

Diss. ETH No. 14378

# **Dealiasing Wind Information from Doppler Radar for Operational Use**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by  
MARC WÜEST  
Dipl. Natw. ETH  
born 20 December 1973  
citizen of Switzerland

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. H. Richner, examiner  
Dr. J. Joss, co-examiner  
Dr. W. Schmid, co-examiner

2001

# Abstract

A **dealiasing technique for radar Doppler velocities based on a variational technique** is proposed. The Doppler velocity image is dealiased region-wise by forcing continuity and overall agreement with a mean wind estimate. The latter constraint reduces the propagation of errors in space. The method estimates the quality of the dealiased regions by using the residual between calculated Nyquist numbers and their applied integer values. This dealiasing technique corrects the Doppler velocity images for use in a wind field retrieval under different meteorological situations.

The wind field can be retrieved from Doppler radar observations using the technique by Protat and Zawadzki (1999). This technique assimilates a model wind field to the radar observations but uses physical constraints and movement estimators to retrieve the missing (not measured) wind components. This thesis compares two concepts to **eliminate spurious vectors when retrieving the wind field from Doppler observations**. The first method is based on smoothing the radar data. The second method uses a smoothness constraint as part of the wind field model. Second order spatial derivatives of the wind field product are minimized. Two- and three-dimensional wind fields are retrieved from simulated radar observations, using different noise filtering techniques. The smoothness constraint eliminates spurious vectors more efficiently while reliably retrieving the wind field. Smoothing the radar data unintentionally dampens the characteristic wind variation. Applying the smoothness constraint is indispensable for the retrieval of the vertical wind velocity. It is recommended in general.

The proposed methods are implemented to investigate the dynamics of the **winter storm Lothar** on 26 December 1999. Severe damage happened in northern Switzerland around noon when a *narrow cold-frontal rainband* (NCFR) passed. The variational dealiasing is successfully applied to the images of the ETH radar. The three-dimensional wind field is retrieved using the described noise filtering configuration. Analyzing the dynamics of the NCFR reveals that - atypically for this meteorological system - the strongest winds are at the trailing edge of the rainband and collocated with the core regions of the NCFR. This explains the bands observed in the forest dam-

age pattern. The application of the methods on *Lothar* demonstrates their potential for meteorological purposes.

The **applicability of a single-Doppler wind field retrieval** is investigated taking dual-Doppler wind fields as a reference. By undersampling the observations of the second radar, the influence of the resolution of supplementary wind field information is investigated. Both punctual as well as volume-averaged observations are used. An error analysis for the cross-beam wind component indicates a significant improve of the accuracy of the wind product by including even sparse information about the volume-averaged tangential wind component in the retrieval domain, whereas punctual information is less representative.

The variational dealiasing and the wind field retrieval algorithm by Protat and Zawadzki (1999) are implemented as a test platform at ETH to **operationally retrieve the wind field** from the Swiss radar network. The wind field retrieval technique is adapted for the use in Switzerland by adding a new lower boundary condition considering the topography and by combining both multiple- as single-Doppler elements. Experiments are run with both archived and real-time observations.

# Zusammenfassung

Es wird eine **Entfaltungstechnik für Dopplergeschwindigkeiten von Radar vorgestellt, welche auf einer Variationsanalyse basiert**. Das Bild der Dopplergeschwindigkeit wird regionenweise entfaltet, indem Kontinuität und generelle Übereinstimmung mit einer Schätzung des mittleren Windes gefordert werden. Die zweite Bedingung reduziert die Ausbreitung von Fehlern im Raum. Die Methode schätzt die Qualität der entfalteten Regionen durch die Residuen zwischen den gerechneten Nyquist-Nummern und deren angewandten ganzzahligen Werten. Die Entfaltungsmethode korrigiert Bilder der Dopplergeschwindigkeit für die Herleitung des Windfeldes unter verschiedenen meteorologischen Situationen.

Mit der Technik von Protat and Zawadzki (1999) können Windfelder von Radar-Beobachtungen hergeleitet werden. Letztere passt ein Modell des Windfelds an die Radar-Beobachtungen an, zieht aber physikalische Gesetze und Approximationen für die Bewegung bei, um die fehlenden Windkomponenten herzuleiten. Die vorliegende Arbeit vergleicht zwei **Konzepte, um störende Vektoren bei der Herleitung des Windfelds von Doppler-Beobachtungen zu eliminieren**. Die erste Methode basiert auf der Glättung der Radar-Beobachtungen. Die zweite Methode benutzt eine glättende Modellgleichung, welche die zweiten räumlichen Ableitungen des Windmodells minimiert. Von simulierten Radar-Beobachtungen werden zwei- und dreidimensionale Windfelder hergeleitet, wobei verschiedene Methoden zur Rauschunterdrückung zum Einsatz kommen. Die glättende Modellgleichung eliminiert störende Vektoren effizienter und leitet gleichzeitig ein genaues Windfeld her. Das Glätten der Radar-Beobachtungen dämpft ungewollt die charakteristische Windvariation. Die Anwendung der glättenden Modellgleichung ist für die Herleitung der vertikalen Windgeschwindigkeit unerlässlich und generell empfohlen.

Die vorgeschlagenen Methoden sind implementiert, um die **Dynamik des Wintersturms Lothar** vom 26. Dezember 1999 zu untersuchen. Beim Durchzug eines schmalen Kaltfront-Regenbandes (NCFR) um die Mittagszeit entstanden schwerwiegende Schäden im Schweizer Mittelland. Die variationelle Entfaltungstechnik wird erfolgreich

auf die Bilder des ETH Radars angewandt. Das dreidimensionale Windfeld wird mit der beschriebenen Konfiguration zur Rauschunterdrückung hergeleitet. Die Analyse der Dynamik des NCFR zeigt, dass - untypischerweise für ein meteorologisches System dieser Art - die stärksten Winde am rückwärtigen Rand und hinter den Kernregionen des Regenbandes herrschen. Dies erklärt die beobachteten Bänder im Schadensmuster des Waldes. Die Anwendung der Methoden auf *Lothar* demonstrieren ihr Potential für meteorologische Zwecke.

Es wird untersucht, wie sich die **Herleitung des Windfelds von einem einzigen Doppler-Radar** eignet, indem die Herleitung von zwei Radars als Referenz dient. Durch die Reduzierung der Auflösung der Beobachtungen des zweiten Radars wird der Einfluss der Auflösung von unterstützender Windinformation geprüft. Sowohl punktuelle wie auch volumengemittelte Beobachtungen werden einbezogen. Eine Fehleranalyse für die tangential Windkomponente zeigt eine signifikante Verbesserung der Genauigkeit des Windprodukts, wenn auch nur spärliche Information über die volumengemittelte tangential Windkomponente vorliegt. Punktuelle Information leidet unter der schwachen Repräsentativität.

Die variationelle Entfaltungstechnik und der Algorithmus zur Herleitung des Windfelds von Protat and Zawadzki (1999) wurden verwendet, um in einer Testplattform an der ETH das **Windfeld vom Schweizer Radarnetzwerk operationell herzuleiten**. Die Methode zur Herleitung des Windfelds ist angepasst für die Anwendung in der Schweiz, indem eine neue untere Randbedingung die Topographie berücksichtigt, und indem die Elemente für die Herleitung von einem und mehreren Radar(s) kombiniert sind. Experimente werden mit archivierten sowie Echtzeit-Beobachtungen durchgeführt.