

An die
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)
Bereich Thematische Programme
Empfang 4. Stock
z. H. Frau Vera Ellegast
Sensengasse 1
1090 Wien



ENDBERICHT

1. Projektdaten

| | |
|---|--|
| Kurztitel | DIBMETSAT-3D |
| Langtitel | 3D basierte Digitale Bildverarbeitung für Meteorologie-Services im Air Traffic Management |
| Projektnummer | 825601 |
| AntragstellerIn | JOANNEUM RESEARCH Forschungsges. m.b.H. Dr. Harald Ganster |
| ProjektpartnerInnen | 1. AIT Austrian Institute of Technology GmbH 2. Austro Control, Österreichische Gesellschaft für Zivilluftfahrt mit beschränkter Haftung 3. MeteoServe Wetterdienst GmbH |
| Fortlaufende Nummer des Zwischenberichts | Endbericht |
| Berichtszeitraum | von 01.07.2011 bis 31.07.2012 |
| Anzahl Forscher/Forscherinnen | Weiblich: 0,17 Total: 3,04 (VZÄ) Position (z.B. Projektleitung, -mitarbeit): Projektmitarbeit |

2. Projektverlauf

Es wurde eine kostenneutrale Verlängerung um 1 Monat beantragt und genehmigt. Dies war zum Abschluss der Tätigkeiten in AP5 und AP6 bzw. für Verwertungsaspekte (Patentfristen) nötig. Beim Partner Austro Control wurde eine Kostenumschichtung von FTE-Investitionen zu Personalkosten genehmigt.

3. Zusammenfassung

Analysen und kurzfristige Vorhersagen der Meteorologie bedeuten eine wesentliche Informationsquelle zur taktischen Planung im Air Traffic Management. Wetterradar, Meteosat-Bilder und lokale Wetterbeobachtungen liefern dabei relevante Aussagen über Niederschlag, Vereisungsgefahr, Gewittersituation und Sichtweiteninformationen im 3-dimensionalen Raum. Einerseits aufgrund der geografischen Lage Österreichs und andererseits aufgrund immer häufigerer Störungen der Messungen durch Fremdsignale (RLAN, etc.) ist eine zusätzliche Aufbereitung der Wetterradardaten notwendig.

Die digitale Bildverarbeitung hilft dabei Artefakte und Lücken in Wetterradarbildern zu erkennen und aufgrund vorbestandenem Wissens (aus Zeitserien-Analysen, lokalen Umgebungsanalysen und der Kombination mit Meteosat-Bildern) zu eliminieren bzw. zu ergänzen. Bedeckungs- und Sichtweiteninformationen werden an vordefinierten Referenzpunkten und Auswertungen von aktuellen Digitalbildern bestimmt. Die Analyse der dreidimensionalen Volumensdaten ermöglichte zusätzlich eine Strukturerkennung. Somit können schräg stehende Gewitterzellen oder mesoskalig typische Gefahrenmuster detektiert und diese Informationen entsprechend berücksichtigt werden (Abbildung 1).

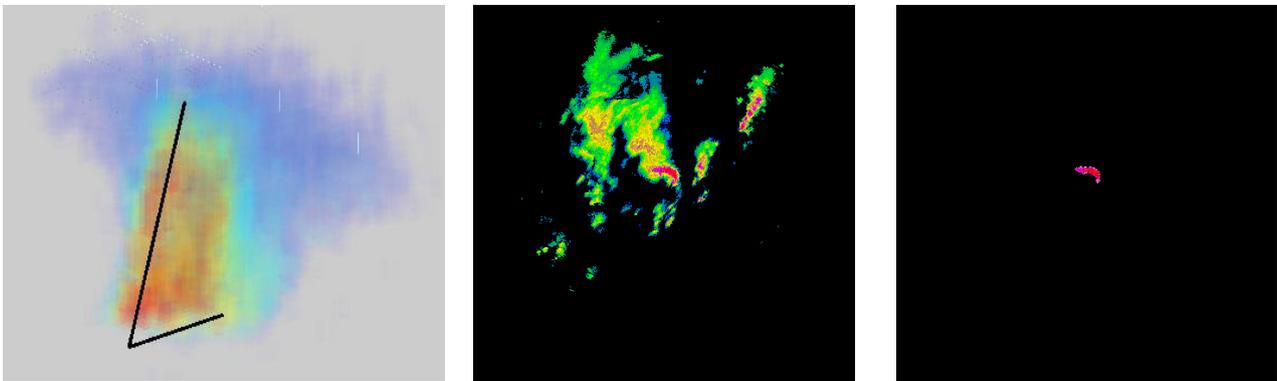


Abbildung 1: Erkennung von Gewitterstrukturen in WXR-Daten (Schräglage und Bow-Echo)

Unter zu Hilfenahme von digitalen Höhenmodellen (DEMs) und GIS-Daten konnten kamerabasierte Messungen von Sichtweiten und Bedeckungsinformation außerhalb der definierten Umgebung eines Flughafens durchgeführt werden. Als Alternative zur Messung mit Standard-Kameras wurden auch Thermalkameras eingesetzt. Dabei werden über die ermittelte Wolkentemperatur und zugeordneten Vertikalprofilen aus Modellen und Messungen die entsprechenden Höhenwerte abgeleitet (Abbildung 2).

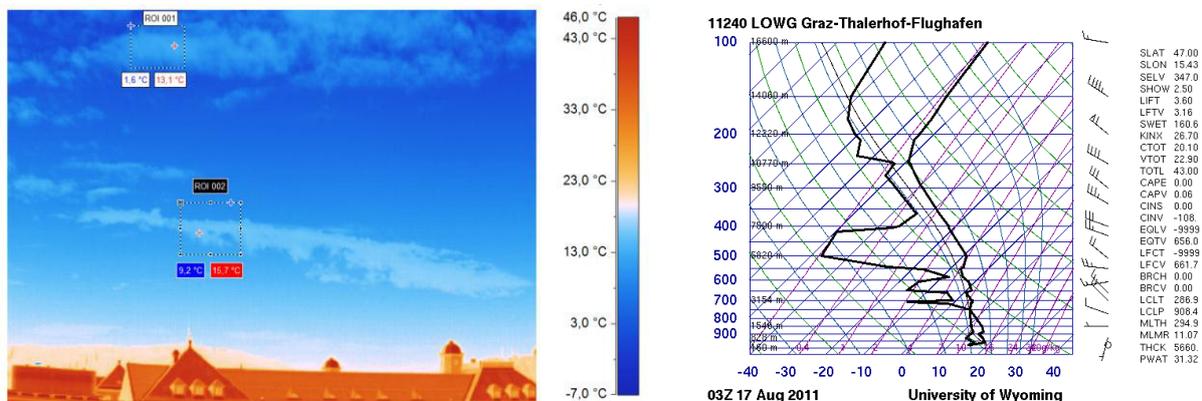


Abbildung 2: Thermalbild eines Stratocumulus und zugeordnetes Höhenprofil aus einem Radiosondenaufstieg

Die entwickelten Methoden wurden sowohl in den einzelnen Arbeitspaketen als auch in der integrierten Form getestet und validiert. Die im Vorläuferprojekt DIBMETSAT entstandenen 2D-Verfahren wurden mit den Methoden der 3D-Thematik kombiniert und an die MET-Systemarchitektur der Partner ACG und MSV angepasst. Somit steht nun ein semi-operationelles Analysesystem zur Verbesserung der Kurzfristvorhersagen in der Meteorologie zur Verfügung.

Die qualitative Verbesserung der grundlegenden Informationsquellen zur Wetterbeobachtung erlaubt eine frühzeitige Erkennung von Wetterphänomenen (z.B. Gewitter, Hagel, gefrierender Regen), wodurch eine Steigerung des generellen Safety-Levels herbeigeführt wird. Die zuverlässigeren Methoden und Verfahren erlauben eine bessere Planung und Überwachung des Luftverkehrs, und leisten damit zusätzlich Beitrag zu verringerten Delays und Holdings, was wiederum direkten Einfluss auf geringeren Schadstoffausstoß hat. Weniger Delays bedeuten auch eine Erhöhung der Kapazität und Kosteneffizienz. Bessere Vorhersagbarkeit wiederum bewirkt verringerte Wartezeiten für die Passagiere der Luftfahrtbetriebe.

4. Technisch-wissenschaftliche Beschreibung der Arbeit

4a. Ergebnisse und Meilensteine

Arbeitspaket 1: Management und Verwertung

Das Projekt konnte wie beantragt mit 1.7.2010 gestartet werden (Kickoff-Meeting am 2.7.2010 in Baden), wobei der Kooperationsvertrag bereits mit 2.6.2010 abgeschlossen wurde. Arbeitstreffen zur Diskussion aktueller Ergebnisse und Planung des Projektfortgangs wurden in Monatsabstand abgehalten (15.9.2010, 19.10.2010, 14.1.2011, 2.3.2011, 12.4.2011, 8.6.2011, 19.7.2011, 19.-20.9.2011, 25.11.2011, 17.1.2012, 23.4.2012, 14.6.2012, 18.7.2012), wobei diese teilweise mittels Videokonferenz durchgeführt wurden (1.2.2011, 29.3.2011, 17.5.2011, 30.8.2011, 21.10.2011, 13.12.2011, 14.2.2012, 27.3.2012, 22.5.2012). Für das projektinterne Controlling wurden Quartalsberichte vereinbart, welche Projektverlauf, Änderungen, und Ressourcenaufwände beinhalten. Der DIBMETSAT-Webshare für den Dokumenten- und Datenaustausch wurde erweitert. Ein Review-Meeting bei der FFG wurde am 24.5.2011 durchgeführt.

Im Bereich der Verwertung ist der Erhalt des Gender-Awards für das Projekt zu erwähnen. Die Patentaktivitäten aus DIBMETSAT wurden weitergeführt. Am 18.7.2011 erfolgten zwei Patentanmeldungen aus dem Bereich Wetterradar-Bildverarbeitung. Die Ergebnisse aus diesem Projekt und dem Vorgängerprojekt DIBMETSAT fließen in das im 8. TakeOff-Programm genehmigte Projekt FUSEMET ein.

Eine Aufstellung der durchgeführten Aktivitäten im Bereich Dissemination und Exploitation der Projekthinhalte ist in Abschnitt 5 angeführt.

Arbeitspaket 2: ATM-Requirements an 3D Processing

Die Austro Control betreibt für die Abwicklung eines sicheren und effizienten Luftverkehrs den einzigen Wetterradarverbund in Österreich (Abbildung 3). Mittels Wetterradar wird anhand der Rückstreuung an Wolkenpartikeln die empfangene Signalstärke des gepulsten Signals im Mikrowellenbereich auf ein Niederschlagsäquivalent rückgerechnet und folglich ein räumlich und zeitlich hoch aufgelöster drei dimensionaler Ist-Zustand der Troposphäre (für die österreichische FIR ca. 1,35 Mio km³) geboten.

Ein „State of the Art“ Report zum Thema Wetterradar und 3D Bildverarbeitung (D2.3_SoA_WXR3D-BV) wurde erstellt und beinhaltet Bildverarbeitungsverfahren im Bereich der 3D-Analyse von meteorologischen Daten.

Weather Radar Network Austria (operated by )

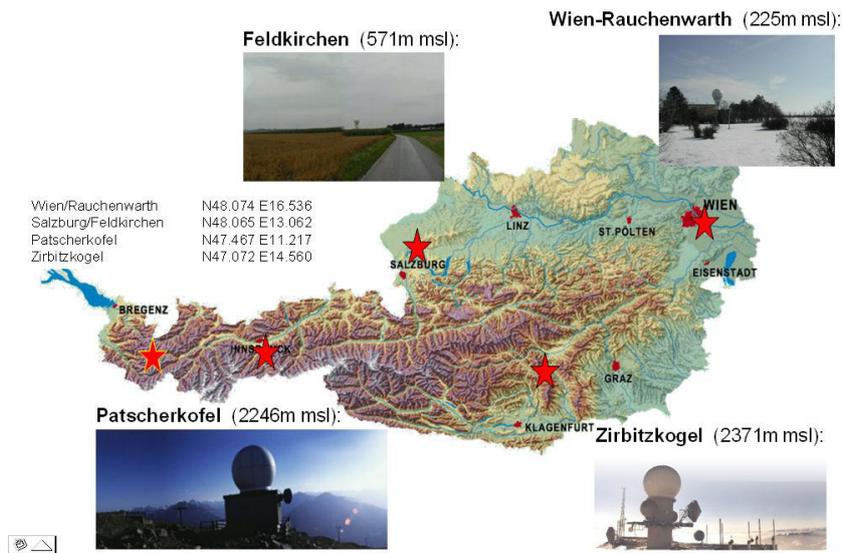


Abbildung 3: Österreichisches Flugwetter-Wetterradarnetz (Kaltenböck, 2007)

Die in den Volumsdaten enthaltene Zusatzinformation soll helfen, Artefakte und Störungen in Wetterradarbildern besser abzugrenzen, insbesondere die Überlagerung von Störungen und realen Niederschlagsechos sollten dadurch besser erkannt werden. Dazu wurde schwerpunktmäßig untersucht, wie Artefakte und diverse Störungen in 3-dimensionalen Wetterradar-daten automatisch detektiert und räumlich möglichst genau eingegrenzt werden können. Parallel dazu wurden, wie bereits in DIBMETSAT bewährt, die Daten der zwölf Meteosat Second Generation (MSG) Datenkanäle zur unterstützenden Korrektur verwendet.

Im Gegensatz zu den in DIBMETSAT verwendeten Maximum-CAPPI-Projektion der Radarreflektivitäten (2D Projektion) stehen im DIBMETSAT-3D für den gesamten Luftraum unterschiedliche 3D-Produkte zur Verfügung.

- i. Kartesische Koordinaten – VolCAPPI: Bei jeder 360° Drehung der Antenne wird eine Elevation vollständig erfasst, wobei insgesamt 16 Elevationen gescannt werden. Damit stehen pro Radarstandort Daten in einem Radius von etwa 224km bis in eine Höhe von 16km zur Verfügung. Somit ergibt sich eine 3D-Überdeckung von 824x648x16 km (vgl. Abbildung 4). Die Daten werden dabei als 16 Schichtbilder im PNG-Format gespeichert.

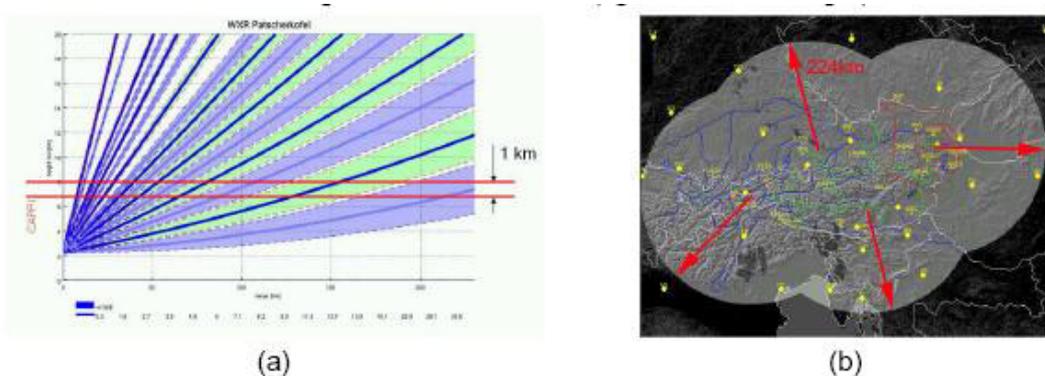


Abbildung 4: Generierung der 3D Volumsdaten. (a) Scankonzept mit Herauslösung einer 1km breiten Zone auf konstanter Höhe (=CAPPI, rote Linie), (b) zusammengesetztes Composite-Bild mit Reichweiten der einzelnen Wetterradaranlagen von 224 km.

- ii. Polarkoordinaten/ B-Scope: Aufgrund der Scanstrategie eines Wetterraders und der Datenerfassung in Polarkoordinaten lassen sich für konstante Elevationen als Draufsicht ein PPI (Plan Position Indikator), und ein B-Scope (Range als Funktion des Azimutes) zur weiteren Datenverarbeitung und Analyse erzeugen. Ein Beispiel eines RLAN-Störsignals bei regenfreiem Wetter in Polarkoordinaten ist in Abbildung 5 gezeigt.

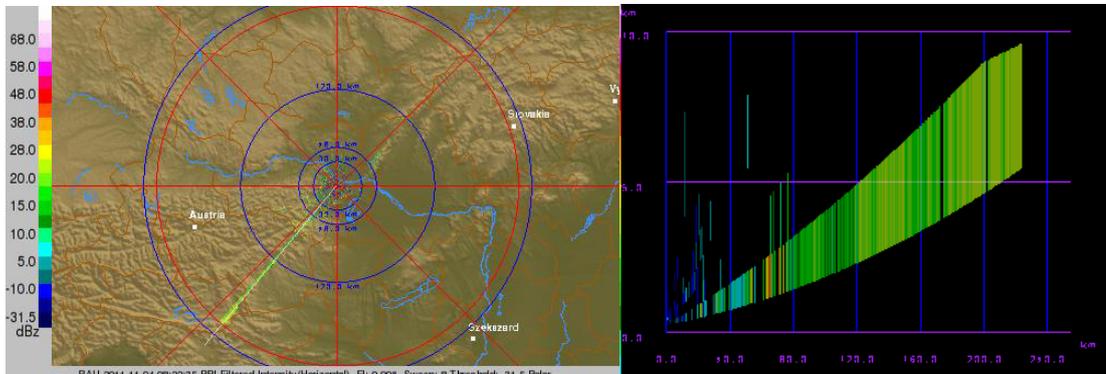


Abbildung 5: Beispiel eines RLAN Störsignals in Polarkoordinaten. Links: Reflektivitäts-PPI von 1° Elevation (Radarreichweite 224km). Rechts: Querschnitt (RHI) durch den gestörten Bereich.

Da dieses Format während der Laufzeit von DIBMETSAT-3D nur begrenzt zur Verfügung stand, wurde es nur in einigen Beispielen für Detailanalysen eingesetzt.

- iii. Composite und Einzelstationen: Im Composite werden alle Maximumwerte (z.B. Reflektivität) mehrerer Radarstationen überlagert. Dadurch ist eine Zuordnung einer Störung auf einzelne Stationen schwierig. Aufgrund der unterschiedlichen Radarreichweiten, Abschattungsbereichen sowie der unterschiedlichen Höherfassung der einzelnen Wetterradarstationen können 3-dimensionale Informationen helfen, diese zu unterscheiden. Im Projekt wurden auf Einzelstationen basierende Analysen durchgeführt.

Die 3D-Wetterraddaraten ermöglichen außerdem eine Strukturerkennung (Abbildung 6) der Gewitterzelle. Daraus lassen sich mesoskalige Strukturen sowie der Lebenszyklus eines Gewitterkomplexes bestimmen, woraus letztendlich Gefahren für die Luftfahrt sowie Verlagerung und Lebensdauer abgeleitet werden können.

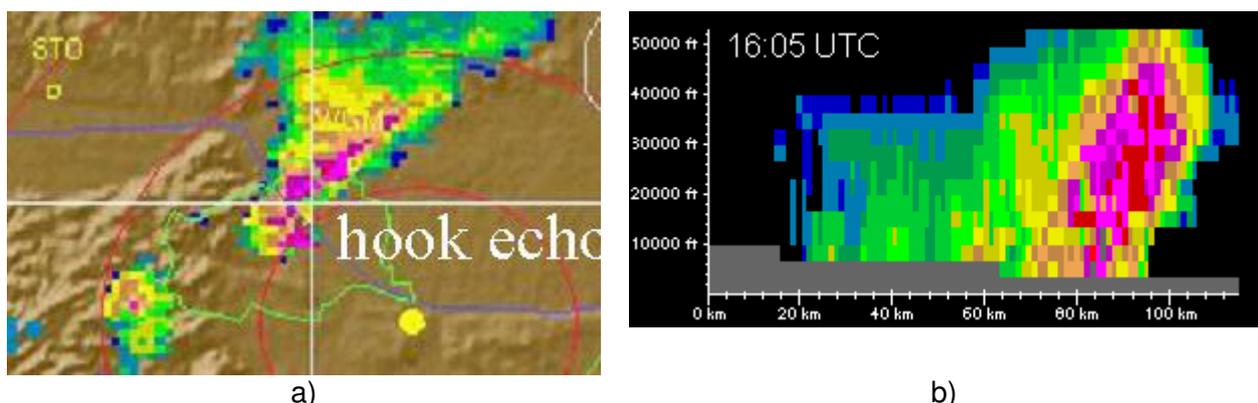


Abbildung 6: Wetterradarbilder: a) Hakenechostruktur einer Superzelle über Wien (Grundriss). b) Der Querschnitt durch einen Gewitterkomplex zeigt die aufgrund von Windscherung verursachte Schräglage der Gewitterzelle. (Kaltenböck, 2005¹)

¹ Kaltenböck, R., 2005. Nowcasting of thunderstorms using mesoscale modified low level wind shear. WMO World Weather Research Program Symposium on Nowcasting and Very Short Range Forecasting, Meteo France, Toulouse, France.

Konkret soll untersucht werden, ob die Bildverarbeitungsmethoden folgende Strukturen erkennen können:

- i. Unterscheidung zwischen konvektiven und stratiformen Echos: hohe räumliche Gradienten der Intensität auf wenigen Kilometern weisen auf Blitzentladungen und Hagel hin.
- ii. Schräglagen von Echos: Rückschlüsse auf die Windscherung.
- iii. Bow/Hook-Echos (gekrümmte Strukturen): Gekrümmte Echoanordnungen hoher Intensität (Abbildung 6a) geben klare Rückschlüsse für das Auftreten von Superzellen welche mit außerordentlich großem Hagel und eventuellen Tornados verbunden sind. In größerer Horizontalausdehnung über 10 km stehen diese „Bow“-Echos (Abbildung 7) in Verbindung mit den für die Luftfahrt gefährlichen Böenlinien (Gewitterfallwinden mit plötzlicher Winddrehung/Windzunahme).

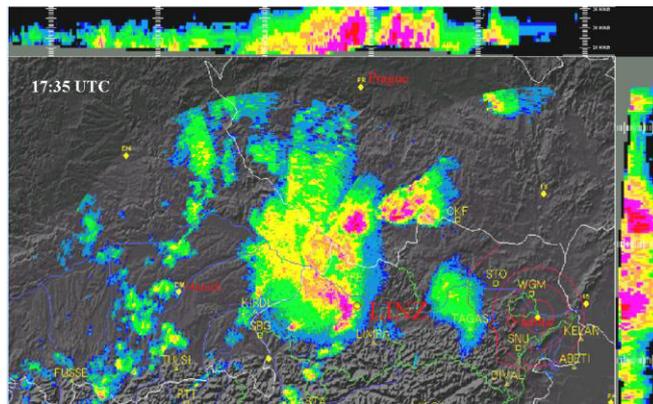


Abbildung 7: Reflektivitätsmuster eines Bow Echos westlich von Linz in der Maximumprojektionsdarstellung.

Bei der Analyse der dreidimensionalen Volumsdaten soll die 3D-Struktur der Reflektivitätsdaten bei der Ausgabe erhalten bleiben. Dem Eingangsformat entsprechend soll die Ausgabe in PNG abgelegt werden mit entsprechender Beschreibung der Klassifizierung bei Neuordnungen (z.B. Qualitätsindex).

Beim meteorologischen Phänomen Niederschlag lässt sich – wenn überhaupt – nur sehr aufwendig eine „ground truth“ bestimmen (auch Bodenmessungen sind meist mit Messfehlern - etwa durch Winddrift, Verdunstung oder repräsentativer Standort - behaftet). Als Validierungsmethoden kommen daher unterschiedliche Verfahren zum Einsatz, wie z.B.:

- „cross validation“: Aus dem Radarbild werden willkürlich Teile herausgeschnitten, die zu validierende Methode sollte in der Lage sein, diese durch eine intensive Regenzelle radial den Radarstrahl weiter folgend gedämpfte Bereiche durch Ausbreitungsdämpfung zu rekonstruieren.
- Einzelstationen: Durch die nun mögliche Bereitstellung von drei dimensional Wetterradar Daten der einzelnen Stationen (4 Wetterradarstandorte) anstatt eines gesamten, österreichweiten Composite können nun die Daten untereinander verglichen werden.
- Testdatensatz: manuelle Beurteilung und Kennzeichnung von Störsignalen und Lücken in Wetterradarbildern.
- Betrachtung von Summenbildern: Über längere Zeiträume aufsummierte korrigierte Bilder werden mit den korrespondierenden nicht korrigierten Summen verglichen, der subjektive Vergleich sollte aussagekräftige Hinweise liefern.

3D-Analyse von Kamera-Bildern

Flugwetterbeobachtungen setzen sich aus direkten Messwerten wie Wind, Temperatur oder Druck sowie bei konventionellem Vorgehen durch den Menschen beobachtete Elemente wie Sichtweite, Wettererscheinung sowie Bewölkungsinformation zusammen. In METAR-Meldungen wird diese Information zur Verwendung in der Luftfahrt verschlüsselt (WMO, Manual on Codes²).

Basierend auf den Ergebnissen von DIBMETSAT werden die kamerabasierten Verfahren (AP5) erweitert, um Wetter-Messungen und Informationen abzuleiten, die nicht ausschließlich in der definierten Umgebung eines Flughafens stattfinden. Dazu sollen anhand von Topographie-Daten (vor allem digitalen Höhenmodellen) entsprechende Werte abgeleitet werden. Voraussetzung dafür ist die Information über die genaue Position der Kameras. Aus Karten und Geländemodellen wurden entsprechende Sichtmarken für diese Kamerapositionen abgeleitet. Weitere manuelle Kalibrierungen bzw. Konfigurationen sind nicht notwendig, d.h. auch die Ausrichtung der Kamera sowie relevante Sichtmarken können bereits mit den Algorithmen bestimmt werden.

Das Ergebnis der Messungen wurde in METAR- bzw. MET Report ähnlichem Code in ASCII mit entsprechender Datums/Uhrzeitinformation abgelegt. Zusatzinformationen, die durch die automatische Generierung entstehen (Minimum, Maximum, bzw. Verteilungen anstelle eines Singulärmesswerts), ermöglichen eine verbesserte Gesamtinterpretation der Wetterlage.

Als Referenz standen an den Flughäfen alle 30 Minuten die offiziellen Beobachtungsmeldungen eines geschulten Beobachters der Austro Control zur Verfügung. Außerdem bestand die Möglichkeit diese Informationen mit Messwerten der Austro Control (Sichtweite und Ceilometer) abzugleichen. Einmal am Tag stehen in Linz, Graz und Innsbruck auch Radiosondendaten zur Verfügung. Eine 100% Übereinstimmung kann natürlich nicht erwartet werden, da den Referenzwerten die integrativen Möglichkeiten der manuellen Beobachtung zugrunde liegen.

Arbeitspaket 3: Topographie & Dataprocessing

Dieses AP diente der Aufbereitung und Bereitstellung der benötigten Daten für AP4 und AP5. Dazu zählen einerseits die Analyse verfügbarer topographischer Karten, DEMs, DGMs, welche ihren Einsatz im Bereich der kamerabasierten Messungen finden (AP5). Andererseits wurden auch die benötigten Radardaten für AP4 vorbereitet. Hierfür wurde als erster Schritt eine Analyse relevanter 3D-Datenformate durchgeführt und Datenformate aus dem meteorologischen Bereich (BUFR, HDF5) 3D-Datenformaten der Bildverarbeitung (u.a. medizinische BV: DICOM) gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung der Datenformate ist in D3.1_FileFormats.ppt dokumentiert. Als Standard, der auch im europäischen Raum (OPERA3 - Operational Programme for the Exchange of weather RADar information) weitgehend eingesetzt wird, wurde BUFR-Code als Format festgelegt. Da die Daten aufgrund Umstellungsproblematiken noch nicht in diesem Format verfügbar sind, werden derzeit Höhen-Schichtbilder (im PNG-Format) zum Datenaustausch verwendet (vgl. auch AP2). Diese ähneln medizinischen Schichtbildern, und können somit leicht in der vorhandenen 3D-Visualisierungsumgebung verwendet werden.

Als Datensätze für die Entwicklung und Verifikationstests in DIBMETSAT-3D wurden Wetterradar (WXR), Satelliten (MSG) und Webcam-Bilddaten festgelegt und seitens der Meteorologiepartner ACG und MSV zur Verfügung gestellt. Dabei stehen bei den MSG-Daten 12 spektrale Kanäle und bei den Radardaten sowohl 2D-Projektionen als auch 16 Schichtbilder sowohl für Gesamtösterreich (Composite) als auch für jede Radarstation gesondert zur Verfügung. Der Zeitraum umfasst insgesamt 6 Monate mit der Aufteilung Dezember2010-Februar2011 bzw. Mai-Juli2011 um sowohl Winter- als auch Sommercharakteristiken im

² <http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes.html>

Datensatz abzubilden. Als Verifikationsgrundlage wurden für diesen Zeitraum auch die entsprechenden offiziellen METAR-Meldungen bereitgestellt.

Ergänzend zum „Standard“-Datensatz wurden für spezielle Tests auch Beispieldaten zusätzlicher meteorologischer Produkte (z.B. CloudMask), anderer Formate (NetCDF, HDF5) bzw. aus anderen Zeiträumen evaluiert. Diese dienten einerseits der Kompatibilitätsprüfung der Algorithmen auf unterschiedlichen Eingangsdaten (Rohdaten) bzw. andererseits der Erkennung spezieller Strukturen (vgl. auch AP2 und AP4), die nicht im Standardsatz repräsentiert waren.

Im Bereich der kamerabasierten Messungen werden aus topographischen Modellen und Zusatzinformationen automatisch Punkte extrahiert, welche als Sichtmarken für Weitenmessungen verwendet werden. Höhenmodelle stehen dabei grundsätzlich in Auflösungsbereichen von 1m (3D Airborne Laserscanner - ALS) bis zu 90 m (SRTM) zur Verfügung, wobei die Auflösung der Modelle des Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) mit 25m Genauigkeit für die Projektzwecke ausreichend waren. Im Bereich um den Flughafen Graz (Seiersberg) konnte seitens JR ein Laserhöhenmodell für die Projektzwecke genutzt werden (Abbildung 8), welches gut den Sichtbarkeitsbereich der Webcam vom Tower Graz nach Süden abdeckt.

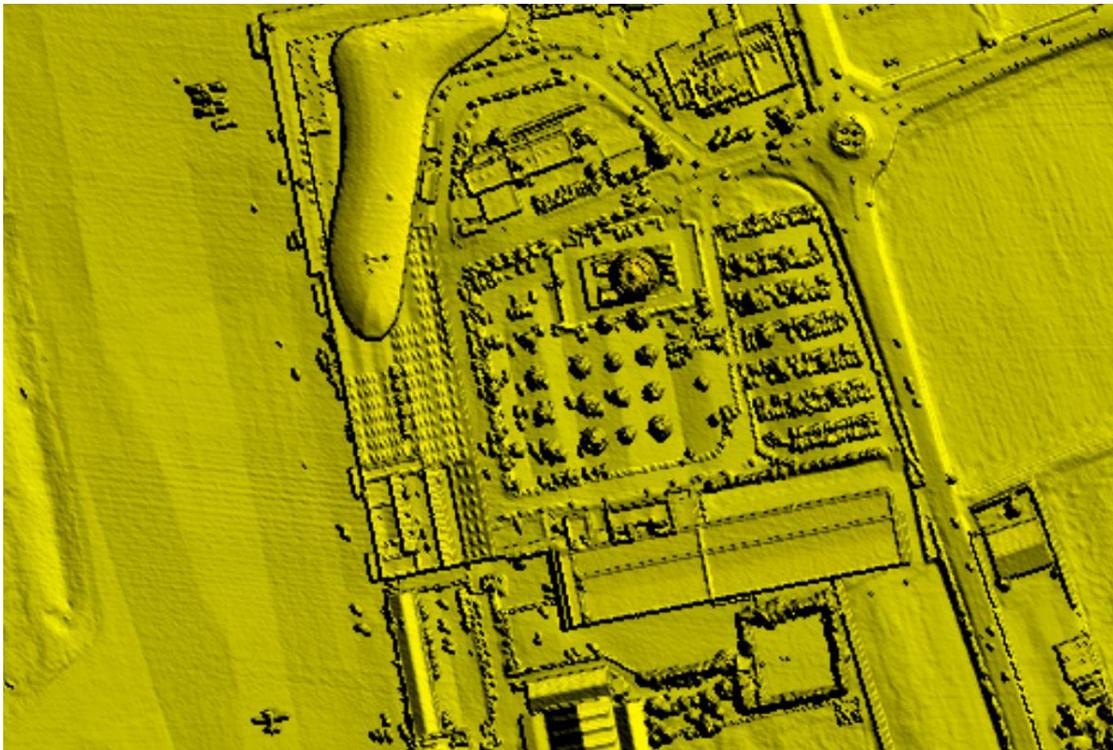


Abbildung 8: Ausschnitt des verwendeten Lasermodells im Nahbereich des Grazer Towers

Als Zusatzinformationen stehen im Nahbereich von Flugstraßen seitens ACG auch Hinderniskarten (vgl. Abbildung 9) zur Verfügung. Diese beinhalten Position, Höhe und Angaben über Art des Hindernisses für den Flugverkehr (z.B. Türme, Masten). Diese Punkte bzw. aus den topographischen Modellen extrahierte Punkte, welche im Sichtbereich einer Kamera liegen, kommen damit als mögliche Referenzpunkte für die Weitenmessung in Frage.

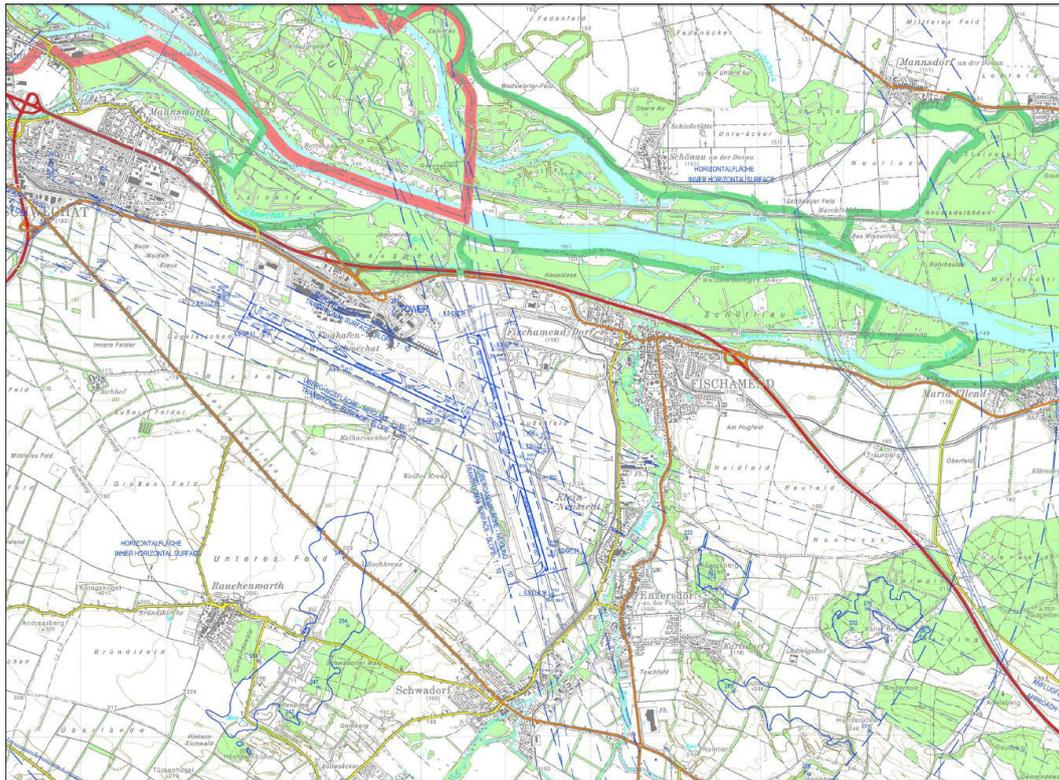


Abbildung 9: Ausschnitt einer Hinderniskarte (Bereich Schwechat)

Arbeitspaket 4: 3D WXR Processing

In diesem Arbeitspaket wurde untersucht wie die von den Meteorologen für die Wetteranalyse und Wetterprognose als Hauptinformationsdatenquelle verwendeten 2D-WXR-Bilder (Maximalprojektion) mit meteorologisch wertvollen Zusatzinformationen, die aus 3D-WXR-Daten und MSG-Daten extrahiert werden, verbessert werden können. Dazu wurden diverse Algorithmen in MATLAB entwickelt und in einem C-Experimentalsystem implementiert.

Visualisierung von 3D-WXR-Daten

Zur Entwicklung der Verarbeitungsmethoden und für die Auswahl von 3D-WXR-Daten ist die Visualisierung von 3D-WXR-Daten wichtig. Für die Visualisierung wurde einerseits ein bestehendes Programm seitens einer Eigenentwicklung von JR aus der medizinischen Bildverarbeitung für die Verwendung von WXR-Daten adaptiert. Dieses Programm erlaubt eine vielseitige interaktive Darstellung und Analyse von Eingangsdaten und Endergebnissen (z.B. beliebige Schnittebenen, unterschiedliche intensitätsbasierte Volumsdarstellungen). Andererseits wurden Skripts in MATLAB geschrieben die eine Darstellung von 3D-Eingabedaten, Zwischenergebnissen und Ausgangsdaten erlauben. Die Darstellung in MATLAB ist weniger interaktiv und somit für die Auswahl großer relevanter Datensätze (durch Meteorologen) eher weniger geeignet. MATLAB eignet sich aber gut für die Entwicklung von Algorithmen zur Verarbeitung von 3D-WXR-Daten oder zur Auswahl kleiner Datenmengen. Beispiele für beide Darstellungsarten sind in Abbildung 10 aufgezeigt.

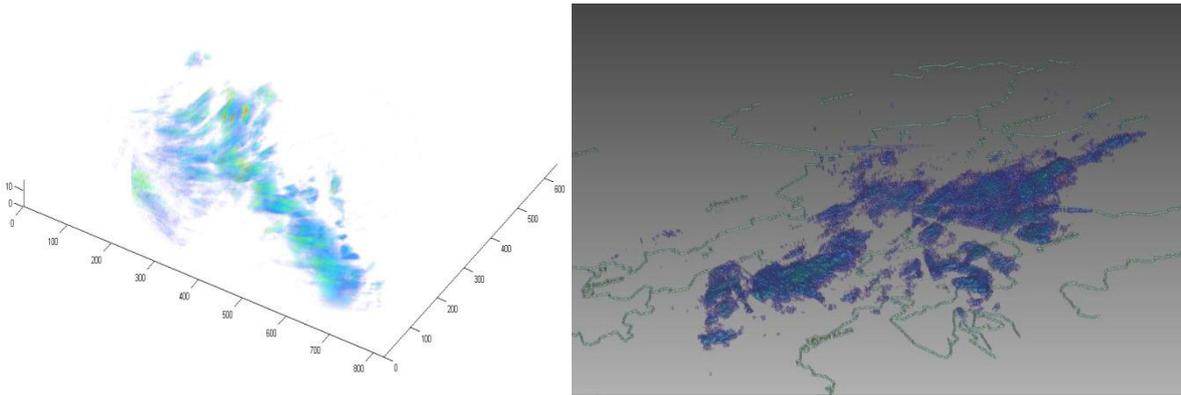


Abbildung 10: Darstellung von 3D-WXR-Daten in MATLAB (links) und im interaktiven JR-Tool (rechts)

Die Visualisierungsmodule erlauben das gleichzeitig Darstellen von 3D-WXR- und MSG-Daten (Abbildung 11), womit u.A. die Genauigkeit der zeitlichen und räumlichen Registrierung gezeigt werden kann.

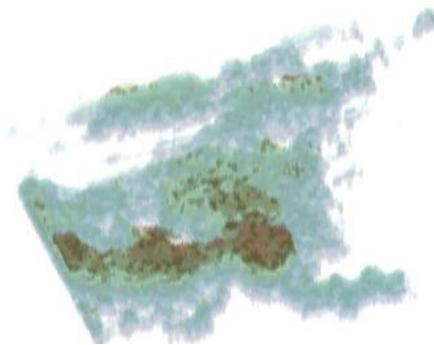


Abbildung 11: Kombinierte Darstellung von 3D-WXR-Data (gelb-rot) und MSG-Data (blau)

Informationsextraktion aus 3D-WXR-Daten

Es wurden Methoden entwickelt um meteorologisch relevante Daten zu extrahieren, wie z.B. Schnitte durch die 3D-Daten (Abbildung 12). Zusätzlich wurden unterschiedliche Methoden zur Filterung der 3D-Daten entwickelt, die als Vorverarbeitungsschritte für die 3D-WXR-Prozessierung dienen, z.B. die Glättung der 3D-Daten durch Gaußfilter (Abbildung 13) oder die Errechnung von Gradienten-Informationen in 3D (Abbildung 14). Zur Informationsextraktion aus 3D-WXR-Daten wurde die in DIBMETSAT verwendete „non-rigid“ Methode zum Tracking von Bildbereichen auf 3D erweitert und dessen Laufzeit evaluiert. Die Non-Rigid Tracking-Methode wurde aber auf Grund der extrem hohen Laufzeit (>5 Stunden pro Volumen) nicht weiter verfolgt. Als weniger rechenintensive Alternative dazu wurde ein Tracking über lokale Maxima in 3D untersucht. Dabei wurden basierend auf den Ergebnissen der Gauß-Filterung lokale Maxima in 3D detektiert (Abbildung 15), welche darauffolgend als Startpunkte für die 3D-Tracking-Verfahren (Abbildung 16) dienen.



Abbildung 12: Schnitt durch 3D-Daten

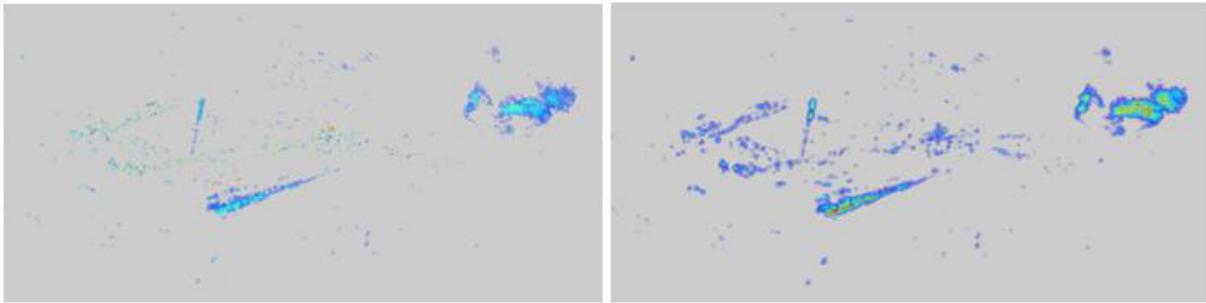


Abbildung 13: Eingangdaten (links) und geglättete Daten durch Anwendung eines Gaußfilters

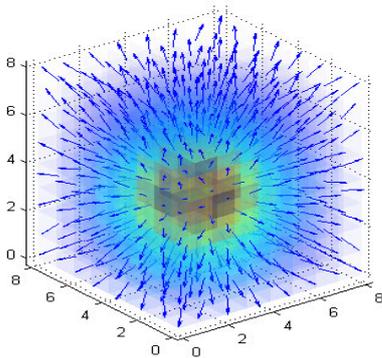


Abbildung 14: Normierte Gradientenstärke in 3D

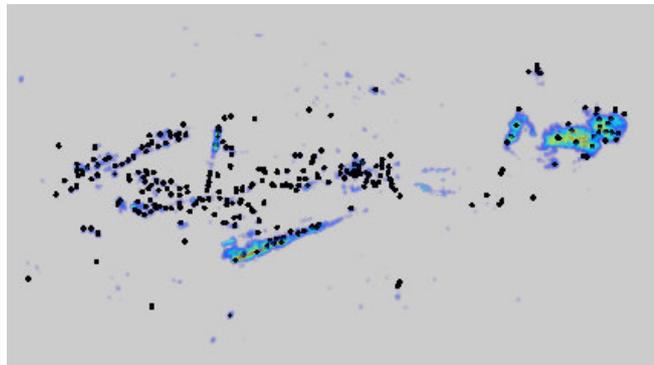


Abbildung 15: Für Tracking relevante lokale Maxima in 3D-WXR-Daten

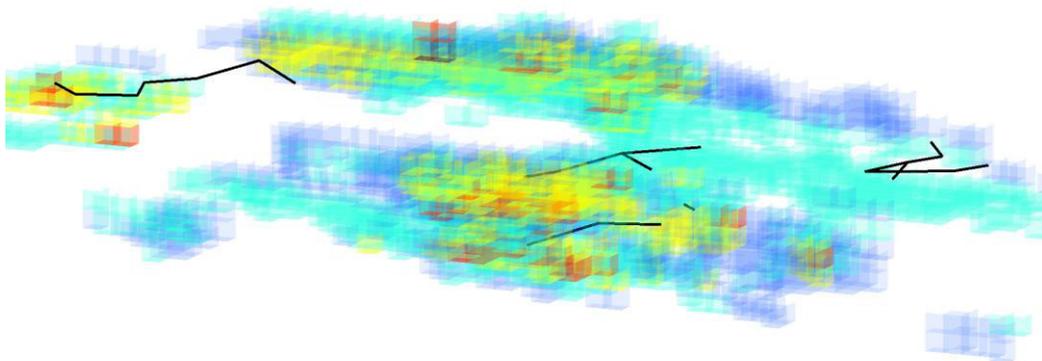


Abbildung 16: 3D-Tracking von lokalen Maxima in WXR-Daten

Störungsdetektion in 3D WXR-Daten

Die Störungsdetektion in 3D-WXR-Daten betrifft im Wesentlichen dieselben Artefaktklassen, welche schon Aufgabenstellung von DIBMETSAT (2D-Analyse) waren. Aufgrund der Problematik von Überlagerungen bzw. gemeinsamer Betrachtung aller Erfassungsbereiche in einem projizierten 2D-Bild leidet die Robustheit der Artefakt-detektion in 2D. Ein erster Schritt zur 3D-Artefakt-detektion war die genaue Analyse wie sich Störungsarten in 3D verhalten bzw. bei welchen Störungsarten die 3D-Information gegenüber der 2D-Erkennung Informationsgewinn bewirkt. Eine Zusammenfassung dieser Analyse ist in Tabelle 1 dargestellt.

| | |
|-----------------------------------|---|
| Flugzeugechos | Wird über Statistik in den Rohdaten gefiltert |
| Clear-Air Echos (Insekten, Vögel) | Verwendung von SAT-Bildern zur Filterung |
| RLAN, Sonnenechos | 3D-Erscheinung, Filterung über 3D-Hough-Transformation |
| Brightband | Wenig relevant in 3D, Masken aus Radarvorverarbeitung verfügbar, Auffüllung über Transferfunktion |
| Sekundärechos | in einzelnen Höhenschichten als Struktur erkennbar |
| Militärische Störungen | Evtl. als 3D-Signal erkennbar |
| Kreisförmige Störungen | Ziehen sich über mehrere Elevationen |
| Abschattung und Dämpfung | In Elevationen klarer erkennbar |

Tabelle 1: WXR-Artefakte, 3D-Verhalten und mögliche Erkennung

Zur Artefaktdetektion wurden die geeigneten 2D Algorithmen aus DIBMETSAT auf ihre Anwendbarkeit im 3D-Fall untersucht. Da die texturbasierten Analysen für die Volumensdaten zu zeit- und rechenintensiv sind, wurden vor allem die geometrischen Analysen für die 3D-Anwendung adaptiert bzw. Alternativverfahren neu entwickelt (z.B. 3D-Hough-Analyse).

Die 3D-Hough Transformation dient der Erkennung geometrischer Strukturen im 3D-Volumen und ist daher optimal geeignet um die kreisförmigen und kegelförmigen Artefakte (RLAN, Sonnenechos) zu detektieren. Zur Erkennung kegelförmiger Strukturen werden auf einer Kugeloberfläche die Beiträge eines 3D-Voxels zu einer Kegelfläche eingetragen und darauffolgend nach einem Akkumulatormaximum gesucht. Dieses repräsentiert die Position, Richtung und Öffnungswinkel des Kegels ausgehend von einer Radarstation im Zentrum der Kugel (Abbildung 17).

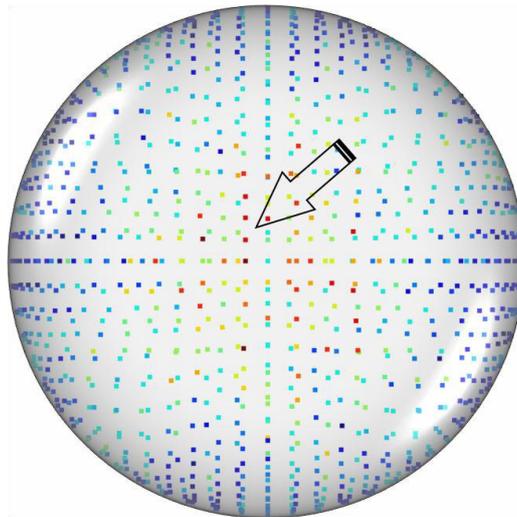


Abbildung 17: Akkumulatorspace für einen Kegel. Die Farbskala repräsentiert die Anhäufung der Kegelpunkte (rot bedeutet höhere Wahrscheinlichkeit). Das Maximum (Pfeil) entspricht der Kegeldirection.

Dieses Verfahren wird auf jede einzelne Radarstation angewandt, und ermöglicht somit die Erkennung kegelförmiger Artefakte im 3D-Raum. Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen zwei Ansichten der erkannten RLAN-Artefakte.

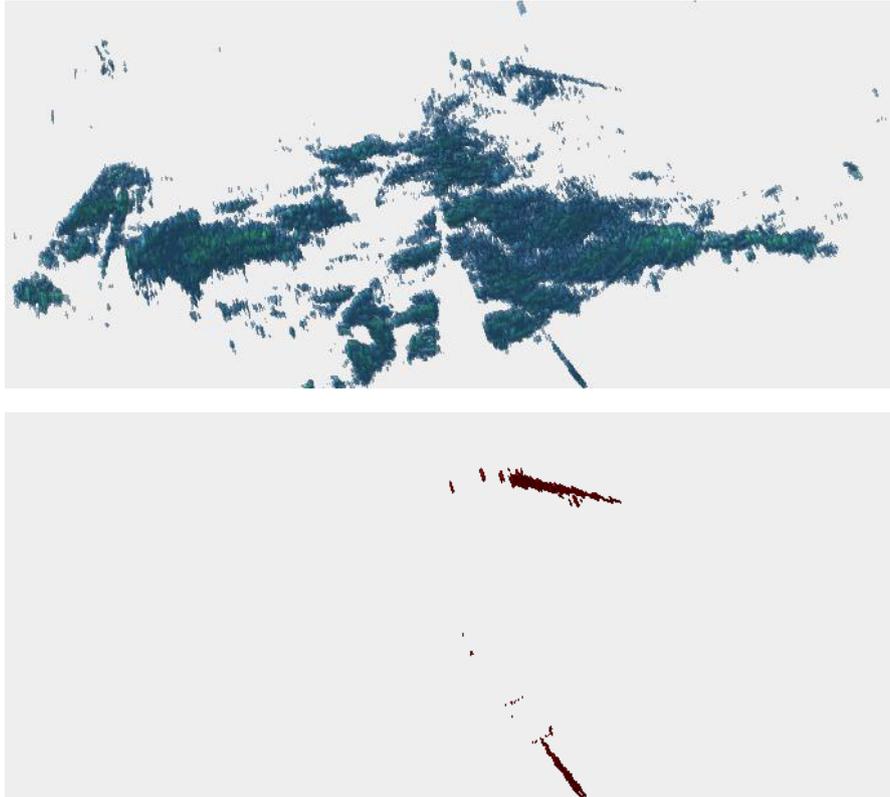


Abbildung 18: RLAN-Artefakterkennung mit 3D-Hough, Original (oben), detektierte Artefakte (unten)

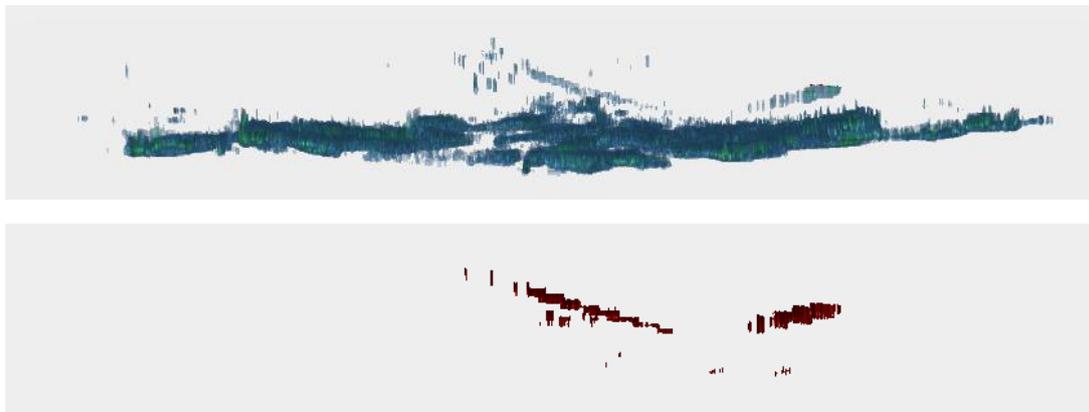


Abbildung 19: RLAN-Artefakterkennung mit 3D-Hough (Seitenansicht), Original (oben), Artefakte (unten)

Abschattungsbereiche aus DEM-Daten (WXR-Maske)

Die orographischen Abschattungsbereiche konnten durch das Prinzip der Radarerfassung und darauffolgender Maximums-Projektion im 2D-Fall nur bedingt erfasst werden. Bei gleicher geographischer Position befinden sich Zellen in niedrigen Höhenschichten im Abschattungsbereich, während Zellen in höheren Schichten vom Radar erfasst werden und damit im WXR-Bild erscheinen. In diesem Projekt wurde daher ein Ansatz verfolgt, welcher jede Radarstation separat betrachtet, und für alle Höhenschichten individuelle Masken erstellt. Mithilfe von Höhenmodellen (DEM) konnten ausgehend von der geographischen Position Sichtbarkeitsbereiche (sogenannte Viewsheds) errechnet werden. Die orographischen Einflüsse in den unteren Schichten sind in den Beispielbildern einer Einzelstation (Abbildung 20) deutlich erkennbar. Diese Masken bzw. deren Kombination zu einem Composite-Bild (Abbildung 21) für die Höhenschichten über Gesamtösterreich bilden die Basis für die Auffüllung der Abschattungsbereiche im 3D-WXR.

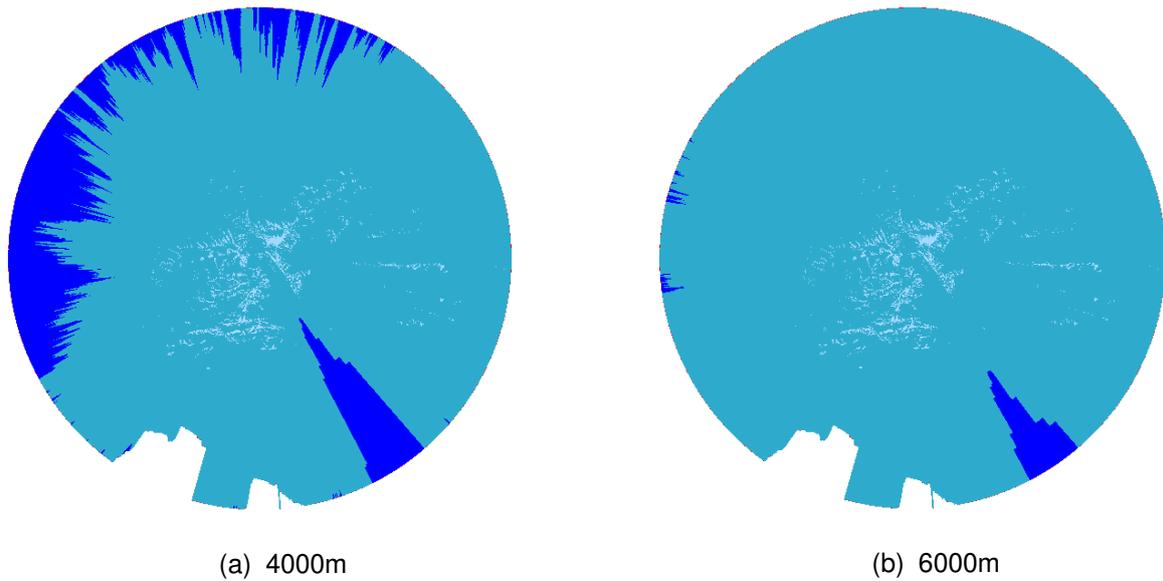


Abbildung 20: Viewshed-Berechnung in 2 Höhengschichten am Beispiel der Radarstation am Zirbitzkogel.



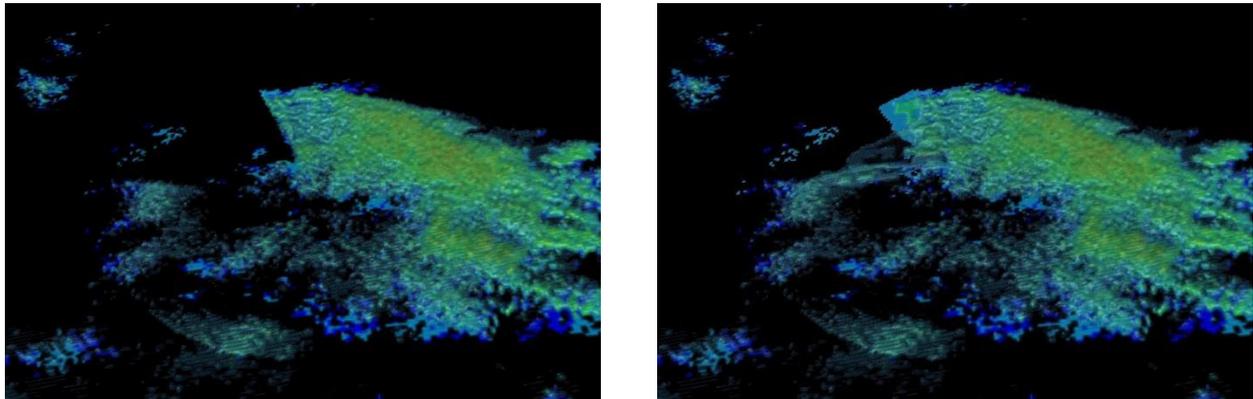
Abbildung 21: Orografische Abschattungen (rot) und vom Radar erfasste Bereiche (grün) in einer Höhe von 4000m.

Schichtbasierte Korrektur von WXR-Daten

Für die Korrektur der WXR-Daten stehen Meteosat (MSG)-Daten zur Verfügung. Um die Möglichkeit einer Zuordnung von MSG-Daten zu WXR-Höhenschichten zu untersuchen, wurde ein Höhenprofil (Temperatur / Höhe) angewendet. So ergab sich für die Infrarot-basierten MSG-Kanäle eine Schätzung der Höhe der Bewölkung. Für die Korrektur von 3D-WXR-Daten waren diese Resultate wegen der niedrigen Genauigkeit des Höhenprofils nicht direkt geeignet. Nach einer Einteilung der Höhen in die Klassen „tief“, „mittel“ und „hoch“ konnten die Resultate zur Plausibilisierung der WXR-Daten eingesetzt werden (vom Wetterradar gemessene Reflexionen können nur dort auftreten wo auch Bewölkung vorzufinden ist).

Anhand der aus den DEMs abgeleiteten Masken kann für jeden der 16 WXR-Schichten eine automatische Korrektur vorgenommen werden. Dazu wurde die Methode aus DIBMETSAT neu-parametriert und

angewendet. Die Resultate zeigen, dass die Methode über Klassifizierung der Satelliten-Daten auch für 3D-WXR-Daten sinnvolle Resultate liefert. Eine qualitative Analyse zeigte, dass die Auffüllung pro Schicht ähnlich gute Resultate lieferte wie die Auffüllung der Maximal-Projektion aus DIBMETSAT.



(a)

(b)

Abbildung 22: Original 3D-WXR-Daten (a) und aufgefüllte 3D-WXR-Daten (b)

WXR-Struktureerkennung

Ein Aufgabenbereich der WXR-Analyse war die Erkennung relevanter Strukturen, die Anzeichen für starke Gewitter sind. Die Detektion von Schräglagen (Windscherung) und Erkennung von Bow-Strukturen sind im Folgenden erläutert.

Zur Erkennung der Schräglage wurden zwei Ansätze basierend auf lokaler Maximumdetektion verfolgt. Die erste Variante ist eine globale 3D-Betrachtung, wobei mit Hilfe von detektierten lokalen Maxima in 3D und Segmentierung der Volumen-Inhalte die meteorologisch relevante Schräglage der Zelle detektiert wird. Dabei wurde mit einem automatischen *Principle Component* Verfahren die Hauptrichtung der Zelle bestimmt. Daraus ergibt sich die Orientierung der Zelle, für die eine Schräglage detektiert wurde, und daraus abgeleitet der Winkel der Zelle.

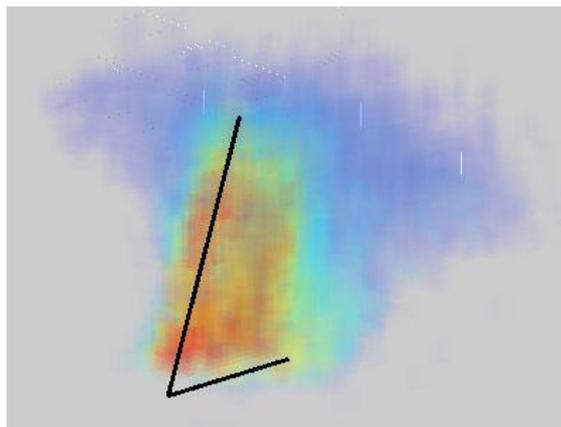
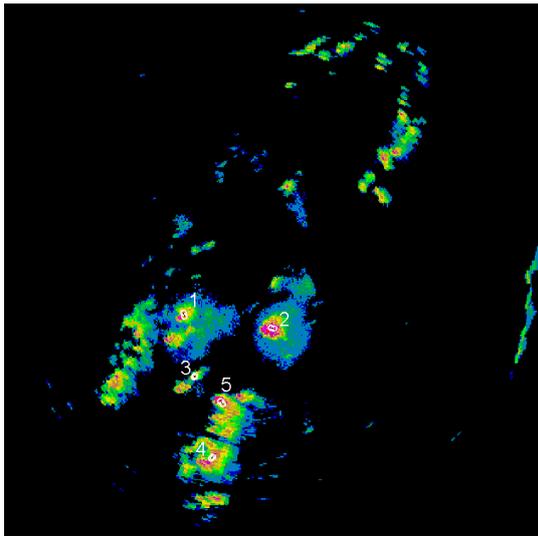


Abbildung 23: Schräglage und automatischen Winkel-Berechnung

Das zweite Verfahren basiert auf einer Zellsegmentierung und 2D-Maximumdetektion über gewichtete Schwerpunkte in den einzelnen Höhenschichten. Die detektierten Zentren werden über die Schichten hinweg verfolgt und über eine Merkmalsanalyse Parameter der Schräglage abgeleitet (Abbildung 24).



| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|------|------|------|------|------|
| Länge | 4 | 8 | 4 | 4 | 4 |
| Start | 2 | 2 | 3 | 5 | 7 |
| Ende | 5 | 9 | 6 | 8 | 10 |
| Winkel | 53.6 | 73.2 | 70.1 | 71.7 | 55.4 |

(a)

(b)

Abbildung 24: Aus WXR-Schichten detektierte Zellen mit Schräglage (a) und abgeleitete Parameter (b)

Die lokale Maximumsdetektion findet auch Eingang in der Erkennung von Hakenstrukturen (Bow, Hook). Nach einer Segmentierung mit Hilfe der lokalen Maxima wird eine Analyse von Krümmung und Länge der erkannten Objekte durchgeführt. Diese Filterung liefert die gesuchten Bow-Echos (Abbildung 25).



Abbildung 25: Erkennung von Bow-Strukturen

Arbeitspaket 5: Kamerabasierte Messungen

Aufgabenbereich dieses APs war die Ableitung von meteorologischen Messwerten aus Kamerabildern. Im Gegensatz zu DIBMETSAT, wo vor allem Sichtweiten im Flughafenbereich analysiert wurden, lag hier der Fokus auf flächendeckenden Analysen (österreichweit) der Messwerte. Dabei waren vor allem Sicht und Bedeckung relevant.

Seitens ACG/MSV wurden österreichweit frei zugängliche Webcams auf ihre Eignung für die Wetterbeobachtung analysiert (Abbildung 26 und Abbildung 27). Die Standorte wurden in eine Karte/Höhenmodell registriert und deren Eignung zur automatischen Sichtanalyse evaluiert. Anhand der Karte wurden markante Punkte im Sichtfeld der Kameras selektiert, und deren Distanz zur Kamera für die Sichtweitenanalyse verwendet (z.B. Abbildung 28).



Abbildung 26: Geeignete Kamerapositionen zur Wetterbeobachtung

| NR | VON | ÜBER | NACH | BEZUGS-HÖHE |
|----|---|--|--|-------------|
| 42 | KLAGENFURT Klagenfurt | DRAUTAL Velden | SPITTAL Faakersee | 2200ft msl |
| | Villacher Alpe Villacher Alpe | Gerlitze -> Süden Gerlitze -> Süden | Villach Villach | |
| | SPITTAL Milstätt | DRAUTAL Berg zw. Lienz & Spittal | LIENZ Spittal v. Goldeck | |
| 41 | | | | 2300ft msl |

Abbildung 27: Webcams Bereich OBERKÄRNTEN

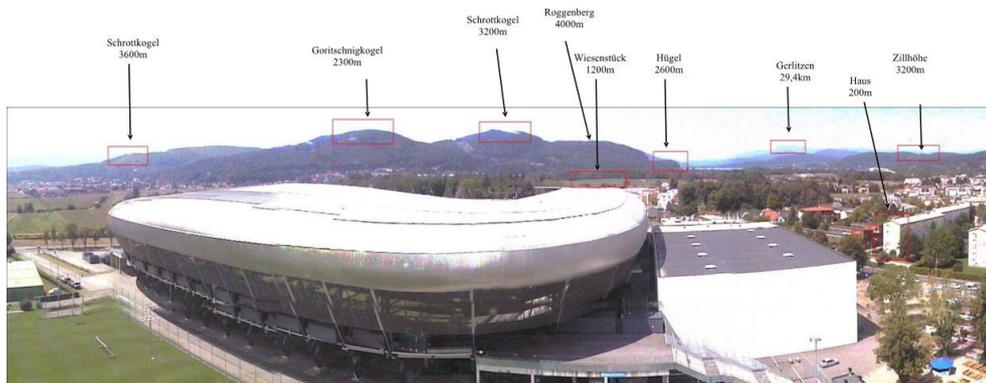


Abbildung 28: Webcam Klagenfurt (Blick SW) mit Sichtmarken

Zur automatischen Bestimmung der geeigneten Sichtmarken wurde ein Konzept festgelegt, das wiederum die verfügbaren Höhenmodelle ausnützt. Dabei wird ausgehend von der registrierten Kameraposition ein virtueller Blick über das DEM berechnet. Markante Erhebungen bzw. Strukturen (Felder, Waldregionen) werden erfasst und deren geographische Position als Sichtmarke für die automatische Analyse verwendet. JR konnte dabei Synergien zu Fernerkundungsprojekten nutzen, wo eine mobile Applikation zur Lokalisierung entwickelt wurde, die auch eine Standort- und Blickfeldregistrierung erfordert.

Da sich die Kameras über die Laufzeit teilweise in der Position verändern (durch Wind, Berührung, etc.) müssen die verwendeten Sichtmarken nachgeführt werden. Dies erfolgt mittels eines Matching-Verfahrens, welches auch in der Stereo-Analyse der Bedeckungserkennung eingesetzt wird.

Wolkenhöhenmessung

Neben den Sichtverhältnissen spielen im Flugverkehr Wolkenhöhen eine wichtige Rolle, sowohl für Piloten, die nach Instrumentenflugregeln fliegen – hier sind diese im unmittelbaren Anflug besonders mit geringen Höhen entscheidend für die Durchführbarkeit der Landung – als auch für Piloten, die nach Sichtflugregeln fliegen - hier spielt nicht nur die Höhe der Wolken, sondern auch der Bedeckungsgrad der Wolken eine wichtige Rolle. In der Bedeckungsanalyse wurden neben der Entwicklung von Funktionen zur Bestimmung des Bedeckungsgrads zwei unterschiedliche Ansätze zur Detektion der Wolkenhöhe verfolgt: Messung über Stereo-Kamera-Setup und Evaluierung von Thermalkameras zur Höhenmessung.

Um die Machbarkeit einer Stereo-Messung der Wolkenhöhe zu verifizieren, wurde ein Laborversuch durchgeführt. Dazu wurden ein Stereo-Kamera-Setup mit unterschiedlichen Basisabständen (6cm, 10cm) auf einem Stativ montiert und vorab kalibriert (siehe Abbildung 29). Die Autokalibration aus beliebig gewählten Stereo-Paaren wurde sodann mit der Stereo-Kalibration hinsichtlich Rekonstruktionsgenauigkeit verglichen.

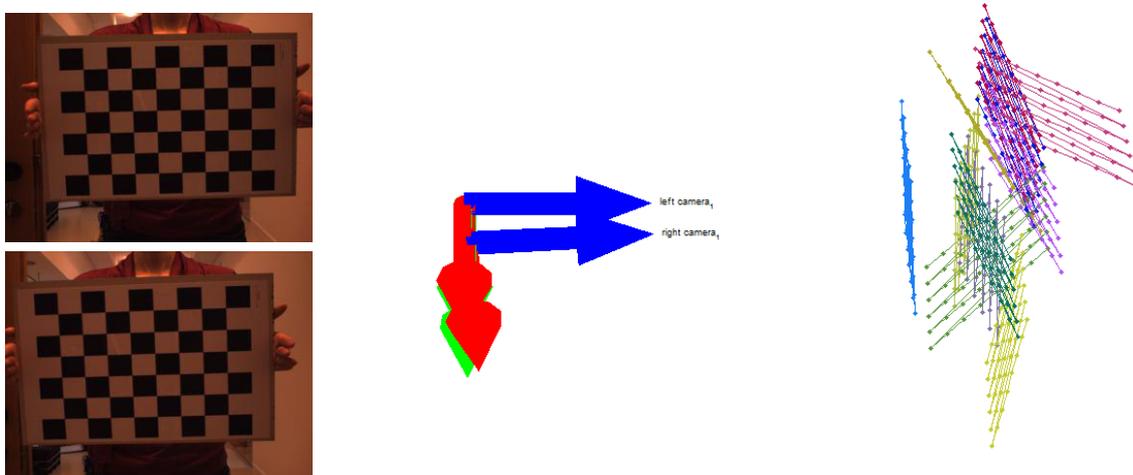


Abbildung 29: Manuelle Stereo-Kalibration im Laborversuch

Hierfür wurde ein planeres Objekt in unterschiedlichen Distanzen aufgenommen (3m – 10m) und mit beiden Kalibrationsdaten eine Stereo-Rekonstruktion durchgeführt. Folgende zwei Maße wurden für die Genauigkeit der Rekonstruktion mittels Auto-Kalibration ermittelt:

- Der mittlere Punktabstand zur geschätzten Ebene bei unterschiedlichen Distanzen (Abbildung 30), wobei hier Rekonstruktionsergebnisse der Auto-Kalibration (rot) mit der manuellen Stereo-Kalibration übereinstimmen.
- Der mittlere Punktabstand zur Rekonstruktion mittels Stereo-Kalibration (Abbildung 31).

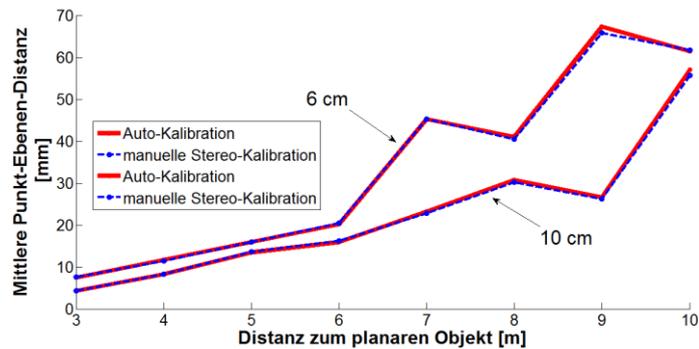


Abbildung 30: Mittlerer Punktabstand zur geschätzten Ebene

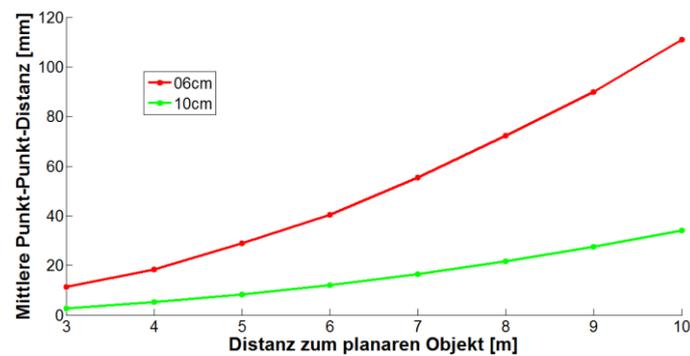


Abbildung 31: Mittlerer Punktabstand zur Rekonstruktion

Wie in beiden Abbildungen zu sehen ist, liefern Rekonstruktion mittels Auto-Kalibration und Stereo-Kalibration nahezu identische Ergebnisse. Zu beobachten ist außerdem, dass mit zunehmender Kamera-Objekt-Distanz die Genauigkeit der Rekonstruktion abnimmt. Vergrößert man hingegen den Basisabstand gewinnt man an Genauigkeit dazu. Nimmt man einen linearen Zusammenhang zwischen Basisabstand und Kamera-Objekt-Distanz an, so erreicht man bei einem Basisabstand vom 60m und 5km Objektdistanz eine Rekonstruktionsgenauigkeit kleiner 100m, was für eine Wolkenhöhenbestimmung ausreichend ist.

Auf Basis der Laborversuche wurden Testszenarien im Außenbereich durchgeführt. Nach Registrierung von Bildern zweier Kameras (Abbildung 32) werden signifikante Punkte aus dem Bedeckungs- bzw. Bodenbereich ausgewählt. Diese werden darauffolgend zur Rekonstruktion ihrer 3D-Position in Bezug zum Kamerasystem verwendet. Ein Ergebnis dieser Rekonstruktion ist in Abbildung 33 dargestellt. Aus der Distanz zwischen Wolken und Boden lässt sich somit die Wolkenhöhe ableiten.



Abbildung 32: Stereobildpaar

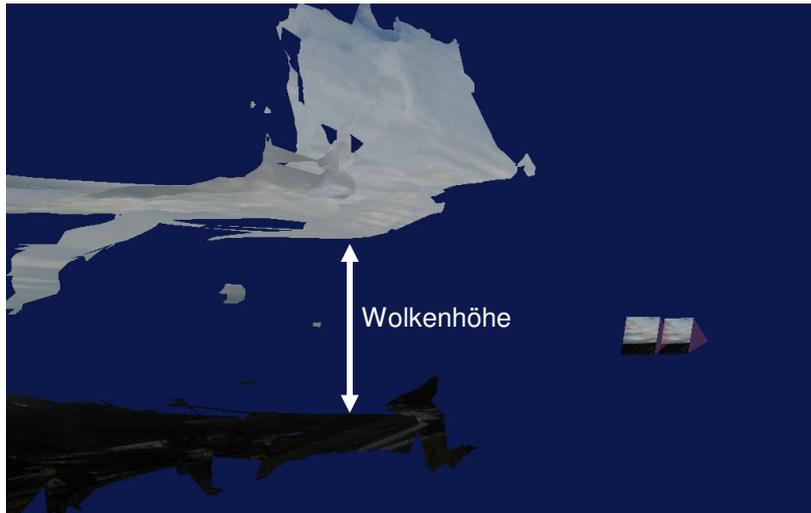


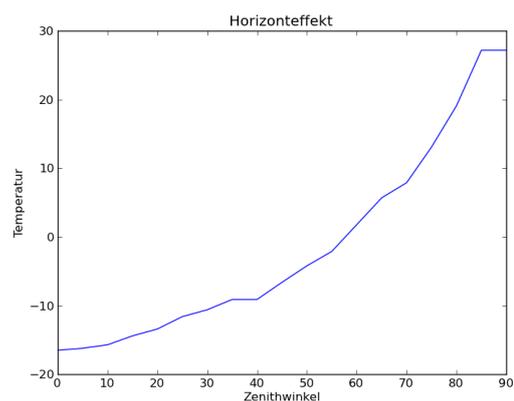
Abbildung 33: Rekonstruktion von Bedeckung und Referenz-Bodenfläche

Als Alternativverfahren zur Wolkenhöhenbestimmung wurden unterschiedliche Thermalkameras evaluiert. Die grundlegenden Schritte, um die Wolkenhöhe zu ermitteln bzw. ein dichtes Modell der Wolkenuntergrenze zu erstellen, sind folgende: Messung der Temperatur der Wolkenuntergrenze mittels Thermalkamera, Ermittlung der Wolkenhöhe anhand des Höhen/Temperaturprofils und zuletzt Triangulierung des Sehstrahls und der Lotrechten für jeden Pixel des Thermalbildes, um die tatsächliche 3D Position zu bestimmen und ein dichtes Modell der Wolkenuntergrenze zu erhalten.

Die Temperatur der Wolkenuntergrenze wird mittels einer Thermalkamera gemessen, wobei diese die Leistung der einfallenden elektromagnetischen Strahlung im Wellenlängenbereich des mittleren Infrarots messen, im konkreten Fall zwischen 8 und 14 μm Wellenlänge. Einen wesentlichen Einfluss auf die gemessene Strahlungsintensität hat dabei die Atmosphäre (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Aerosolanteil). Dies bewirkt eine deutliche Zunahme der gemessenen Temperatur in Richtung Horizont (vgl. Abbildung 34). Dieser Horizonteffekt muss für eine korrekte Messung der Wolkentemperatur korrigiert werden.

| Zenitwinkel | Temperatur(°C) | Zenitwinkel | Temperatur(°C) |
|-------------|----------------|-------------|----------------|
| 0 | -16,5 | 45 | -6,6 |
| 5 | -16,2 | 50 | -4,2 |
| 10 | -15,7 | 55 | -2,1 |
| 15 | -14,4 | 60 | 1,8 |
| 20 | -13,4 | 65 | 5,7 |
| 25 | -11,6 | 70 | 7,9 |
| 30 | -10,6 | 75 | 13,1 |
| 35 | -9,1 | 80 | 19,1 |
| 40 | -9,1 | 85 | 27,2 |
| | | 90 | 27,2 |

(a)



(b)

Abbildung 34: Ergebnisse von Messungen zum Horizonteffekt ausgehend vom Zenit in 5° Schritten.

Um die Wolkenhöhe zu ermitteln, wird die korrigierte Wolkentemperatur im Temperatur-Höhenprofil gesucht und die korrespondierende Höhe abgelesen. Von meteorologischer Seite müssen daher hinreichend genaue Temperaturprofile der Atmosphäre geliefert werden. Diese entstammen entweder Modellen oder

Messungen. Um einen genauen Rückschluss auf die Temperatur und die Wolkenhöhe ziehen zu können, kommen nur Radiosondenmessungen in Betracht, da Modelle lediglich Hinweise auf feuchte Schichten in bestimmten Höhen liefern, jedoch keine Rückschlüsse auf die tatsächlichen Wolkenhöhen zulassen. Daher wurde die Evaluierung der Thermalkamera-Messergebnisse anhand von Vertikalprofilen der Atmosphäre von Radiosondenaufstiegen am Flughafen Graz-Thalerhof (einmal täglich um 03 UTC) und den Aufzeichnungen des stadtnäheren Ceilometers Nord am Flughafen durchgeführt.

Abbildung 35 zeigt eine dünne Schichtbewölkung im unteren Niveau (Stratocumulus). Aus dem Radiosondenaufstieg von 05:00 Uhr (Abbildung 36) geht hervor, dass sich zwischen einer Höhe von ca. 2500-2700m eine kleine Inversion gebildet hat und die Luft in dieser Höhe gesättigt war. Die Temperatur in dieser Schicht betrug zwischen 5.8 und 6.9 Grad C. Das liegt genau in der Mitte des in der oberen Hälfte der Abbildung 35 angegebenen Temperaturbereichs.



Abbildung 35: Aufnahme vom 17. 8. 2011, 8:32 Uhr, Stratocumulus

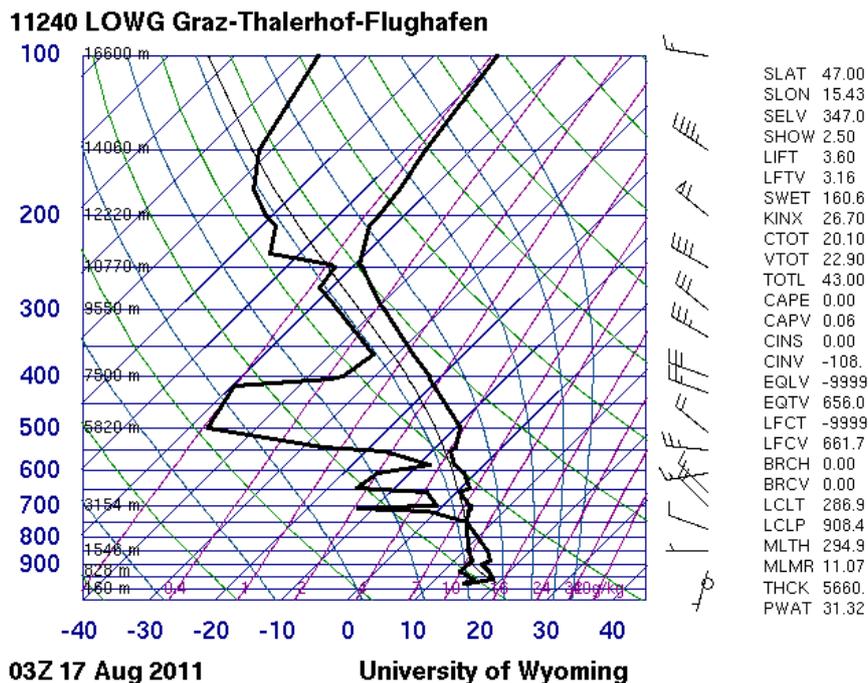


Abbildung 36: Radiosondenaufstieg vom 17.8.2011, 05:00 Uhr

Auch der Wolkenhöhenmesser Nord am Flughafen Thalerhof (Abbildung 37) bestätigte dies. Wolkenuntergrenzen zwischen 7000 und 8000 FT über Grund entsprechen einer Seehöhe von 2465 bis 2769m.

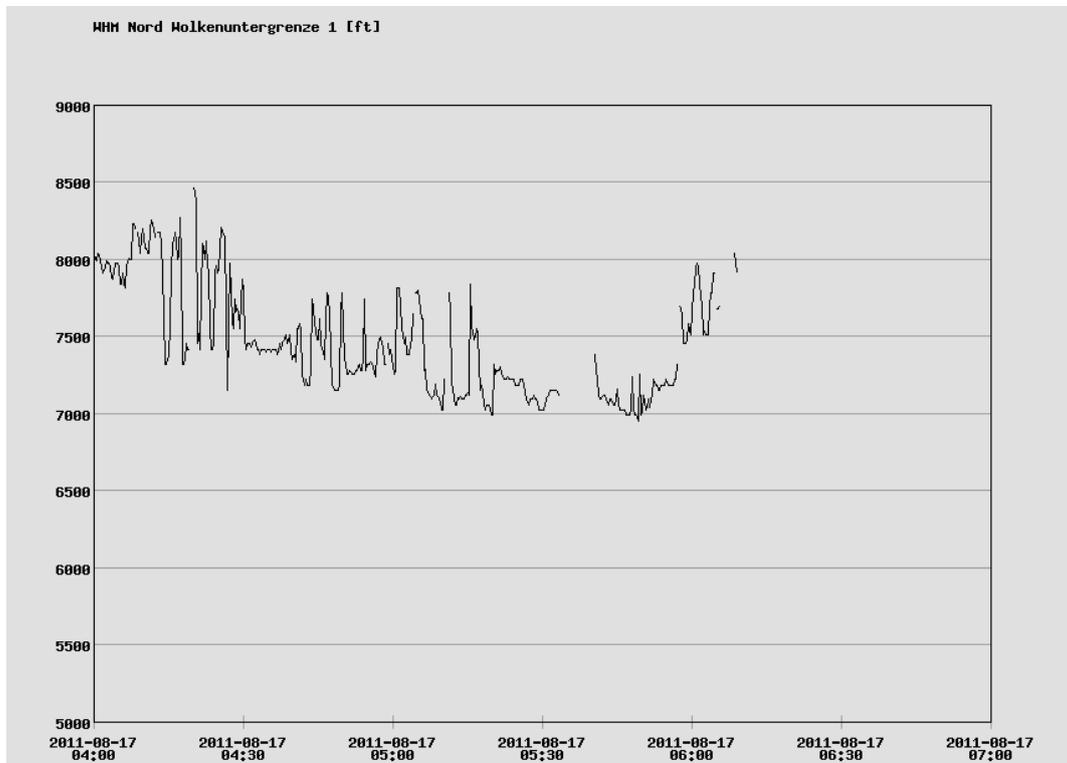


Abbildung 37: Wolkenuntergrenzen des Wolkenhöhenmessers Nord 17.8.2011, 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

Die Wolkentemperatur in der unteren Hälfte der Abbildung 35 ist unter der Annahme, dass sich beide gemessenen Wolken auf ungefähr gleicher Höhe befinden, deutlich zu hoch. Hier hat offensichtlich der Horizonteffekt den dominierenden Einfluss. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die Temperaturwerte mancher Wolkentypen (z.B. Cirrus, Altocumulus translucidus, Cumulus fractus) nicht eindeutig der Wolke bzw. dem Hintergrund zugeordnet werden können, da hierbei die Messung von der durchscheinenden kalten Hintergrundtemperatur verfälscht wird.

Ein prototypisches System könnte auf dichte Wolkentypen eingeschränkt werden. Für ein zuverlässiges Messsystem müssen aber die Wolkentypen im Hinblick auf die Temperaturmessung erkannt werden und die Temperatur dementsprechend korrigiert werden.

Arbeitspaket 6: Integration und Validierung

Im Rahmen der Integration in die ACG Systemarchitektur wurden geeignete Schnittstellen geschaffen, sodass die benötigten Inputdaten für das Testsystem für die Validierungsphase in Echtzeit zur Verfügung stehen. Zu Test- und Entwicklungszwecken war es notwendig die 3D-WXR Daten routinemäßig zugänglich zu machen. Sie sollen in einem geeigneten Format in Echtzeit für die online Berechnung der DIBMETSAT-3D Produkte verfügbar sein. Des Weiteren war es durch eine interne Umstrukturierung der ACG-Systeme notwendig, die MSG-Daten nach deren Beschaffung aus einem Rohformat in die gewohnte Projektion, sowie Kalibration umzurechnen. Der Testdatensatz wurde offline aus einer Datenbank exportiert und den Entwicklern zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden die MSG Rapid Scan (RSS)-Bilder in das Testsystem eingebunden, um die Intervalle der verfügbaren MSG-Daten bzw. die Diskrepanz zwischen Aufnahmezeitpunkt von WXR und MSG zu verringern.

Die Module aus DIBMETSAT und DIBMETSAT-3D, die weitgehend in MATLAB implementiert wurden, sind nach C++ unter einer CentOS-Systemumgebung umgestellt worden. Die Performanceanalyse der WXR-Algorithmen auf unterschiedlichen Hardwareplattformen zeigte eine Verbesserung im Bereich 1:5, womit die Zielvorgaben (WXR-Berechnung unter 2min/Bild) für ein operatives System erreicht werden. Auch wurden die Konfigurationsmöglichkeiten durchgehend über INI-Files umgesetzt, womit eine schnelle Umstellung vom semi-operativen Testbetrieb auf einzelne Fallstudien möglich ist. Diese Module wurden in das entwickelte objektorientierte Verifikationstool eingebunden, welches unterschiedliche Möglichkeiten der Analyse bietet (SAL, Cross-Validation, etc.).

Die Qualität der DIBMETSAT-3D Ergebnisse wurde sowohl optisch als auch objektiv mittels SAL-Parameter verifiziert. Dabei wurden über einen längeren Zeitraum Fallstudien von Meteorologen ausgewählt und beurteilt. Es wurden dabei vollständige, sowie teilweise entfernte Artefakte berücksichtigt, aber auch zu Unrecht gefilterter Niederschlag. Zudem wurde für jedes Beispiel eine subjektive Bewertung festgehalten, mit deren Hilfe man bei der Interpretation auch Randbedingungen, wie z.B. in Niederschlag eingelagerte Störungen, berücksichtigen kann. Details sind aus Abbildung 38 ersichtlich.

| Beispiel | Störungen original | Störungen cleaned | RR gelöscht | Bemerkung | entfernt abs | entfernt % |
|------------|--------------------|-------------------|-------------|---------------|--------------|------------|
| 1201022330 | 1 | 1 | 0 | schwierig, w | 0 | 0 |
| 1201041300 | 7 | 0 | 4 | guter Eindru | 7 | 100 |
| 1201051200 | 3 | 0.5 | 1 | sehr gut | 2.5 | 83 |
| 1201100200 | 1 | 0.5 | 0 | gut | 0.5 | 50 |
| 1206091900 | 5 | 0.5 | 1 | sehr gut | 4.5 | 90 |
| 1201220700 | 6 | 2 | 0 | gut | 4 | 67 |
| 1203270920 | 7 | 0 | 0 | super, aber a | 7 | 100 |
| 1203270935 | 6 | 0 | 0 | super, sogar | 6 | 100 |
| 1203270945 | 5 | 0.5 | 0 | super, aber a | 4.5 | 90 |
| 1203271005 | 6 | 0.5 | 0 | super, aber a | 5.5 | 92 |
| 1204241305 | 2 | 0.5 | 1 | durchwachse | 1.5 | 75 |
| Mittelwert | | | | | | 77 |

Abbildung 38: Beispiele für subjektive, optische Beurteilungen der Artefaktdetektion

Die Verifikation erfolgte unter Anwendung der SAL-Methodik mittels Cross-Validation. SAL³ wurde als eine objekt-basierte Methode zur Verifikation von Niederschlagsprognosen entwickelt. Dabei werden in einer vordefinierten Domäne Struktur (S), Amplitude (A), und Position (L, „location“) der detektierten Niederschlagsobjekte getrennt voneinander beurteilt. Dies erforderte eine Anpassung der SAL-Software zur Verwendung von WXR-Daten. Für die Cross-Validation wurde aus dem originalen WXR-Bild ein Sektor ausgewählt, der als repräsentativ für typische Abschattungen (z.B. durch Orographie) anzusehen ist. In diesem Sektor wurde die komplette gemessene WXR-Information gelöscht und das somit entstandene fehlerhafte Bild wird als Input für das DIBMETSAT-3D Testsystem verwendet. Für die SAL-Verifikation wurden alle Bilder von Intensitätsstufen der WXR-Reflektivität in entsprechende, geschätzte Niederschlagsraten übergeführt. Das daraus entstehende, aufgefüllte Bild wurde dann gegen das unbehandelte, originale WXR-Bild mittels der SAL-Verifikation verglichen. Insgesamt wurden 20 Fallbeispiele mit 2 unterschiedlichen geometrischen Gewichtungen (18, 42) gerechnet und verifiziert. Die Ergebnisse zeigen einerseits die eindeutigen Vorteile der SAL-Methodik gegenüber pixelbasierter Verifikation und in weiterer Folge die hohe Qualität der Auffüllungsergebnisse.

Die Fallstudien wurden nach Jahres- und Tageszeit unterteilt, womit die unterschiedlichen Charakteristika der Niederschlagsregime (konvektiv, stratiform) besser repräsentiert werden. Abbildung 39 zeigt das Ergebnis von 4 Fallstudien anhand der SAL-Verifikation.

³ Wernli Heini, Paulat Marcus, Hagen Martin und Frei Christoph, 2008: "SAL - A Novel Quality Measure for the Verification of Quantitative Precipitation Forecasts", Monthly Weather Review, Vol. 136, p. 4470-4487.

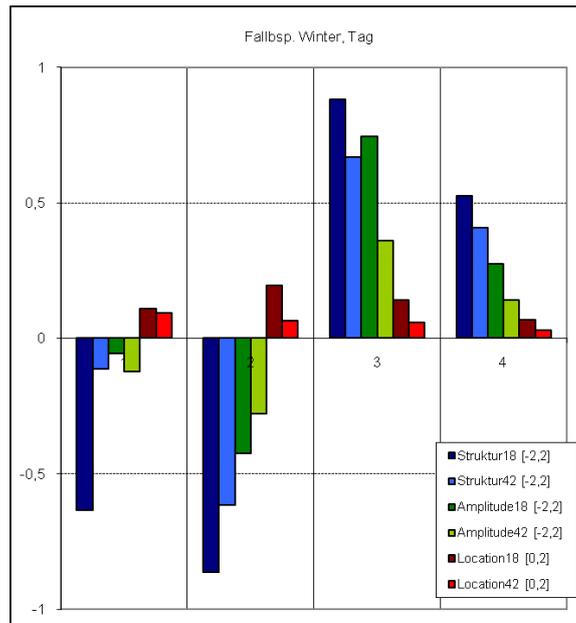


Abbildung 39: Ergebnisse SAL: Winter, Tag

Bei stratiformen Niederschlag haben in der Regel die Parameter S (Struktur) und A (Amplitude) dasselbe Vorzeichen. Sind die beiden positiv indiziert, zeigt dies auf das typische Overforecasting hin, d.h. das Niederschlagsfeld wird im Mittel hinsichtlich Intensität und Ausbreitung zu stark bzw. zu groß geschätzt.

Die Sommerbeispiele (Abbildung 40) sind nun im Gegensatz zu den winterlichen konvektiv dominiert. Daher ergeben sich auch in der Auswertung der SAL Parameter andere Auffälligkeiten. Besonders deutlich ausgeprägt ist dabei eine Unterschätzung der mittleren Niederschlagsmenge ($A < 0$) bei gleichzeitiger positiver Abweichung des S-Parameters.

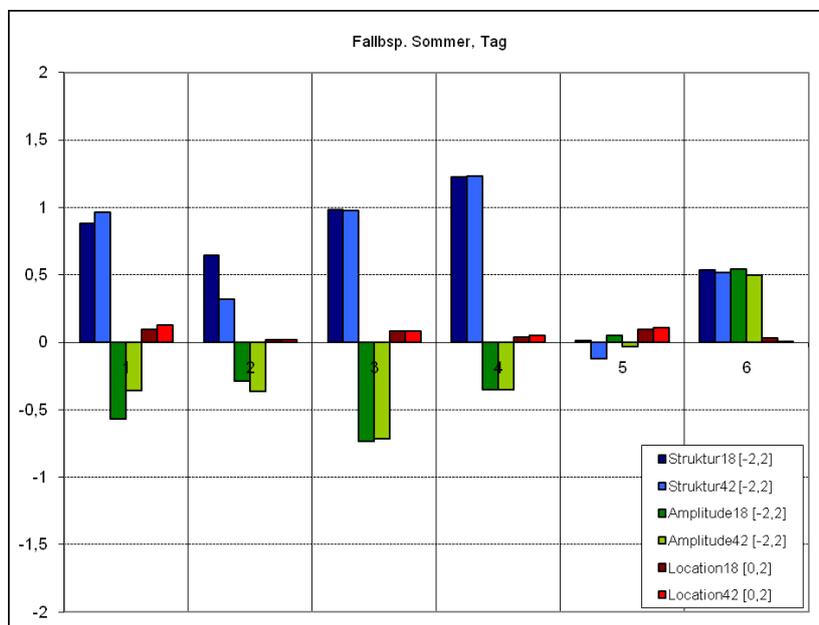


Abbildung 40: Ergebnisse SAL: Sommer, Tag

Diese Fallbeispiele (Beispiele 1, 2, 3 und 4 in Abbildung 40) zeigen optisch ansprechende Auffüllungen, bei denen lediglich die höchsten Intensitäten der konvektiven Zellen abgeschnitten wurden. Durch dieses Abschneiden wurde die Niederschlagsmenge aufgrund der entsprechenden, hohen Niederschlagsraten drastisch reduziert und somit der mittlere Niederschlag zu gering geschätzt. Andererseits ergab sich ein eindeutig zu breites Intensitätsspektrum und damit ein positiver S-Wert. Ein entsprechendes Beispiel

innerhalb der Winterperiode zeichnet sich durch einen ebenfalls positiven S-Wert, aber einen A-Wert nahe 0 aus, da aufgrund sehr viel geringerer Niederschlagsraten bei niedrigeren Intensitäten (Niederschlag nimmt mit steigender Intensitätsstufe exponentiell zu) das Fehlen der hohen Intensitäten deutlich weniger Einfluss auf den A-Wert hat.

Insgesamt wurden im Schnitt etwa 80% aller Artefakte erkannt und entfernt. Fälschlich gelöschter Niederschlag bleibt dabei eher selten und tritt mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nur kleinräumig und bei sehr geringen Intensitäten auf.

Arbeitspaket 7: Assessment der Ergebnisse

In diesem Arbeitspaket wurden basierend auf den im AP2 ausgearbeiteten ATM-Requirements die Nützlichkeit und Verwertbarkeit der in den Arbeitspaketen AP4 und AP5 entstandenen Ergebnisse für mögliche ATM-Applikationen untersucht.

Durch qualitative Evaluierung der entwickelten Module stellte sich heraus, dass sich die Qualität der WXR-Daten durch eine automatische Korrektur erhöhen lässt. So können diese Daten die relevanten Prozesse (z.B. die Kurzfristvorhersage) in der Meteorologie für ATM noch besser unterstützen. Andererseits hat sich besonders die Strukturerkennung (Schräglage durch Windscherung, Detektion Superzelle über Hakenechostruktur) als für die Meteorologen nützlich herausgestellt, da solche Strukturen auf für ATM relevante Wetter-Ereignisse hinweisen (wie z.B. Vereisungsgefahr, Windscherung, Gewitter, Fallwinde, Tornados und Turbulenzen).

Die in diesem Projekt entwickelte Methoden haben gezeigt, dass 3D-basierte Bildverarbeitung wichtige meteorologische Prozesse und Anwendungen im ATM Bereich unterstützen kann. Im Projekt gab es zwei methodologische Ansätze die für eine ATM-Anwendung sehr interessant sind, aber zu rechenintensiv waren um die Laufzeitkriterien zu erfüllen (<5 min pro Datensatz). Diese Methoden waren einerseits die in 2D erfolgreich eingesetzte texturbasierten Ansätze und andererseits das non-rigid Tracking Verfahren.

Eine neue Projektidee wurde basierend auf den Ergebnissen in diesem Projekt konkret definiert. (TAKE OFF Ausschreibung 2012, "Analysis of Available Airspace for ATM"). In diesem Projektvorhaben sollen die Methoden der Strukturerkennung und Tracking weiter erforscht und gezielt für eine Vorhersage des verfügbaren Luftraums angewendet werden.

4b. Arbeits- und Zeitplan

Der Projektfortschritt korrespondierte im weitesten Sinn mit dem Zeitplan. Eine kleinere Umstrukturierung wurde im AP4 vorgenommen, wo die Aufgaben der 3D-Artefaktanalyse in den Wetterradardaten in die 2. Projekthälfte verschoben wurden. Im Gegensatz dazu konnten die Aktivitäten aus AP5 bereits früher gestartet werden (M3 statt M6). Aufgrund von Verwertungsaktivitäten (Patente) und zum Abschluss der Validierungsaufgaben wurde eine 1-monatige Verlängerung des Projektzeitraums gewährt. Der aktualisierte Zeitplan ist in der folgenden Abbildung 41 dargestellt.

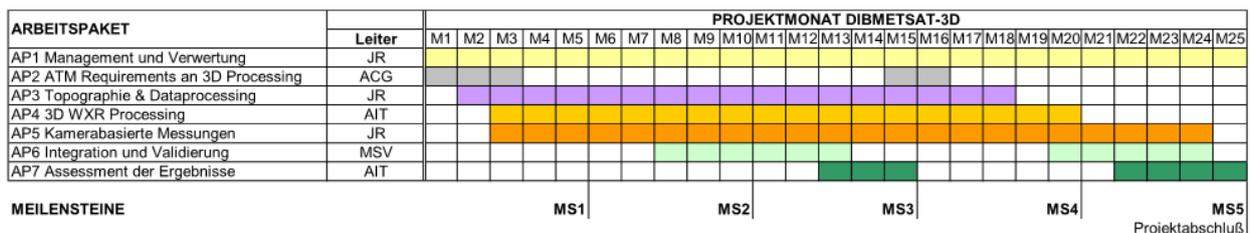


Abbildung 41: Aktualisierter Projektzeitplan

5. Verwertung

Zu den Verbreitungsaktivitäten mit der Möglichkeit der Vernetzung österreichischer Luftfahrtunternehmen zählen vor allem die Workshops des TakeOff-Programms. Dabei wurde dieses Projekt beim TakeOff-Startworkshop (28.4.2010) vorgestellt. Ein weiterer Erfolg wurde durch den Erhalt des Gender-Awards für das Projekt (Verleihung 10.5.2010) erzielt.

Vom Konsortium wurde erfolgreich eine Folgeaktivität im TakeOff-Programm (8. Ausschreibung, FUSEMET) eingereicht. Aktuell ist vom Konsortium ein Antrag im Rahmen der TakeOff Ausschreibung 2012 unter Begutachtung, wobei dieser auf Inhalte von DIBMETSAT-3D (z.B. WXR-Strukturerkennung) aufbaut und direkte Planungsunterstützung für ATM gewährleistet. Als Spin-Off der Projektaktivitäten wurde eine RLAN-Analyse für die Österreichische Post mit den automatisierten Verfahren der WXR-Artefakt-Erkennung durchgeführt. Weiterführende Aktivitäten in den EU-Raum werden über die internationalen Vernetzungen der Forschungspartner und der Teilnahme der Meteorologen an internationalen Vereinigungen und Initiativen (SESAR, MET-Alliance) erfolgen.

Diverse Projekthinhalte wurden im Rahmen von PR-Aktivitäten der Konsortialpartner vorgestellt. Dazu zählen:

- eine allgemeine Projektpräsentation beim JR - DIGITAL Workshop 2010 (Dez),
- ein Radiobeitrag bei Ö1 - Digital Leben (1.6.2011) zum Thema der Sichtweitenanalyse,
- Präsentation Sichtweitenanalyse bei der Messe Security in Essen 2012,
- 8. Mai 2012: METEOROLOGISCH - GEOPHYSIKALISCHES KOLLOQUIUM SS2012, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien,
- 13. 6. 2012: Arbeitsgruppensitzung Wetterradar und Satellitenmeteorologie, Austrocontrol-Militärwetterdienst-ZAMG

Publikationen:

- Kaltenböck, R., Kerschbaum, M., Hennermann, K., Mayer, S.: Applications and Visualisation of Ensemble Weather Radar Extrapolation in Austrian Aviation Weather Service Provision. Extended Abstract, 6th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Sibiu, Rumänien, 2010
- Kaltenböck, R., Croonen, G., Ganster, H., Hennermann, K., Kerschbaum, M., Nowak, C., Mayer, S., Steginska, S., Uray, M.: Applying image processing methods for correction of weather radar data. Poster Präsentation, 6th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Sibiu, Rumänien, 2010
- Jean-Philippe Andreu, Harald Ganster, Erich Schmidt, Martina Uray, Heinz Mayer: Comparative Study of Landmark Detection Techniques for Airport Visibility Estimation, ÖAGM / AAPR Workshop 2011
- Mayer, S.; Tiefgraber, M.; Bortenschlager, T.; Croonen, G.; Ganster, H.; Hennermann, K.; Kaltenboeck, R.; Mahringer, M. K. G.; Mayer, H.; Nowak, C.; Uray, M. & Waldsam, G. LAWIS (Landes-Wetter-Informationssystem OOE) - DIBMETSAT (Digitale Bildverarbeitung gestützte Meteorologie-Services für Air Traffic Management), 4. Österreichischer MeteorologInnenstag, 2011
- Kaltenboeck Rudolf, Croonen Gerardus, Ganster Harald, Gruber Manfred, Hennermann Karin, Kerschbaum Markus, Nowak Christoph, Mayer Heinz, Mayer Stefan, Uray Martina: Image processing for weather radar data correction for aeronautical meteorology, 7th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, ERAD, Toulouse, France, 2012
- In Vorbereitung: Paper in einem meteorologischen Journal: "k-NN based rectification of weather radar data using satellite images"

Die im Projekt DIBMETSAT gestarteten Patentaktivitäten konnten in DIBMETSAT-3D weitergeführt werden, und wurden am 18.7.2011 zum österreichischen Patent angemeldet (ÖPA1050/2011 und ÖPA1053/2011). Die PCT-Anmeldung erfolgte im Juli 2012 (PCT/AT2012/050088 und PCT/AT2012/050087).

Die Vermarktung der Patente und Projektergebnisse wird gemeinschaftlich mit den Ergebnissen aus dem Vorgängerprojekt angestrebt. Dabei sind derzeit folgende potentielle Vermarktungsschienen erkennbar:

- Dienstleistung ACG, MSV
- Andere Wetterdienste über Lizenzierungen
- Radarhersteller über Verkauf der Prototypen-Module oder Lizenzmodell
- Externer Vertriebspartner: Lizenzierung oder Verkauf der Module

6. Kosten

6a. Kostentabelle für den Berichtszeitraum

| Kostenkategorie | Akzeptierte Gesamt-kosten lt. Vertrag | Kosten im Berichtszeit -raum Summe angefallener Kosten im Konsortium* | Antrag-steller Angefallene Kosten in der Berichtszeit | Partner B Angefallene Kosten in der Berichtszeit | Partner C Angefallene Kosten in der Berichtszeit | Partner D Angefallene Kosten in der Berichtszeit |
|---------------------|---------------------------------------|--|--|---|---|---|
| Personalkosten | 620.924 | 328.772 | 101.641 | 149.218 | 45.332 | 32.580 |
| Investitionen | | 390 | | | 390 | |
| Reisekosten | 13.860 | 6.398 | 1.181 | 863 | 2.542 | 1.812 |
| Sach-Materialkosten | 9.150 | 853 | 493 | | | 359 |
| Drittkosten | | | | | | |
| Total | 643.934 | 336.412 | 103.315 | 150.081 | 48.264 | 34.752 |

Tabelle 2: Summe der angefallene Kosten / Kostenkategorie des Antragstellers und aller Partner (unter Berücksichtigung der genehmigten ACG-Kostenumschichtung) für den Berichtszeitraum 1.7.2011-31.7.2012

6b. Kostenbeschreibung im Berichtszeitraum

Die angefallenen Kosten entsprechen weitgehend dem Kostenplan im Projektantrag bzw. Vertrag und umfassen hauptsächlich Personal- und Reisekosten (Projektmeetings). Beim Partner ACG wurde aufgrund einer Änderung im Bereich Hardwarenutzung (Thermalkamera) der FTE-Investitionsanteil zu Personalkosten umgeschichtet.

Die detaillierte Aufstellung der angefallenen Aufwände ist in den folgenden Partnertabellen dargestellt: