

ENDBERICHT

FFG Projektnummer	830387	eCall Antragsnummer	2168543
Kurztitel	FUSEMET	FörderungsnehmerIn	JOANNEUM RESEARCH Forschungsges. m.b.H.
Bericht Nr.	Endbericht	Berichtszeitraum	1.7.2012-30.6.2013
Bericht erstellt von	Harald Ganster, JOANNEUM RESEARCH Forschungsges. m.b.H.		

1. Ziele und Ergebnisse

Das Projektziel "großes Gesamtbild Flughafenwetter" hinsichtlich ATM basiert auf einer Integration sämtlicher an einem Flughafen verfügbarer Sensorik mit Ergebnissen der Bildverarbeitung. Ziel des Projektes ist die konzeptuelle Betrachtung aller Wetterelemente bereits während der Messung, eine Steigerung der Repräsentativität der Messungen durch Bildinformation aus Kamerabildern bzw. eine Adaptierung der Bildinformation durch die Messungen, sowie das Hinzufügen von komplementären unabhängigen Datenquellen wie Wetterradar, Satellitenbild- und Blitzinformation. Anhand definierter Use-Cases (u.A. für „Low Visibility Procedures“ – Nebel und Hochnebel) wurden einerseits die Entwicklung und Durchführung von Multi-Sensor-Fusionskonzepten und andererseits die Analyse von in Zeitserien zur Verfügung stehenden Messungen umgesetzt. In beiden Fällen wurde durch Kombination und Integration multipler Information ein Mehrwert gegenüber punktförmigen Einzelmessungen erzielt.

Neben dem Mehrwert der integrierten Betrachtung wurden in der Fusion speziell Verfahren eingesetzt, die den Umgang mit teilweise widersprüchlicher Information bewerkstelligen bzw. lückenhafte (fehlende) Information berücksichtigen. Zur Analyse der vorherrschenden Wetterlage und Vorhersage konvektiver Ereignisse (Gewitter) aus differenzierten Quellen (ALDIS, Wetterradar, MeteoSat) wurde ein Bayes-Netzwerk umgesetzt (Abbildung 1).

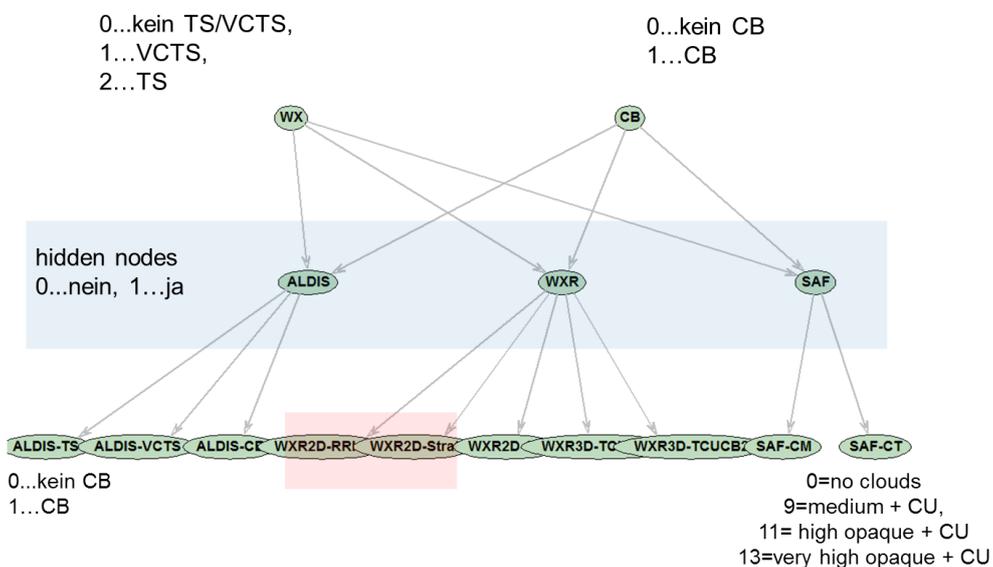


Abbildung 1: Beispiel eines Bayes-Netzwerks zur Analyse konvektiver Ereignisse

Für die Flugmeteorologie sind speziell Situationen mit signifikanten Wetteränderungen interessant. Hierfür wurde ein Videosequenzarchiv aus öffentlichen Quellen angelegt, mit Hilfe dessen es gelungen ist die gesuchten unvorhergesehenen Ereignisse automatisiert zu detektieren. Unter Berücksichtigung von Background-Modellen konnten plötzliche Änderungen, wie sie z.B. durch Blitz entstehen, erfolgreich erkannt werden (Abbildung 2).

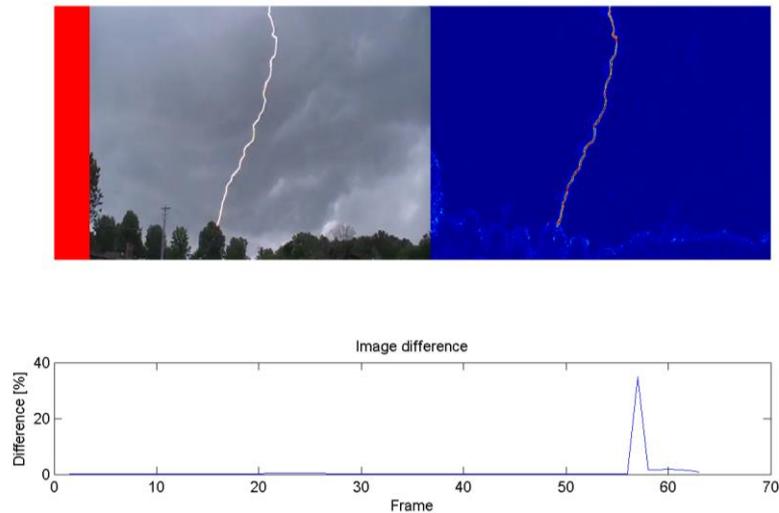


Abbildung 2: Detektion von Blitz über Modellierung des Bildhintergrundes

Die entwickelten Methoden wurden sowohl in den einzelnen Arbeitspaketen als auch in integrierter Form getestet und validiert. Mit den Projektergebnissen ist es möglich die derzeit in Österreich verwendeten AUTO-METAR / MET Report - Algorithmen signifikant zu verbessern. Nach eingehenden Safety-Betrachtungen wird die Ausdehnung des derzeitigen Einsatzes dieser Methodik hin zur automatischen Beobachtungsmeldung der nächste Schritt sein.

2. Arbeitspakete und Meilensteine

2.1 Übersichtstabellen

Tabelle 1: Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigstellungsgrad	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anf.	Ende	Anf.	Ende	
1	Management und Verwertung	100%	M1	M18	M1	M21	Verlängerung des Projektzeitraums um 3 Monate bis 30. Juni 2013
2	Requirements & Use Cases	100%	M1	M6	M1	M6	Erfassung des „State of the Art“, sowie Definition der Requirements und Use-Cases.
3	Sensorik und Datenformate	100%	M2	M8	M2	M8	Die Ergebnisse entsprechen der Planung. Das Rohdatenarchiv wurde geplant, befüllt und erfolgreich für Analysen angewendet.
4	Bild und Sensor Fusion	100%	M4	M16	M4	M19	Analysen zu Flughafensensorik und kamerabasierten Messungen, Konzepte zur Fusion, Bayes-Netzwerke für Sicht und konvektive Ereignisse
5	Zeitliche Analysen	100%	M4	M16	M4	M19	Umsetzung zeitlicher Analysen mit fusionierten Daten, Ereignisdetektion mit Videosequenzen.
6	Integration und Validierung	100%	M12	M18	M12	M21	Expertensystem innerhalb der ACG-EDV-Umgebung aufgebaut, Ergebnisevaluierung in Echtzeit, sowie Validierung und Optimierung der Bayes-Netzwerke mit Archivdaten.

Tabelle 2: Meilensteine

Meilenstein Nr.	Meilenstein Bezeichnung	Basistermin	Akt. Planung	Meilenstein erreicht am	Anmerkungen zu Abweichungen
1	ATM-Requirements	M3	M5	M5	Requirements 1. Phase mit leichten Verzögerungen umgesetzt
2	Use Case Definition	M6	M6	M5	Use-Cases wurden in der 2. Projektphase adaptiert.
3	Abschluss erste Implementierungsphase	M11	M12	M14	Verzögerungen in den Methodenentwicklung, dadurch zeitliche Verschiebung der Validierungsaufgaben
4	Projektabschluss	M18	M21	M21	Projektende gegenüber antrag um 3 Monate verschoben, weitere Evaluierungen werden nach Projektabschluss durchgeführt

Mitte März wurde ein Antrag auf kostenneutrale Projektverlängerung bis Ende Juni 2013 gestellt, da aufgrund von Verzögerungen in der Methodenentwicklung die Integrations- und Validierungstätigkeiten erst mit Beginn 2013 gestartet wurden (vgl. Abbildung 3). Dieses Ansuchen wurde mit Schreiben vom 27.3.2013 seitens Fördergeber genehmigt. Gleichzeitig wurden auch geringfügige Kostenumschichtungen bei Austro Control und JOANNEUM RESEARCH für den erhöhten Mehraufwand bei den Methodenentwicklungen zur Datenfusion und der anschließenden Validierung unter Zustimmung der FFG durchgeführt (vgl. auch Abschnitt 5).

FUSEMET			PROJEKTMONAT																							
Projektbeginn: 1.10.2011																										
		Leiter	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22		
ARBEITSPAKET	AP1 Management und Verwertung	JR / HG																								
	AP2 Requirements & Use Cases	ACG / MK																								
	AP3 Sensorik und Datenformate	AIT / GC																								
	AP4 Bild und Sensor Fusion	JR / HG																								
	AP5 Zeitliche Analysen	AIT / GC																								
	AP6 Integration und Validierung	ACG / ES																								
MEILENSTEINE	MS1 ATM-Requirements		31.12.2011																							
	MS2 Use Case Definition														31.03.2012											
	MS3 Abschluss erste Implementierungsphase														31.08.2012											
	MS4 Projektabschluss		30.06.2013																							

Abbildung 3: Aktualisierter Zeitplan nach genehmigter Projektverlängerung

2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

AP1 Management und Verwertung

Wie bereits erwähnt wurde der Projektzeitraum um 3 Monate verlängert. In der 2. Projekthälfte wurden Arbeitstreffen vermehrt über Web- und Telekonferenzen durchgeführt, um einerseits rasch auf aktuelle Themen zu reagieren und andererseits Ressourcen zu schonen. Projekttreffen fanden zu folgenden Terminen statt:

- 2012-07-18 – AIT, Wien
- 2012-11-14 – ACG, Wien
- 2012-12-18 – WebEx
- 2013-01-23 – Telko
- 2013-02-14 – Telko
- 2013-03-12 – AIT, Wien
- 2013-04-08 – Rust
- 2013-05-07 – GotoMeeting
- 2013-06-06 – GotoMeeting
- 2013-06-28 – JR, Graz

Das Hauptaugenmerk der 2. Projekthälfte lag auf der Umsetzung und dem Abschluss der entwickelten Konzepte zur Bild und Sensor Fusion (AP4), sowie der zeitlichen Analysen (AP5). Den Abschluss des Projekts bildete die Integration und Validierung (AP6), wobei die Ergebnisse der Vorgänger-APs zusammengeführt und anhand von Qualitätskriterien validiert werden.

Im Bereich Dissemination sind folgende Aktivitäten zu verzeichnen:

- Das Projekt und die dahinterliegenden Konzepte wurden beim DWD und der MeteoSchweiz vorgestellt. Auch bei diesen Wetterdiensten wird derzeit an der Automatisierung der Wetterbeobachtung gearbeitet.
- Im Rahmen des MET Alliance Treffen in Zürich wurde über die Aktivitäten zur Fusion mit Bayes-Netzwerken diskutiert und konnte großes Interesse hervorrufen.
- Teilnahme am ACstyria Luftfahrttag 2012 (28.11.2012) mit Ausstellung
- Teilnahme am OPERA Meeting in Oslo (23. - 26.10.2012)
- Teilnahme am OPERA 4 Start-Meeting in Helsinki (26.2. – 1.3.2013)
- Teilnahme an der 36th AMS Weather Radar Conference, Breckenridge (6-20 September 2013)

AP2 Requirements & Use Cases

Die grundlegenden Requirements und Use-Cases für die Projektdurchführung wurden bereits in der 1. Projekthälfte definiert. Im 2. Projektabschnitt erfolgte ein Update zu den Use-Cases um speziell interessante Ereignisse in den Konzepten und Umsetzungen zu berücksichtigen. Dies betraf Ereignisse mit kapazitätsrelevanten Wettersituationen, im Speziellen, Fälle mit hereinziehenden oder aufgehenden Nebelfeldern. Die Daten hierzu sind im Deliverable D2.3 dokumentiert.

Eine wesentliche Anforderung für die Use-Cases „Schauer-Gewitter“ und „Niederschlag-Schnee-Hagel“ war die Geo-Referenzierung der Sensorik, wodurch Wetterradardaten in Verbindung mit Daten der restlichen Sensorik für diese Use-Cases verfügbar waren. Mit Hilfe dieser Geo-Referenzierung konnte die Erstellung der benötigten kohärenten Datensätze erfolgen.

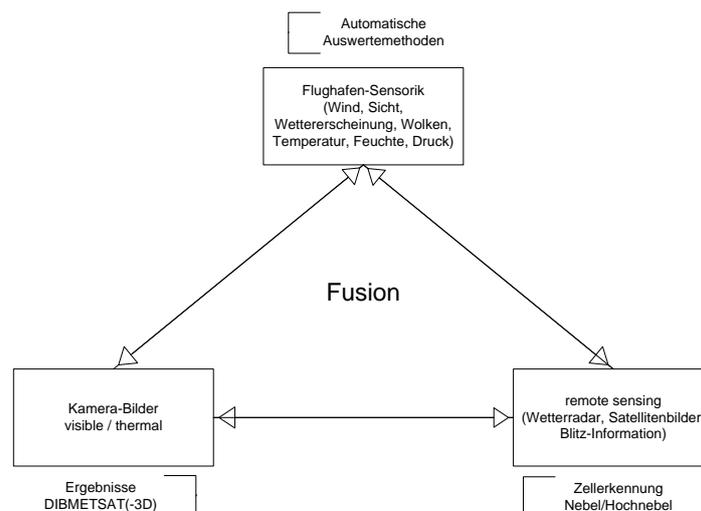


Abbildung 4: Konzept zur Fusionierung von Flughafen Sensorik, „remote sensing“ Daten und Kamera-Bildern

Inhaltlich wurde in den Requirements die Fusion von Flughafen Sensorik, „remote sensing“ Daten und Kamera-Bildern definiert (Abbildung 4), womit die konventionellen AUTO-METAR Konzepte

um die Bildverarbeitungs-Komponente erweitert werden. Zertifizierte Flughafensensorik kann nur punktförmig messen, Bilder im Gegensatz dazu können einen größeren Bereich abdecken, aber nicht direkt im operativen Betrieb eingesetzt werden. FUSEMET kann daher durch die Kombination die Repräsentativität der Messungen bzw. Beobachtermeldungen steigern (Abbildung 5).

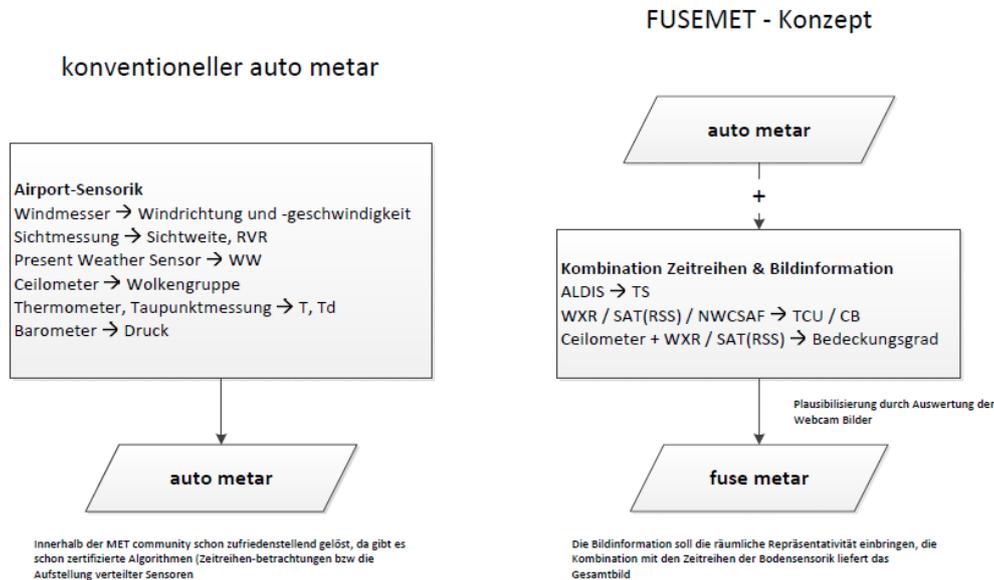


Abbildung 5: Gegenüberstellung FUSEMET-Konzepte zu AUTO-METAR

AP3 Sensorik und Datenformate

In diesem Arbeitspaket wurde untersucht wie die zur Verfügung stehenden meteorologischen Messwerte für eine automatisierte Analyse effizient abgelegt werden können. Ziel dabei war es die umfangreichen Daten wie z.B. Temperatur, Luftdruck, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und -richtung, Luftfeuchte, Sichtweite, Wetterradarbilder, Satellitenbilder, Wolkenhöhe und Blitzortungsdaten gemeinsam abzulegen, so dass eine zeitliche und örtliche Übereinstimmung der Daten gesichert ist.

Basierend auf einer SQL-Datenbank wurde ein Rohdatenarchiv angelegt. Als SQL-Software wurde das OpenSource-Projekt MySQL gewählt, die für viele Programmierumgebungen einen standardisierten Zugriff auf die Datenbank bereitstellt. In FUSEMET wurde hierfür ein MATLAB-Interface (mYm¹) gewählt, welches von allen Partnern als Standard-Schnittstelle verwendet wurde.

Die Vorteile dieser Kombination aus MySQL und MATLAB sind vielfältig. MySQL ist eine bewährte stabile Datenbanksoftware und bietet auch für sehr große Datenmengen schnelle Suchmöglichkeiten, sowohl für Wetterdaten als auch für die dazugehörigen Zeitstempel. MATLAB ermöglicht eine einfache Verarbeitung der Daten, wobei das Konsortium auf teilweise existierende Verarbeitungsschritte, Methoden und Algorithmen, u.A. aus den Bereichen Bilderverarbeitung und Statistik, zurückgreifen konnte. Über diese MATLAB-Schnittstelle konnten auch zusätzliche Daten abgelegt werden, so dass z.B. Zwischenergebnisse in speziell dafür angelegten Tabellen

abgespeichert werden können.

Das so angelegte Rohdatenarchiv wurde mit allen verfügbaren Sensorik-Daten befüllt. Die zeitliche Interpolation/Extrapolation der Daten erfolgt über eine Funktion, die zwischen der direkten Datenbankabfrage und Anwendung der Daten im aufrufenden Programm platziert wurde. Dadurch können Daten transparent und in beliebigen zeitlichen Schritten abgefragt werden, unabhängig von der tatsächlichen Verfügbarkeit des abgefragten Zeitpunkts in der Datenbank.

Wettermessdaten aus den Vorprojekten DIBMETSAT und DIBMETSAT-3D wurden ebenfalls in den kohärenten Datensätzen im Rohdatenarchiv integriert. Anhand der Georeferenzierung wurden Sichtweiten, Wetterradardaten, Intensitätswerte aus Satellitenbildern und Wolkentypen („stratiform / konvektiv“) eingefügt.

Die Klassifizierung „stratiform / konvektiv“ erfolgt über einen Strukturfilter, welcher Wetterradarstrukturen gewisser Größe und Intensität verstärkt. Dieser Filter basiert auf Glättung der Eingangsdaten und darauffolgender Berechnung von Differenzen zum Originalbild. Wenn diese Differenzwerte einen vordefinierten Schwellwert übersteigen, wird die Struktur als konvektiv klassifiziert (Abbildung 6). Es wurden für die Strukturgröße und Schwellwerte unterschiedliche Parameter evaluiert mit dem besten Ergebnis bei einer Kernelseite von 5 Pixel und Differenzschwellwert von 0,004 nach Anwendung des Gauss-Filters. Die entwickelte Methode wurde in ein C++-Programm übernommen und zu Evaluierungszwecken an die Meteorologen übergeben. Die Detektion von konvektiven Ereignissen in MSG-Bildern wurde ebenfalls anhand des entwickelten Programms getestet. Die Resultate zeigten allerdings, dass die Unterscheidung „stratiform / konvektiv“ in diesen Bildern nicht zufriedenstellend möglich ist.

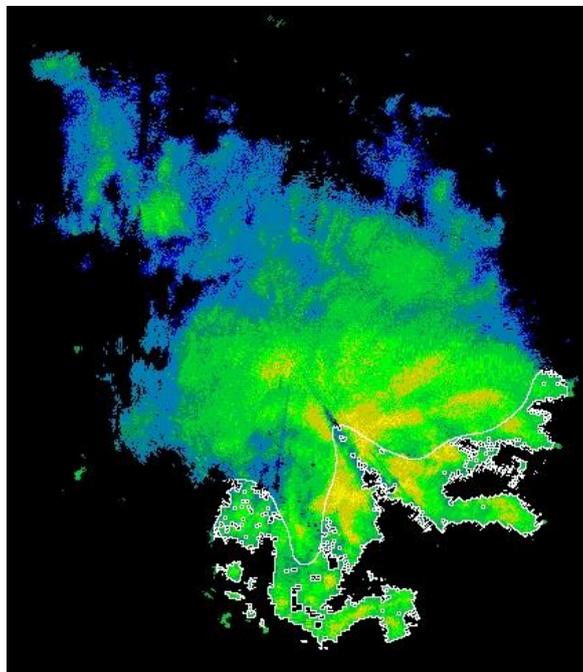


Abbildung 6: Stratiforme und konvektive Strukturen in einem Wetterradarbild. Die konvektiven Strukturen (weiß markiert) wurden als solche automatisch kategorisiert.

¹ <http://sourceforge.net/projects/mym/>

Beim Ausführen der Algorithmik zur Bestimmung des Wolkentyps wurden die Parameter der Methodik mit Hilfe der aus den Wetterradarbildern abgeleiteten Features „Mittelwert Wetterradar-Messwert“ und „Standardabweichung“ über das Rohdatenarchiv bestimmt. Bei der Validierung wurde festgestellt dass die Unterscheidung von Strukturen im Radarbild in „stratiform / konvektiv“ eine für die Meteorologie sehr nützliche Zusatzinformation darstellt, welche auch in Folgeaktivitäten (Take-Off Projekt AAA4ATM) von Nutzen sein wird.

Das Rohdatenarchiv erfüllte somit nicht nur eine für die Meteorologie unterstützende Funktion, sondern war auch für die Entwicklung der Bildverarbeitungsverfahren sehr hilfreich. Das Rohdatenarchiv ist seit März 2012 zur Validierung bei ACG im Einsatz. Zu diesem Zweck wurde dies um weitere Datenbanktabellen erweitert, welche z.B. der Ergebnisdokumentation dienen.

AP4 Bild und Sensor Fusion

Der Fokus des 1. Projektabschnitts lag auf der Entwicklung von Konzepten zur Fusion von verfügbaren Messwerten aus Flughafensensorik und Ergebnissen aus Bildverarbeitungssystemen zur Wetterbeobachtung unter spezieller Berücksichtigung lückenhafter Information. Die detaillierte mathematische bzw. algorithmische Umsetzung der Fusionskonzepte fiel in den Aufgabenbereich der 2. Projekthälfte. Entscheidend für die Generierung automatischer Meldungen (FUSE-METAR) ist die zuverlässige Detektion von relevanten Ereignissen (Wetteränderungen) und deren Modellierung. Aus den in AP2 definierten Use-Cases wird mittels Datenanalyse die gesuchte automatisierte Entscheidung zur Auswahl an Sensorik getroffen.

Sensoranalyse – Sichtweite: Als erster Schritt wurden mittels einer detaillierten Untersuchung korrelierende Sensoren im Bereich Sicht (Tabelle 3) auf die Ähnlichkeit ihrer Vorhersage überprüft. Es zeigte sich, dass die zertifizierten Messungen grundsätzlich einander entsprechen, im Detail aber Abweichungen erkennbar sind (vgl. Abbildung 7).

Tabelle 3: Vorhandene Sensoren - Sicht

sensorid	kurzbezeichnung	messeinheit	erklaerung
810	SWSSMV1	m	SWS Sued Sichtweite 1 min
811	SWSSMV10	m	SWS Sued Sichtweite 10 min
820	PWSAMV1	m	PWS RVR A Sichtweite 1 min
821	PWSAMV10	m	PWS RVR A Sichtweite 10 min
830	SWSBMV1	m	SWS RVR B Sichtweite 1 min
840	PWSCMV1	m	PWS RVR C Sichtweite 1 min
841	PWSCMV10	m	PWS RVR C Sichtweite 10 min
906	RVR1V1A	m	RVR A VIS 1 min Mittel
907	RVR1V10A	m	RVR A VIS 10 min Mittel
916	RVR2V1A	m	RVR B VIS 1 min Mittel
917	RVR2V10A	m	RVR B VIS 10 min Mittel
926	RVR3V1A	m	RVR C VIS 1 min Mittel
927	RVR3V10A	m	RVR C VIS 10 min Mittel

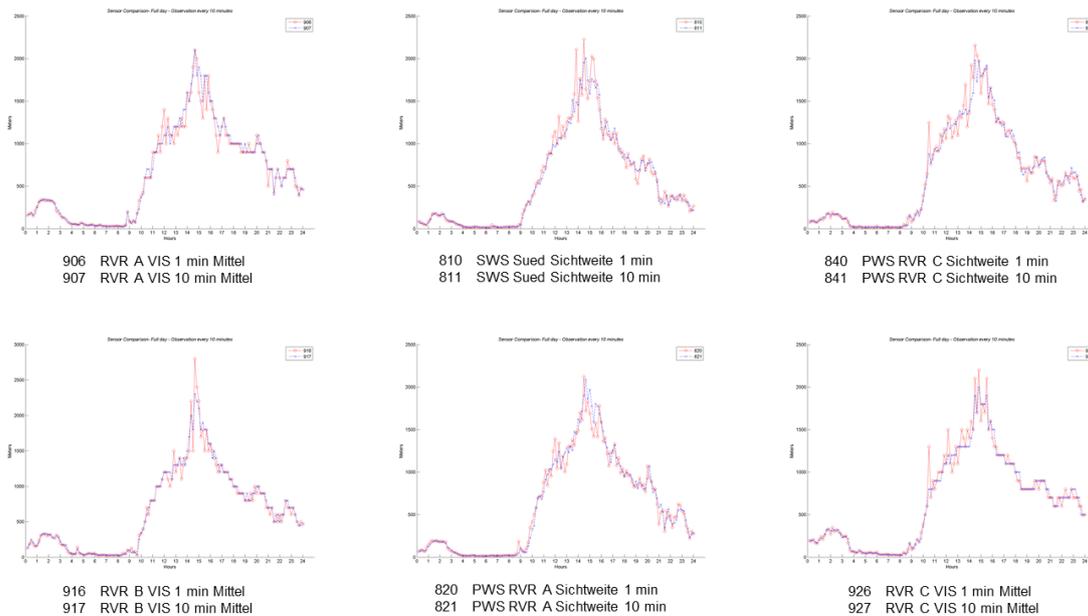


Abbildung 7: Use-Case Sichtverbesserung (19.02.2011), verfügbare Flughafensensorik

Bei hohen Sichtweiten ist dies wenig relevant, bei kurzen Distanzen ist dieses Verhalten jedoch durchaus als kritisch zu betrachten (speziell unter 1 km). Aus diesem Grund wurden die in den Vorgängerprojekten entwickelten Messungen auf Bildbasis den offiziellen METAR-Meldungen gegenübergestellt. Für die durchgeführten Analysen wurden die Use-Cases der Sichtverschlechterung (z.B. absinkender Hochnebel) bzw. Sichtverbesserung (z.B. auflösender Nebel) herangezogen. Die gute Korrelation der automatisch detektierten Sicht aus Kameras zum METAR zeigt die Verifikationsmöglichkeit (Plausibilisierung) der derzeitigen Sichtweitenmeldung. Unterschiede in den gemessenen Entfernungen erklären sich durch die unterschiedlichen Abdeckungsbereiche: Während eine METAR-Meldung die gesamte Flughafenumgebung umfasst, deckt das zum Vergleich herangezogene Bildmaterial nur eine Blickrichtung ab. Im Gegensatz zum eingeschränkten Bereich der Sichtweitenmessung aus Kamerabildern, bieten diese aber den Vorteil, dass eine Sichtbarkeitsmeldung für jede einzelne Landmarke verfügbar ist und damit auch eine konkrete Lokalisierung von Ereignissen (wie z.B. hereinziehender Nebel) möglich ist und sich damit von der integrierten Gesamtschau einer Einzelmeldung des Observers abhebt. Deshalb weist die Gegenüberstellung in Abbildung 8 und Abbildung 9 auch eine minimale (konservative Betrachtung) und eine maximale (optimistisch) Sichtmessung auf. Die Korrelation der offiziellen Meldung (METAR) mit der maximalen Sicht ist hierbei offensichtlich.

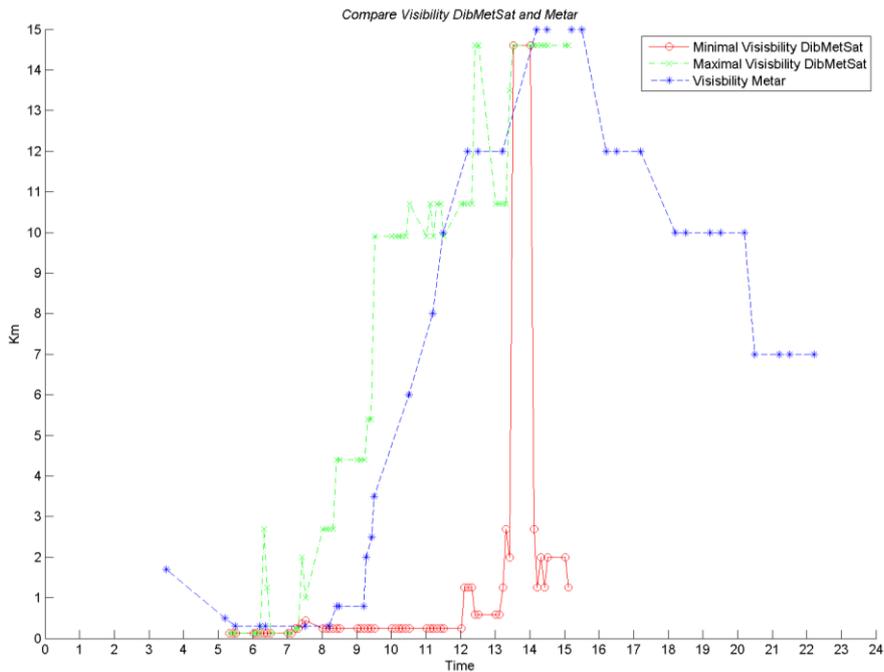


Abbildung 8: Vergleich von METAR und aus Bildern errechnete Sichtweite (Visibility DIBMETSAT) für den Use-Case Sichtverbesserung (19.02.2011)

Der letzte Schritt in der Datenanalyse zeigt den Überblick über die drei relevantesten Aussagen. Einerseits der Vergleich zwischen Sensorik entlang der Runway mit der gemeldeten Sicht im METAR und im direkten Vergleich dazu die Entsprechung aus den automatisierten Vorhersagen aus den Bilddaten.

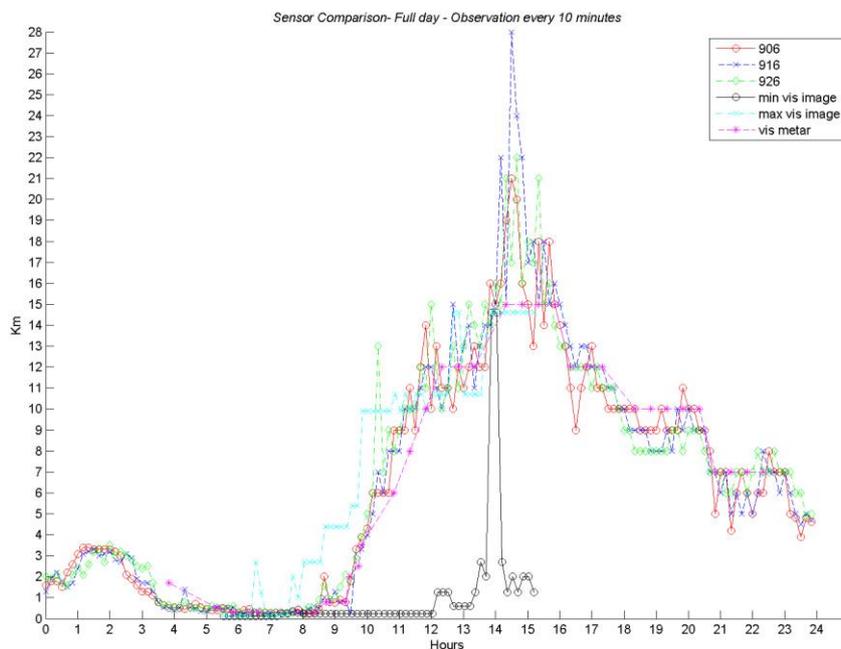


Abbildung 9: Vergleich RVR-Sensoren, METAR und Sichtweiten aus DIBMETSAT für den Use-Case Sichtverbesserung (19.02.2011)

Sensoranalyse – Wolkenhöhe: Ein wesentlicher Faktor für eine METAR-Meldung neben der Sichtweite ist die Bestimmung der Wolkenhöhe. Eine Analyse der verfügbaren Sensorik sollte

Aufschluss über die Möglichkeiten geben, konkrete Aussagen zu diversen Wetterphänomenen mit Höhenrelevanz treffen zu können. Die Liste der dafür herangezogenen Sensoren ist in Tabelle 4 zu finden.

Tabelle 4: Vorhandene Sensoren - Wolkenhöhe

sensorid	kurzbezeichnung	messeinheit	erklärung
0	WHMSH1	ft	WHM Sued Wolkenuntergrenze 1
2	WHMSVV	ft	WHM Sued Vertikalsicht
4	WHMSH2	ft	WHM Sued Wolkenuntergrenze 2
6	WHMSH3	ft	WHM Sued Wolkenuntergrenze 3
10	WHMNH1	ft	WHM Nord Wolkenuntergrenze 1
12	WHMNVV	ft	WHM Nord Vertikalsicht
14	WHMNH2	ft	WHM Nord Wolkenuntergrenze 2
16	WHMNH3	ft	WHM Nord Wolkenuntergrenze 3

Die evaluierten Testszenarien (Abbildung 10 und Abbildung 11) zeigen zwar, dass sich auch in diesem Fall analoge Sensoren in der groben Tendenz recht gut entsprechen aber im Detail bei den beiden Himmelsrichtungen klare Abweichungen erkennbar sind. Somit kann ein Ausfall eines Sensors durch den entsprechenden der anderen Position nur mit Einschränkungen kompensiert und die Messungen nur als grober Richtwert herangezogen werden. Auch Sensordaten derselben Richtung zeigen aufgrund ihrer unterschiedlichen Aufgabenbereiche keine direkt Korrelation (vgl. WHM Sensoren in Abbildung 12).

Grundsätzlich ist eine Aussage über die tatsächlichen Wolkenentwicklungen (gesucht ist eine Beurteilung bzw. Erkennung hereinziehender Wolkenfelder) schwer umzusetzen. Außerdem fehlt hier derzeit noch die Möglichkeit solche Bewertungen zu verifizieren.

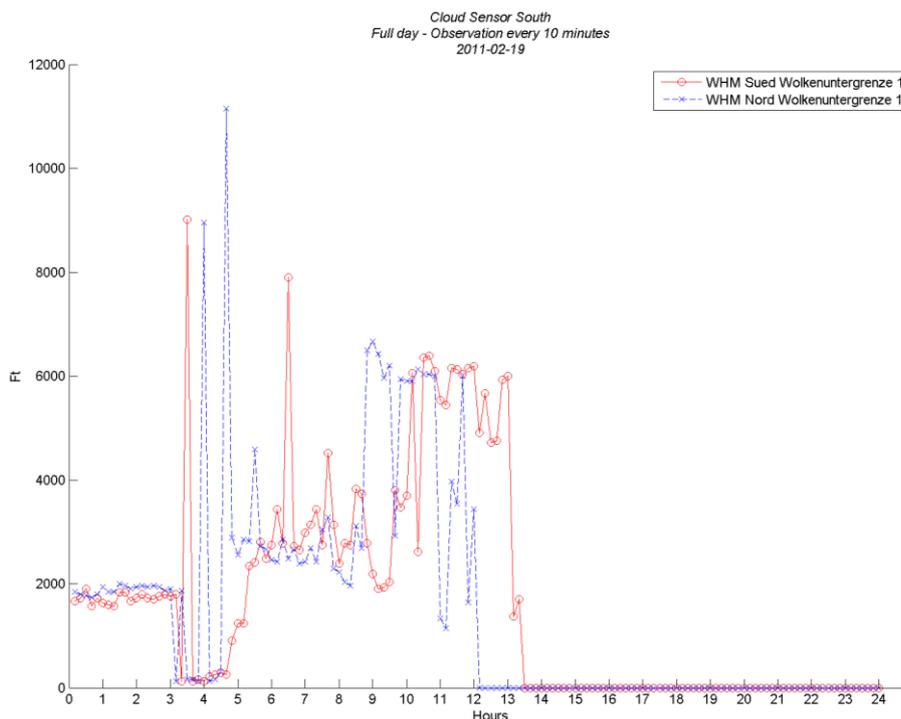


Abbildung 10: Vergleich Wolkenhöhenmessung Süd und Nord

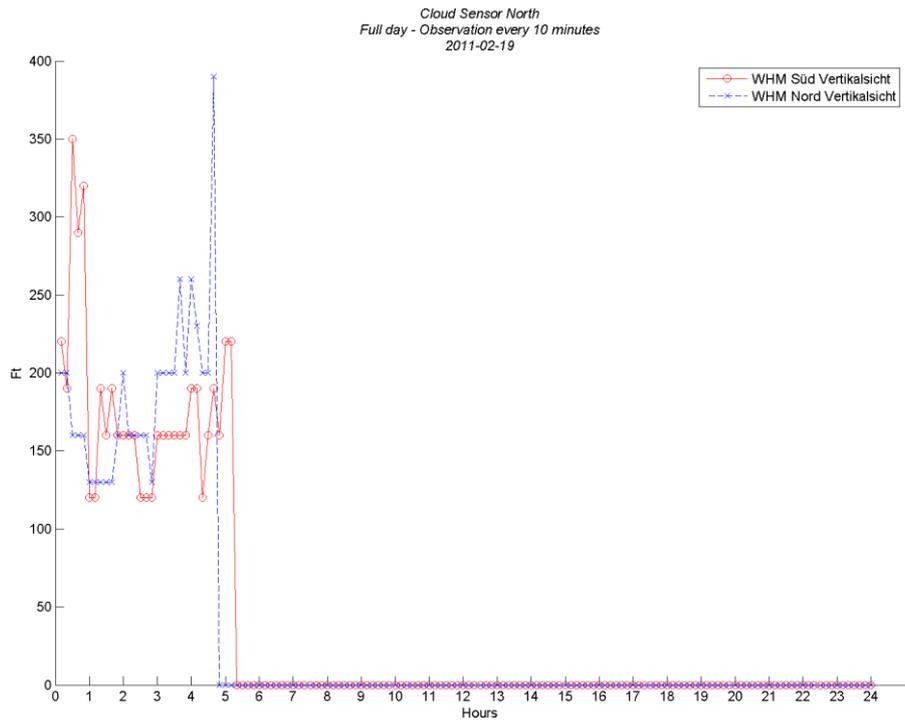


Abbildung 11: Vergleich Wolkenhöhenmessung Süd und Nord (Vertikalsicht)

Der Versuch die Henning'sche Formel „(Temperatur minus Taupunkt) x 125 = Wolkenuntergrenze in Meter“ für eine Verifikation auszunutzen ist in Abbildung 12 zu sehen. Die Ergebnisse spiegeln die Tatsache wider, dass die Henning'sche Formel nur für Konvektionsbewölkung (speziell bei Einstrahlung) Gültigkeit hat. Für die vorliegenden Beispiele ist dieser Ansatz somit nur eingeschränkt geeignet (keine Entsprechungen mit den Sensordaten) und die Ergebnisse belegen diesen Sachverhalt.

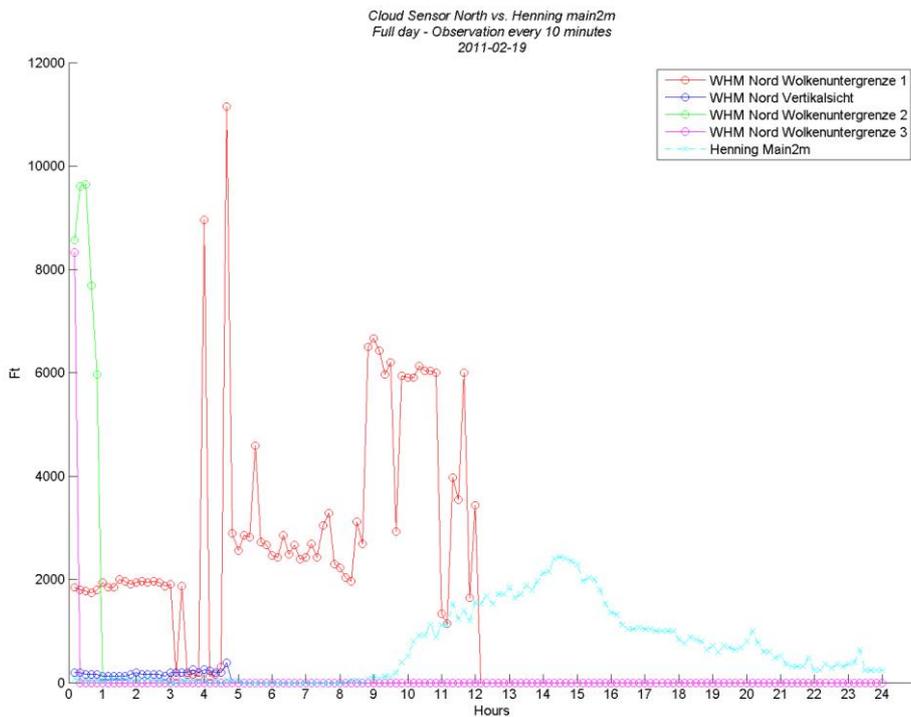


Abbildung 12: Vergleich der Sensoren einer Wolkenhöhenmessungsposition

Automatisierte Vorhersagen mittels Bayes-Netzwerken: Bei der Wahl der Fusionsmethode fiel die Entscheidung zu Gunsten von probabilistischen Verfahren (im Speziellen Bayes-Netzwerke), da diese gut mit unvollständiger bzw. fehlerhafter Information umgehen können, und damit die vorliegende Problemstellung etwaiger Sensorausfälle optimal erfüllen können.

Ein Bayes-Netzwerk ist ein Graphen-basiertes Werkzeug zur Repräsentation und Analyse von Modellen mit der Möglichkeit Unsicherheiten zu modellieren. Das Netzwerk besteht aus einem qualitativen Teil, welcher als gerichteter Graph (Directed acyclic graph - DAG) ausgeführt ist, dessen Knoten Zufallsvariablen repräsentieren und die Kanten (Verknüpfungen) direkte Auswirkungen anzeigen. Den quantitativen Teil des Netzwerks stellt eine Menge an bedingten Wahrscheinlichkeitsverteilungen dar. Diese modellieren die Abhängigkeiten innerhalb des Netzwerks und stellen damit ein Abbild eines IST-Zustands aller betrachteten Variablen dar. Die Graphenstruktur eines solchen Netzwerks erlaubt eine modulare Repräsentation des Wissens, effizientes Lernen und Schlussfolgern durch lokale, verteilte Algorithmen, sowie eine intuitive Interpretation der aktuellen Situation. Bereits etabliert und effizient eingesetzt werden probabilistische Netzwerke in medizinischer Diagnose, Finanzmarktanalyse, aber auch in industrieller Umgebung zur Fehleranalyse oder Situationsbewertung bis hin zu militärischen Anwendungen.

Eine erste Umsetzung des Konzepts wurde mit einem Sichtweitennetzwerk bewerkstelligt (Abbildung 13). Hierzu wurden die bereits angeführte Sensorik zur Sichtweitenmessung entlang der Runways (RVR-Visibility) als Basisknoten und Informationsquelle für das Netzwerk verwendet. Die Integration dieser Knoten (Sensoren) zu einem gemeinsamen Wert ist dabei im Knoten „METAR“ repräsentiert. Dieser wird zum Vergleich mit den offiziellen Meldungen herangezogen. Um die Repräsentativität zu steigern wird auf dieser Ebene auch der Knoten „VisEstMax“ integriert, welcher Ergebnisse aus den kamerabasierten Messungen repräsentiert. Auf oberster Ebene steht schlussendlich die Integration aller verfügbaren Informationen für einen Zeitpunkt im Knoten „FUSEMETAR“ und stellt damit das Gesamtbild aus Sensoren (Punktmessungen) und Bildern dar.

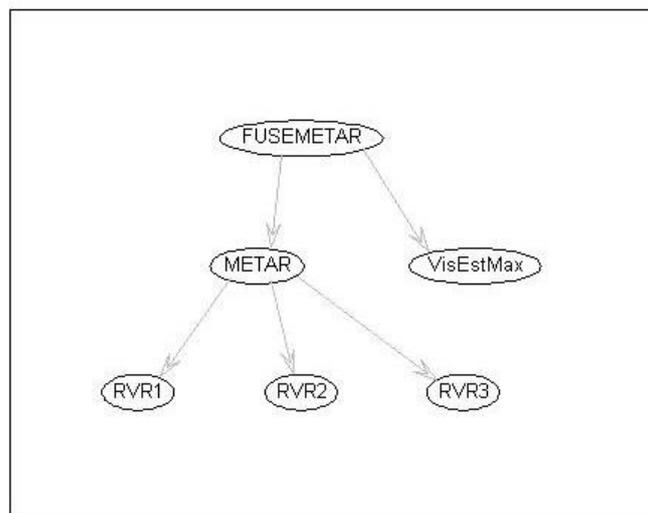


Abbildung 13: Struktur Bayes-Netzwerk zur Sichtweitenanalyse

Zur Analyse und Evaluierung des Netzwerks wurden vorhandene METAR Meldungen so aufbereitet, dass deren Kodierung auch für Laien verständlich ist (Abbildung 14a). Basierend auf einer Textsuche nach den definierten Use-Cases (Abbildung 14b) wurden diejenigen Meldungen extrahiert welche die relevanten Schlüsselwörter enthielten, und zur weiteren Verwendung herangezogen.

- Nebel
 - R17/0 bzw R35/0
 - VV00
 - R17/P bzw R35P
- Nebelschwaden
 - BCFG bzw FZBCFG
- Hochnebel
 - OVC00 BKN00 SCT00
- Quellwolken
 - CB bzw TCU
- Schauer
 - SH
- Gewitter
 - TS

```

METAR: METAR LOWG 010750Z VRB02KT 0300 R35/0650U R17/0300N FG OVC002 03/03 Q1022
BECMG 1200 BCFG BKN006

station: LOWG
type: routine report, cycle 8 (automatic report)
time: Tue Jan 1 07:50:00 2013
temperature: 3.0 C
dew point: 3.0 C
wind: variable at 2 knots
visibility: 300 meters
visual range: on runway 35, 650 meters; on runway 17, 300 meters
pressure: 1022.0 mb
weather: fog
sky: overcast at 200 feet
            
```

(a)
(b)

Abbildung 14: a) Textbausteine der Use Cases und b) Beispiel für extrahierte Details aus METAR

Aus den auf diese Weise extrahierten Daten wurde das Bayes-Netzwerk trainiert mit dem Ziel auch bei Ausfall von Sensoren die Möglichkeit einer zuverlässigen Wettervorhersage zu bieten. Dass diese Vorgehensweise tatsächlich der gewünschten Tatsache entspricht, wurde mittels zwei Test-Szenarien nachgewiesen. Auf der einen Seite wurden die berechnete Sichtweite aus dem Bayes-Netzwerk mit den gegebenen METAR-Meldungen verglichen (und von den Meteorologen als plausibel befunden, Tabelle 5) und auf der anderen Seite wurde ein Performance Test des Netzwerks für den Ausfall von Sensoren durchgeführt, und das errechnete Ergebnis wiederum dem offiziellen METAR-Wert gegenübergestellt (Tabelle 6). Auch im 2.Fall konnte die Plausibilität der fusionierten Sichtweitenmeldung gezeigt werden.

Tabelle 5: Vergleich METAR und Abschätzung aus dem Bayes-Netzwerk (Auszug)

Date	Time	METAR_Vis	RVR1	RVR2	RVR3	METAR_BayesTest
	07:19	250	200	200	200	250
20111101	07:49	300	200	250	200	250
	08:20	300	200	200	200	250
	07:49	300	200	250	200	250
20111101	08:20	300	200	200	200	250
	08:49	300	200	200	250	250
	08:20	300	200	200	200	250
20111101	08:49	300	200	200	250	250
	09:19	300	200	250	300	250

Tabelle 6: Vergleich METAR und Abschätzung aus dem Bayes-Netzwerk für Sensorausfälle (Auszug)

Date	Time	METAR_Vis	RVR1	RVR2	RVR3	METAR_BayesTest
	07:19	250 x		200	200	250
20111101	07:49	300 x		250	200	250
	08:20	300 x		200	200	250
	07:49	300	200 x		200	100
20111101	08:20	300	200 x		200	100
	08:49	300	200 x		250	250
	08:20	300	200	200 x		250
20111101	08:49	300	200	200 x		250
	09:19	300	200	250 x		250

Bayes-Netzwerk für konvektive Ereignisse: Ein Ereignis mit wesentlichem Einfluss auf den Flugverkehr stellen Konvektionslagen bzw. Gewitter im Umkreis der Flughäfen dar. Zur Analyse und Ereignisdetektion wurde ein Bayes-Netzwerk für ebendiese konvektiven Ereignisse entwickelt. Die zugrundeliegenden Daten hierbei entstammen aus folgender Sensorik: ALDIS-Blitzortungssystem, Wetterradar und SAF (Satellite Application Facility, ein Produkt aus der Beobachtung durch Meteosat).

Es wurde entschieden die Knoten des Netzwerks weitgehend mit diskreten Werten zu belegen (Tabelle 7). Dies erleichtert die Verfolgbarkeit bzw. Einflussnahme auf Zwischenknoten im Netzwerk und verringert zudem die Anzahl der benötigten Trainingsbeispiele sofern die Knoten nur wenige diskrete Zustände (vgl. Tabelle 7 „node_sizes“) annehmen können.

Tabelle 7: Indizierte Knoten des Netzwerks mit den möglichen diskreten Werten

WX = 1;	% Diskr (3, 1, 2); 3 entspricht Klasse 0 (Matlab indexing)
CB = 2;	% Diskr (0, 1)
ALDIS = 3;	% Diskr (nein, ja) 1...nein, 2...ja
WXR = 4;	% Diskr (nein, ja)
SAF = 13;	% Diskr (nein, ja)
ALDIS TS = 5;	% Diskr (nein, ja)
ALDIS VCTS = 6;	% Diskr (nein, ja)
ALDIS CB = 7;	% Diskr (nein, ja)
WXR2D RRInt = 8;	% Gauss
WXR2D Strat = 9;	% Gauss (0..1)
WXR2D CB = 10;	% Diskr (nein, ja)
WXR3D TCUCB1 = 11;	% Diskr (nein, ja)
WXR3D TCUCB2 = 12;	% Diskr (nein, ja)
SAF CM = 14;	% Diskr (0, 3)
SAF CT = 15;	% Diskr (0, 9, 11, 13)
node_sizes = [3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 4];	

Eine weitere Designentscheidung war das Netzwerk über 3 Ebenen auszulegen (vgl. Abbildung 15). Die unterste Ebene enthält dabei die beobachtbaren Werte aus den zugrundeliegenden Messergebnissen und Daten. Die mittlere Ebene ist eine Schicht mit „hidden nodes“, welche jeweils die Entscheidungen aus den Sensorquellen zusammenführen (z.B. alle Ableitungen aus Wetterradarquellen im Knoten WXR). Durch dieses Design ist es sehr einfach möglich zu beliebigen Zeitpunkten zusätzliche Sensorquellen einzufügen. Aufgrund der Eigenschaften eines Bayes-Netzwerks auch mit unvollständigen Daten arbeiten zu können, können so alle bisher erhobenen Trainingsdaten auch weiter verwendet werden.

Auf der obersten Ebene steht schlussendlich die Entscheidung des Netzwerks für die AUTO-Observation (FUSE-METAR). Dabei werden Ergebnisse sowohl für CB-Ereignisse als auch für Gewitter (WX) im Umkreis des Flughafens erzeugt. Während der Trainingsphase wird diese oberste Ebene ebenfalls (zumindest teilweise) mit konkreten beobachteten Werten belegt.

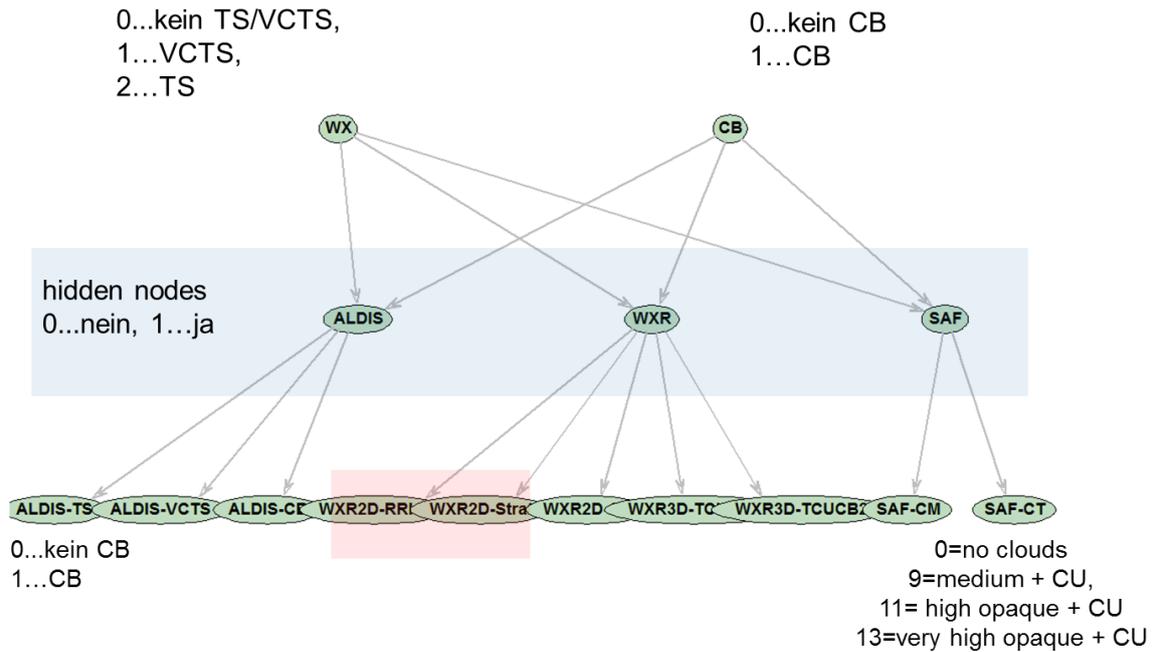


Abbildung 15: Bayes-Netzwerk für konvektive Ereignisse

Der komplette Datenaustausch erfolgt ebenfalls wieder über die MATLAB-Schnittstelle zur MySQL-Datenbank (mYm, vgl. AP3). D.h. alle benötigten Daten und Informationen zum Erlernen der Parameter für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen entstammen Tabellen der Datenbank. Als Lernverfahren wurde ein Expectation-Maximation-Algorithmus eingesetzt, welcher sich speziell für Lernprozesse mit unvollständigen Informationen eignet.

Im Lernprozess wurden unterschiedliche Ansätze für den Trainingsprozess verfolgt. Eine erste Unterscheidung wurde vorgenommen, um lokale Abhängigkeiten besser modellieren zu können. Dabei wurde das Training nur unter Berücksichtigung einer einzigen Location (z.B. LOWG) durchgeführt. Dem gegenüber steht ein globaler Trainingsansatz, bei dem alle zur Verfügung stehenden Informationen aus der Datenbank ohne Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten zum Training herangezogen werden. Aufgrund der geringen Repräsentativität bei Verwendung von lokalem Training wurde in weiterer Folge nur der globale Ansatz verfolgt. Hierbei wurden aber wiederum mehrere Varianten untersucht: 1) Verwendung aller Daten ohne Priorisierung einer Klasse, 2) Höhere Gewichtung von CB- und WX-Vorkommen gegenüber der Null-WX-Klasse durch Einschränkung der Anzahl von Null-Beispielen, und 3) Training mittels eines manuell erstellten Trainingssets repräsentativer konvektiver Ereignisse.

Alle Ergebnisse aus Analysen nach Training mit einer der vorhergehenden Methoden wurden wiederum über die mYm-Schnittstelle in der Datenbank in einer Ergebnistabelle abgelegt. Als Keys wurden Location und Timestamp verwendet, womit diese Ergebnisse auch für eine Offline-Analyse weiterhin zur Verfügung stehen.

Analog zu den unterschiedlichen Trainingsverfahren wurden während der Testphase den diversen Trainingsmethoden unterschiedliche Testmengen gegenübergestellt. Im Folgenden sind Ergebnisse dieser Analysen dargestellt. Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen einen Ausschnitt der Ergebnisanalyse, wobei die grau hinterlegten Spalten die Ground Truth darstellen.

1. Globales Training mit allen Beispielen: Beim Training werden alle Beispiele der „Convection3“-Tabelle² aus der Datenbank verwendet, wobei auf gesicherte CBs Rücksicht genommen wurde (d.h. in Tabelle „Convection3“ sowie der Tabelle „Vergleich“ muss CB stehen). Zusätzlich werden die manuell selektierten Beispiele (aus Punkt 3) hinzugefügt. Die Ergebnisse dieser Analyse finden sich in den Spalten wx(all) der Tabelle 2 und Tabelle 3 wieder. Hierbei zeigt sich, dass die WX-Ereignisse gegenüber der Ground Truth unterrepräsentiert bzw. die Ereignisse der Null-WX-Klasse in den Trainingsdaten zu dominant sind.
2. Globales Training mit unterschiedlicher Anzahl Samples der Null-WX-Klasse: Analog zum Training aus Punkt1, wobei hier nur eine bestimmte Anzahl Samples der Null-WX-Klasse beim Training berücksichtigt werden. In den Ergebnistabellen sind dies die Spalten mit der Anzahl der Null-Samples in Klammer, z.B. wx(500).

Aufgrund der Ergebnisanalyse zeigt sich, dass ein Training mit wenigen Null-WX-Beispielen (100 oder 200) die besten Ergebnisse, sowohl auf dem gesamten „Convection3“-Datensatz (Tabelle 2) als auch bei den manuellen Testbeispielen (Tabelle 3), liefert.

3. Globales Training mit manuell selektierten Beispielen: Die letzte Variante des Trainings berücksichtigt nur manuell selektierte Beispiele. Durch die geringe Anzahl an Trainingsbeispielen wird der Prozess des Trainings wesentlich beschleunigt. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass dadurch beim EM-Algorithmus nur wenige Iterationen möglich sind, um nicht in einen Deadlock zu laufen. Die Ergebnisse befinden sich in den letzten beiden Spalten und zeigen eine gute Übereinstimmung zur Ground Truth.

² MySQL-Tabelle mit abgeleiteten Daten aus ALDIS, WXR und SAF

Tabelle 8: Gegenüberstellung verschiedener Trainingsvarianten anhand der „Convection3“-Daten

loci	obsdate	wx (100)	cld	wx	cld	wx (all)	cld	wx (1000)	cld	wx (500)	cld	wx (200)	cld	wx (nur Bsp)	cld
LOWW	2012-07-24 18:45:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-24 19:45:00	2	CB	VCTS	CBa	0	CB	2	NO	2	CB	2	CB	2	CB
LOWW	2012-07-24 20:45:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-24 21:45:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-24 22:45:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-24 23:45:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 00:45:00	2	CB	VCTS	CBa	0	CB	2	NO	2	CB	2	CB	2	CB
LOWW	2012-07-25 01:45:00	0	NO	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 02:15:00	0	NO	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2012-07-25 03:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 04:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 05:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 06:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 07:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 08:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 09:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 10:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 11:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 12:15:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 13:15:00	0	NO	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2012-07-25 14:15:00	0	NO	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2012-07-25 15:15:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 16:15:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 17:15:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 18:15:00	2	CB	TS	CBa	0	CB	2	NO	2	CB	2	CB	2	CB
LOWW	2012-07-25 19:15:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 20:15:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 21:15:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 22:15:00	2	CB	NO	CBa	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 23:15:00	0	NO	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2012-07-26 00:15:00	0	NO	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2012-07-26 01:15:00	0	NO	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2012-07-25 02:45:00	0	NO	NO	NO	0	NO	0	NO	0	NO	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 03:45:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB
LOWW	2012-07-25 04:45:00	2	CB	NO	NO	0	NO	0	NO	0	CB	2	CB	0	CB

Tabelle 9: Gegenüberstellung verschiedener Trainingsvarianten anhand der manuell selektierten Beispiele

loci	obsdate	wx (200)	cld	wx	cld	wx (100)	cld	wx (all)	cld	wx (500)	cld	wx (nur Bsp)	cld
LOWW	2013-06-13 14:15:00	0	NO			2	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2013-06-12 12:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWL	2013-06-13 14:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWS	2013-06-13 14:15:00	0	NO			2	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWI	2013-06-13 14:15:00	0	NO			2	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWG	2013-06-13 14:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWK	2013-06-13 14:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWK	2013-06-17 12:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWG	2013-06-17 12:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWI	2013-06-17 12:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWS	2013-06-17 12:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWL	2013-06-17 12:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2013-06-17 12:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWK	2013-06-16 15:15:00	2	CB		CBa	2	CB	0	NO	0	NO	0	CB
LOWK	2013-06-09 19:15:00	2	CB			2	NO	0	NO	2	CB	0	CB
LOWL	2013-06-09 19:15:00	2	CB	TS	CBa	2	CB	0	CB	2	CB	2	CB
LOWW	2013-06-09 19:15:00	2	CB		CBa	2	CB	0	NO	0	NO	0	CB
LOWL	2013-06-09 19:45:00	2	CB	TS	CBa	2	CB	0	CB	2	CB	2	CB
LOWL	2013-06-09 20:15:00	2	CB		CBa	2	CB	0	NO	0	CB	0	CB
LOWS	2013-06-16 20:45:00	2	CB			2	CB	0	NO	2	CB	0	CB
LOWW	2013-05-02 06:15:00	0	CB		CBa	0	CB	0	NO	0	CB	0	CB
LOWI	2013-04-19 06:15:00	0	NO		CBa	2	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2013-05-06 21:45:00	2	CB			2	CB	0	NO	2	CB	0	CB
LOWW	2013-05-07 07:15:00	0	CB			0	CB	0	NO	0	CB	0	CB
LOWW	2013-04-17 11:15:00	0	CB		CBa	0	CB	0	NO	0	CB	0	CB
LOWW	2013-01-29 15:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWS	2013-01-29 15:15:00	0	NO			0	NO	0	NO	0	NO	0	NO
LOWW	2013-05-21 17:45:00	2	CB	TS	CBa	2	CB	0	CB	2	CB	2	CB
LOWW	2013-05-19 17:45:00	2	CB	VCTS	CBa	2	CB	0	CB	2	CB	2	CB

AP5 Zeitliche Analysen

In diesem Arbeitspaket wurden zeitliche Analysen auf den in dem Projekt verwendeten Datenströmen (vgl. Rohdatenarchiv) ausgeführt. Weiters wurde untersucht wie die Bildqualität von Webcams anhand Superresolution-Verfahren erhöht werden kann. Eine zeitliche Analyse der Bildinhalte wurde mit dem Ziel der Detektion von speziellen Wetterereignissen unternommen. Zur Validierung der Ereignisdetektion wurden Wetterradarbilder und Bilder einer Wetterkamera aufeinander registriert, sodass kohärente Projektionen der Wetterradarimages in die Wetterkamera vorgenommen werden konnten.

Für die fusionierten Datensätze im Rohdatenarchiv wurden Merkmale, z.B. lineare Trends extrahiert, so dass basierend auf diesen Merkmalen Clustering- und Klassifizierungsverfahren ausgeführt werden konnten. In Abbildung 16 ist beispielhaft die Analyse der Intensität der Wetterereignisse am Flughafen Graz dargestellt. Mittels Clustering konnte die Intensität in fünf Stufen klassifiziert werden (Abbildung 17). Die oberen zwei Stufen (Clusterzahl 4 und 5) zeigen viele Blitzereignisse, die untere drei zeigen nur wenige Blitzereignisse.

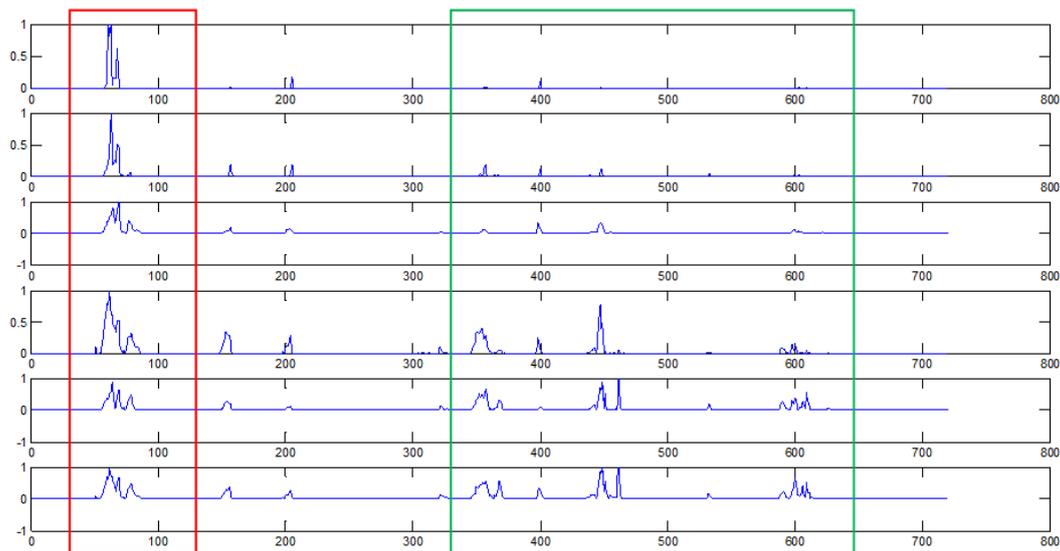


Abbildung 16: Wert von sechs Merkmalen (vertikal) als Funktion der Zeit (horizontal)

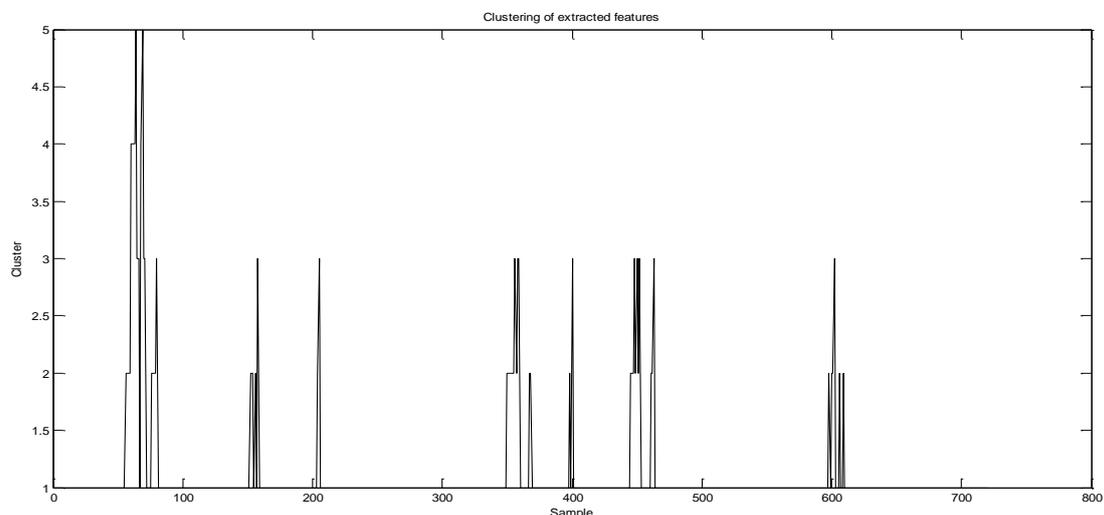


Abbildung 17: Clustering-Ergebnis zu Abbildung 16 (Clusterstufen von 1-5 vertikal)

Weitere Analysen zeigten dass die niedrige zeitliche Auflösung der Sensorik und die niedrige räumlichen Abmessungen der TMAs³ ein Hindernis für die zuverlässige automatische Vorhersage von Wetterereignissen darstellen.

Für weitere zeitliche Analysen wurden Bildsequenzen von unterschiedlichen öffentlich-zugänglichen Webcams gesammelt. Diese Bildsequenzen wurden mit verfügbaren Superresolution-Verfahren analysiert. Ein Test auf synthetisch hergestellten Bildsequenzen zeigte, dass die Konstruktion eines hochauflösenden Bildes mit Hilfe dieser Verfahren prinzipiell möglich ist (Abbildung 18).



Abbildung 18: Resultat eines Superresolution-Verfahrens auf synthetischen Testdaten. Aus einer Reihe von Originalbildern (Beispiel links) wurde erfolgreich ein hochauflösendes Bild errechnet.

Die Tests mit realen Bildsequenzen zeigten allerdings, dass die Daten von frei verfügbaren Webcams sich nicht gut für die Anwendung von Superresolution-Verfahren eignen. Bei fest montierten, unbeweglichen Webcams gibt es zu wenig „aliasing“ um die Errechnung von Subpixel zu ermöglichen. Datenströme von verfügbaren bewegten PZT⁴-Kameras dagegen verfügen nicht über genügend hohe Bildqualität um eine erfolgreiche Registrierung der Bilder zu ermöglichen.

Als dritte Variante wurden Superresolution-Verfahren, die nicht auf Bildsequenzen sondern auf Einzelbildern arbeiten, erwägt. Diese Art Verfahren wurde als ungeeignet für Wetterkameras eingestuft, da sie keine Daten aus unterschiedlichen Messungen fusioniert, sondern Daten aus anderen Pyramidenschichten oder Bildbereichen kopiert, so dass der Eindruck eines hochauflösenden Bildes entsteht. Dabei könnten die eingefügten Daten von beliebigen Stellen herangezogen werden, ohne dass diese meteorologische Relevanz aufweisen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Bildqualität vieler Webcams nicht ausreicht, um bisher entwickelte Methoden aus den Vorprojekten DIBMETSAT und DIBMETSAT-3D (wie z.B. eine Sichtweitenanalyse) durchführen zu können. Die Anwendung von Superresolution-Verfahren ist

³ TMA: Terminal Area, Sektor der Flugsicherung

dabei nur sehr beschränkt hilfreich. Für die Anwendungen der Bildverarbeitung auf Wetterkameras müssen somit entweder hochauflösende Kameras angewendet werden, oder neuartige Bildverarbeitungsverfahren entwickelt werden, die auch bei schlechter Bildqualität eine Extraktion von Informationen über die Wetterlage ermöglichen.

Für die geplanten Untersuchungen zur Ereignisdetektion wurde ein Videosequenzarchiv angelegt. Das Archiv beinhaltet Videos aus öffentlichen Quellen. Dabei wurden Webcam-Sequenzen mit speziellen Wetterereignissen (z.B. Blitze) archiviert. Mit Hilfe von Background-Modellen wurde die Wetterlage in den Videosequenzen modelliert. Plötzliche Änderungen, wie sie z.B. durch Blitze entstehen, konnten damit erfolgreich detektiert werden (Abbildung 19).

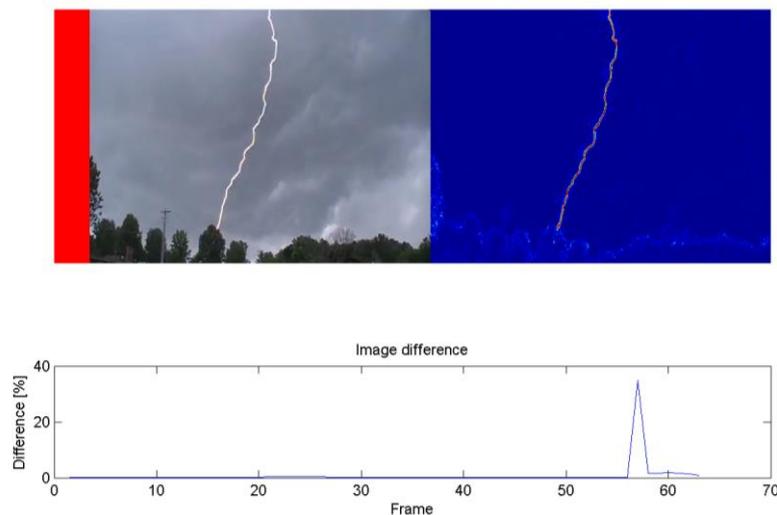


Abbildung 19: Detektion von Blitz über Modellierung des Bildhintergrundes

Als weitere Quelle wurden öffentlich verfügbare Bilder von hochauflösenden Spiegelreflexkameras verwendet. In den Bildern dieser Kameras waren Zusatzinformationen bezüglich Bildaufnahme (wie z.B. Blende und Beleuchtungszeit) gespeichert. Eine für die Wetterlage relevante Information ist die Lichtmenge die direkt aus Blende und Beleuchtungszeit errechnet wird. Mit Hilfe großer Bildmengen konnte für jede Tageszeit und Monat ein statistisches Model abgeleitet werden. Diese Modelle wurden dann verwendet um Szenen mit außergewöhnlichen Lichtmengen zu erkennen.

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen zwei Bilder, die von der Methode als außergewöhnlich gekennzeichnet wurden. Nebel und Bewölkung sorgen bei Nacht für höhere Lichtmengen als erwartet, am Tag aber für wesentlich niedrigere Werte als erwartet. Auch Ereignisse wie Vollmond, und Regen wurden durch die Methode erfolgreich als auffällig klassifiziert.

⁴ PZT: Pan-Zoom-Tilt



Abbildung 20: Detektierter Outlier. Die Lichtmenge ist durch starken Nebel viel höher als erwartet.



Abbildung 21: Detektierter Outlier. Die Lichtmenge ist durch Bewölkung und Niederschlag viel niedriger als erwartet.

In Abbildung 22 sind die Lichtmengenmodelle für Jänner und Juni abgebildet. Die Modelle zeigen erstens dass die Tageslichtmengen im Juni höher sind als im Jänner, obwohl die maximale Helligkeit sich nicht unterscheidet. Zweitens ist die Variabilität der Lichtmenge im Jänner größer als im Juni. Dies lässt sich über die Wetterlage erklären, da die häufigsten Outlier im Jänner starken Nebel zeigen und eine höhere Lichtmenge vorspielen. Die häufigsten Outlier im Juni hingegen zeigen starke Bewölkung, teilweise mit Regen, und dadurch eine Minderung der erwarteten Lichtmenge.

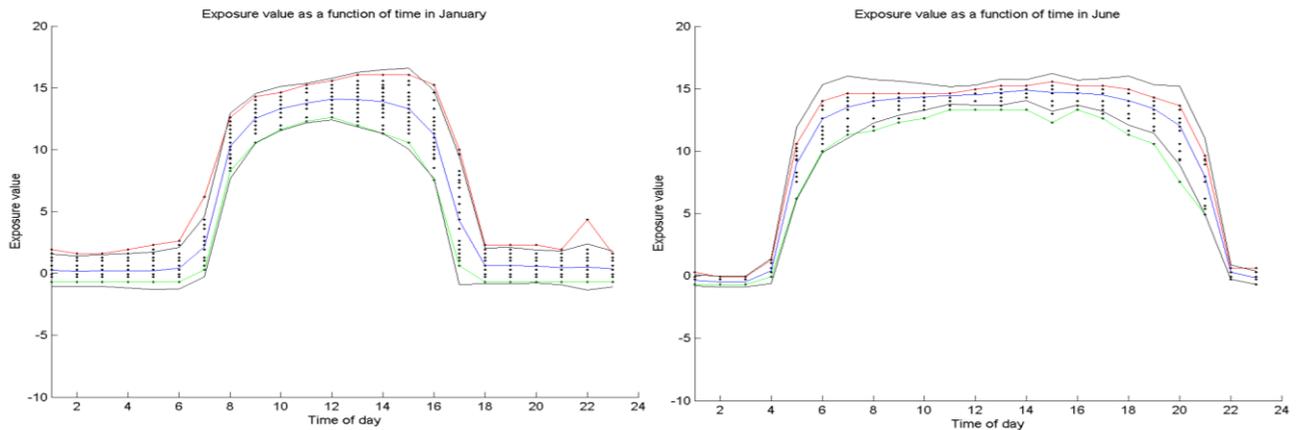


Abbildung 22: Lichtmengenmodelle für Jänner (links) und Juni (rechts) als Funktion der Tageszeit

In einem weiteren Schritt wurde die verwendete Kamera manuell georeferenziert, so dass zwischen Kamera und Wetterradar eine Projektionstransformation errechnet werden konnte (Abbildung 23). Somit konnten Wetterradardaten und Kamerabild zeitlich und örtlich fusioniert werden.

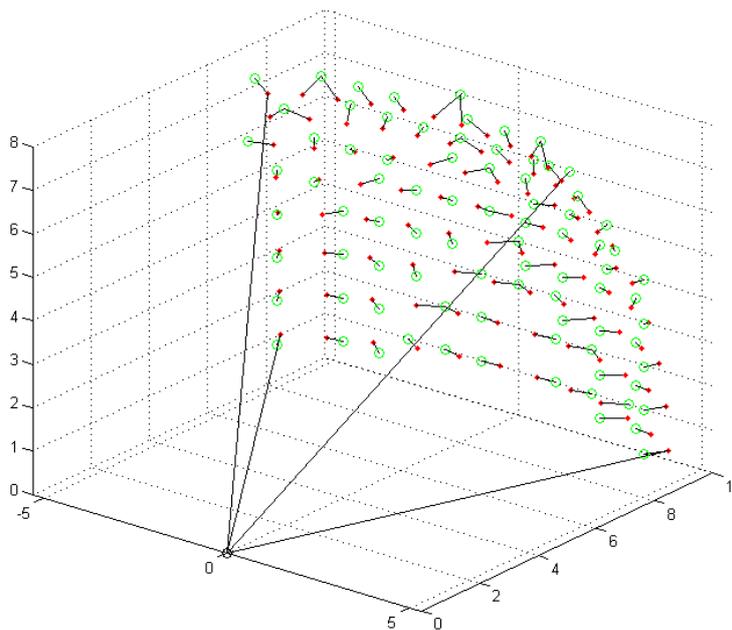


Abbildung 23: Projektionstransformation von 3D-Wetterradarvolumen zu Kamerabild

In Abbildung 24 ist das Resultat einer Projektion von Wetterradardaten (bis 10 km) in das Kamerabild abgebildet. Die Wetterradardaten zeigen ebenso wie das Kamerabild Niederschlag an. Die Ereignisdetektion lieferte hierzu auch ein Bild das einen Blitz anzeigt (Abbildung 25). Dieser Blitz konnte mittels der ALDIS-Datenbank in einem Cluster von relevanten Blitzen verifiziert werden.



Abbildung 24: Zeitlich und örtlich relevante Wetterradardaten projiziert im Kamerabild



Abbildung 25: Outlier-Detektion. Die Lichtmenge in dieser Aufnahme ist wegen Bewölkung höher als normal. In diesem Bild ist ein Blitz sichtbar.

AP6 Integration und Validierung - ACG

Als Experimentalsystem innerhalb der MET-Infrastruktur der ACG wurde die automatische Detektion der gewitternahen Wetterelemente sowie Bewölkungsgruppen (AUTO-METAR KONVEKTIONS-Modul) eingebunden und diversen Tests unterzogen. Gewitter beinhalten für die Luftfahrt alle möglichen Gefahren, daher wird an eine zunehmend automatisierte Erfassung ein hoher Qualitätsanspruch gestellt.

Für den AUTO-METAR sollen folgende Elemente automatisch erfasst werden:

- TS** ... Gewitter am Flughafen, d.h. Blitzentladung oder Donner im Umkreis von 10 km zum Flughafenbezugspunkt in den letzten 10 Minuten
- VCTS** ... Gewitter in der Umgebung des Flughafens, wie TS jedoch im Umkreis >10 km bis 18 km um den Flughafenbezugspunkt
- CB** ... hoch auftürmende Gewitterwolke mit Vereisungsbereichen (Amboss) im Umkreis von 50 km zum Flughafenbezugspunkt oder innerhalb der TMA (Anflugbereich) innerhalb der letzten 10 min
- TCU** ... auftürmende Cumuluswolke als Vorstadium zur Gewitterwolke im Umkreis von 50 km zum Flughafenbezugspunkt oder innerhalb der TMA (Anflugbereich) innerhalb der letzten 10 min

Hierzu wurde ein Perlprogramm mit Zugriff auf die ACG WXR-ALDIS-MySQL Datenbank geschrieben und Maskenfiles für die relevanten Flughafenbereiche erstellt (Abbildung 26).

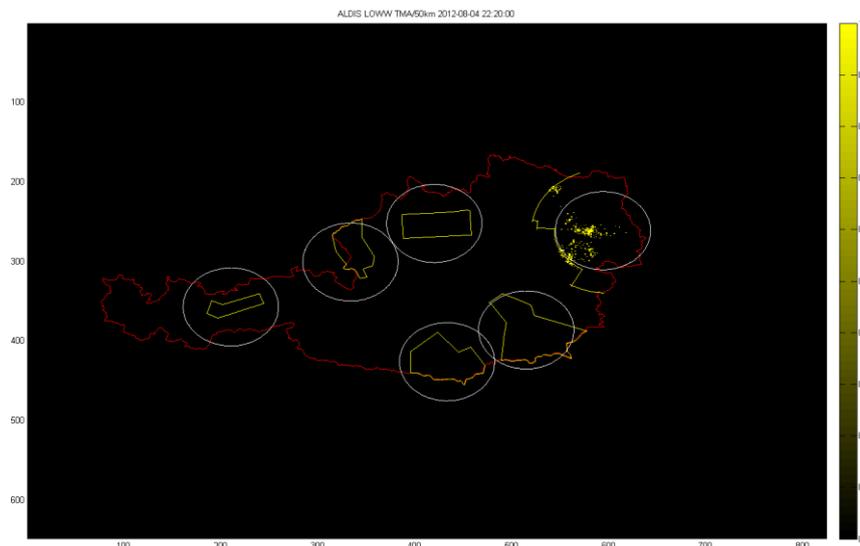


Abbildung 26: Österr. Radarcompositausschnitt. Gelb: TMA/CTR Bereiche österr. internationalen Flughäfen; Weiß: 50km Umkreis.

TS wird abgeleitet wenn mindestens 1 Blitzentladung via ALDIS innerhalb von 10 km Umkreis zum Flughafenbezugspunkt in den letzten 10 Minuten erfasst wurde. VCTS wird ausgegeben, wenn mindestens 1 Blitzentladung via ALDIS von größer 10 km bis zu einem Umkreis von 18 km zum Flughafenbezugspunkt in den letzten 10 Minuten erfasst wurde. CB wird ausgewertet, wenn mehr als 4 Pixel Reflektivitätswerte über 34 dBZ im Umkreis von 50km bzw. TMA/CTR Bereich des entsprechenden Flughafens detektiert wird.

Es wurden innerhalb der ACG EDV Architektur mehrere Teilschritte für das Experimentalsystem iterativ nach Verifikationsergebnissen sowie Datenverfügbarkeit eingeführt und adaptiert. Ablaufprozesse der WXR- und Blitzdatennutzung konnten bereits in Echtzeit durchgeführt werden, Auswertungen unter Einbindung einzelner Satellitendaten oder für das Bayes-Netzwerk wurden nur mit historischen Daten mit Hilfe von MATLAB-Programmen nachberechnet.

In einer ersten Version wurden 2D WXR (Wetterradar) und ALDIS (Blitz) Daten verwendet und alle 30 min für die automatische Erstellung eines Vorschlag-METARs herangezogen. TS/VCS wurde bei Vorhandensein von mindestens 1 Blitzentladung innerhalb des oben angeführten Bereiches festgelegt. CB wurden ausgewertet, wenn im oben angeführten Bereich mehr als 4 Pixel (entspricht 4 km²) Reflektivitätswerte von 34 dBZ erreichen oder übersteigen. TCU wurde nicht behandelt.

Bei den nachfolgenden Verbesserungsarbeiten aufgrund der anfangs zu hohen Falschdetektion von CB (siehe Validierung der Ergebnisse, nachfolgend) wurde die zeitliche Abhängigkeit der Eingangsdaten untersucht, die Reflektivitätsschwellwerte für CB Erfassung zuerst auf 38 dBZ und nachfolgend auf 42 dBZ erhöht. Anschließend wurden vorübergehend für die CB Erfassung die WXR Daten ausgesetzt und nur Blitzdaten (mindestens eine Entladung innerhalb 50 km Umkreis oder TMA Bereich) zur automatischen CB Detektion verwendet. Eine Blitzentladung muss zwangsläufig von einer hochauftürmenden Gewitterwolke herrühren.

In einem weiteren Verifikationsansatz wurden zur CB Detektion zusätzlich 3D WXR Informationen für die online-Berechnung verwendet (Abbildung 27). Dadurch kann die vertikale Struktur einer Gewitterzelle besser erfasst werden.

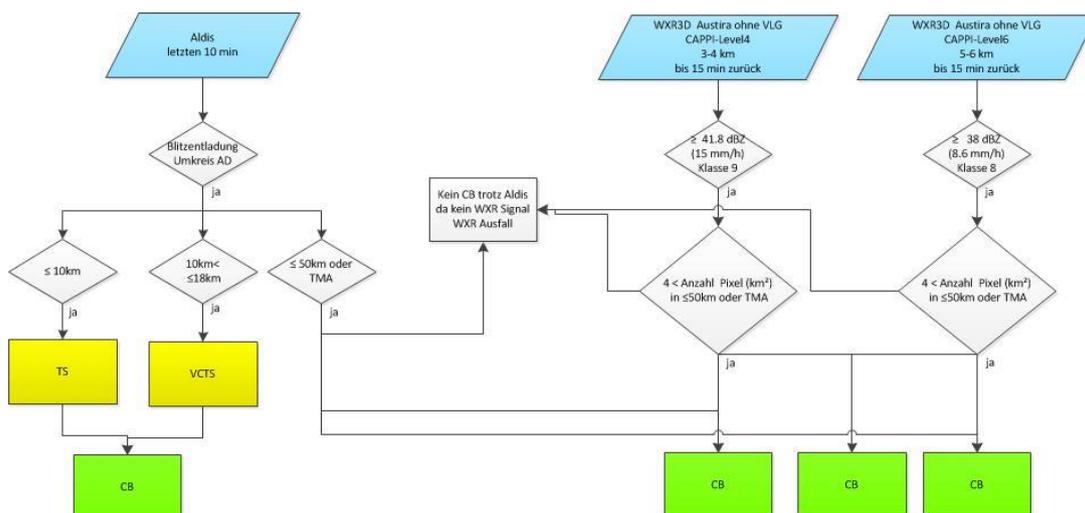


Abbildung 27: Flussdiagramm für 1 minütige online-Berechnung. Blau: Inputdaten; Gelb: Ausgabe WX (Wetterelemente); Grün: CLD (konvektive Bewölkung).

Um einen kontinuierlichen Datenstrom für eine mögliche operationelle Weiterverarbeitung zu erhalten wurde die Auswertung auf 1 min Intervalle umgestellt. Für die Parallelberechnung der 6 Flughäfen mussten die Programmabläufe wie folgt optimiert werden:

- **TS/VCTS** wie in erster Version (vgl. oben)
- **CB** werden in einem mehrstufigen Verfahren ermittelt.
 - 1) durch Analyse der 3D WXR Daten: Es wird in zwei CAPPI-Schichten (zwischen 3-4 km, sowie 5-6 km) analysiert ob mehr als 4 Pixelwerte die Schwellwerte von 41.8 dBZ (Klasse 9, 15 mm/h) sowie 38 dBZ (Klasse 8, 8.6 mm/h) erreichen oder überschreiten. Überschreiten beide CAPPI Level die Reflektivitätsschwellwerte innerhalb der TMA/CTR bzw. 50 km Umkreis, wird ein CB ausgegeben. Bei Überschreiten eines der beiden Schwellwerte wird ein TCU ausgegeben.

- 2) durch Analyse der Blitzdaten:
 - a. CB wird im Falle von TS/VCTS ausgegeben
 - b. Weiters wird CB klassifiziert, wenn mindestens eine Blitzregistrierung innerhalb 50 km Umkreis zum Flughafenbezugspunkt bzw. im TMA/CTR Bereich beobachtet wurde. Dieses Ergebnis wird durch Analyse der WXR Daten auf Plausibilität überprüft. Wird kein CB aufgrund der beiden CAPPI Level Auswertungen gegeben, wird dadurch der Blitz-CB (zwischen 18 und 50 km Abstand zum AD) ignoriert. Werden die Reflektivitätswerte in einem der beiden CAPPI Schichten erreicht wird auch der CB ausgegeben.
 - c. Ein Ausfall eines Einzelradars im Composite stellt sich im online Betrieb als problematisch heraus und müsste in einem zukünftigen System separat ausgewertet werden.

Den Abschluss der Experimentalsysteme bildet die Verwendung eines Bayes-Netzwerkes zur Kombination der analysierten Parameter für die Testperiode Juli 2012. Für diesen Zeitraum wurden für das Netzwerk Radardaten (2D, 3D für 2Niveaus), Blitzdaten sowie Satellitendaten (in Form von Wolkentyp und Wolkenmaske – SAF-Produkte) verwendet. Extrapolierte Radarbilder wurden vorerst nicht eingebunden. Auch die Einbindung der Unterscheidung zellularer (konvektiver) Strukturen zu homogenen (stratiformen) Verteilungen aus Radarbildern wurde aufgrund von Interpretationsschwierigkeiten ausgesetzt.

Das Bayes-Netzwerk wurde wie in AP4 beschrieben eingerichtet, optimiert und zur Implementierung bereitgestellt. Damit ist das Bayes-Netzwerk in die ACG MATLAB / MySQL Umgebung zur Datenbereitstellung und Ergebnisausgabe komplett eingebunden (Tabelle 10). Zudem sind nun diverse Qualitätsinformationen enthalten.

Tabelle 10: Beispiele für Programmaufruf

[eng,bnet]=trainconv(200)	Training aus SQL Datenbank mit best. Anzahl NO_CB Samples (z.B. 200), inkl. selektierte Beispiele – Hand
[eng,bnet]=trainconv_hand	Training aus SQL Datenbank, nur selektierte Beispiele - Hand
testconv(eng)	Test aller Convection3 Beispiele, Ergebnisse nach "resultbayes_saf" Tabelle in SQL-DB
testconv_hand(eng)	Test aller manuell selektierten Beispiele (Convection_Hand), Ergebnisse nach "resultbayes_saf" Tabelle in SQL-DB
testconv_date(loci,obsdate,eng)	Test mit Datum und Location, Ergebnis nur am Screen, z.B. loci = 'LOWI', obsdate ='2012-07-02 15:15:00'

Die Validierung der Ergebnisse erfolgte in vier Stufen:

- a) Manuelle Vergleiche anhand von einzelnen Fallstudien durch meteorologische Fachexperten innerhalb ACG.
- b) Erste Ergebnisse aus den oben beschriebenen Experimentalsystemen konnten im operationellen Betrieb 2013 für Vergleichszwecke visualisiert (Abbildung 28) werden. Die

Ergebnisse wurden über MySQL Datenbanken bereitgestellt und über definierte Schnittstellen dem Wetterbeobachter/in in den vorhandenen Eingabetools und Auswerteprogrammen zur Verfügung gestellt. Durch dieses sehr nützliche Feedback aus der manuellen Beobachtung durch einen Observer wurde auf kritische Fälle hingewiesen und das Auswerteverfahren weiter optimiert. Um einen kontinuierlichen Datenstrom zur Verfügung zu stellen zeigten sich 1-minütige Auswertungen hierbei zweckmäßig. TCU Erfassung wurde hier aufgrund der häufigen Fehlerfassungen ausgesetzt.

- c) Auswertungen selektierter Testperioden.
- d) Korrektur der METAR Daten für Verifikation sowie Training des Bayes-Netzwerks (Ground Truth).

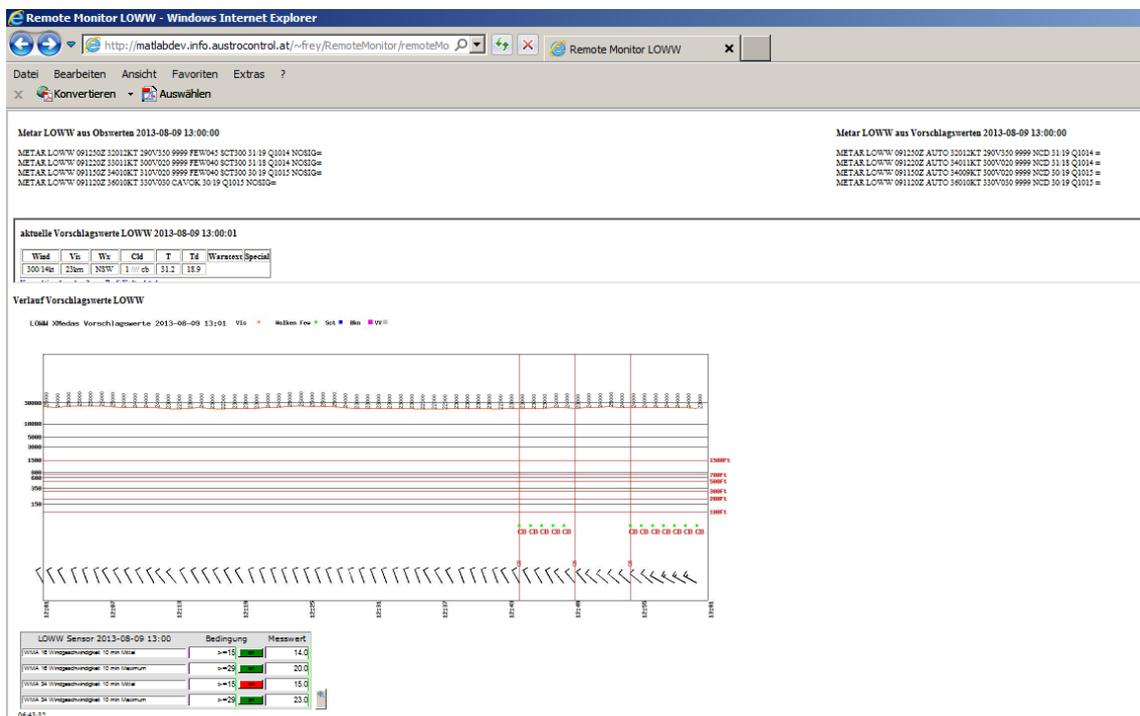


Abbildung 28: Darstellung des Experimentalsystems für Vergleiche des AUTO-METAR zu manueller Beobachtung. Die Vorschlagswerte werden auch grafisch im zeitlichen Verlauf der letzten Stunde dargestellt (z.B. für LOWW am 9.Aug.2013 um 13h).

Als Referenzmonate wurden 2012-07 sowie 2012-11 ausgewählt um Sommer- und Winterperioden abzubilden. Im Juli 2012 konnten zahlreiche Gewitter in Österreich beobachtet werden, während im Herbst eher stabilere Bedingungen auftraten. Aufgrund Durchzugs einzelner Fronten wurde in diesem Zeitraum die automatische Auswertung erschwert, wie erste Parallelvergleiche mit dem Basis-Experimentalsystem (WXR2D) zeigten. Die automatischen 30-minütigen Auswertungen zeigten häufige Falschauswertung im Vergleich zu METAR bzw. zur Expertenanalyse des WXR Bildes. In Tabelle 11 sind die Kontingenztabellen dieser Auswertungen dargestellt. Diese zeigt die Performance (Anzahl) bzgl. Übereinstimmung Expertensystem (auto) zu manueller Beobachtung (metar) der Wetterelemente NSW (=kein Gewitter), VCTS (Gewitter in der Umgebung des Flughafen) sowie TS (Gewitter am Flughafen). Tabelle 12 und Tabelle 13 zeigen zusätzlich die unterschiedlichen Kombinationen zueinander, wobei eine Abweichung NSW

zu VCTS bzw. NSW zu TS als stärkerer Fehler bewertet werden muss als Abweichungen von TS zu VCTS (hierbei wird zumindest ein Gewitter in Platznähe erfasst). Für November 2012 (Tabelle 13) wurden in den automatischen Auswertungen wie auch in den METAR Meldungen keine TS/VCTS registriert.

Tabelle 11: Vergleiche TS/VCTS zwischen METAR-Meldungen und automatischer Auswertung (auto) für Juli 2012 von 5 internationalen Flughäfen (NSW...no significant weather):

2012-07								
LOWL								
beide NSW	beide VCTS	beide TS	metar_NSW_ auto_VCTS	metar_NSW_ auto_TS	metar_VCTS_ auto_NSW	metar_VCTS_ auto_TS	metar_TS_ auto_NSW	metar_TS_ auto_VCTS
1203	1	15	9	6	3	1	4	7
LOWW								
beide NSW	beide VCTS	beide TS	metar_NSW_ auto_VCTS	metar_NSW_ auto_TS	metar_VCTS_ auto_NSW	metar_VCTS_ auto_TS	metar_TS_ auto_NSW	metar_TS_ auto_VCTS
1415	11	25	30	8	8	4	5	7
LOWS								
beide NSW	beide VCTS	beide TS	metar_NSW_ auto_VCTS	metar_NSW_ auto_TS	metar_VCTS_ auto_NSW	metar_VCTS_ auto_TS	metar_TS_ auto_NSW	metar_TS_ auto_VCTS
1197	3	16	21	6	1	2	1	4
LOWI								
beide NSW	beide VCTS	beide TS	metar_NSW_ auto_VCTS	metar_NSW_ auto_TS	metar_VCTS_ auto_NSW	metar_VCTS_ auto_TS	metar_TS_ auto_NSW	metar_TS_ auto_VCTS
1157	3	15	22	6	6	1	3	6
LOWG								
beide NSW	beide VCTS	beide TS	metar_NSW_ auto_VCTS	metar_NSW_ auto_TS	metar_VCTS_ auto_NSW	metar_VCTS_ auto_TS	metar_TS_ auto_NSW	metar_TS_ auto_VCTS
1215	5	34	20	0	1	0	9	10

Tabelle 12: Wie Tabelle 11, jedoch für CB-Auswertevergleich von Juli 2012

LOWL			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
869	66	261	13
LOWW			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
864	154	469	1
LOWS			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
829	73	289	18
LOWI			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
1034	49	113	13
LOWG			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
920	137	129	23

Tabelle 13: Wie Tabelle 11, jedoch für CB-Auswertevergleich von November 2012

LOWL			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
1066	0	42	0
LOWW			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
1200	0	240	0
LOWS			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
1023	0	85	0
LOWI			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
1087	1	22	0
LOWG			
beide_kein_CB	beide_CB	nur_auto_CB	nur_metar_CB
992	1	115	0

Es zeigt sich dabei eine zu hohe automatische Detektionsrate der konvektiven Elemente, welche speziell für die CB Erfassung im Bereich LOWW relativ stark ausgeprägt ist. Der Grund hierfür ist, dass durch individuelle Beobachtungstechniken sowie Lokalvereinbarungen CB nicht bis 50km Umkreis in die METAR Meldung Eingang finden. Die manuelle Analyse von Radarbildern zeigte als Hauptgrund die Erfassung der Brightbandeffekte (Reflektivitätserhöhung durch Schmelzen im Bereich der Nullgradgrenze, Abbildung 29 und Abbildung 30).

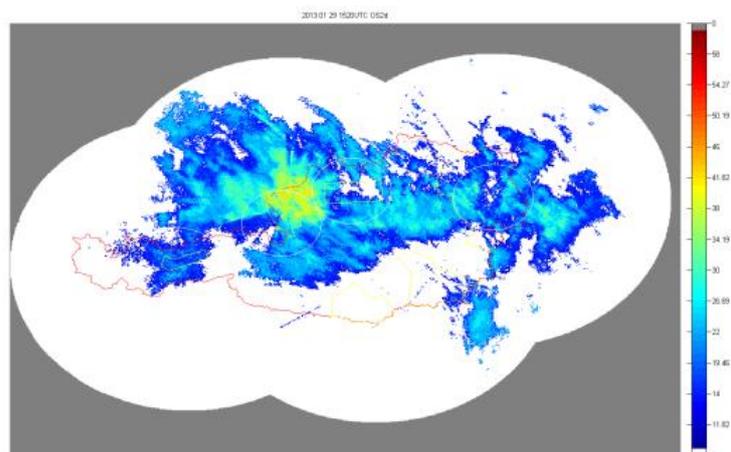


Abbildung 29: Erhöhte Reflektivitätswerte im Bereich Salzburg aufgrund von Brightbandeffekten im stratiformen Niederschlag welche zu CB Detektion in der automatisierten Auswertung führen.

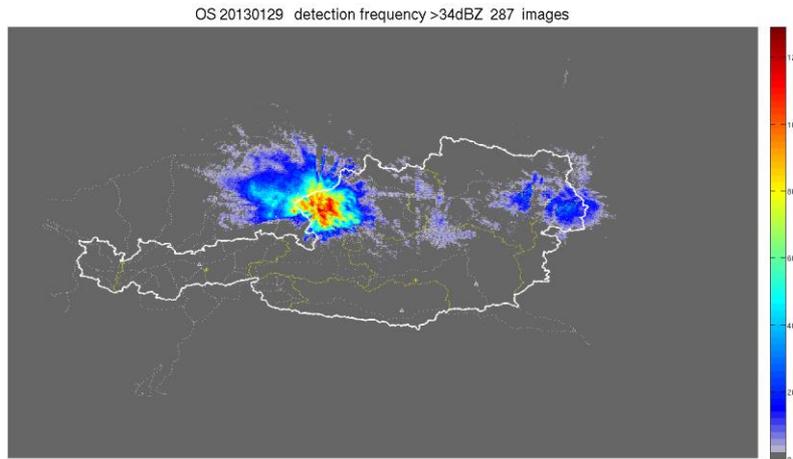


Abbildung 30: WXR2D Häufigkeiten Z> 34dBZ für den 29.Jän.2013. Knapp die Hälfte aller Radardaten an diesem Tag zeigen eine CB Falschdetektion im Bereich Salzburg aufgrund von Brightbandeffekten.

Die hohe Anzahl an Falschdetektionen von CB wurde daraufhin auf Zeitverzögerungsunterschiede der Auswertung untersucht. Eine METAR-Meldung wird um hh20 oder hh50min erstellt, die Auswertung um hh15 bzw. hh45min. Es zeigte sich jedoch kein Verbesserungseffekt durch Verwendung der um 5 min aktuelleren Daten (Tabelle 14).

Tabelle 14: Kontingenztabelle für METAR-Auswertungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten (weniger aktuellen Datensätzen). (obs: manuelle Beobachtung; am: AUTO-METAR).

LOWW 2012/07 34dBZ

- 15/45min für AM **ohne** 50km-CB-Radius (Horst)

CB	obs ja	obs nein	VCTS/TS	obs ja	obs nein
am ja	469	469	am ja		
am nein	1	920	am nein		
- 15/45min für AM mit 50km-CB-Radius

CB	obs ja	obs nein	VCTS/TS	obs ja	obs nein
am ja	155	487	am ja	41	28
am nein	0	846	am nein	12	1407

LOWW JULI 2012 (TMA+50km, 15/45min fuer AM)
- 20/50min für AM mit 50km-CB-Radius

CB	obs ja	obs nein	VCTS/TS	obs ja	obs nein
am ja	155	484	am ja	40	25
am nein	0	849	am nein	13	1410

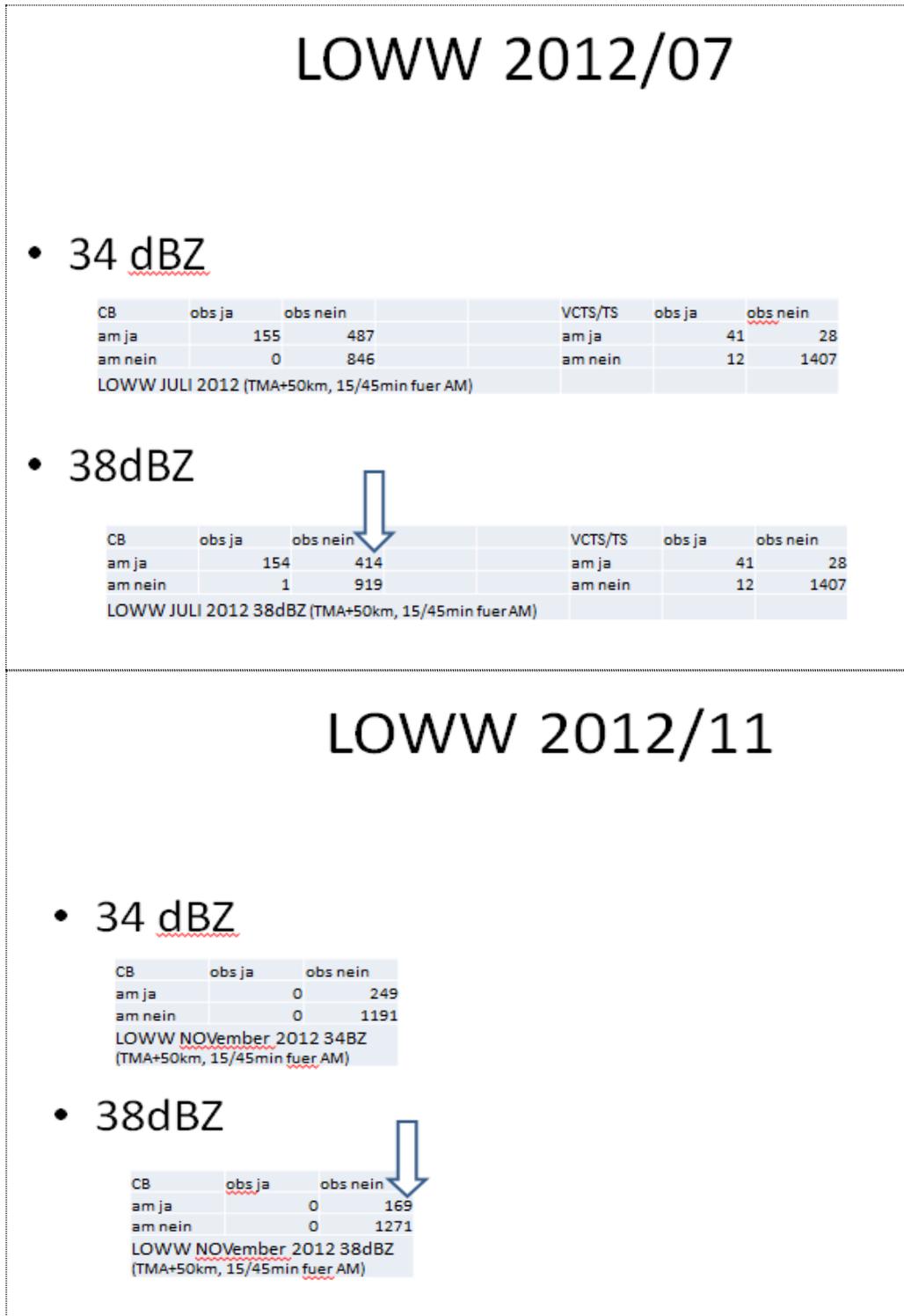
LOWW JULI 2012 (TMA+50km, 20/50min fuer AM)

Kaum Unterschied TS

In Folge dessen wurden die Schwellwerte im WXR2D auf 38 dBZ und weiter auf 42 dBZ erhöht. Damit zeigte sich eine Reduzierung der vom AUTO-METAR falsch detektierten CB. In Tabelle 15 ist dies exemplarisch an der Auswertung von LOWW gezeigt (durch Pfeil markiert), besonders ausgeprägt für den November (verursacht durch Brightbandeffekte). Die Anzahl der Erfassungen für den Juli liegt für beide Schwellwerte sehr hoch. Bei den TS/VCTS Erfassungen kann sich die

relativ hohe Zahl an manueller Nichterfassung durch fehlende Sichtbarkeit der Ereignisse bis zu einer Entfernung von 50 km vom Flughafen ergeben bzw. es werden von der Sensorik auch oftmals Falschblitze registriert.

Tabelle 15: Kontingenztabelle für METAR-CB-Auswertungen mit unterschiedlichen Schwellwerten der Reflektivität für Juli und November 2012.



Aufgrund der trotz Anpassung der Schwellwerte weiter auftretenden Unterschiede zwischen manueller und automatischer Beobachtung in Tabelle 15 wurde für die CB Detektion vorübergehend von WXR2D auf Blitzdaten übergegangen (≥ 1 Entladung innerhalb

TMA/CTR/50km Bereich entspricht CB). Dadurch konnte eine deutliche Verbesserung erzielt werden. In Abbildung 31 zeigen die ALDIS-CB-Auswertungen einen Anstieg der Erfassung von 34 auf 54 % sowie eine deutliche Reduzierung der fälschlichen Detektion von CB (Überwarnung / „false alarms“) von 55 auf 28 %.

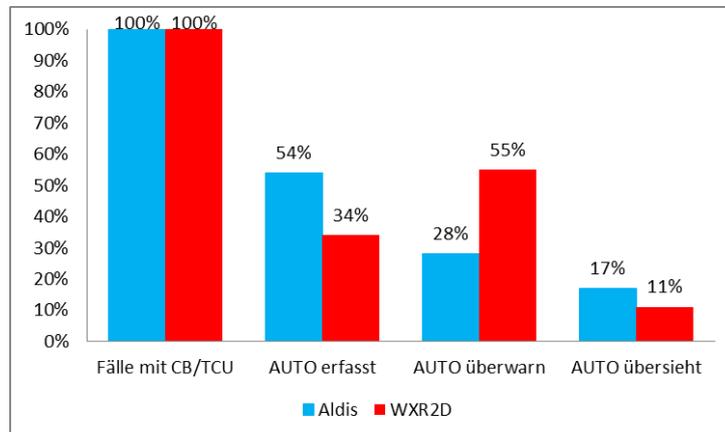


Abbildung 31: Vergleich CB Auswertung aus unterschiedlichen Datengrundlagen.

Um weitere Verbesserungen zu erzielen, wurde die Verarbeitung der WXR3D eingeführt (vgl. Experimentalsystem, oben). Diese Ergebnisse wurden in Echtzeit vom operationellen Betrieb (Observer am Flughafen) mit der manuellen Beobachtung verglichen (vgl. Abbildung 28). Als Echtzeit-Evaluierungszeitraum wurde der gewitterreiche August 2013 gewählt. Dabei konnten die Observer aus LOWG nur eine kurze Periode mit Falschmeldungen aus dem Experimentalsystem feststellen. Negative Ergebnisse lieferte allerdings die TCU Detektion und wurde daher in Folge für die Echtzeit-Evaluierung deaktiviert.

Die Validierung des Experimentalsystems unter Verwendung des Bayes-Netzwerkes wurde anhand der Daten aus der Testperiode Juli 2012 umgesetzt (siehe AP4, Abbildung 15). Für den Zeitraum Juli 2012 (10000 Meldungen aus „Convection3“ der MySQL-Datenbank) wurden für alle 6 österreichischen internationalen Flughäfen 30-minütige METAR Beobachtungen mit Auswertungen des Bayes-Netzwerkes verglichen. Als Vergleichselemente wurden konvektive Elemente verwendet: TS=Gewitter im Umkreis von 10km vom jeweiligen Flughafenbezugspunkt, VCTS=Gewitter im Umkreis von >10km bis ≤18km, sowie Gewitterbewölkung CB im Umkreis ≤ 50 km bzw im TMA Bereich. Da die operationellen METAR Meldungen aufgrund der reduzierten Sicht, z.B. während Niederschlag oder schlechten Sichtverhältnissen, nicht alle Wolken oder Wetterelemente bis 18 bzw. 50 km Umkreis enthalten, wurde zusätzlich ein Set an METAR Meldungen manuell postum unter Verwendung von Blitz/Radardaten erstellt und via MySQL Datenbank bereitgestellt („convection_hand“).

In den Ergebnissen (Tabelle 16 - Tabelle 18) konnten anhand der Trainingsmenge mit 200 Null-WX-Samples (vgl. AP4) die größte Konsistenz erzielt werden (z.B. TS muss CB enthalten bzw. kein TS sollte kein CB erzeugen). Geringe Abweichungen sind aber immer noch möglich, da ein CB bis 50km Umkreis um den Flughafen, TS/VCTS aber nur bis 18 km Umkreis detektiert werden sollen. CB wurden nicht analysiert. In Tabelle 16 zeigt sich die hohe Übereinstimmung der Nichtereignisse, jedoch auch eine zu hohe automatische Falschdetektion TS/VCTS. Für weitere Auswertungen außerhalb des Projektzeitraums wurde daraufhin ein verifiziertes METAR-Datenset erstellt, welches die Flughäfen LOWW und LOWG im Juli 2012 berücksichtigt.

Tabelle 16: Kontingenztabelle METAR-Bayes für TS/VCTS (12...TS/VCTS, 0...NO event)

wx_100	wx_bayes_12	wx_bayes_0
metar_12	194	72
metar_0	3051	4389
wx_200	wx_bayes_12	wx_bayes_0
metar_12	153	113
metar_0	1389	6051
wx_all	wx_bayes_12	wx_bayes_0
metar_12	0	266
metar_0	0	7440
wx_500	wx_bayes_12	wx_bayes_0
metar_12	60	206
metar_0	321	7119
wx_1000	wx_bayes_12	wx_bayes_0
metar_12	49	217
metar_0	207	7233

Tabelle 17: Kontingenztabelle METAR-Bayes für TS/VCTS (manuelle selektierte Fälle als Trainingset)

wxbsp	wx_bayes_12	wx_bayes_0
metar_12	48	218
metar_0	210	7230

Tabelle 18: Kontingenztabelle METAR-Bayes für TS/VCTS (nur Verwendung von Blitzdaten für TS/CB Erstellung)

wx_aldis	wx_bayes_12	wx_bayes_0
metar_12	61	205
metar_0	249	7191

Die Durchsicht von relevanten Fallstudien für den Vergleich von manueller zu automatischer konvektiver METAR-Meldung ergibt zusammenfassend⁵:

- Gewittermeldungen werden zum Teil zu kurz nach einem einzelnen Blitz gegeben.
- Insgesamt werden TCUs unverhältnismäßig oft gegeben im Vergleich zur menschlichen Beobachtung. Neben Fällen (z.B. hochreichend feuchtes gleichmäßiges Niederschlagsfeld), wo die Zuordnung zu TCU eindeutig falsch ist, gibt es auch Fälle, wo ein TCU durchaus richtig sein könnte.

⁵ Aus Lehner, F., 2013: AUTO-METAR Konvektion – Fallstudien. Abschlussbericht zur Ferialarbeit bei Austro Control, 19 Seiten

- Auch bezüglich CBs stimmen die menschliche Beobachtung und die automatische oft nicht überein. Wenn man den 50 km Beobachtungs-Radius genau nimmt, macht der Automatismus deutlich weniger Fehler als die menschliche Beobachtung.
- Auch bei grundsätzlicher Übereinstimmung über Art der konvektiven Erscheinung kommt es zu zeitlichen Unterschieden.

Konzept für operatives System: Abbildung 32 zeigt das optimale Flussdiagramm für die Erfassung der konvektiven Wetter- und Wolkenelemente für die automatische Erzeugung einer METAR-Meldung.

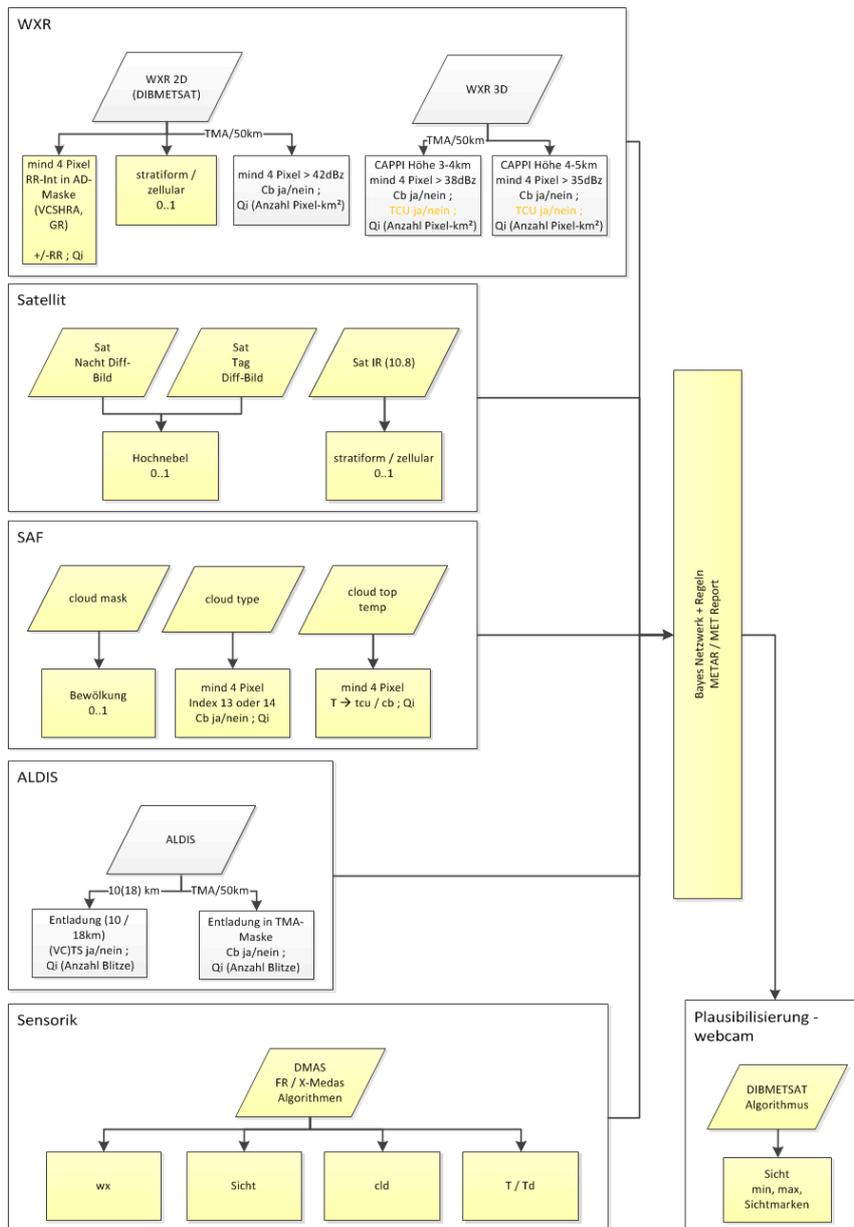


Abbildung 32: Flussdiagramm für zukünftiges Konzept zur AUTOMETAR-Konvektion Detektion mit Verbesserungsmodulen und Qualitätsinformationen.

Im Idealfall wären neben Blitz(ALDIS)- und Radardaten auch extrapolierte Radarbilder, Konvektionserkennung aus Radarbildern und eventuell Satellitendaten (Unterscheidung

stratiformer / konvektiver Niederschlag), Satellitendaten (IR Grundkanal inkl. Satellite Application Facility wie Wolkentyp, Wolkenmaske, Temperatur der Wolkenobergrenze), Webcams und Bodensensorik in Echtzeit mit eingebunden. Die grau hinterlegten Objekte sind in diesem Projekt als Online-Prototyp realisiert. Gelb hinterlegte Objekte sind zusätzliche Datenquellen welche die Qualität der Auswertung verbessern können (z.B. Trennung CB/TCU) bzw. im Falle von partiellen Datenausfällen eine Fortführung der automatischen Auswertung ermöglichen. Für diese Erweiterungen müsste die Auswertelogik des Bayes-Netzwerks in Echtzeit betrieben werden und stellt somit ein Konzept für weiterführende Arbeiten in Richtung operativen Einsatz dar.

2.3 Änderungen im weiteren Projektverlauf

Es gibt keine weiteren Veränderungen im Projektverlauf. Der vorliegende Bericht ist der Endbericht und beinhaltet die Aktivitäten der 2. Projekthälfte.

3. Projektteam und Kooperation

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

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

Die Partner bedeckten dabei unterschiedliche Aufgabenbereiche in der Abwicklung des Projekts. ACG hatte, neben Entwicklungstätigkeiten, als Enduser die Aufgabe die Use-Cases und Requirements zu definieren und die abschließende Validierung der Projektergebnisse durchzuführen. Die beiden Forschungsunternehmen AIT und JR waren hauptverantwortlich in der Durchführung der Arbeitspakete zur temporalen Analyse und Integration, sowie der Sensor- und Datenfusion.

Geringfügige Personaländerungen gegenüber der Antragsphase sind bei allen Partnern bedingt durch Personalressourcenverfügbarkeit festzustellen. Dies ist aber keine Ausnahme zu anderen Projekten, da die Partner grundsätzlich auf Entwicklungsteams gegenüber Einzelexperten zurückgreifen. Die Experten, die in der Antragsphase definiert wurden, standen jederzeit für Consultingzwecke zur Verfügung, soweit sie nicht selbst aktiv im Projekt tätig waren

4. nur Endbericht: Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung

Im Bereich der Verwertung sind Teilnahmen der Konsortialpartner in der 2. Projekthälfte an Veranstaltungen auf mehreren Ebenen anzuführen (vgl. Abschnitt 2.2 – AP1):

- Projektvorstellungen beim DWD und der MeteoSchweiz (Wengen, 12.-14.Juni 2013)
- MET Alliance Treffen in Zürich (24-25.4 2013)
- OPERA Meeting in Oslo (23. - 26.10.2012)
- OPERA 4 Start-Meeting in Helsinki (26.2. - 1.3.2013)
- Teilnahme am ACStyria Luftfahrttag 2012 (28.11.2012) mit Ausstellung
- TAKE OFF Ergebnis- und Vernetzungsveranstaltung bei ACG (17.9.2012)

Die gute Zusammenarbeit des Projektteams und die herausfordernden Aufgaben aus dem Bereich Meteorologie und ATM haben auch weitere Einreichungen im TAKE OFF Programm zur Folge. Im Rahmen der TAKE OFF Ausschreibung 2012 wurde die Förderung eines Parallelprojektes zur Analyse verkehrsbehindernder konvektiver Wettererscheinungen und in Folge besseren wetterabhängigen Planung des zukünftigen verfügbaren Luftraums (AAA4ATM - Analysis of Available Airspace for ATM) bewilligt.

Unter derzeitiger Begutachtung findet sich die Einreichung der TAKE OFF Ausschreibung 2013, FUSEMET-APP (Anwendung der Multi-Sensor Fusion für automatische Beobachtung der Flugmeteorologie), welches als anwendungsorientiertes Projekt eine Optimierung der Ergebnisse aus FUSEMET, aber auch aus DIBMETSAT und DIBMETSAT-3D, sowie deren Überführung in zuverlässige pre-operative Systeme zur automatisierten Wetterbeobachtung zur Aufgabe hat. Dabei finden Verwertungsaspekte von Beginn an konkrete Berücksichtigung. Der DWD über einen Lol, sowie die MeteoSchweiz konnten hierfür als Partner in den Bereichen Erstellung der Requirements und Validierung der Projektergebnisse gewonnen werden, was einen wichtigen Schritt zur internationalen Verwertung darstellt.

Noch im Herbst 2013 ist noch ein Workshop mit dem DWD geplant, in dem die bisherigen FUSEMET-Ergebnisse vorgestellt werden sollen. In dem Kontext soll auch die Projektbegleitung zum eingereichten Projekt FUSEMET-APP diskutiert werden, bzw. alternative Ansätze, falls das Projekt nicht genehmigt werden sollte (der DWD hat ja auch sein Interesse mit einem offiziellen Lol artikuliert).

Die direkte Verwertung der Projektergebnisse ist vordergründig beim Partner ACG geplant, u. A. wurde hier der Ansatz mit Bayes-Netzwerken bereits bei ACG-internen Studien zur AUTO-Observation getestet.

Publikationen:

Kaltenböck, R. und Mitternast, G., 2013: AUTOMETAR in Austria. Auto-Observation Meeting, Metalliance, Zürich

Kaltenboeck, R., Ganster, H. und Croonen, G.: 2013: AUTOMETAR CB/TS detection using Bayesian network. Austrian new dual polarized C-band weather radar network for aeronautical meteorology – recent projects. 36th AMS Weather Radar Conference, Breckenridge

Die in DIBMETSAT und DIBMETSAT-3D entwickelten Methoden zur Auffüllung fehlender Informationen in Radarbildern wurden mit den in FUSEMET entwickelten Methoden und Erfahrungen ergänzt. Neben bildverarbeitungsspezifischen Auswerteverfahren wurden auch für die Meteorologie spezifische Evaluierungsverfahren eingesetzt. Der Umfang der Resultate aus diesen Arbeiten resultierte Mitte August in einer Draft-Version für eine Journal-Publikation. Es ist geplant diese (nach einem Review durch das Konsortium) im November 2013 beim „Journal of Atmospheric and Oceanic Technology“ der American Meteorological Society einzureichen.

5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

Der Endbericht bezieht sich auf die Tätigkeiten des 2. Berichtszeitraums (1.7.2012 – 30.6.2013), die beiliegende Kostenaufstellung umfasst die komplette Projektlaufzeit von 1.10.2011 – 30.6.2013.

Es wurden geringfügige Kostenumschichtungen bei Austro Control und JOANNEUM RESEARCH für den erhöhten Mehraufwand in den Methodenentwicklungen zur Datenfusion und der anschließenden Validierung unter Zustimmung der FFG durchgeführt.

Bei JOANNEUM RESEARCH:

- 1.300.- Sachkosten nach Personalkosten

Bei Austro Control:

- 2.100.- Sachkosten nach Personalkosten,
- 700.- Reisekosten nach Personalkosten

6. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen

Alle projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen wurden fristgerecht umgesetzt.

7. Meldungspflichtige Ereignisse

Es lagen keine besonderen meldungspflichtigen Ereignisse vor.