



Doctoral Thesis

Hagelvorhersage mit Radar wolkenphysikalische Untersuchungen und ein statistisches Vorhersagemodell

Author(s):

Schmid, Hermann Wilhelm

Publication Date:

1988

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000502154> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 8684

**HAGELVORHERSAGE MIT RADAR:
WOLKENPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN
UND EIN
STATISTISCHES VORHERSAGEMODELL**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines

DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

HERMANN WILHELM SCHMID

Dipl. Phys. ETH-Zürich

geboren am 31. Juli 1949

von Zürich (ZH)

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. A. Waldvogel, Referent

Prof. Dr. H.R. Künsch, Korreferent



1988

Zusammenfassung

Hagelparameter können mit einem sorgfältig geeichten 10 cm Radargerät quantitativ gemessen werden. Dies wurde in früheren Publikationen gezeigt, welche sich mit der Relation zwischen Boden- und Radarmessungen von Hagel auseinandersetzen. In der vorliegenden Arbeit werden nun die Möglichkeiten und Grenzen einer quantitativen Hagelvorhersage mittels Radar untersucht. Die Ausgangsdaten der Analysen sind zeitaufgelöste Radarmessungen von 209 Gewitterzellen, welche während der Grossversuch IV Periode (1977-82) im Napfgebiet beobachtet worden sind.

Die Momentanbeobachtung einer Gewitterzelle wird durch eine Ellipsenschar approximiert. Jede Ellipse entspricht einer echobegrenzenden Radarreflektivitätsschwelle. Zwischen der Wurzel aus der Ellipsenfläche und der Reflektivitätsschwelle wird eine lineare Relation angenommen. Der eine der beiden Ellipsenbrennpunkte ist für die gesamte Ellipsenschar der gleiche und markiert das Reflektivitätsmaximum der Momentanbeobachtung. Die beschriebene Approximation wird als Brennpunktmodell bezeichnet. Die sechs Parameter des Brennpunktmodells sind: die maximale Radarreflektivität, ein Gradientparameter sowie je zwei Schwerpunkts- und Formparameter. Es wird gezeigt, dass hagelabhängige Quantitätsgrössen (z.B. der Fluss der kinetischen Hagelenergie) mit hoher Genauigkeit aus den Parametern des Brennpunktmodells geschätzt werden können.

Die zeitliche Entwicklung der definierten Parameter wird sowohl vom physikalischen wie auch vom statistischen Standpunkt aus analysiert. Die physikalische Untersuchung erstreckt sich auf zwei Hagelzellen, welche in ihrer zeitlichen Entwicklung überraschende Parallelen aufweisen. Die beiden Zellen setzen sich aus einer Folge von je sechs konvektiven Impulsen zusammen. Die Impulse sind bei denjenigen Variablen, welche einen Skalenbereich von einem km^2 repräsentieren, deutlich erkennbar. Die einen grösseren Skalenbereich repräsentierenden Variablen hingegen zeigen eine kontinuierlichere Evolution der beiden Gewitterzellen. Diese Eigenschaft entspricht dem Modell der "weak-evolution" Zelle. Die statistische Analyse des gesamten Zellendatensatzes bestätigt die bei den beiden Einzelzellen gefundene Struktur. Man kann schliessen, dass sich viele der im Napfgebiet beobachteten Gewitterzellen wie "weak-evolution" Zellen verhalten.

Die beiden analysierten Einzelzellen enthalten je einen "Hauptimpuls", welcher die Zelldynamik markant verändert. Ein Hauptimpuls führt zum Zusammenbruch der bis anhin persistenten Aufwindregion. Kurzfristig wird eine Vergrösserung der verhagelten Fläche beobachtet. Längerfristig jedoch leitet ein Hauptimpuls den Zerfall einer Gewitterzelle ein.

Methoden der Zeitreihenanalyse (Box-Jenkins Methode und Spektralanalyse) und der multiplen Regression werden zur Herleitung eines statistischen Vorhersagemodells auf einen Teil der Daten (Zellen 1978-80) angewendet. Die Zielgrössen sind die Parameter des Brennpunktmodells. Die Modellprädiktoren werden durch Anpassen von ARMA-Modellen und durch Analyse von Kreuzkorrelationsfunktionen identifiziert. Zur Verminderung von Ausreissereffekten wird ein Teil der Zielgrössen und der Prädiktoren in geeigneter Weise transformiert. Die Liste der Prädiktoren wird nachträglich mit Hilfe einer C_p -Analyse reduziert. Die Modellkoeffizienten werden mit der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt. Das Modell liefert eine Vorhersage der Zielgrössen bis 30 Minuten nach dem aktuellen Beobachtungszeitpunkt einer Gewitterzelle.

Das Vorhersagemodell wird mit Hilfe eines unabhängigen Datensatzes (Zellen 1981/82) ausgetestet und mit einem einfachen Persistenzmodell verglichen. Beim Persistenzmodell wird angenommen, dass die Intensität, die Bewegung und die Form von Gewitterzellen nach dem aktuellen Beobachtungszeitpunkt konstant bleiben. Die Varianz der Vorhersagefehler von Hagelintensitätsparametern verringert sich um ca. 1/4, wenn man das Vorhersagemodell an Stelle des Persistenzmodells zur Vorhersage verwendet. Einen wesentlichen Anteil an der Reduktion der Vorhersagefehler haben die RHI-Prädiktoren, welche ein Mass sind für das Hagelwachstum oberhalb der Nullgradgrenze. Das gefundene Resultat hat einen wichtigen Anwendungsbereich in zukünftigen Hagelabwehrexperimenten. Durch die Verbesserung der Vorhersage kann nämlich die Anzahl der für den Nachweis eines Impfeffektes benötigten Versuchseinheiten deutlich reduziert werden. Das bedeutet auch eine erhebliche Einsparung an Zeit und Aufwand bei solchen meist langjährigen Feldversuchen.

Durch einen Vergleich der beobachteten und der vorhergesagten Ellipsenkonturen können erstmals Grenzwerte über die Vorhersagbarkeit des Ortes und des Zeitpunktes des Auftretens von Hagel angegeben werden. Die Dauer der Vorhersagbarkeit ist stark von der Grösse des aktuell beobachteten Hagelfalles abhängig. Kleine Hagelfälle (Hagelfläche $\approx 1 \text{ km}^2$) sind auf wenige Minuten hinaus vorhersagbar. Bei grossen Hagelfällen (Hagelfläche $\approx 10 \text{ km}^2$) erhöht sich die Dauer der Vorhersagbarkeit auf maximal 15-20 Minuten. Bei extrem grossen Hagelfällen (Hagelfläche $\approx 100 \text{ km}^2$) kann man mit einer Vorwarnzeit von einer halben Stunde rechnen. Im Hinblick auf eine routinemässig durchgeführte Hagelwarnung sind diese Resultate wenig ermutigend. Weitere Forschungsanstrengungen auf dem Gebiet der Hagelvorhersage sind somit unbedingt notwendig.

Abstract

Several publications dealing with the relationship between ground and radar measurements of hail have shown that hail parameters can be measured quantitatively with a carefully calibrated 10 cm radar. The subject of the present work is an investigation of the possibilities and limitations of quantitative hail predictions with radar. For this study time-resolved radar measurements of 209 convective cells are available. The data were obtained during the Grossversuch IV hail suppression experiment (1977-82) in Central Switzerland.

The radar echo of a cell is approximated by a set of ellipses, one for each radar reflectivity level. A linear relationship between the square root of the area of the ellipse and the reflectivity level is assumed. One of the two foci of the ellipse is the same for all defined ellipses and marks the maximum reflectivity of the radar echo. The approximation described will be referred to as the "focus" model. The six parameters of the focus model are: the maximum radar reflectivity, a gradient parameter, two center-of-mass coordinates and two shape parameters. Hail quantities, such as the flux of hail kinetic energy, can be estimated from the six parameters with high accuracy.

The evolution of the parameters is analyzed physically and statistically. Two hail cells were selected for a case study. They are surprisingly similar in their temporal development, which consisted of succession of six convective "impulses". The impulses are clearly identifiable when the scale of the variable considered is small (1 km^2). With respect to a larger scale, however, the evolution of the cells is more continuous. Such a behavior corresponds to the structure of a "weak evolution" cell. The statistical analysis of all available cells confirms the generality of this behavior. It is thus concluded that many convective cells in Central Switzerland behave as weak evolution cells.

The two case study cells contained a "principal impulse" which modified the cell dynamics remarkably. A principal impulse causes the breakdown of a persistent updraft region. The hail area may be enlarged temporarily, but in the long term a cell disintegrates after the occurrence of a principal impulse.

Time series analysis (Box-Jenkins method and spectral analysis) and multiple regression were used for the development of a statistical prediction model. The parameters of the focus model are the response variables. The predictor variables were identified by applying autoregressive moving average models (ARMA-models) to the data and by analyzing cross-correlation functions. The response and predictor variables were transformed if necessary in order to minimize outlier effects. The list of predictors was subsequently reduced by means of a " C_p "-analysis. The model coefficients were estimated by applying the least squares method to the cell data 1978-80. The model yields predictions of the response variables up to 30 minutes in advance.

The prediction model was tested on independent cell data from the 1981-82 period. The model was compared with a simple persistence model in which the predicted intensity, movement and shape of the cells remain the same as observed at the time that the forecast is made. The variance of the prediction errors of hail intensity parameters is reduced by a factor 1/4 when the prediction model is used for prediction instead of the persistence model. Measurements of the vertical structure of radar echoes above the 0°C

level explain a considerable part of the error reduction. This result is important for future hail suppression experiments. It means a reduction of the experimental period which is necessary for the proof of a possible seeding effect.

A comparison of observed and predicted ellipse contours yields for the first time upper limits about the predictability of hail occurrence at a given location and time. The period of predictability depends on the size of the actually observed and extrapolated hail cells. Small hail cells (hail area $\approx 1 \text{ km}^2$) are predictable up to a few minutes only. For large hail cells (hail area $\approx 10 \text{ km}^2$) the period of predictability is increased to 15-20 minutes. Extremely large hail cells (hail area $\approx 100 \text{ km}^2$) are possibly predictable up to a half of an hour. These results discourage a practical hail warning system. Further research on hail prediction is necessary.