

Anhang A

Synthetische Radarbilder

In den vergangenen Jahren wurde die Anfertigung idealisierter Radarbilder aus Ausgabedaten numerischer Modelle zunehmend wichtig (z. B. Dotzek, 1998), um die Ergebnisse mesoskaliger Atmosphärenmodelle mit Radarbeobachtungen für spezielle Gebiete vergleichen zu können. Gleichzeitig hat sich ein weiterer Schwerpunkt herausgebildet, der auf die Inversion von Radarbeobachtungen abzielt, um realitätsnahe Eingabedaten zur Initialisierung der Hydrometeorfelder eines Wettervorhersage-Modellaufs zu generieren (z. B. Haase, 1998).

Zwischen diesen beiden Konzepten gibt es einige wesentliche Unterschiede:

- Berechnet man Radarbilder aus Ergebnissen numerischer Modelle, muß man keine Rücksicht auf experimentelle Schwächen oder Meßfehler nehmen, denen Radarbeobachtungen unterworfen sind. Beispielsweise sind weder Bodenechos, Klarluftechos noch das „Helle Band“ der Schmelzzone in den Daten vorhanden, ebensowenig wie die endliche Strahlbreite oder das Polarkoordinatensystem des Radargeräts eine Rolle spielen (Haase, 1998; Hannesen, 1998). Stattdessen werden die Algorithmen zur Berechnung der vom Radar gemessenen Größen an jedem Gitterpunkt ausgewertet und können dann in dieser etwas idealisierten Form mit den Meßdaten verglichen werden. Daher handelt es sich hier um einen reinen nachbereitenden (*post-processing*) Vorgang.
- Berechnet man Radarbilder, um einen Inversionsalgorithmus zur Initialisierung eines Wettervorhersagemodells mit Radarbeobachtungen zu finden, steht man vor einer ganz anderen Aufgabe. Hier müssen alle Aspekte der Radarmessung berücksichtigt werden, wie z. B. die Ausbreitung der Mikrowellenstrahlung unter realistischen atmosphärischen Bedingungen, Bodenechos und Erdkrümmungseffekte. Verglichen mit dem vorher beschriebenen Ansatz ist hier weit mehr Physik notwendig, um das gesteckte Ziel eines solchen vorbereitenden (*pre-processing*) Inversionsalgorithmus zu erreichen (Haase, 1998).

Da ein Ziel der vorliegenden Arbeit ein kritischer Vergleich zwischen Modellergebnissen und Radarbeobachtungen für das Mittelgebirgsgebiet der Oberrheinregion ist, wird hier nur die erste Alternative zur Anwendung gebracht und soll lediglich die gewünschte Evaluierung erleichtern.

In den Abbn. A.1–A.3 werden am Beispiel der modellierten einzelnen Schauerzelle aus Abschnitt 5.1.1 bei südsüdwestlicher Anströmung in Wechselwirkung mit einer Landschaft von maximal 100 m hohen Einzelhügeln aus einer Rechnung mit 1 km horizontaler Auflösung in einem $64 \times 64 \text{ km}^2$ Gebiet die

Radarprodukte vorgestellt, die sich sinnvollerweise aus den Daten des Modells KAMM gewinnen lassen. Außer beim CAPPI- v Bild ist zwar keine Angabe der Radarantennenkoordinaten notwendig, es wird aber grundsätzlich in allen Bildern der Standort dieses virtuellen Radars durch ein $+$ -Symbol gekennzeichnet.

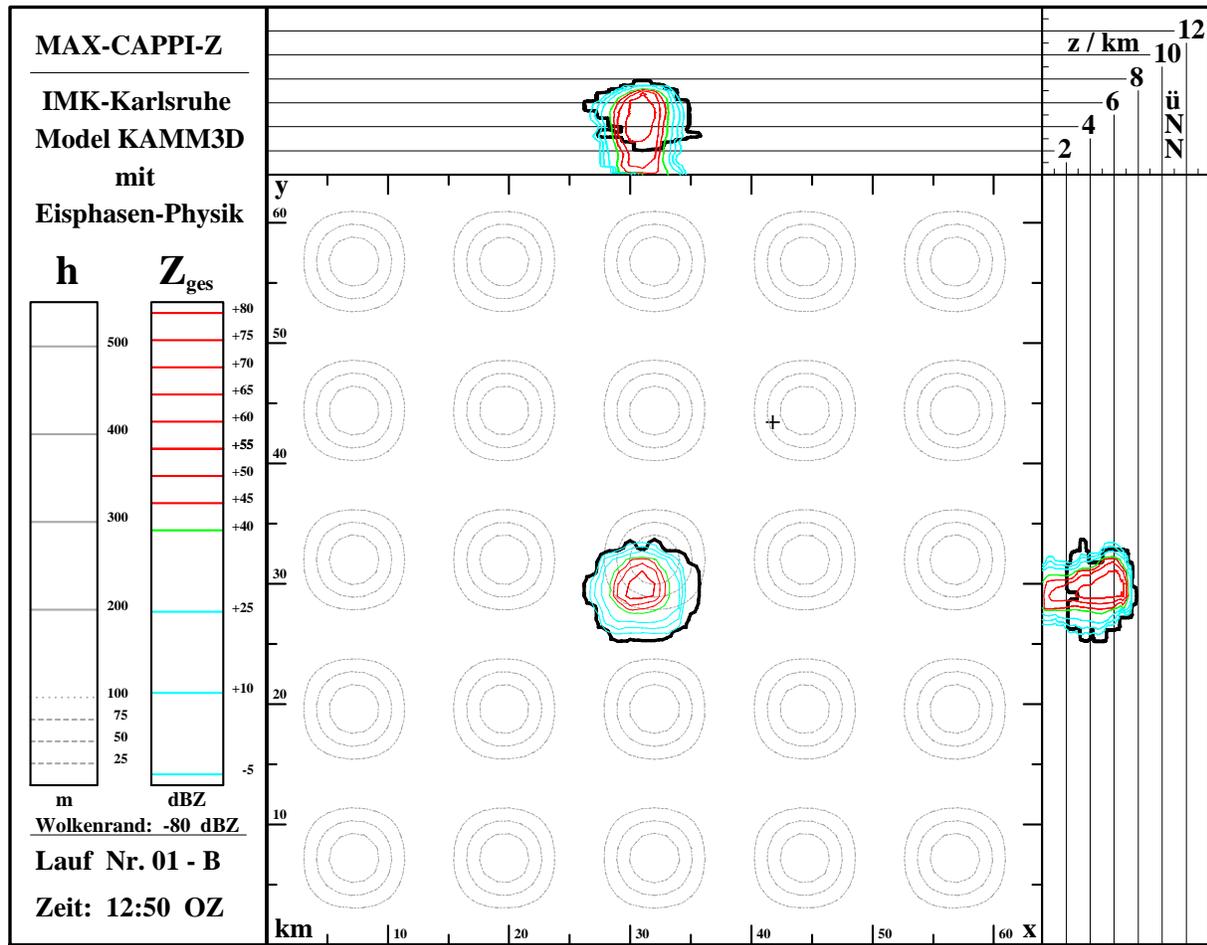


Abbildung A.1: Synthetische MAX_CAPPI- Z Darstellung mit Projektionen der Maximalwerte von Z auf Grund- und Seitenrisse. Das Kreuz markiert den Radarstandort in der mit durchbrochenen Höhenlinien dargestellten Orographie aus 100 m hohen sinusförmigen Einzelhügeln.

Wie in Anhang B ausführlich gezeigt wird, wird die hier bei den MAX_CAPPI und CAPPI Graphiken benötigte Radarreflektivität Z für die einzelnen Hydrometeore mithilfe von Gl. (B.17) berechnet und liefert mit Tab. B.1 für Beziehungen der Form

$$\frac{Z_{\xi}}{\text{mm}^6 \text{m}^{-3}} = C_{\xi} \left(\frac{\rho q_{\xi}}{\text{g m}^{-3}} \right)^{7/4}$$

die folgenden drei Vorfaktoren C_{ξ} :

$$C_c = 3.41 \times 10^{-2} \quad , \quad C_i = 3.24 \times 10^1 \quad , \quad C_r = 1.27 \times 10^4 \quad .$$

Die Addition dieser einzelnen Reflektivitäten Z_{ξ} stellt die Gesamtreflektivität Z bereit. Liegt diese wie in der vorliegenden Dissertation in konventionellen Einheiten vor, d. h. $[Z] = \text{mm}^6 \text{m}^{-3}$, dann wird Z gewöhnlich normiert und mit einer logarithmischen Skalierung in Dezibel angegeben

$$Z \rightarrow 10 \log \frac{Z}{\text{mm}^6 \text{m}^{-3}} \text{ dBZ} \quad ,$$

um die Variation von Z über viele Größenordnungen handhabbar zu machen. In allen gezeigten synthetischen Radarbildern findet man daher die Reflektivität in dBZ aufgetragen.

A.1 MAX_CAPPI

Ein sehr instruktives Radarprodukt ist die dreidimensionale Projektion der Maxima oder kurz Maximumprojektion MAX_CAPPI einer skalaren Feldgröße (**Maximum Constant Altitude Plan Position Indicator**). Wie in Abb. A.1 exemplarisch für Z gezeigt, besteht die MAX_CAPPI- Z aus drei Auf-rissen der größten Werte der Reflektivität in dB Z senkrecht zu den jeweiligen Projektionsebenen. Das große Teilbild zeigt die x, y -Ebene, die beiden anderen Vertikalebene entweder die x, z - oder y, z -Ausdehnung. Da nur die höchsten Werte von Z auf die einzelnen Ebenen abgebildet werden, ähnelt die MAX_CAPPI- Z stark einem dreifachen Röntgenbild durch die Atmosphäre und erlaubt es, Einzelheiten von physikalischem Interesse zu erkennen und in der zeitlichen Abfolge mehrerer Einzelbilder die lokale Dynamik von Wolken und Niederschlag zu erfassen.

Im Gegensatz zu MAX_CAPPI Bildern aus „echten“ C-Band Radar Daten zeigt Abb. A.1 auch den Wolkenrand anhand der dicken durchgezogenen Linie bei $Z_c + Z_i = -80$ dB Z . Ebenso könnte man den Beitrag jeder einzelnen Hydrometeorart zur Gesamtreflektivität in einer separaten MAX_CAPPI Darstellung zeigen. Von den Möglichkeiten der graphischen Darstellung her ist die synthetische MAX_CAPPI einer realen aufgrund dieser Flexibilität überlegen.

A.2 CAPPI

Der Constant Altitude Plan Position Indicator CAPPI ist eine zweidimensionale Darstellung, die die Verteilung einer skalaren Größe auf einer Ebene konstanter Höhe oberhalb der Radarantenne zeigt. Um noch mehr Information über die involvierten Wolkensysteme bereitzustellen, zeigt der synthetische CAPPI in der Abb. A.3 auch eventuelle Wolkenränder in dieser Schnittebene mit der dicken -80 dB Z Linie und enthält zusätzlich die beiden Seitenrisse aus der bereits besprochenen MAX_CAPPI- Z Darstellung. Es entsteht so strenggenommen eine Art Komposit-Bild aus CAPPI und MAX_CAPPI von sehr hoher Informationsdichte. Diese Vorgehensweise erleichtert das Auffinden und die Analyse der interessanten Konvektionsgebiete im CAPPI, welches sinnvoll für die radiale Doppler Geschwindigkeit v_r , die Reflektivität Z und die Regenrate \mathcal{R} generiert werden kann. Wegen der bei der hier gewählten graphischen Aufbereitung sehr großen Ähnlichkeit des CAPPI- Z mit dem MAX_CAPPI- Z und des eindeutigen Zusammenhangs von Z und \mathcal{R} , der schon im Abschnitt 5.1.2 nachgewiesen wurde, wird jedoch auf die Wiedergabe separater CAPPI- Z und CAPPI- \mathcal{R} Darstellungen verzichtet.

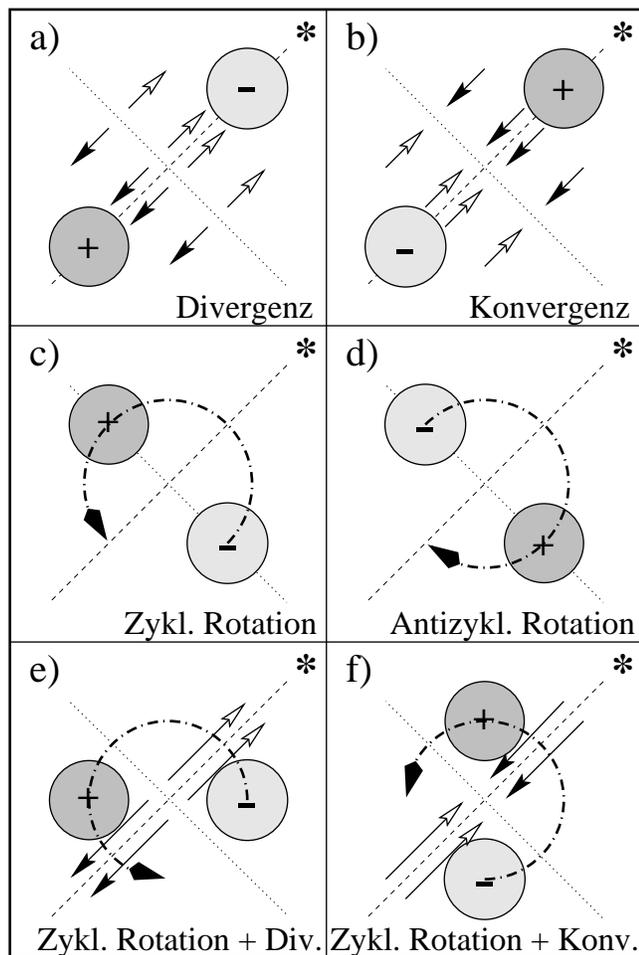


Abbildung A.2: Typische Vergenz- und Rotationsmuster, die in einem CAPPI- v auftreten können. Der Stern * markiert die Richtung des gedachten Radarstandorts.

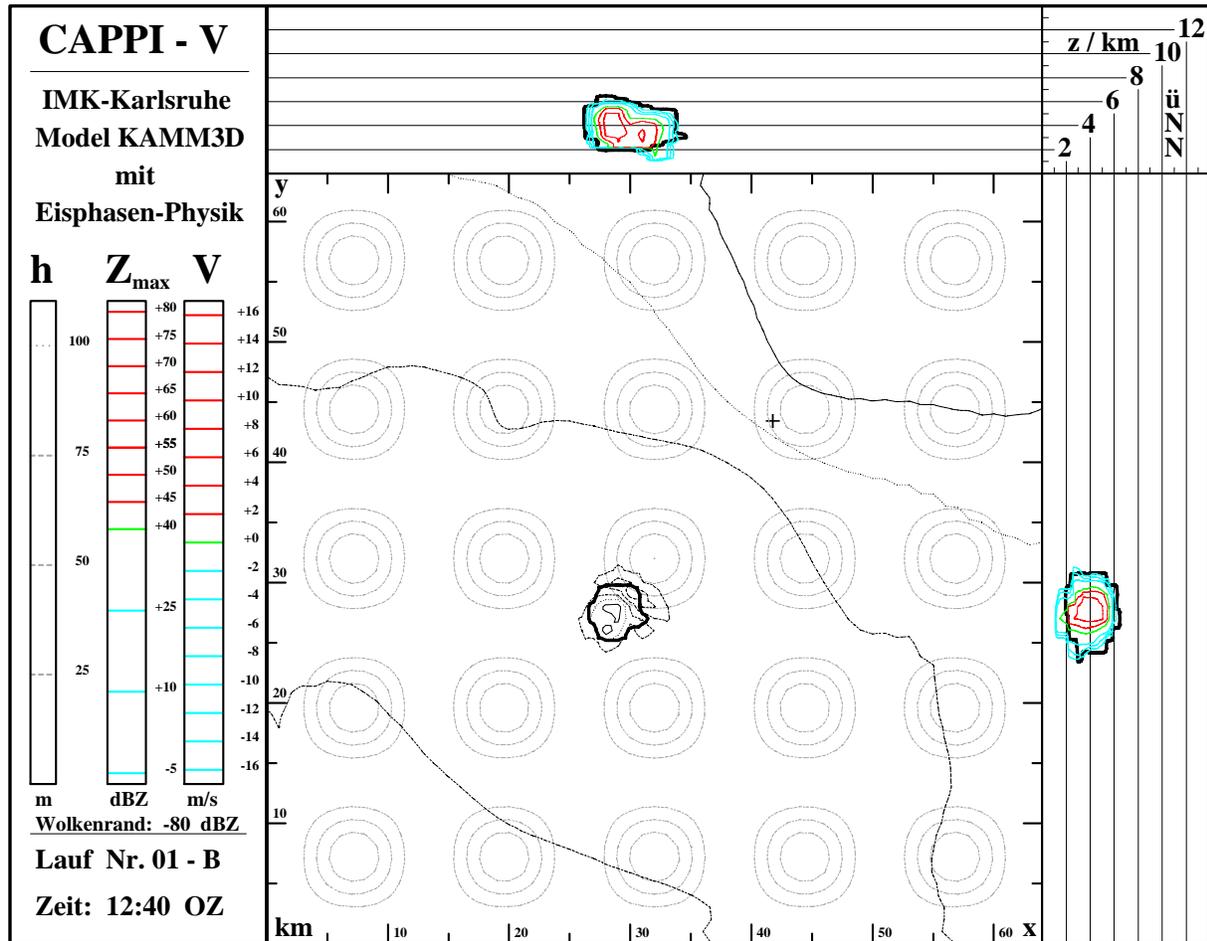


Abbildung A.3: Synthetische CAPPI- v Darstellung in einer Höhe von 5.5 km ü. NN mit Wolkenumriß (dicke -80 dBZ-Linie) in der x,y -Ebene. Die Seitenrisse entsprechen der zugehörigen MAX_CAPPI- Z und zeigen die Aufteilung des Niederschlags innerhalb der Wolke in zwei separate Zellen, die später verschmelzen. Das Kreuz markiert den Radarstandort.

Die CAPPI der Radialgeschwindigkeit v_r wird aus dem modellierten Windfeld und den Radar Koordinaten $\mathbf{r}_{\text{Radar}}$ durch Projektion des dreidimensionalen Windvektors \mathbf{v}_{ijk} auf das Einheitsradial, also den Einheitsvektor bei festgehaltenem Azimut, für jeden Gitterpunkt \mathbf{r}_{ijk} in einer vorgegebenen Höhe über dem Radar berechnet, d. h.

$$v_r = \mathbf{v}_{ijk} \cdot \frac{\mathbf{r}_{ijk} - \mathbf{r}_{\text{Radar}}}{|\mathbf{r}_{ijk} - \mathbf{r}_{\text{Radar}}|} \quad (\text{A.1})$$

Daher bedeuten positive Werte von v_r Bewegungen vom Radar weg, negative Werte Bewegungen zum Radar hin. Im Abbild dieser Radialgeschwindigkeit können charakteristische Strömungsstrukturen des Grundstromes und der Cumulus-Konvektion erkannt werden. Ein homogener Grundstrom erzeugt beispielsweise ein Hyperbelmuster der v_r -Isotachen, wobei die Asymptote $v_r = 0$ bei fehlender Vertikalbewegung der Luft senkrecht zur Strömung durch den Radarstandort läuft. Auch durch Rotation oder horizontale Vergenzen hervorgerufene Anomalien in v_r werden durch eindeutig zuordenbare Dipolmuster erkennbar.

Das zeigt die schematische Abb. A.2 für Divergenz und Konvergenz, zyklonale und antizyklonale Rotation, sowie Überlagerungen zyklonaler Rotation mit Vergenzen. Der Radarstandort wird in dieser schematischen Darstellung in den Teilbildern a)–f) rechts oben angenommen und durch ein *–Symbol angedeutet. Um z. B. die mesozyklonalen Vortex-Signaturen oder Vergenzmuster (Hannesen et al., 1998) in Sturm-

wolken verstärkt hervortreten zu lassen, kann Gl. (A.1) noch dahingehend modifiziert werden, daß die Radialkomponente der aus den Simulationsdaten bestimmbaren Zuggeschwindigkeit c des Sturms vom Geschwindigkeitsfeld v vor Berechnung des CAPPI- v abgezogen wird. Dies entspräche dann genau den Darstellungen in Abb. A.2.

Die Abb. A.3 zeigt in der x, y -Ebene die CAPPI- v Darstellung in ca. 5.35 km über dem Radar¹ für den modellierten Schauerkomplex aus dem Abschnitt 5.1.1, aber genau 10 min früher als in der vorher gezeigten Abb. A.1. Der durch zwei getrennte Maxima der Reflektivität Z gekennzeichnete und sich noch stark weiterentwickelnde Schauer nähert sich gerade dem 100 m hohen Hügel in der Mitte des Modellgebiets. Im CAPPI- v kann das Radialwindfeld betrachtet werden, während die beiden MAX_CAPPI- Z Seitenrisse weiterhin die volle Information über Größe und Struktur des Sturms enthalten.

In diesem hohen Niveau von 5.5 km ü. NN und bei dem 2 m s^{-1} Konturintervall tritt eine deutliche Divergenzsignatur im Kopf der Wolke hervor, die auf der dem Radar abgewandten Seite sogar zu einer Vorzeichenumkehr von v_r führt. Die innerhalb der noch jungen Cu cong-Wolke rasch aufsteigende Luft strömt in dieser Höhe seitlich aus der Wolke aus und macht sich durch den charakteristischen Dipol in v_r bemerkbar. Sonst zeigt die CAPPI- v Darstellung in erster Linie die hyperbelförmige Signatur der Grundströmung und den dick konturierten Wolkenumriß von -80 dBZ in der ausgewählten Schnittebene in 5.5 km Höhe.

¹Willkürlich wurde hierbei die Antennenhöhe des C-Band Doppler Radars des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung an seinem Standort im Forschungszentrum Karlsruhe (148.2 m ü. NN) bei der Berechnung der synthetischen CAPPI- v Radarbilder zugrunde gelegt.

