Sonderdruck aus Wetter und Leben, 45. Jahrgang, Heft 4/93 *(Seite 29 bis 41)*

Hochauflösende Analyse einer Niederschlagsepisode im Dachsteingebiet

F. Rubel, J. Stockinger und G. Schauberger, Wien

Zusammenfassung

Der Flächenniederschlag gehört zu den am schwierigsten zu analysierenden meteorologischen Elementen. Er wird für viele hydrologische, umweltmeteorologische und agrarmeteorologische Anwendungen (oft in Echtzeit oder in Form einer Prognose) benötigt. Da seine Bestimmung aber im allgemeinen mit einem großen Fehler behaftet ist, besteht ein großer Bedarf an seiner hochwertigen objektiven Analyse. Anhand eines Kaltfrontdurchgangs, der von starken Niederschlägen begleitet wurde, wurden die einstündig akkumulierten Niederschlagsmengen für 9 Gitterflächen (625 km²) über dem *Dachsteingebiet* aus zwei unabhängigen Datensätzen objektiv analysiert. Eine Feldverteilung wurde aus den Bodenmessungen (KLIMA) gewonnen, die andere aus RADAR-Daten berechnet. Die aus den beiden Datensätze analysierten Niederschlagsfelder waren hoch korreliert (r = 0.827), sodaß 69 % der Variationen der berechneten RADAR-Niederschläge durch die KLIMA-Niederschläge repräsentiert werden.

Summary

Areal precipitation is one of the most difficut meteorological elemtents to be analyzed. The knowledge of high quality precipitation distribution is necessary for many scientific applications in hydology, environmental and agricultural meteorology, often in real time or in form of forecasts. Because of the errors involved, there is a great need for high quality analysis of areal precipitation. A cold front passage with heavy precipitation was used to demonstrate an objective analyses of hourly accumulated precipitation data in 9 regions (625 km²) over the *Dachsteingebiet*. Rain gage data (KLIMA) were compared to precipitation data estimated by RADAR. A high correlation (r = 0.827) for the analyzed areas of precipitation compared to the independend datasets was found: 69 % of the variation of precipitation calculated using the RADAR-data are represented by the rain gage data.

1. Einleitung

Bei der Beurteilung naturwissenschaftlicher und technischer Fragestellungen ist in vielen Fällen die genaue Kenntnis des gefallenen oder zu erwartenden Flächenniederschlags von großer Bedeutung. Hydrologen benötigen diesbezügliche Information um das natürliche Wasserdargebot dem gesellschaftlichen Bedarf durch wasserwirtschaftliche Planung und bauliche Maßnahmen zuzuteilen, eine umweltmeteorologische Anwendung besteht in der Abschätzung von Schadstoffeinträgen durch Naßdeposition und Agrarmeteorologen benötigen flächenhafte Niederschlagsanalysen und Prognosen für die effiziente Planung von Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen, die Beurteilung von Waldschadenszuständen und die Planung von künstlichen Bewässerungen.

Diese Aufzählungen sollen nur eine Übersicht geben, und sind keinesfalls vollständig. Eine weitere wichtige und interessante Anwendung aus meteorologischer Sicht besteht in der Evaluierung und Verbesserung numerischer Modelle.

Mesoskalige atmosphärische Modelle bieten heute die Möglichkeit, Niederschlagsfelder hochauflösend zu prognostizieren. Der Niederschlagsprozeß selbst wird dabei durch zum Teil aufwendige Parametrisierungsansätze modelliert. Will man die Modellergebnisse verifizieren, dann benötigt man räumlich und zeitlich hochauflösende Meßdaten. Die routinemäßig erhobenen Niederschlagsdaten genügen diesen Anforderungen bei weitem nicht, weshalb aufwendige und kostspielige Meßkampagnen durchgeführt werden müssen. Daß diese nur für einzelne Fälle durchgeführt werden können, bedeutet, daß auch die Beurteilung der Modelle auf diese wenigen Präzidenzfälle beschränkt bleibt. Dem positiven Rückkopplungseffekt, den eine Modellverifikation auf die Modellentwicklung haben könnte, sind demnach Grenzen gesetzt.

Diese Arbeit beschäftigt sich nun damit, inwieweit die Daten des österreichischen Wetterradarverbundes, die routinemäßig meteorologischen Anwendern zur Verfügung gestellt werden, zur Analyse von Flächenniederschlägen herangezogen werden können. Könnte nämlich aus den Radardaten eine hochwertige Niederschlagsanalyse erstellt werden, dann wäre eine *online* Modellverifikation im Bereich des Möglichen.

2. Analyseverfahren

Auf einer flächentreuen λ-sin(φ)-Projektion werden zwei voneinander unabhängige Niederschlagsfelder analysiert. Das verwendete Gitter weist eine Gitterdistanz von 25 km auf, sodaß jeder Gitterwert für ein Gebiet von 625 km^2 repräsentativ ist (siehe dazu *Abbildung 3*). Verwendet werden zum einen die Daten des Radarverbunds und zum anderen Bodenmeßwerte des Klimameßnetzes.

In *Abbildung 1 a*) ist das von den österreichischen Radargeräten abgedeckte Gebiet eingezeichnet. Der Radarverbund setzt sich aus den 4 Standorten Schwechat, Patscherkogel, Zirbitzkogel und Salzburg zusammen. Innerhalb der angegebenen Reichweiten von 150 km werden erfahrungsgemäß starke Niederschläge gerade noch erfaßt, Gewitter können in noch größerer Entfernung vom Radarstandort registriert werden, dagegen liegen die Reichweiten zur Erfassung von leichten Niederschlägen oder Nieseln deutlich darunter. Neben der Reichweite wird die Radarmessung noch dadurch limitiert, daß durch Gebirge abgeschattete Gebiete nicht erfaßt werden und daß Fest- oder Bodenechos (*Ground Clutter*) das Signal überlagern. Durch die Verwendung mehrerer Radarstandorte werden große Teile Österreichs mehrfach erfaßt, wodurch die Gebirgsabschattung minimiert wird. Wird ein Luftvolumen von mehreren Radarstrahlen erfaßt, dann wird der größte Wert im Kompositbild dargestellt. Ebenso werden in den beiden Querschnitten die jeweils größten Intensitäten der Bildzeilen bzw. Bildspalten dargestellt (*Maximum Display*), wodurch Speicherplatz gespart wird, aber trotzdem noch eine reduzierte Volumsinformation erhalten bleibt.

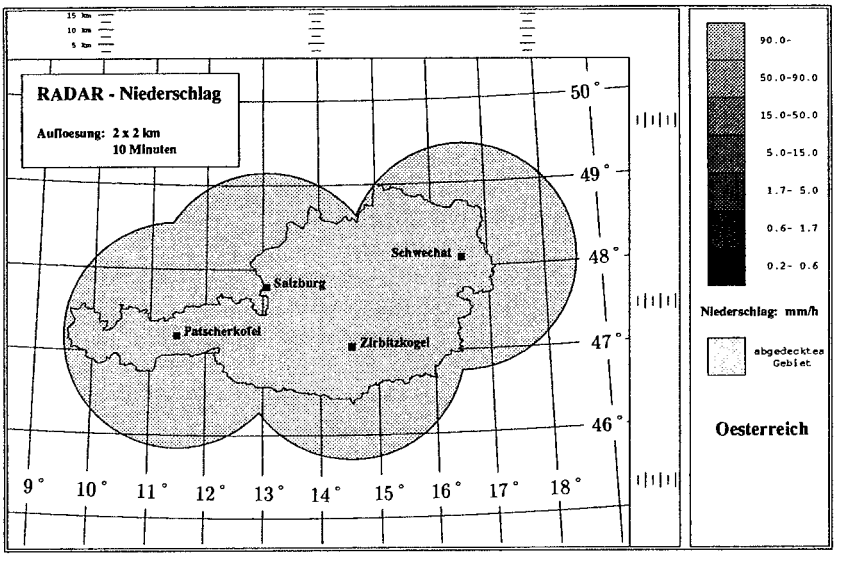


Abb. 1a: Kompositbild des österreichischen Radarverbunds, bestehend aus 4 C-Band-Geräten mit den Standorten Schwechat, Patscherkofel, Zirbitzkogel und Salzburg. Eingezeichnet sind die mittleren Reichweiten mit einem Radius von 150 km sowie die geographischen Koordinaten auf einer Lambertschen Kegelprojektion.

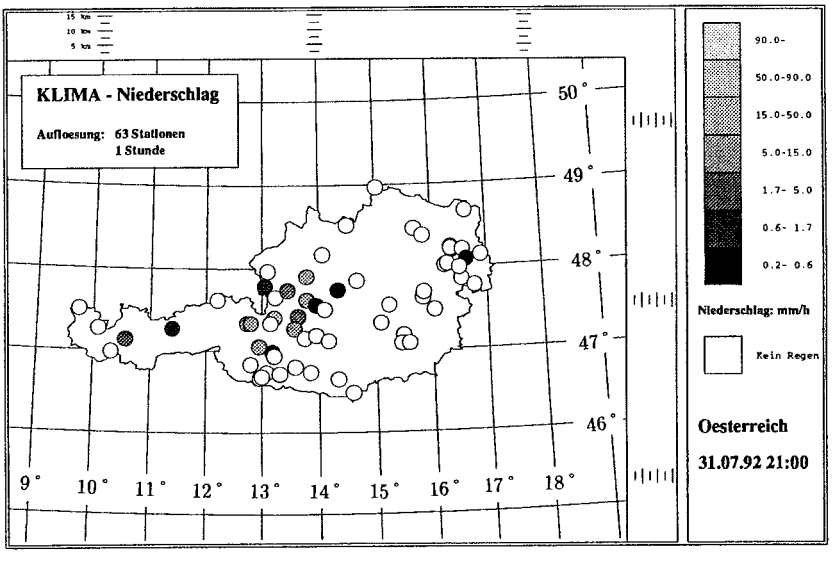
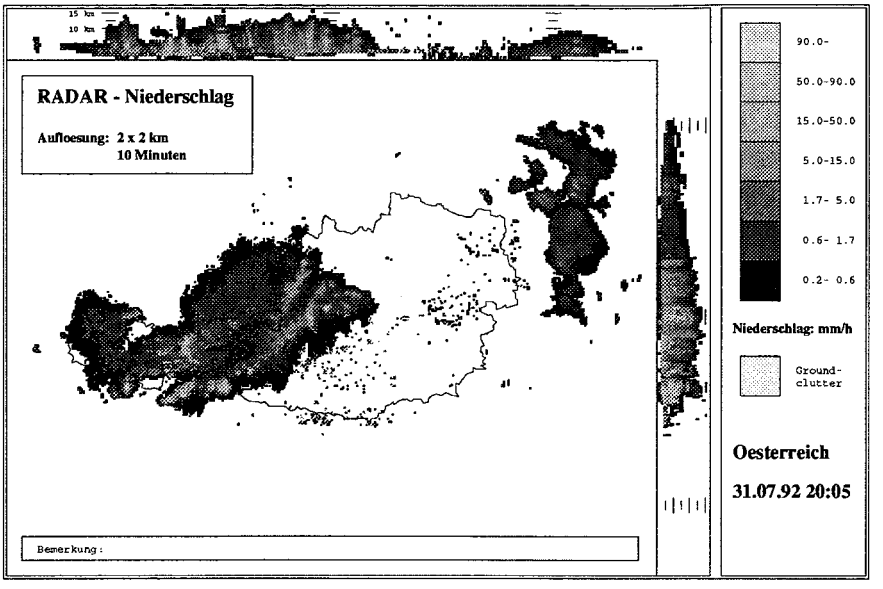


Abb. 1b: Stationen des österreichischen Klimameßnetzes, die für diese Untersuchung zur Verfügung standen. Die Projektion entspricht jener aus Abbildung 1, eingezeichnet sind die stündlichen Niederschlagsmengen. Termin: 31. 7. 1992, 21:00 UTC. Einheit: mmh^{-1}.

Festechos werden derart berücksichtigt, daß zu den Daten eine sogenannte *Clutter Map* mitgeliefert wird. Dies erlaubt, die Position möglicher Festechos zu lokalisieren. Diese Bereiche möglicher Bodenechos wurden bei wolkenlosem Himmel erstellt, wo sich das Radarbild ausschließlich aus den Bodenechos zusammensetzt. Trotz dieser Maßnahme enthalten die routinemäßig verteilten Radardaten noch Festechos. Ihre Anzahl ist zwar gering, doch müssen sie entfernt werden, da sie sehr hohe Niederschlagsintensitäten vortäuschen, wo unter Umständen überhaupt kein Regen gefallen ist. Zur Entfernung dieser restlichen Festechos, die zum Beispiel auch von Flugzeugen verursacht werden können, wurde eine Filterroutine entwickelt. In *Abbildung 2* sind zwei originale Radardatensätze dargestellt, in denen solche Festechos zum Beispiel außerhalb der beiden Niederschlagscluster (eines über Westösterreich und eines über Ungarn) zu finden sind. Die vereinzelten Bildpunkte hoher Niederschlagsintensität, die über dem Süden und Osten Österreichs zu sehen sind, werden demnach von der Filterroutine als Festechos behandelt und eliminiert.

Zur Verarbeitung der Radardaten wurde vom *Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung der TU Graz* eine digitale Datenausgabe programmiert. Diese kann mit der entsprechenden Software von jedem Radarrechner aus vorgenommen werden und liefert komprimierte Dateien im *HEX*-Format (Köck 1991). Die weitere Verarbeitung wurde systemunabhängig unter *FORTRAN 77* programmiert, die Graphikausgabe wurde direkt in *PostScript* erstellt. Nachdem die Daten entkomprimiert und zu einem Bild zusammengesetzt sind, liegen sie im Prinzip in Matrixform vor. Die Filterroutine zur Entfernung der Festechos kann nun angewandt werden. Die RADAR-Bildpunkte stellen dann die Intensität der an den Wolkentropfen reflektierten RADAR-Impulse dar. Die Niederschlagsmengen werden danach über die Radarreflektivität mit Hilfe der *Marshall-Palmer Drop Size Distribution* berechnet, wobei hier angenommen wird, daß die gesamte Niederschlagsmenge ohne Verdunstung den Boden erreicht. In der Folge müssen den so behandelten Daten diskrete Niederschlagswerte zugeordnet werden. Berücksichtigt man, daß die 8 Niederschlagsklassen (vgl. *Abbildung 1* und *2*) auf einer logarithmischen Skala gebildet wurden und weist man jedem Radarbildpunkt das entsprechende Klassenmittel zu, dann erhält man *kein Niederschlag*, 0.3 mmh^{-1}, 1.0 mmh^{-1}, 2.9 mmh^{-1}, 8.6 mmh^{-1}, 25.7 mmh^{-1}, 63.4 mmh^{-1} sowie 110.0 mmh^{-1} als mögliche Niederschlagswerte. Der Übergang auf eine metrische Skala erfolgt dann durch die räumliche Integration der Radarniederschläge auf das Analysegitter mit Gitterflächen von 625 km^2 und die zeitliche Integration der 10-minütigen Radarbilder auf Stundenwerte (mmh^{-1}). Die räumliche Integration beinhaltet auch die Koordinatentransformation von der Lambertschen Kegelprojektion auf die Projektion des Analysegitters. Die Notwendigkeit der zeitlichen Integration der 10-minütigen Radarbilder kann mit der hohen Verlagerungsgeschwindigkeit der Gewitterfront begründet werden. Sie kann aus den beiden Radarbildern in *Abbildung 2* abgeschätzt werden und beträgt für diesen Fall ca. 50 kmh^{-1}.

Als Referenzdaten wurden die Bodenmeßwerte des österreichischen Klimameßnetzes verwendet. Hierbei handelt es sich teilweise um Daten von teilautomatischen Klimastationen (TAKLIS), aber auch um ausgewertete Regen-



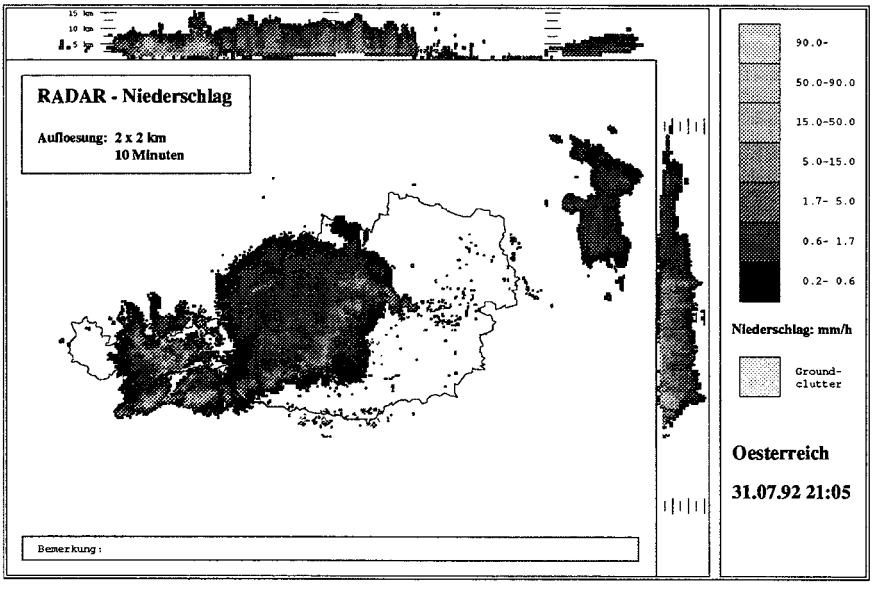


Abb. 2: Radarbilder für den 31. 7. 1992, 20:05 UTC (oben) und 21:05 (unten). Die logarithmische Niederschlagsskala ist in 8 Klassen unterteilt. Einheit: mmh^{-1}.

schreiberdaten. Aus der *Abbildungen 1* ist ersichtlich, welche Probleme eine quantitative Beurteilung der Güte der Radardaten in Bezug auf Niederschlag mit Hilfe von Bodenmessungen aufwirft. Die Struktur der Radardaten ist flächenhaft, ihre räumliche Auflösung beträgt 2 · 2 km² und ihre zeitliche Auflösung 10 Minuten. Dagegen stellen die Bodenbeobachtungen Punktmessungen dar, ihre Anzahl ist mit 63 Stationen über Österreich nicht sehr hoch und die zeitliche Auflösung beträgt 1 Stunde. Die unterschiedlichen Daten wurden daher zuerst auf ein einheitliches Gitter interpoliert, danach konnten für 9 Gitterpunkte über dem Dachsteingebiet Zeitreihen erstellt werden. Für die objektive Analyse (Interpolation der Stationswerte auf das Gitter) wurde die *Methode der sukzessiven Korrektur eines Anfangsfeldes* verwendet. Dabei wurde das Anfangsfeld aus den Niederschlagswerten selbst berechnet. Nach einer Reihe von Iterationen konvergiert es zur endgültigen Lösung, wobei nach jedem Iterationsschritt eine kleinere Skala aufgelöst wird (vgl. Daley 1991). *Abbildung 3* zeigt das aus den Bodenmessungen objektiv analysierte Niederschlagsfeld

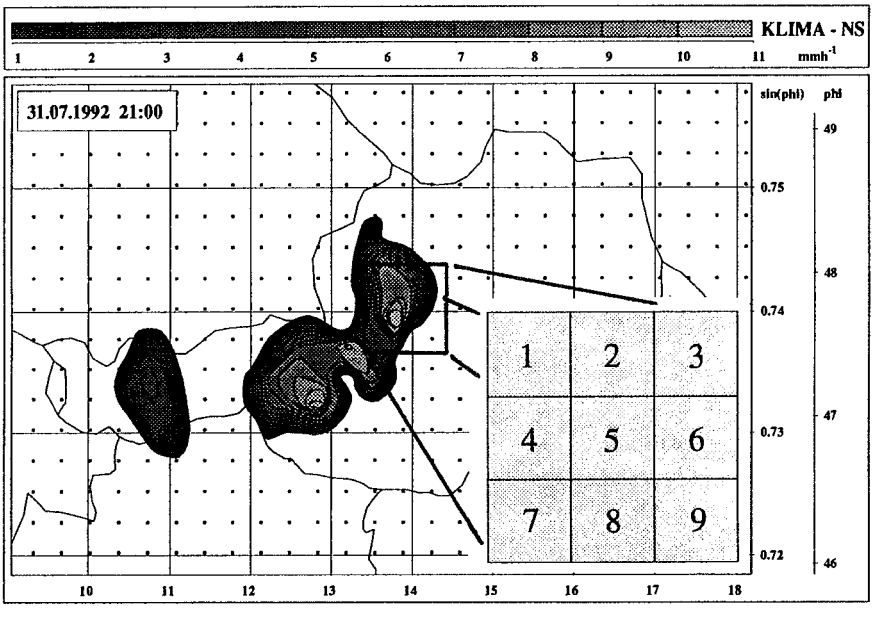


Abb. 3: Diagnosegitter auf einer flächentreuen λ-sin (φ)-Projektion mit 26 · 16 Gitterpunkten über Österreich. Der Gitterabstand beträgt 25 km, sodaß jeder Wert an einem Gitterpunkt als Niederschlag repräsentativ für eine Fläche von 625 km² zu interpretieren ist. Die Konturliniendarstellung zeigt das KLIMA-Niederschlagsfeld für 31. 7. 1992, 21:00 UTC. Einheit: mmh⁻¹.

für den 31. Juli 1992, 21:00 UTC. Die verwendeten Stationswerte können aus *Abbildung 1 b*) entnommen werden, wo sie zum Vergleich mit den Radardaten auf der Kegelprojektion dargestellt sind.

Für die untersuchte Periode (18:00 — 24:00 UTC) wurden mit obigen Verfahren je 6 Boden- und Radar-Niederschlagsfelder berechnet. Anhand der 9 Gitterpunkte über dem Dachstein-Gebiet (*Abbildung 3*) können dann die beiden aus unabhängigen Datensätzen analysierten Niederschlagsfelder verglichen werden.

3. Die Wetterlage während der beobachteten Niederschlagsepisode

Am 31.7.1992 ging eine lange anhaltende sommerliche Hochdrucklage zu Ende. Die Polarfront verlagerte sich von Skandinavien nach Süden. Vor der nordeuropäischen Atlantikküste formierte sich ein Kaltfrontsystem, das die Hochdruckzelle Richtung Balkan verdrängte (*Abbildung 4*).

Um 6:00 UTC liegt die Kaltfront über England, dem Kanal, der Bretagne und vor der Atlantikküste Frankreichs.

Um 12:00 UTC reicht sie bereits von der Ostsee über Dänemark, Deutschland, Westfrankreich bis zu den Pysenäen und ist im Satellitenbild als stark abgeschwächtes, an einigen Punkten unterbrochenes, Wolkenband zu erkennen. Im Mischungsbereich der labilen Atlantikluftmasse mit der stabilen Kontinentalluftmasse sind vor der Kaltfront großräumige zellulare Wolkenstrukturen zu finden, die auf starke Konvektion schließen lassen. Der Alpenraum ist zu diesem Zeitpunkt noch wolkenlos.

Um 18:00 UTC erreicht der Südteil der Kaltfront die Westalpen (vgl. dazu den Thermischen Frontparameter in *Abbildung 4, unten*). Das Satellitenbild von 17:00 UTC (ohne Abbildung) zeigt im gesamten Alpenraum kleinräumige zellular strukturierte Bewölkung, die mit der Annäherung der Kaltfront von Westen, sehr stark zu quellen beginnt und sich bis 21:00 UTC so stark entwickelt, daß der gesamte Alpenraum von Wolken bedeckt ist.

4. Vergleich KLIMA-RADAR Beobachtung

Die objektiv analysierten Daten des Klimameßnetzes und die räumlich und zeitlich integrierten Daten des Radarmeßnetzes sind in der *Abbildung 5* im zeitlichen Verlauf dargestellt. Bemerkenswert ist, daß das Niederschlagsereignis selbst von beiden Datensätzen ähnlich erfaßt wurde, obwohl den beiden voneinander unabhängigen Datensätzen grundsätzlich verschiedene Meßprinzipien zugrunde liegen.

Das Niederschlagsgebiet überquert von Nordwesten her den Alpenraum. Die größten Niederschlagsmengen werden daher an den westlichen Flächen (*Gitterpunkte 1* und *4*) um 20:00 UTC registriert. Bis auf die östlichste Fläche (*Gitterpunkt 9*), wo das Maximum erst um 22:00 UTC erreicht wird, verzeichnen alle anderen Flächen die größten Niederschläge um 21:00 UTC. Die größten Mengen wurden am *Gitterpunkt 4* — mit 25.2 mmh^{-1} aus den Bodenmessungen und 36.5 mmh^{-1} aus den Radarmessungen — analysiert. An allen Gitterpunkten liegen die aus Radardaten gewonnenen Niederschlagsmengen durchwegs über den aus Klimadaten analysierten Niederschlagsmengen.

In *Abbildung 6* ist der Zusammenhang zwischen den beiden Analysen in Form eines Streudiagramms dargestellt, die Regressionsgerade ist eingezeich-

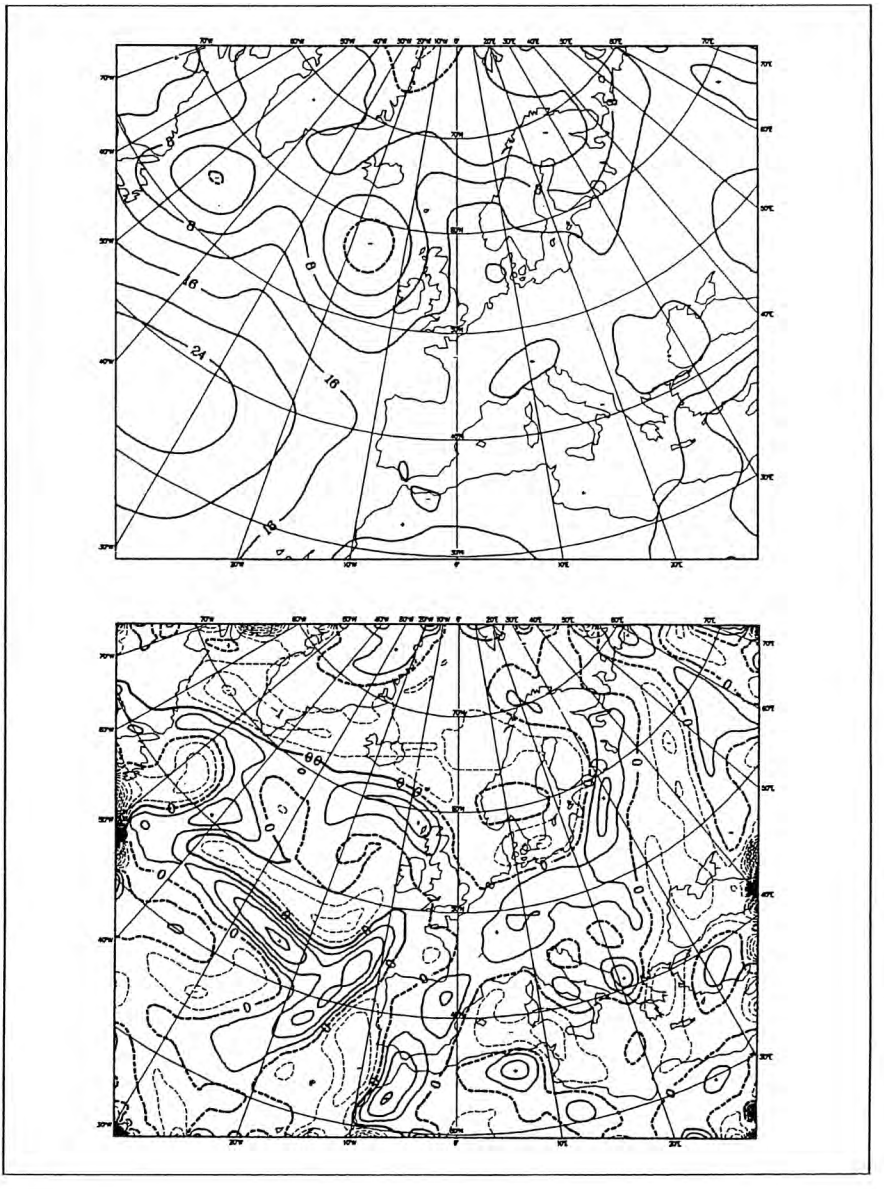


Abb. 4: a) Absolute Topographie 1000 hPa (10^1 gpm). b) Thermischer Frontparameter (dimensionslos) für den 31. 7. 1992, 18:00 UTC. Nullinien und negative Konturlinien sind strichliert dargestellt.

net, das Quadrat des Korrelationskoeffizienten läßt mit r = 0.685 den Schluß zu, daß 69 % der Variation in den Radar-Niederschlägen durch die Klima-Niederschläge repräsentiert werden. Der Korrelationskoeffizient von r = 0.827 ist für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % signifikant ($\alpha = 0.01$).

5. Diskussion

Die flächenhafte Verteilung des Niederschlags gehört zu den am schwierigsten zu analysierenden meteorologischen Elementen. Schon bei einer einfachen Punktmessung mittels Niederschlagsmesser ist mit hohen Fehlern zu rechnen. So können durch nicht repräsentative Standorte, durch das Windfeld oder durch Verdunstung Fehler von 10 % und mehr verursacht werden. Im österreichischen Klimameßnetz wurden aber auch Fehler, die möglicherweise auf technische Unzulänglichkeiten zurückzuführen sind (Geräte- oder Übertragungsfehler), der teilautomatischen Klimastationen (TAKLIS) festgestellt. Dies ergaben Vergleiche von 12-stündigen Niederschlagssummen mit synoptischen Daten. Beim Übergang vom Punktniederschlag zum Flächenniederschlag sind die Stationsdichte und das verwendete objektive Analyseverfahren von Bedeutung. Bei den hier untersuchten Gebieten mit Größen von 625 km² und einer mittleren Dichte von einer Station pro 200 km² muß mit einem Fehler von über 20 % gerechnet werden (Sevruk 1989). Bei der Radarmessung von Niederschlag sind Fehler hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß es sich hierbei um ein indirektes Meßverfahren handelt. Fehlerquellen sind die Umrechnung der Radarreflektivität in Niederschlagsmengen, nicht erfaßte Niederschläge durch Gebirgsabschattung sowie Festechos (Joss und Waldvogel 1990).

Das verwendete Datenmaterial (45 Datenpaare aus der *Abbildungen 5*) ist zwar nicht ausreichend, um ein allgemeingültiges Ergebnis zu repräsentieren, berücksichtigt man aber die hohe Variabilität von Niederschlagsfeldern, dann konnte zumindest gezeigt werden, daß die Daten des österreichischen Wetterradars durchaus zur Bestimmung von Flächenniederschlägen herangezogen werden können. Der Vergleich von Radar- und Bodenniederschlägen muß daher unter dem Gesichtspunkt der hohen Unsicherheit, die der Niederschlags-

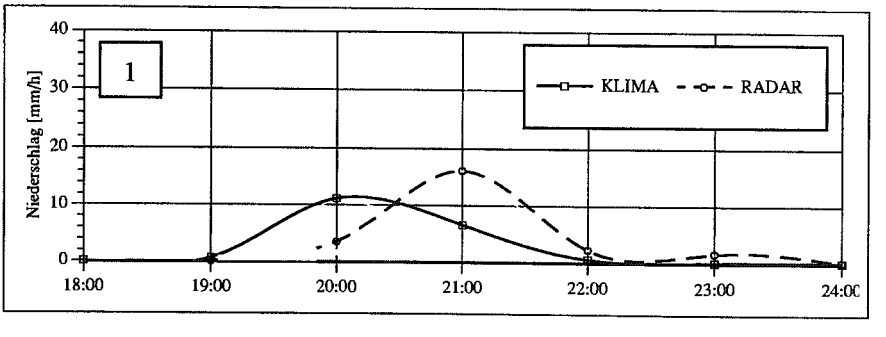
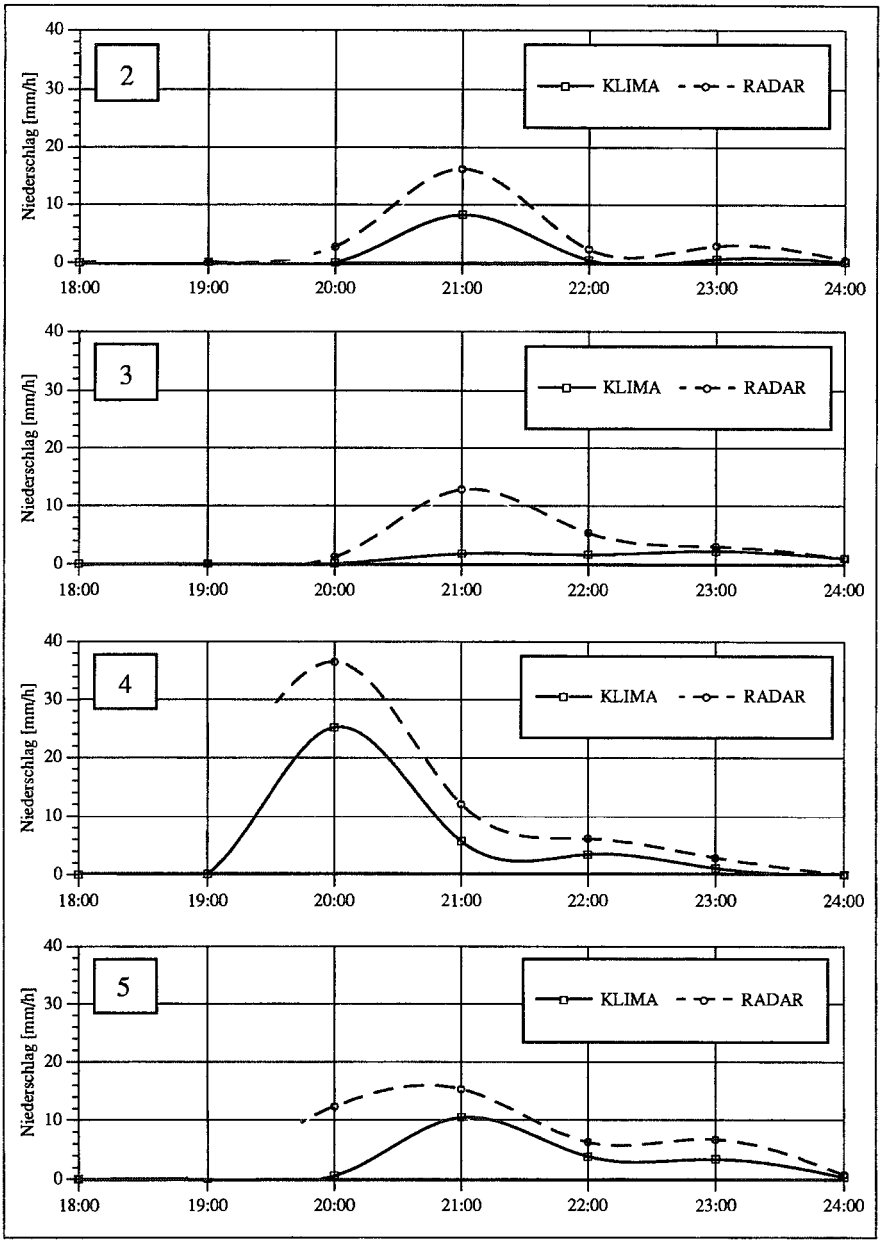
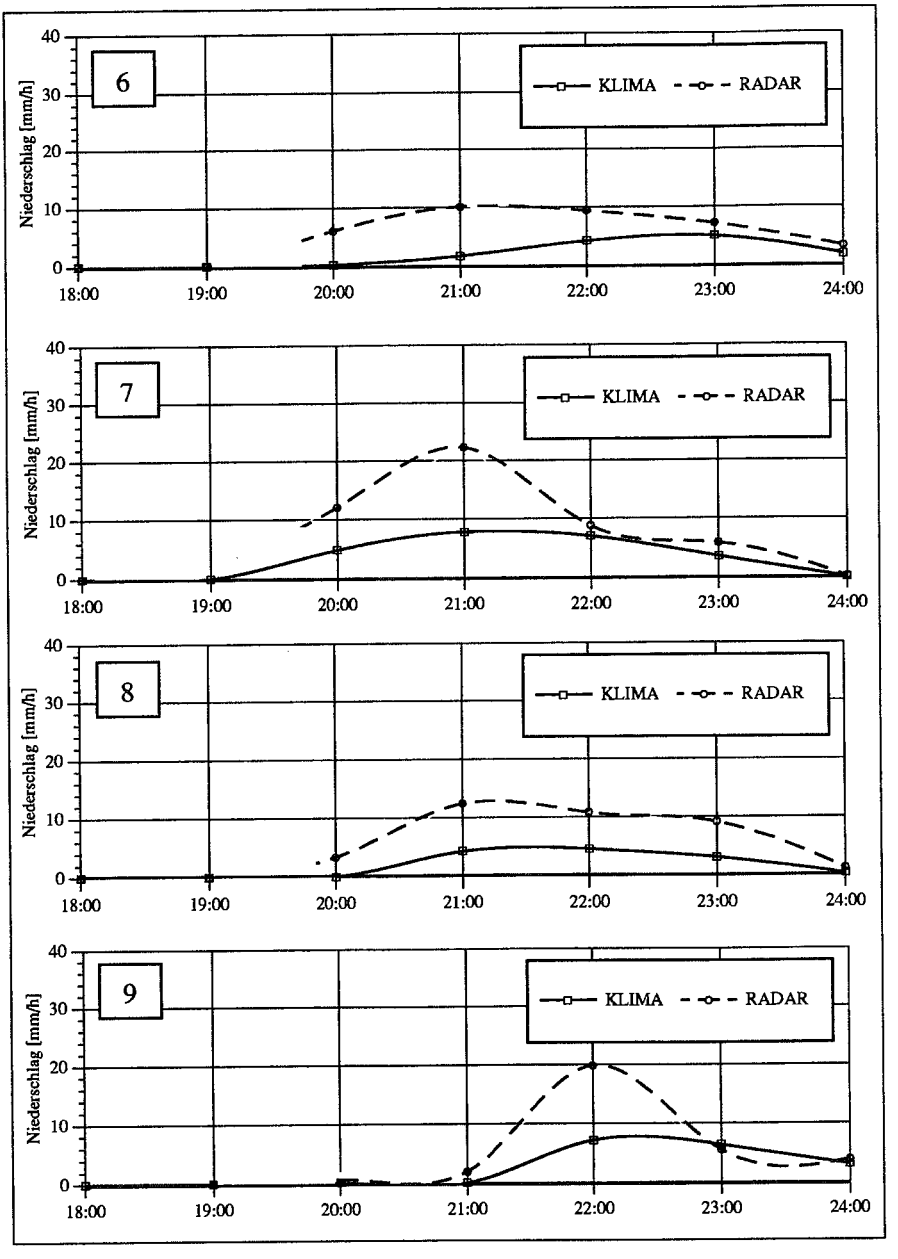


Abb. 5: Vergleich des zeitlichen Verhaltens von Klima- und Radar-Niederschlägen für den Gitterpunkt 1. Termin: 31. 7. 1992. Einheit: mmh^{-1}.



Fortsetzung Abb. 5: Vergleich des zeitlichen Verhaltens von Klima- und Radar-Niederschlägen an den Gitterpunkten 2 bis 5. Termin: 31. 7. 1992. Einheit: mmh^{-1}.



Fortsetzung Abb. 5: Vergleich des zeitlichen Verhaltens von Klima- und Radar-Niederschlägen an den Gitterpunkten 6 bis 9. Termin: 31. 7. 1992. Einheit: mmh^{-1}.

messung anhaftet, gesehen werden. Die hier vorgestellten ersten Ergebnisse stimmen aber zuversichtlich, daß das österreichische Wetterradarsystem, nach einer Kalibrierung (Radarmeteorologen sprechen in diesem Zusammenhang von Aneichung) mit hochauflösenden Bodenmessungen, zur Bestimmung von Flächenniederschlägen im Mesoscale-Bereich herangezogen werden kann.

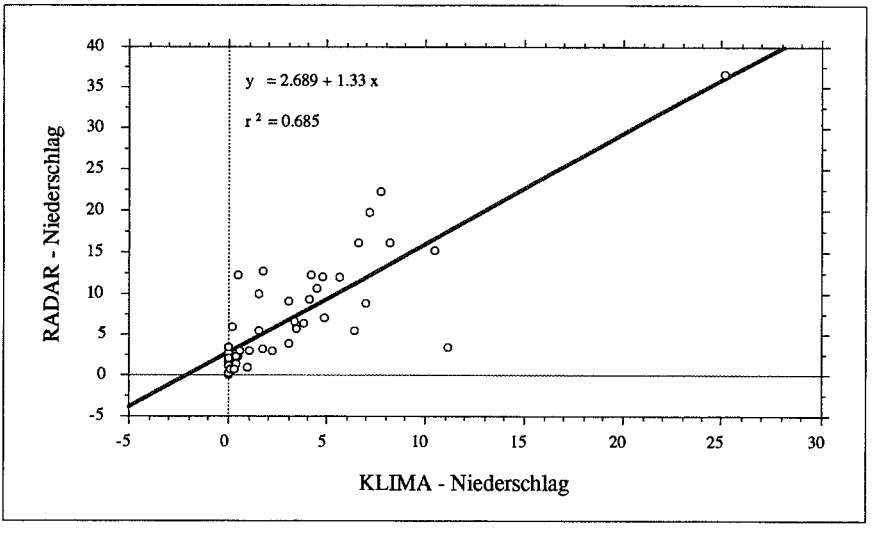


Abb. 6: Streudiagramm der RADAR- und KLIMA-Niederschläge für die untersuchten Gitterpunkte 1–9. Termin: 31. 7. 1992, 20:00–24:00, Einheit: mmh^{-1}.

Abschließend muß noch erwähnt werden, daß der naheliegende Gedanke, nämlich einen Radarbildpunkt, der eine Momentaufnahme eines atmosphärischen Zustandes darstellt, mit einer am Boden gemessenen, akkumulierten Niederschlagsmenge zu vergleichen, nicht zielführend ist (Jann 1993).

Danksagung:

Das verwendete Datenmaterial stellte die *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik* zur Verfügung. Der *FWF* förderte die Implementierung des Objektiven Analyseverfahrens sowie der Routinen zur Verarbeitung der Radardaten, den Projektleitern O.Univ.-Prof. Dr. Michael Hantel und Frau Dr. Veronika Zwatz-Meise sei hier besonders gedankt. Dipl. Ing. Konrad Köck programmierte die Exportroutine der Radardaten, HR. Dr. Heinz Felkel und Dr. Gerhard Hermann waren bei der Beschaffung und Interpretierung der Klimadaten behilflich und Prof. Dr. Jürg Joss lieferte wertvolle Diskussionsbeiträge.

Literatur:

Jann, A., 1993: Untersuchung der Verwendungsmöglichkeiten der operationellen Österreichischen Radardaten. Diplomarbeit an der Univ. Wien, 157pp.

Joss, J., and A. Waldvogel, 1990: Precipitation measurement and hydrology. In: Atlas, D. (Editor) RADAR in Meteorology, American Meteorological Society, Boston, 577-606.

Joss, J., and A. Pittinni, 1991: Real-time estimation of the vertical profile of radar reflectivity to improve the measurement of precipitation in an alpine region. Meteorol. Atmos. Phys., 47, 61-72.

Collier, C. G., and M. Chapuis (Editors), 1990: Weather Radar Networking. Seminar on COST Projekt 73. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 580pp.

Daley, R., 1991: Atmospheric Data Analysis. Cambridge University Press, 457pp.

Köck, K., 1990: Anzeigegerät für die Österreichischen Wetterradardaten (Handbuch). Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung der TU Graz, 36pp.

Köck, K., 1991: Beschreibung des RADAR-Datenformats. Persönliche Mitteilung.

Rubel, F., 1992: Objective analysis of precipitation. Meteorol. Notes of Univ. — Budapest, 5, 26-29.

Rubel, F., 1994: Diagnose vertikaler Niederschlagsflüsse, Dissertation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien, 175pp.

Sevruk, B., 1989: Reliability of precipitation measurement. WMO/IAHS/ETH Workshop on Precipitation Measurement, St. Moritz, 13-19.

Wilson, J. W., and E. A. Brandes, 1979: Radar measurement of rainfall — a summary. B. Amer. Meteor. Soc., 60, 1048-1058.

Anschrift der Verfasser:

Mag. Franz Rubel und Univ.-Doz. Dr. Günther Schauberger
Abteilung Biometeorologie, Institut für Medizinische Physik
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
Linke Bahngasse 11
A-1030 Wien

Mag. Johann Stockinger
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Hohe Warte 38
A-1190 Wien