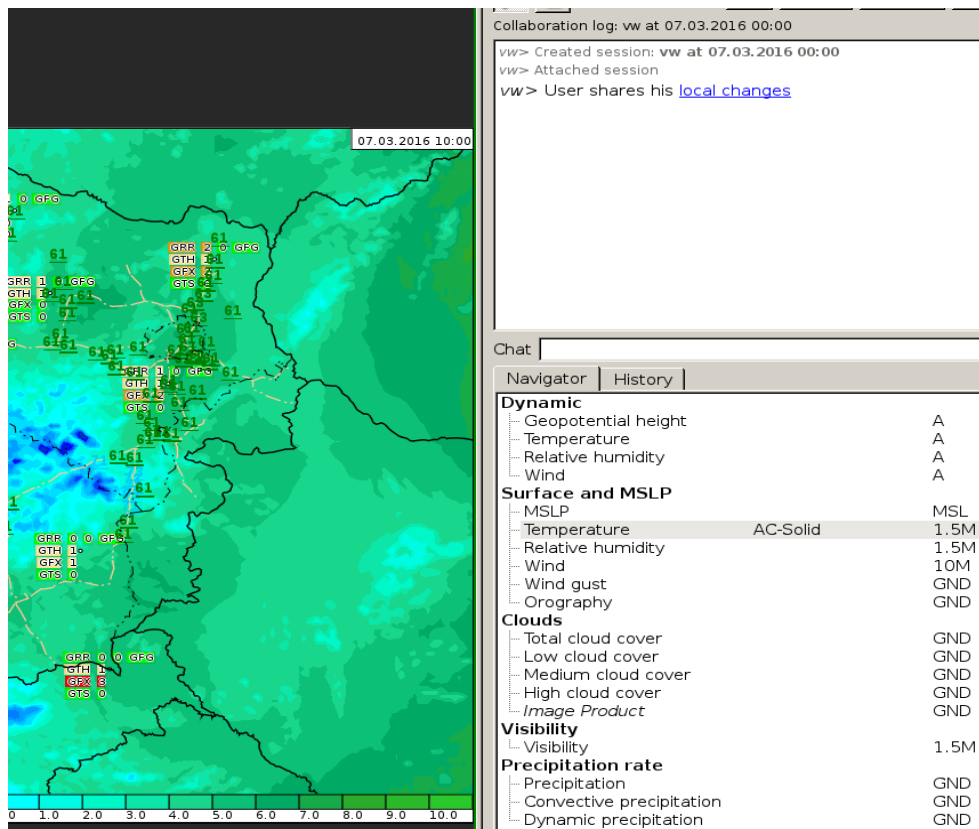


Abbildung 40: 2-Meter Temperatur als eingefärbte Flächen, Warnungen für Ballon-Produkt, Wettererscheinung als Zahl. Collaborative Editing. Chat zur Kommunikation unter den Meteorologen.

Referenzen:

- [7] Beier, Thaddeus. *Feature-Based Image Metamorphosis*. Siggraph '92
- [8] Wolberg, G., *Digital Image Warping*, IEEE Computer Society Press, 1990
- [9] Roberts, N. M., and H. W. Lean: *Scale-selective verification of rainfall accumulations from high-resolution forecasts of convective events*. *Monthly Weather Review*, 136, 78–97, 2008
- [10] David G. Low, *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. *International Journal of Computer Vision*, 60, 2, pp. 91-110, 2004

AP7 Integration / Visualisierung

Ziel dieses Arbeitspakets ist es die Informationen die in AP4, AP5 und AP6 entstanden sind in geeigneter Weise Flugmeteorologen und Fluglotsen zu präsentieren.

Zuerst wurden bestehende Systeme evaluiert und der konkret aus dem Projekt entstehende Bedarf an neuen Darstellungsprodukten ermittelt. Das Ergebnis dieser Evaluation war, dass die im Projekt entwickelten Produkte für die operative Verwendung durch Meteorologen in deren Standardsystem (Visual Weather) integriert werden sollen. Dieses System ist für die Verwendung durch Meteorologen konzipiert und durch die vielfältigen fachspezifischen Möglichkeiten nicht geeignet, um die Information in geforderter Einfachheit und Klarheit zur schnellen Erfassung durch Flugverkehrsleiter bereit zu stellen. Es wurde daher entschieden, einen Prototyp einer webbasierten Darstellung zu entwickeln, die diesem Zweck gerecht wird.

Eine weitere wichtige Aufgabe war geeignete Datenformate für Austausch und Speicherung der im Projekt entwickelten Produkte zu definieren. Für die Luftraumklassifikation wurde ein XML-Template entworfen, das im Laufe des Projekts den wachsenden Anforderungen laufend angepasst wurde. Die Sektorendefinition wurde u.a. für die Erstellung der Trackinginformationen und Sektoreninhalte verwendet.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<aaa4atm version="0.2">
  <basetime>2014-07-30T16:50:00</basetime>
  <type>acc</type>
  <source>WXR</source>
  <algorithm>JR</algorithm>
  <sector layer="MAX" name="LKAAwest">
    <classification>
      <forecast>0</forecast>
      <category>4</category>
      <areaFraction>0.190871369295</areaFraction>
      <top>524</top>
      <AreaFRQ>72</AreaFRQ>
      <AreaOCNL>2163</AreaOCNL>
      <validStart>2014-07-30T16:50:00</validStart>
      <Line>0</Line>
      <validEnd>2014-07-30T17:05:00</validEnd>
    </classification>
  </sector>
  <sector layer="MAX" name="north">
    <classification>
      <forecast>0</forecast>
      <category>4</category>
    </classification>
  </sector>
</aaa4atm>
```

Abbildung 41: Beispielhafter Auszug aus einem Luftraumklassifikations XML-Files.

Zur Integration aller im Projekt entwickelten Algorithmen in das Datenverarbeitungssystem der Austro Control wurde ein Framework entwickelt, dass Schnittstellen zu den operationellen Datenbanken und den Entwicklungsdatensätzen auf einheitliche Art und Weise ermöglicht. Auch notwendige räumliche und zeitliche Skalierung sowie das Ändern der geographischen Projektion auf ein einheitliches Format wurden in das Framework integriert. Die Auswertungsalgorithmen konnten damit über eine wohldefinierte Schnittstelle an die Datenquellen angeschlossen werden.

Die mit diesem Framework erzeugten Daten werden nach Fertigstellung in das operative meteorologische System (Visual Weather) eingespielt und dort für die Meteorologen zur Verfügung gestellt. Visual Weather ermöglicht zudem die Informationen über standardisierte Webschnittstellen für andere Applikationen bereitzustellen. Ein Beispiel einer solchen Webanwendung ist Browsing Weather (Abbildung 42), eine kommerzielle Webanwendung vom Visual Weather Hersteller IBL Software, welche es ermöglichte, den externen Projektpartnern Zugriff auf die am Austro Control System erstellten Produkte zu geben.

Die in Visual Weather für die Meteorologen bereitgestellten Produkte umfassen:

- die Darstellung von Flugzeugtrajektorien gemeinsam mit Wetterradar Bildern (vgl. oben Abbildung 9 in AP4).
- die Darstellung der Luftraumklassifikation basierend auf unterschiedlichen Datenquellen (Wetterradar, Wetterradaorextrapolation, Blitzdaten, Modelldaten) im Vergleich mit den derzeit operationellen Vorhersagen der Meteorologen. Die Darstellung in Kombination mit Blitz und Wetterradardaten ermöglicht zudem eine effiziente Evaluation der Algorithmen (Abbildung 43).
- die Darstellung der im AP5 entwickelten Wetterradaorextrapolationen und der im AP6 entwickelten Wetterradar- und Modellkombination als Einzelkarten und als Loops (Abbildung 44).

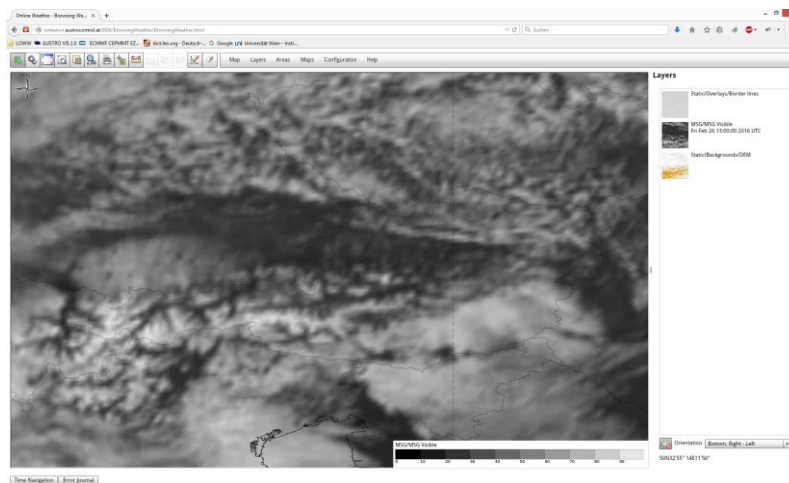


Abbildung 42: Darstellung eines Satelliten Bildes in Browsing Weather

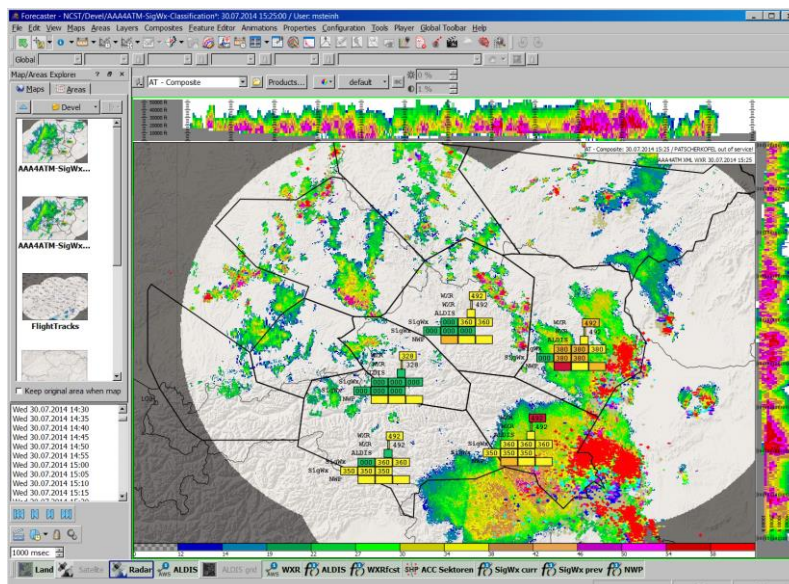


Abbildung 43: Darstellung der Luftraumklassifikation in Visual Weather in Kombination mit Wetterradardaten (Farbschattierung) und Blitzdaten (farbige Symbole). Die Luftraumklassifikation (farbige Kästchen) ist für verschiedene Datenquellen eingezeichnet (von oben nach unten): Wetterradaorextrapolation (WXR), Wetterradar-Einzelbild (WXR), Blitzdaten (ALDIS), operationelles vom Meteorologen erstelltes Produkt (SigWx), Modelldaten (NWP).

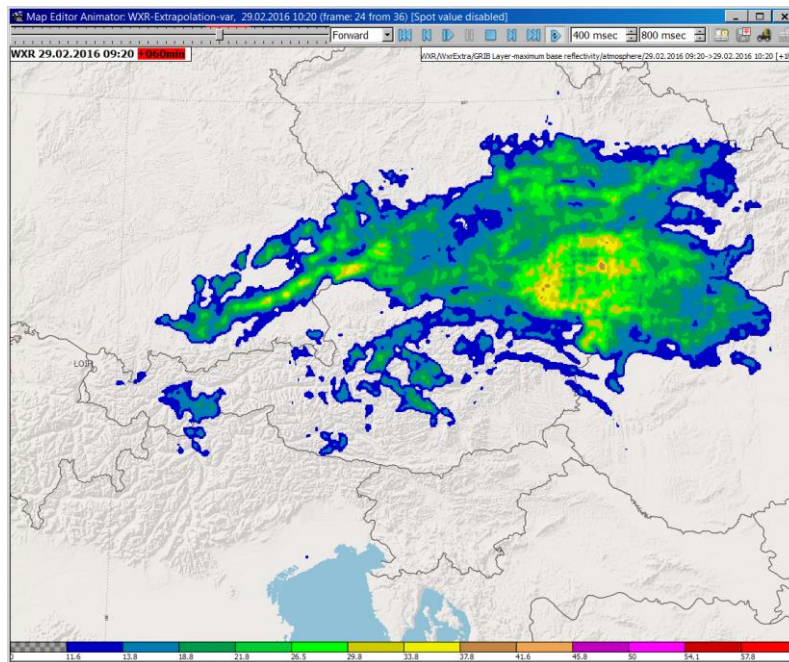


Abbildung 44: Wetterradarextrapolation in Loop-Darstellung.

Für die Darstellung der Projektergebnisse für ATCOs (Air Traffic Control Officers) wurde eine bei Austro Control bestehende Web-Applikation erweitert. Diese Applikation dient der Entwicklung von Prototypdarstellungen von meteorologischen Daten am Lotsendisplay und ist daher die geeignete Plattform zur Darstellung der Projektergebnisse. Zu diesem Zweck wurde eine eigene AAA4ATM Unterseite eingefügt worauf die Projektergebnisse präsentiert werden (siehe Abbildung 45).

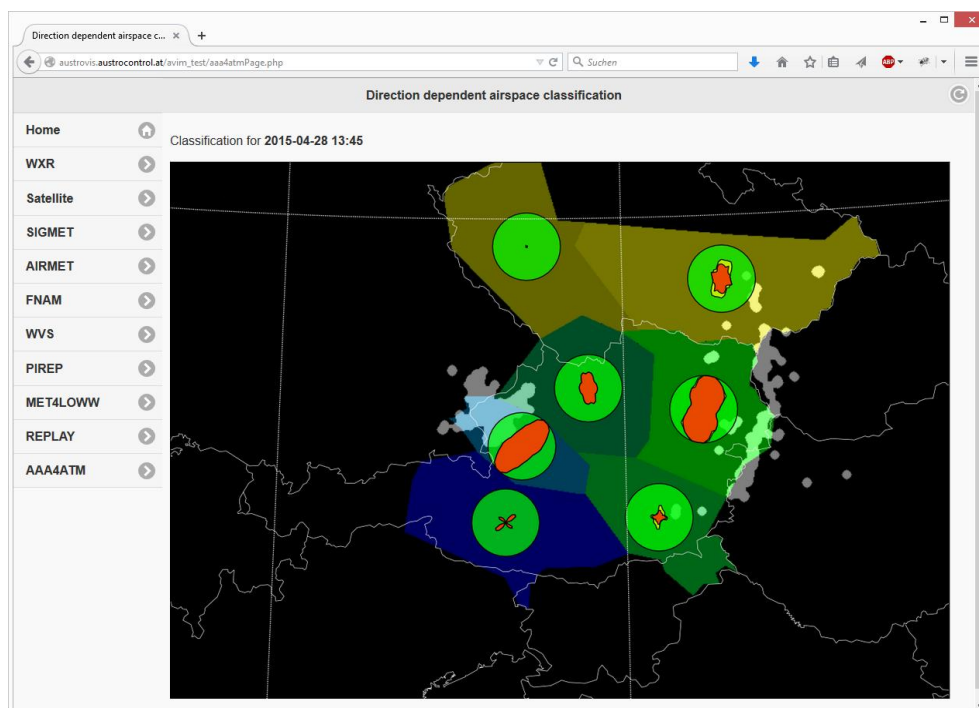


Abbildung 45: Darstellung richtungsabhängiger Luftraumklassifikation in einer Prototypapplikation für ATCOs (mock-up)

AP8 Evaluation / Verifikation

Die in diesem Projekt entwickelten Methoden, Routinen und Module sowie diverse Datenlese-, Schreib- und Konvertierungsfunktionen wurden in einem mehrstufigen Verfahren auf ihre prinzipielle Anwendbarkeit, Funktionstüchtigkeit und Performance geprüft. Die Erkenntnisse über Qualität und Performance wurden zur Adaption der Konzepte, Justierung der Methoden und Routinen, sowie zur Fehlerbehebung fortlaufend in die Arbeitspakete 4 bis 7 rückgeführt.

Nach mehreren Feedbackrunden in der anfänglichen Phase dieses Arbeitspakets wurde aus einer Auswahl an in AP4 entwickelten Methoden anhand von Fallstudien die geeignetsten Verfahren, im Hinblick auf die Erkennung von konvektiven, den Flugverkehr beeinträchtigenden Objekten ausgewählt. Folglich wurde eine erste Version einer Klassifikationsroutine für Wetterradardaten eingebunden. Zu diesem Zweck wurden die nötigen Funktionen geschaffen, um Klassifikationsergebnisse sowie die zur Beurteilung relevanten Beobachtungsdaten in Visual Weather darzustellen. Die Klassifikationsergebnisse wurden anhand ausgewählter Fallstudien auf ihre Plausibilität und Richtigkeit hinsichtlich der Anforderungen und Definitionen des Significant Weather Bulletin geprüft und ihre Qualität einer simplen, auf Pixelanzahlen basierenden Methode gegenübergestellt (vgl. Abbildung 46).

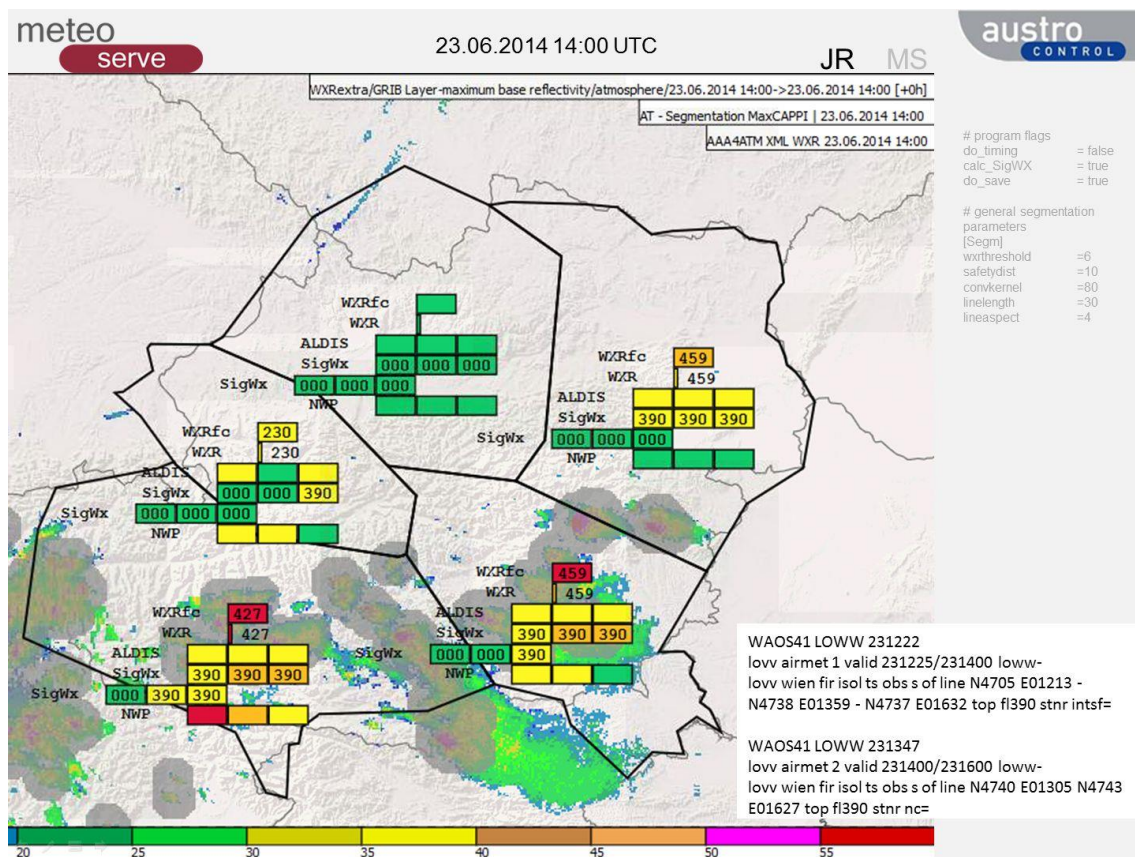


Abbildung 46: Darstellung von Klassifikationsergebnissen in VW (WXRfc: Klassifikation der WXR Extrapolation, WXR: Klassifikation des WXR zum aktuellen Zeitpunkt, ALDIS: Klassifikation aus Blitzdaten, SigWx (oben): aktuelles, operationelles sigWX Bulletin, SigWx (unten): vorangegangenes, operationelles sigWX Bulletin, NWP: Klassifikation anhand von Modelldaten, Zahlenwerte: Höhe der Tops (flight level bzw. Hektofuß).

Die Erkenntnisse aus den fortlaufend durchgeführten Fallstudien wurden in AP4 zur Verbesserung der Methodik und Optimierung der Softwaremodule genutzt. So konnten systematische Fehler bei der Bestimmung von Gewittertops aus Wetterradardaten eliminiert werden und die Parameter, die zur plausiblen Detektion von konvektiven Objekten definiert wurden, optimiert und erweitert werden.

In das im AP7 entwickelte Framework zur Datenverarbeitung wurden auch Evaluationsmethoden integriert. Dies ermöglicht die effiziente Auswertung der Qualität gemeinsam mit der Produkterstellung.

Die quantitative Auswertung des Gesamtsystems erfolgte in mehreren Schritten. Es wurden unterschiedliche Methoden zur Validierung der einzelnen Module herangezogen. So wurden die Ergebnisse der Wetterradar-Klassifikation anhand von bewährten, klassenbasierten, statistischen Verfahren und Scores bewertet und die Qualität der Wetterradar-Extrapolation sowie die Ergebnisse aus dem Merging von Modellfeldern und extrapolierten WXR-Informationen mittels eines Fuzzy Verifiacion Ansatzes über die Berechnung des Fractional Skill Scores analysiert.

Zur Evaluierung der WXR-Klassifikation wurden die Ergebnisse unabhängigen Ground-Truth Daten und der aus diesen abgeleiteten Klassen gegenübergestellt (vgl. Abbildung 47).

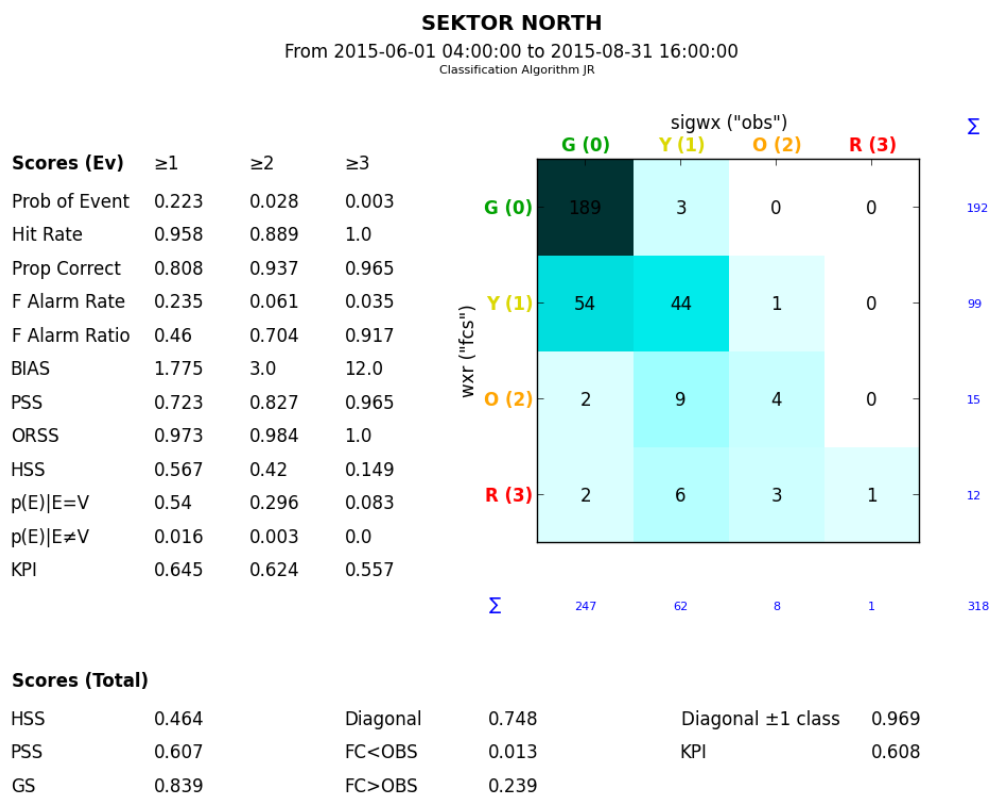


Abbildung 47: Kontingenztabelle und Scores für den Sektor Nord für die Sommermonate JJA 2015.

Die Klassen (Grün, Gelb, Orange, Rot) entsprechen den Kategorien des Significant Weather Bulletin (SigWX Bulletin). Die Routinen zur Klassifikation von WXR-Daten sind über diverse Parameter (WXR-Threshold, Safety-Distance, Lineaspect-Ratio und Convective-Kernel) konfigurierbar. Anhand von mehreren Fallstudien wurden unterschiedliche Parametereinstellungen getestet und eine geeignete Kombination für die statistische Auswertung ausgewählt.

Die Ergebnisse dieser Auswertung zeigen im Allgemeinen eine gute Performance der WXR-Klassifikation. So befinden sich im Auswertungszeitraum (Juni, Juli und August 2015) in allen Flugsektoren über 95% der Werte auf der Hauptdiagonalen und den ersten Nebendiagonalen. Der Gerrity Score⁸ (GS) liegt in einem Großteil der Fälle über 0.64 - meist sogar über 0.70 - was ebenfalls für eine gute Performance spricht. Nur in einzelnen Fällen liegt der GS unter 0.4, was zum größten Teil der hohen Anzahl an False Alarms in der gelben Kategorie geschuldet ist.

Generell sind die Kategorien Gelb bis Rot in der WXR-Klassifikation sehr stark vertreten. Dies ist zu einem großen Anteil dem Umstand geschuldet, dass in der WXR-Klassifikation ein bestimmtes Kriterium nicht berücksichtigt wird, welches vorgibt, dass beeinträchtigende Konvektion erst dann gegeben ist, wenn die Konvektionstops mindesten 10000ft über der Null-Grad-Grenze liegen. Die Erfüllung dieser Bedingung erfordert Temperatur-Höhen Informationen, welche kein Teil des aktuellen Prototypen sind.

Die Evaluierung der WXR-Extrapolation erfolgte über die Berechnung des Fractional Skill Score (FSS). Diese Methode ist speziell für die Verifikation von Niederschlagsfeldern konzipiert. Durch die Vorgabe eines Schwellwertes (WXR-Intensität bzw. Niederschlagsraten) und einer Skala auf der Area Fractions und damit der FSS berechnet wird, lässt sich die Performance der Extrapolation über die Entwicklung der „useful scale“ ableiten.

Bei einem WXR-Intensitäts-Schwellwert größer Null zeigt die WXR-Extrapolation oft über Leadtimes von t+120 Minuten hinaus eine gute Performance was dafür spricht das die Position der Niederschlagsfelder im Allgemeinen gut vorhergesagt wird. Bei höheren, mit Konvektion assoziierten, Intensitäts-Schwellwerten macht sich die Abnahme des FSS meist bereits zwischen t+60 und t+90 Minuten bemerkbar (vgl. Abbildung 48).

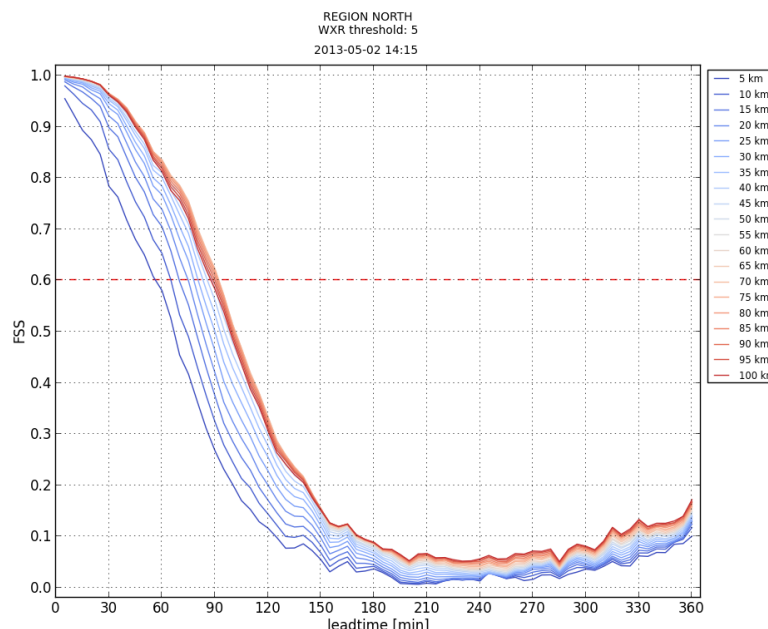


Abbildung 48: FSS als Funktion der Leadtime für die Region Nord in Abhängigkeit von der betrachteten Scale (5-100 km) für WXR-Intensitäten größer 5.

⁸ Gerrity, J.P., 1992, A Note on Gandin and Murphy's Equitable Skill Score., Monthly Weather Review, 120, 2709-

Der FSS reagiert stark auf die „wet area ratio“, sodass eine hohe Fluktuation im Verlauf der FSS-Werte für eher trockene Verhältnisse bzw. hohe Schwellwerte typisch ist (vgl. Abbildung 49). Außerdem machen sich technisch bedingte Ausfälle von WXR-Station sowie stationäre, persistente Störsignale im FSS deutlich bemerkbar (vgl. Abbildung 50).

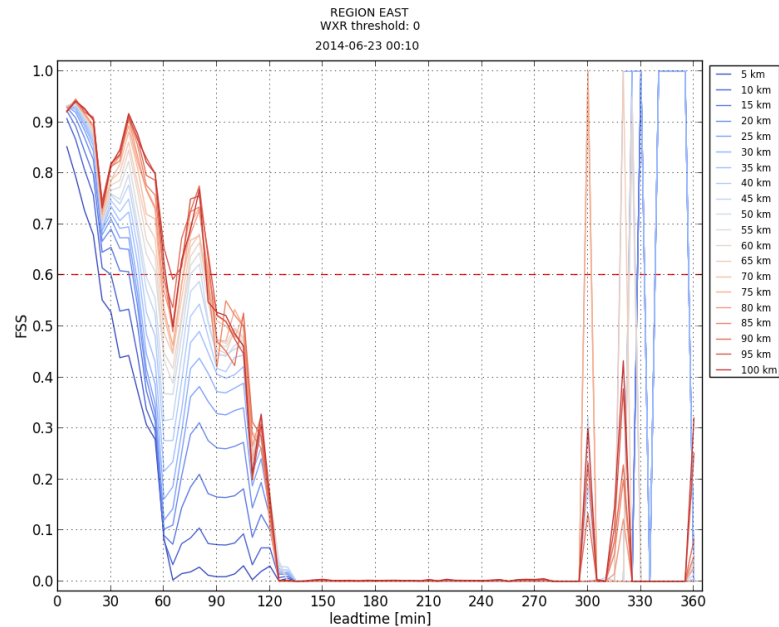


Abbildung 49: FSS als Funktion der Leadtime für die Region Ost in Abhängigkeit von der betrachteten Scale (5-100 km) für WXR-Intensitäten größer 0.

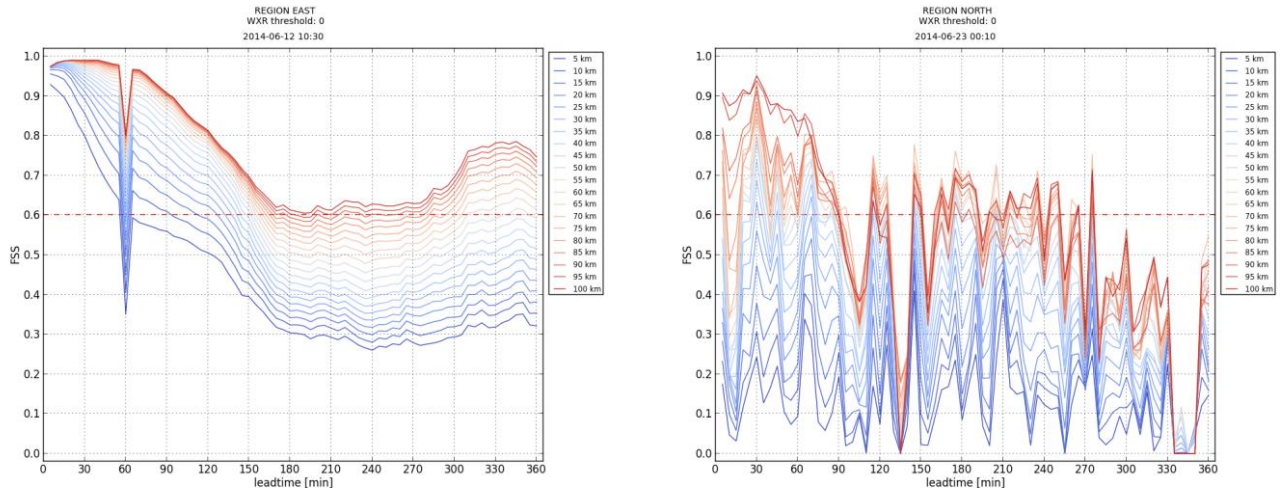


Abbildung 50: Verlauf des FSS mit Ausfall einer WXR-Station (links) und mit persistenten, stationären Störsignalen (rechts).

Die Gegenüberstellung der FSS-Verläufe von unbearbeiteten Modellfeldern und Warping-Feldern mit den gemessenen einstündigen WXR-Summen zeigt eine deutliche Verbesserung der Qualität des Niederschlagsfeldes nach dem Zusammenführen von Modellinformation und WXR-Extrapolation. Lage und Intensität der Niederschläge wird im Warping-Feld maßgeblich verbessert (vgl. Abbildung 51).

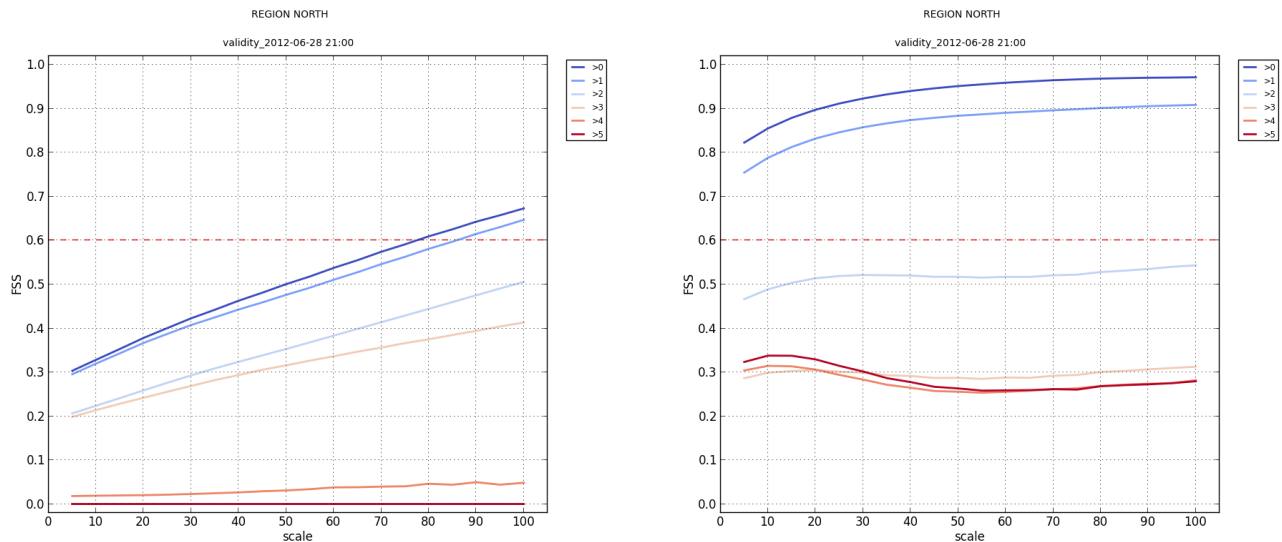


Abbildung 51: FSS als Funktion der betrachteten Skala für verschiedene Intensitätsschwellwerte. Unbearbeitetes NWP-Feld (links) und Warp-Feld für die Vorhersage t+1h (rechts).

Die bisher manuell durch den Meteorologen nur für den österreichischen Luftraum erstellten Vorhersagen, können mit den in AAA4ATM entwickelten Methoden nun auch auf die angrenzenden FIRs (Flight Information Region) ausgeweitet werden, dadurch kann die Workload der Forecaster überschaubar gehalten werden. Untersuchungen aus 2015 gaben ein durchwegs positives Echo der operativen Meteorologen zu dieser Unterstützung.

Für die richtungsabhängige Bewertung wird für 2016 ein Parallelbetrieb für die ACC vorbereitet.

2.3 Änderungen im weiteren Projektverlauf

- Gibt es Veränderungen? Welche Auswirkungen haben diese? Wie muss die Planung adaptiert werden?

Im Berichtszeitraum wurde aufgrund Mehraufwands im AP5 Blending Modell zu Bilddaten und der daraus resultierenden Verzögerung der darauf aufbauenden AP7 und 8 eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit bis 31.12.2015 beantragt. Diese Fristerstreckung wurde mit Schreiben vom 24.8.2015 genehmigt, womit eine entsprechende Integration und Verifikation der erzielten Ergebnisse gewährleistet wurde.

3. Projektteam und Kooperation

- Gibt es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne Schlüsselmitarbeiter und Drittleister)?
- 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?

Das Konsortium, wie in der Antragsstellung festgelegt, wurde während der Laufzeit des Projekts nicht geändert und besteht aus vier Partnern:

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

Im 2. Projektabschnitt hatten ACG und MSV als Enduser die Aufgabe die entwickelten Verfahren in einem effizienten Workflow in der MET-Systemumgebung zu integrieren, sowie geeignete HMIs für den meteorologischen Bereich als auch für ATM umzusetzen. Die Evaluierung und Validierung der Module und des gesamten Workflows waren ein weiterer Schwerpunkt.

Schwerpunkt der Entwicklungen beim Partner JR waren Matching- und Blending-Verfahren zur Kombination von Wettermodellinformationen mit der aktuellen Wetterlage. AIT setzte ihre Tätigkeiten im Bereich Tracking fort und entwickelten ein Extrapolationsverfahren auf Basis von Wetterradar zur Prognose der Wettersituation im Luftraum für einen Zeitraum von 2 Stunden. Alle Partner waren in der Integration der entwickelten Methoden involviert und konnten einen effizienten Workflow zur Bewertung des österreichischen Luftraums erstellen.

Neben geringfügigen Personalrochaden bei allen Partnern hat Martina Uray beim Partner JR das Projektteam vorübergehend verlassen (Karenz). Jochen Steiner konnte aber als neues Projektteammitglied bei JR gewonnen werden. Zwischen den Partnern MSV und ACG kam es im Rahmen einer Arbeitskräfteüberlassung zu einem Personalwechsel: Gregor Löscher ist mit 1.7.2015 von MSV zu ACG mit einem neuen Aufgabenbereich gewechselt, steht aber weiterhin dem Projektteam mit seinem Know-How zur Verfügung. Seine Projektaufgaben bei MSV wurden durch einen erweiterten Aufgabenbereich von Karin Hennermann, die Agenden des MSV-internen Projektmanagements von Juliane Petsch, sowie im IT-Bereich von Markus Grohmann übernommen.

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
- *Zusammenfassung für Veröffentlichung (optional)*
- *Programmspezifische Formulierung bezüglich Programmziele*

Angestrebte Verwertung

Wie bereits in Abschnitt 2.2 beschreiben, wird für 2016 ein Parallelbetrieb der richtungsabhängigen Klassifikation für das sigwx-Bulletin vorbereitet. In diesem Parallelbetrieb soll der Zusatznutzen quantifiziert werden und damit eine Referenz für weitere Verwertungsaktivitäten erstellt werden.

Parallel dazu wurde diese Methodik mit Flugverkehrsleitern der Deutschen Flugsicherung (DFS) diskutiert. In einem anschließenden Besuch im Area Control Center München wurde das Verfahren auch dem verantwortlichen DFS-Management vorgestellt. Derzeit sind weiterführende Verhandlungen im Laufen.

Ein interner Vergleich mit dem Eurocontrol Weather Resilience Tool hat auch deutlich bessere Performance dieser human-unterstützten Methodik für den österreichischen Luftraum ergeben; auch aus diesem Gesichtspunkt könnten sich interessante Verwertungsaspekte ergeben.

Publikationen

- 36th AMS Conference on Radar Meteorology, 2013, Breckenridge, CO (US): Austrian new dual polarized C-band weather radar network for aeronautical meteorology.
(<https://ams.confex.com/ams/36Radar/webprogram/Paper228821.html>).
- ERAD 2014 (<http://www.pa.op.dlr.de/erad2014/>), Garmisch-Partenkirchen (DE) – Oral: Analysis and Nowcast of Available Airspace for ATM.
- ÖAGM 2014 (<http://arxiv.org/abs/1404.6351>), Klosterneuburg – Poster: Improving weather radar by fusion and classification⁹.
- WWOSC 2014 (<http://www.wwosc2014.org/>), Montreal (CA) – Oral: From minutes to days: Seamless prediction of airspace capacity degradation for air traffic management.
- IBL Visual Weather User Group Meeting 2014, Melbourne (AU) – Oral: The Austrian approach towards the 4-D Weather Cube.
- ÖAGM 2015 (<http://arxiv.org/abs/1505.05286>), Salzburg: Measuring visibility using atmospheric transmission and digital surface model.
- AUTO METAR Workshop, May 2015, Toulouse (FR): Camera based aeronautical meteorological

⁹ Erwähnung auch im MIT Technology Review: <http://www.technologyreview.com/view/527231/algorithm-fixes-weather-radar-images-distorted-by-wi-fi/> und bei chip-Magazin: http://www.chip.de/news/Wettervorhersage-WLAN-sorgt-fuer-Radarfehler_69704504.html

observation technologies.

- 37th AMS Conference on Radar Meteorology, 2015, Norman, OK (US): Toward automatic convective products for aeronautical meteorology.
(<https://ams.confex.com/ams/37RADAR/webprogram/Paper276646.html>)
- Österreichischer MeteorologInnentag 2015, Wien: Vorhersage von Wetterbedingten Luftraumkapazitätseinschränkungen.
- 8th European Conference on Severe Storms – ECSS 2015, Wiener Neustadt: The impact of severe convection on air traffic and forecast products for air traffic control.

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)

Im Berichtszeitraum kam es beim Partner AustroControl zu leichten Anpassungen des Kostenplans. Laut Projektantrag waren GUI und Interfaces zur bestehenden Visualisierungslösung bei AustroControl als externer Auftrag (Drittkosten) bzw. SW-Zukauf vorgesehen. In der Projektrealisierung wurden diese Tätigkeiten durch Mitarbeiter von AustroControl intern umgesetzt. Eine Umschichtung der Anschaffungskosten für Software und der Drittkosten auf Personalkosten wurde beantragt und seitens FFG per ecall am 15.10.15 genehmigt.

Geringfügige Änderungen und Verschiebungen von zugeordnetem Personal zwischen APs sind bei allen Partnern zu verzeichnen und spiegeln die nötigen Kompetenzen und Verfügbarkeiten der Projektmitarbeiter wider.

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.

Für den Berichtszeitraum lagen keine spezifischen Auflagen vor. Die Auflagen hinsichtlich Abrechnungsmodalitäten sind in der Endabrechnung berücksichtigt.

7. Meldungspflichtige Ereignisse

Es lagen keine besonderen meldungspflichtigen Ereignisse vor.